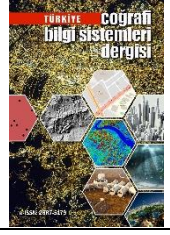




Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



Hafif Raylı Sistem (HRS) Güzergâh Problemi Çözümüne Yönelik Çok Kriterli-CBS Destekli Yaklaşım: Gebze-Darıca HRS Örneği

Ömer Murat Urhan ^{*1}, Tayfun Salihoğlu ²

¹ İstanbul Rumeli Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Kocaeli, Türkiye

ÖZ

Anahtar Kelimeler:

Hafif Raylı Sistemler
Güzergâh Tasarımı
Çok Kriterli Karar Verme
Analitik Hiyerarşi Süreci
Coğrafi Bilgi Sistemleri
Destekli Tasarım

Bu çalışmada, otomobil odaklı ulaşım planlamalarından kaynaklanan problemler yaşayan kentler için optimum çözümlerden olan HRS'lerin güzergâh planlamasında yaklaşım geliştirilmiştir. Kullanılan yaklaşım, ÇKKV yöntemlerinin en sık kullanılanlarından AHS ile CBS araçlarını birlikte kullanan modern bir yaklaşımdır. Çalışmanın amacı, Kocaeli kentinin ilçeleri olan Gebze-Darıca arasında inşaat halindeki HRS güzergâhı gibi kuzey-güney doğrultusundaki farklı öneri etapların belirlenmesidir. AHS'de bölgeye en uygun ölçütlere ait uzmanlardan gelen anket sonuçları Expert Choice ile işlenerek ölçüt ağırlıklarına dönüştürülmüştür. CBS yazılımı ArcGIS'e bu ölçüt ağırlıklarının entegre edilmesi ve gerekli veriden veri üretme ve veri dönüştürme işlemleri sonucu Gebze-Darıca Hafif Raylı Sistem Uygunluk Haritası oluşturulmuştur. Bu harita üzerine, inşa halindeki Hafif Raylı Sistem hattı yerleştirilerek hem bu HRS hattının hem de bu çalışmada kurulan modelin doğruluğu test edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise bu uygunluk haritası üzerinde üç adet etap öneri olarak sunulmuştur.

Multi Criteria-GIS Supported Approach to Light Rail Transit (LRT) Route Problem Solution: Gebze-Darıca LRT

Keywords:

Light Rail Transit
Route Design
Multi-Criteria Decision
Making
Analytical Hierarchy
Process
Geographic Information
Systems Supported Design

ABSTRACT

In this study, an approach has been developed in the route planning of LRT, which is one of the optimum solutions for cities experiencing problems arising from automobile-oriented transportation planning. This modern approach that uses the AHP, which is one of the most frequently used methods of MCDM, and GIS tools together. The aim of the study is to determine the optimum routes in the north-south direction, similarly to Light Rail Transit route under construction between Gebze and Darıca, the districts of Kocaeli. In the Analytical Hierarchy Process, survey results from experts belonging to the most suitable criteria for the region are processed with Expert Choice and converted into criterion weights. Gebze-Darıca Light Rail System Suitability Map was created as a result of the integration of these criteria weights into the Geographical Information Systems software ArcGIS's data generation and data conversion from the required data. The Light Rail Transit route under construction was placed on this map and the accuracy of both this route and the model established in this study were tested. In the last part of the study, three stages were presented as suggestions on this suitability map.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster:

*omurat.urhan@rumeli.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4640-5858
(tsalihoglu@gtu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9959-6961

Urban Ö M & Salihoğlu T (2021). Hafif Raylı Sistem (HRS) Güzergâh Problemi Çözümüne Yönelik Çok Kriterli-CBS Destekli Yaklaşım: Gebze-Darıca HRS Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(2), 67-88.

Araştırma Makalesi

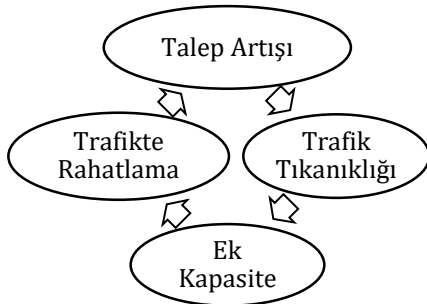
Geliş Tarihi: 27/05/2021; Kabul Tarihi: 05/08/2021

1. GİRİŞ

Teknoloji ile birlikte gelişen ulaşım olanakları, insanlığın hayatını kolaylaştıran ve yaşam kalitesini arttıran en büyük unsurlardan biri olmuştur. Gün geçtikçe kalabalıklaşan kentsel mekânda ulaşım yatırımlarının önemi anlaşılmaktadır. Bu kentlerde ulaşım planlaması ve ulaşım kararlarının önemi de artmaktadır. Bu türden planlama kararlarının yalnızca yolcu ve işletmecileri değil, tüm kenti etkilemesi sebebiyle bu konulara kent yönetimleri tarafından çok farklı perspektiflerden aynı anda bakılması gerekmektedir (Buchanan, 1963).

Yapılan planlar kentlerin nereye doğru büyüyeceğini, nerelerde getirim oluşturacağını, hangi bölgeleri kalkındıracağını ve hangi bölgelerin eski albenisini kaybedeceğini belirleyebilir. Bu sebeple ulaşım alanındaki plan ve proje faaliyetlerinin uzun erimli ve veriyeye dayalı çalışmalar olması beklenmektedir.

Modern kent sistemlerinde yüksek sayıdaki yolculuk taleplerine erişilmesine rağmen hâlâ benimsenmekte olan otomobil ağırlıklı geleneksel ulaşım yaklaşımı yeni çözümsüzlükler üretmektedir (Elker, 1999). Şekil 1'de bu çözümsüzlük en basit hali ile modellenmiştir (Elker, 2004). Yolculuk taleplerindeki artış, karayollarının kapasite sınırları sebebiyle trafik tıkanıklıklarına yol açmaktadır. Yerel ve merkezi yönetimler bu tıkanıklık problemlerini çözmek hedefiyle karayollarına ek kapasite sağlamak adına yeni yollar yapma ve mevcut yolları genişletme çözümlerini üretmektedir. Bu çözümler kısa bir zaman aralığı için trafikte rahatlamaya sebep olmakta ve bu yanıltıcı rahatlamaya, yolu tercih etmeyen diğer yolcular için de çekici bulunarak bir talep artışı oluşturmaktadır. Bu talep artışının sonucunda, çözüm olarak üretilen yeni yolda da trafik tıkanıklıkları yaşanmaya başlayarak döngüde başa dönülmektedir.



Şekil 1. Geleneksel ulaşım yaklaşımının kısır döngüsü (Buchanan, 1963)

Colin Buchanan'ın (1963) "Traffic in Towns" adlı kitabında, modern kentlerde bu kısır döngüden çıkılması gerektiği vurgulanmıştır. Buchanan, otomobilin ulaşım için çok masraflı ve problemleri bir çözüm olduğunu bu sebeple nüfusu 100 binden fazla olan şehirlerde farklı sistemlerin geliştirilmesi gerekliliğini açıklamıştır (Buchanan, 1963). Çözümsüzlüğün yok edilmesi için önemli önerilerinden biri raylı sistemler temellidir.

Ülkemizde ulusal düzeydeki politika ve planlama belgelerinde de hafif raylı sistemlerin önemi vurgulanmaktadır. Onuncu (T.C. Kalkınma Bakanlığı,

2013) ve On birinci (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019) Kalkınma Planı'nda, Türkiye Habitat III Ulusal Raporu'nda (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014) ve 11. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Şûrası'nın Raporu ve Sonuç Bildirgesi'nde (T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2013a; 2013b) Türkiye'nin geleceğinde raylı ulaşım sistemlerinin üretim, ihracat, yerlilik, hat uzunluğu, ulaşımındaki yolcu payı ve finansman konularında gelişmeler kat edilmesi doğrultusunda hedefler belirlenmiştir.

Bu çalışma ile ülkemiz için giderek önemi artmakta olan raylı sistemler konusunda, sistemin kentler açısından en önemli bileşenlerinin başında gelen güzergâh tespit aşaması için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) ile coğrafi bilgi sistemlerini (CBS) birleştiren bir modelin test edilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada, Kocaeli'de Gebze-Darıca ilçeleri arasındaki planlanmış olan Hafif Raylı Sistem (HRS) güzergâhı gibi kuzey-güney doğrultusunda, analitik yöntemler ile HRS önerilerinin sunulması amaçlanmaktadır. Bu amaca ulaşmak için, HRS güzergâhının seçiminde, AHS ile CBS'yi bir arada ele alan bir yöntemin denenmesi ve sonuçlarının mevcut güzergâh seçimi ile karşılaştırılması hedeflenmektedir.

Literatürde planlama alanında CBS ve AHS'yi entegre eden çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu araştırma, kent planlamanın önemli bileşenlerinden birisi olan kentsel ulaşım sistemlerinin güncel ve sürdürülebilir bir alt başlığı olarak HRS'lerin planlanmasına çok kriterli ve coğrafi bilgi sistemi destekli bir yöntem önermesi ile analitik arka plana sahip görgül çalışmalar havuzunun genişlemesine katkı sağlamaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Hafif Raylı Sistemler ve Güzergâh Tayini Problemi Ölçütleri

HRS kavramı 1972'ye kadar dünyanın pek çok ülkesinde ulaşım sistemlerinde önemli bir yere sahip değildir. HRS ilk olarak 1962'de Traffic Quarterly Dergisi'nde, H. Dean Quinby'nin bu kavramı anlatan makalesi ile ilgi görmeye başlamıştır (Quinby, 1962).

Raylı sistemlerde, yüksek kapasite ve hız niteliklerindeki iyileşmeler, HRS konseptini doğurmuş ve pek çok ülkede bu ulaşım modunun hızla yaygınlaşmasına ve belirli ölçütlerin belirlenmesine neden olmuştur. Tramvaydan yüksek kapasiteye ve hıza sahip oluşu ve metrodan daha az maliyetli ve kolay uygulanabilir oluşu HRS'yi modern dünyanın optimum kentsel ulaşım çözümlerinden biri yapmaktadır. HRS şehir merkezindeki ve banliyödeki hareketliliği önemli ölçüde arttırabilmektedir. Mahalleleri canlandırmaya, tıkanıklığı ve karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmaktadır (Wilkie & Petersen, 2010). HRS, Merkezi İş Alanı (MİA) hareketliliğini ve banliyölerde yaşayanların seçeneklerini arttırmak isteyen kent yönetimleri için sağlam bir seçenek sunmaktadır. Diğer toplu taşıma araçlarıyla etkin bir arada kullanılabilen verimli, yüksek kapasiteli bir transit modudur (Wilkie & Petersen, 2010).

Şehir markalaşması açısından HRS mahalle sakinleri, yolcular, turistler ve diğer ziyaretçilere çekali gelmektedir. Şehir ve bölge planlama ile kalkınma perspektifinden bakıldığında HRS, kentsel dönüşüm projelerine elverişlidir, kalıcı altyapı sağlar ve yeni yatırımları çekme oranı yüksektir. Elektrikle çalışan HRS, iklim değişikliğine yanıt vermenin şehir plancıları ve kent yönetimi için önemli bir öncelik olduğu günümüzde sürdürülebilir ulaşım modlarından biri olarak öne çıkmaktadır (Wilkie & Petersen, 2010).

Diğer yandan HRS'nin ekonomik etkileri de yadsınamaz. Amerikan Toplu Taşıma Derneği (APTA), toplu taşımaya yatırılan her 1 milyar doların 3,6 milyar dolarlık ek iş hacmi ürettiğini ve bunun da vergi gelirlerinde yaklaşık 500 milyon dolar ek vergi oluşturduğunu tespit etmiştir. Özetle, toplu taşıma harcamalarına yatırılan her 1 dolar karşılığında yaklaşık olarak 4 dolar kazanım elde edilmektedir (APTA, 2013). Bu ekonomik karşılık, kent yönetimleri için HRS benzeri sistemlerin değerini kanıtlamaktadır.

2020 yılı itibari ile ülkemizde faaliyetine devam etmekte olan HRS'ler İstanbul (Yenikapı-Atatürk Havaalanı ve Yenikapı-Kirazlı), Ankara (Ankaray), İzmir (Fahrettin Altay-Evka 3), Bursa (Bursaray), Eskişehir (Estram), Kayseri (Kayseray), Antalya (Antray), Adana (Adana Metro) ve Samsun (Gar-Üniversite ve Gar-Tekeköy) kentlerinde bulunmaktadır. Bu hatların haricinde İstanbul, Kocaeli, Adana, Gaziantep, Konya ve Balıkesir başta olmak üzere farklı kentlerimizde yeni HRS plan ve projeleri üzerinde çalışılmaktadır.

HRS'nin kentlere olan katkısının maksimize edilebilmesi için doğru bir güzergahta tasarlanmış olması kritik önem taşımaktadır. Çok kriterli bir değerlendirme süreci olan bu güzergâh tespitine ilişkin olarak literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmaların sınırlı sayıdaki kısmı, güzergâh tespiti yaparken kullanılan somut, ölçülebilir ölçütlerden bahsetmiştir. Aşağıda yer verilen çalışmalar, CBS'nin sağlamış olduğu imkân ve araçları kullanarak HRS güzergâh tayininde rol oynayan çok sayıdaki ölçütü aynı anda değerlendirerek çok kriterli kararlar üreten çalışmalardır.

Banai (Banai, 2006) Amerika'nın Memphis kentinde HRS güzergâh tayini için; iş merkezlerine yakınlık, halkın hareketliliği, düşük gelirli hareketliliği, işletme maliyeti, toplu taşıma odaklı gelişme (TOD), sermaye maliyeti, paylaşılmış yol haklarını kullanma, trafik sıkışıklığı ve hassas alanlara etki ölçütlerini değerlendirmiştir (Banai, 2006).

Ludin ve Latip (Ludin & Latip, 2006), HRS'nin uygun güzergâhını belirlemek için mekânsal ve mekânsal olmayan verinin çok kriterli kararlara bütünleşmesinin nasıl sağlanacağını tartışmaktadır. Çalışma alanı Malezya'nın Kuala Lumpur şehridir. Tespit edilen ölçütler; çalışma alanlarına ulaşımı sağlama, en az çevresel rahatsızlığa neden olma, mobiliteyi maksimize etme, stratejik konumları bağlama, ağı maksimize etme, kamulaştırmayı minimize etme, inşa edilebilirlik ve verimliliği maksimize etmedir. Model sosyal, kurumsal ve çevresel amaçları değerlendiren optimum HRS uyumluluğunun tanımlanabileceğini ortaya koymaktadır (Ludin & Latip, 2006).

Djenaliev (Djenaliev, 2007) Çin-Kırgızistan-Özbekistan demiryolunun bir bölümünü kullanarak, CBS'nin demiryolu planlama ve istasyon yeri belirleme işlemlerindeki başarısının araştırılmasını hedeflemiştir. Djenaliev, raylı sistem güzergâh seçimi için CBS üzerinde arazi kullanımı, eğitim, yerleşim alanları, orman alanları, yollar, hidrolojik yapı ve jeolojik yapı ölçütleri için Bindirme Analizi'ni (Overlay Analysis) uygulayarak uygunluk haritaları oluşturmuştur. Bu uygunluk haritalarının oluşturulmasında Ağırlıklandırılmış Doğrusal Kombinasyon (WLC) ve AHS'den yararlanılmıştır (Djenaliev, 2007).

Farkas'a (Farkas, 2009) göre güzergâh seçimi, ölçütlere göre beklenen şartları sağlayan yerleri tespit etme işlemidir. Farkas çalışma alanı Bolıvy'a'nın Cochabamba kentidir. Hedefi ise raylı sistemler için optimum güzergâh seçimi yapmaktır. Bu hedefe ulaşmak için ilk olarak mühendislik (verimlilik, inşaat ve jeoloji, kamu hizmetleri dahil uygun altyapı, mühendislik karakteristikleri ve hat hizalama), ekonomik (yatırım getirisi, net bugünkü değer, inşaat maliyetleri, arazi edinimi ve yıkım işi), kurumsal (ulaşılabilirlik, bağlanabilirlik, stratejik büyüme merkezleriyle bağlantı, kamulaştırma ve diğer ulaşım sistemleriyle bağlantı), sosyal (hareketlilik, toplumsal uzaklaşma, yerleşim/alışveriş alanlarına erişim, istihdam/egitimle olan bağlantılar ve dezavantajlı bölgelere hizmet) ve çevresel (ekolojik olarak korunan alanlar, hassas alanlar, gürültü etkisi, emisyon seviyelerini ve enerji tüketimi) ölçütlere göre uygunluk haritaları oluşturulmuştur. İkinci olarak bu beş ölçütün üst üste bindirilmesi ile kompozit uygunluk haritası oluşturulmuştur (Farkas, 2009). Devamında kent merkezinin güney-kuzey aksında uzanacak olan metro hattı planlaması için üç farklı koridor alternatifi kompozit uygunluk haritasına üzerine yerleştirilerek optimum güzergâh belirlenmeye çalışılmıştır (Farkas, 2009).

Verma, Upadhyay ve Goel'in (Verma vd., 2011) Hindistan'ın Thane şehrini çalışma alanı olarak seçtiği makalelerinde raylı sistem güzergâhını belirlemek için bütünleşik bir yaklaşım önerilmektedir. Raylı sistem planlanırken bütünleşik yaklaşımın ana odağı, yolcuların başlangıç-hedef noktaları arası seyahat süresinin maliyeti ve işletmecinin maliyetleridir. Tespit edilen güzergahta elde edilen saat başına düşen maksimum yolcu sayısının, HRS önermek için optimum olduğu tespit edilmiştir (Verma vd., 2011).

Brunner, Kim ve Yamashita (Brunner vd., 2011) Honolulu kentinde yer alan Salt Lake ve Havaalanı arasındaki en uygun raylı sistem güzergâhının tespitini hedeflemiştir. Bu işlem de teknik, sosyal, ekonomik ve çevresel ölçütler (nüfusun çoğunun yaşadığı yerler, çalışma alanları, düşük gelirli nüfusa sahip yerlere hizmet etme, sermaye maliyetleri, toplu taşıma odaklı gelişme (TOD) potansiyeli, var olan yolları paylaşma olanağı, trafik sorunlarının olduğu alanlara hizmet etme, hassas ortamlardan ve tehlikeli bölgelerden kaçınma ve çeki yerler) kullanılmıştır (Brunner vd., 2011).

Alkubaisi (Alkubaisi, 2014) Irak'ın Ramadi kentinde en iyi tramvay rotasını belirlemeye çalışmıştır. Kentin doğu ve batı sınırı arasında belirlenen 6 farklı güzergâh alternatifi farklı ölçütler ile değerlendirilmiştir. Bu ölçütler; erişilebilirlik (seyahat süresi ve arazi kullanımı),

emniyet (kaza kara noktaları sayısı, trafikle kesişme sayısı, hizalama), çevresel (gürültü, titreşim ve estetik), ekonomik (güzergâh uzunluğu ve yapım maliyeti), yolculuk (nüfus yoğunluğu, tatmin edebilirlik ve yolculuk sayıları) ve güvenlidir (Alkubaisi, 2014).

Hamurcu ve Eren (Hamurcu & Eren, 2015), Ankara kentinde raylı sistem güzergâh seçimi için bir çalışma yapmışlardır. Konu ile ilgili görüşler ve literatür taraması sonucunda 15 adet ölçüt belirlenmiştir. Bunlar; inşaa maliyeti, kamulaştırma, ulaşım entegrasyon, erişilebilirlik, toplam seyahat zamanı, estetik ve görsel etki, iş ve eğitim bağlantısını sağlama, alışveriş ve yerleşim alanlarına erişim, genişletilebilme ve iyileştirilebilme, arazi yapısı, nüfus yoğunluğu, trafik hacmi, kamusal hareketlilik, talepleri karşılama düzeyi ve çevresel etkilerdir (Hamurcu & Eren, 2015).

Ahmed ve Asmael'in (Ahmed & Asmael, 2015) çalışma alanı olarak Irak'ın Bağdat kentini seçtiği makalesinde güzergâh seçimi, tasarım ve yapım sürecinde önemli bir başlangıçtır. Ayrıca bölgeye ve bölgenin çevresine önemli seviyede tesir eden bir potansiyele sahiptir. Uygun ağın tespitini amaçlayan plancılar çevresel (gürültü ve CO² seviyesi), mühendislik (bağlanabilirlik, MIA'lara yakınlık, çalışma alanlarına yakınlık, yolculuk talebi ve nüfus yoğunluğu) ve ekonomik (kamulaştırmalar ve maliyet) başlıkları altında 9 farklı ölçütü göz önüne almışlardır (Ahmed & Asmael, 2015). Bu 9 ölçütün etkileri ile üç farklı metro güzergâhı alternatifi belirlenmiştir.

Çalışma alanı olarak İstanbul'u seçen Kırlangıçoğlu (Kırlangıçoğlu, 2016) İstanbul'da raylı sistem güzergâh planlaması üzerine çalışan uzmanlarla görüşmeler yapmış ve 12 ölçütü (yolculuk talebi, diğer ulaşım entegrasyon, nüfus yoğunluğu, sit alanlarına uzaklık, kamulaştırma ihtiyacı, sanayi ve ticarete yakınlık, kamu ve eğitime yakınlık, toplu konutlara yakınlık, eğitim, jeolojik yapıya uygunluk, faylara uzaklık ve su alanlarına uzaklık) ağırlıklandırarak bindirme analizleri ile güzergâhları tespit etmiştir (Kırlangıçoğlu, 2016).

Jendia ve Skaik (Jendia & Skaik, 2016) Filistin'in Gazze kenti metro güzergâhı seçimi için çalışma yapmıştır. Bu çalışmada mühendislik, çevresel, ekonomik, sosyal ve kurumsal gereklilikler karşılanmaya çalışılmıştır. Bu güzergâhın tespiti için belirledikleri ölçütler; nüfus yoğunluğu, önemli noktalara yakınlık, diğer ulaşım sistemlerinin kesişme noktalarına yakınlık, jeolojik uygunluk, yeraltı su seviyesi, toprağa uygunluk (tercihen kumlu) ve eğimdir (Jendia & Skaik, 2016).

El-Hallaq ve El-Yazory (El-Hallaq & El-Yazory, 2017) Filistin'in Gazze Şehri'ndeki, en uygun metro güzergâhının tespitini hedeflemektedir. Gazze'deki elli büyük trafik kesişim noktası belirlenmiştir. Her bir kesişme noktasının 500 m yarıçapı uzaklığındaki alanlar raylı sistem istasyonları için aday bölgeler olarak belirlenmiştir. Metro hatlarının optimum istasyonlarını belirlemek için kullanılan ölçütler nüfus yoğunluğu, önemli merkezler, uygun park alanları, kavşak alanları, kesişme noktalarındaki trafik ve arazi kullanımınıdır (El-Hallaq & El-Yazory, 2017).

Sarimehmet vd. (Sarimehmet vd., 2020) Kırıkkale kentine açılacak olan Yüksek Hızlı Tren (YHT) istasyonuna, kentin farklı noktalarından toplu taşıma ile ulaşılacak en uygun güzergâh alternatiflerini

araştırmıştır. Bu güzergâhların uygunluklarını belirlerken değerlendirdikleri ölçütler; yolcu memnuniyeti (hizmet süresi, hizmet sıklığı, yolcu kapasitesi, durak sayısı, direkt gidiş ve fiyat), sosyallik (iş ve eğitim bağlantısını sağlama ve alışveriş-yerleşim yerlerine erişimin sağlama) ve çevredir (trafik sıklığı ve gürültü kirliliği) (Sarimehmet vd., 2020).

Kent içi raylı sistem güzergâh planlama konusundaki çalışmalarda en çok yer verilen üç ölçütün, güzergâhın geçeceği bölgelerin nüfus yoğunluğu, çalışma alanlarına yakınlığı ve projenin maliyeti olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan sonra en sık kullanılan beş ölçüt ise güzergâhın bağlanabilirliği ve diğer ulaşım sistemlerinin kesişme noktalarına yakınlığı, geçeceği bölgelerin mülkiyet sahipliği ve arazi değerleri, sit alanlarına olan uzaklığı, güzergâh üzerindeki insanların yolculuk süreleri ve hattın sebep olacağı gürültü kirliliğidir. Önceki ölçütlere göre daha az kullanılsa da güzergâh üzerindeki arazi kullanımları, güzergâhın çeşitli arazi kullanımlarına yakınlığı, fay hatlarına olan yakınlığı jeolojik, litolojik yapıya ve toprağa uygunluğu da önem arz eden diğer ölçütlerdir. Yer verilme sıklığı az olan ölçütler ise; var olan yolları diğer sistemlerle paylaşabilme olanağı, güzergâh üzerindeki mevcut otoparklar ve kapasiteleri, güzergâhın geçeceği bölgedeki trafiğin mevcut durumu, güzergâhın toplu konut alanlarına yakınlığı, geçeceği bölgedeki topoğrafya, güzergâhın ekolojik yapıya uygunluğu, güzergâh üzerindeki halkın gelir durumu, hattın maksimum verimliliği sağlayabilmesi, güzergâhın uzunluğu, güzergâh boyunca toplam seyahat süresi, yolcu için güzergâhın estetiği ve güzergâh üzerindeki bölgelerdeki Transit Odaklı Gelişim (TOG) potansiyelidir. Kent içi raylı sistem güzergâh planlaması konusunda yalnızca birer makalede bahsedilen ölçütler ise; güzergâh üzerinde bulunan boş parsel oranı, güzergâhın hidrolojik yapıya uygunluğu ve güzergâhın diğer mühendislik karakteristiklerine uygunluğudur.

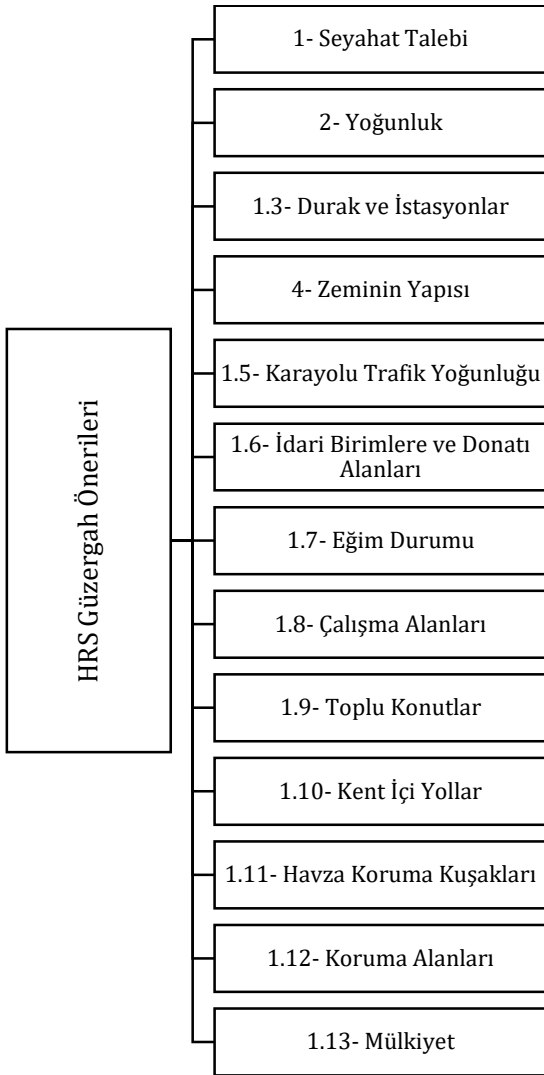
Raylı sistem güzergâh planlama konusu için literatürde yer verilen ölçütlerin sınıflandırılması sonrası, çalışma alanı için özel olarak seçilen ölçütler sunularak araştırma modeli ile materyal ve yöntem ortaya konulmuştur.

2.2. Alt Araştırma Modeli

Bu çalışma ile ülkemiz için giderek önemi artmakta olan raylı sistemler konusunda, sistemin şehirler açısından en önemli bileşeni olan güzergâh belirleme basamağı için çok kriterli ve CBS destekli bir modelin test edilmesi hedeflenmektedir. Elde edilmesi planlanan çıktılar, ülkemizde yükselerek devam edeceği görülen raylı sistem yatırımları için karar vericilere nesnel bir altlık kazandırmış olacaktır. Bu bağlamda ulaşım istenilen sonuç; Kocaeli'de Gebze-Darica ilçeleri arasındaki planlanmış olan HRS güzergâhına benzer öneri etapların belirlenmesi ve bu önerilerin planlanmış olan güzergâh ile entegrasyonunun değerlendirilmesi metodun uygunluğunun denenmesidir. HRS güzergâhlarının belirlenmesinde ÇKKV ile CBS'yi birlikte değerlendiren bir metodun test edilmesi ve sonuçlarının mevcut güzergâh seçimi ile kıyaslanması amaçlanmaktadır.

Literatürde yer alan kent içi raylı sistem güzergâh belirleme ölçütlerinin incelenmesinin ardından Gebze ve Darıca ilçeleri için değerlendirilmesi gereken ölçütler Kocaeli kentinde mekânsal olarak elde edilebilirlikleri ve mekânsallaştırılabilir potansiyelleri çerçevesinde belirlenmiştir. Bu ölçütler: İdari Birimlere ve Donatı Alanları, Çalışma Alanları, Toplu Konutlar, Koruma Alanları (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları), Havza Koruma Kuşakları, Eğitim Durumu, Zemin Durumu (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar vb.), Seyahat Talebi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar), Yoğunluk (Nüfus Yoğunluğu), Mülkiyet, Durak ve İstasyonlar (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray ve Vapur İskeleleri), Karayolu Trafik Yoğunluğu ve Kent İçi Yollarıdır. Bu ölçütler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Gebze ve Darıca bölgesi için en uygun HRS güzergâh tasarım ölçütleri



Sonraki paragraflarda Gebze ve Darıca bölgesi için belirlenen ölçütler hakkında açıklamalara yer verilerek literatürde de belirtilen alt kırılım değerleri vurgulanmıştır.

Yolculuk üretimi, raylı sistemler için mobilite yani hareketlilik olarak anlaşılabilir. Bu konsept, bir bölgedeki kişilerin belirli bir zaman içinde ne kadar yolculuk yaptığını anlatmaktadır. Hareketliliğin yarar

veya memnuniyet değeri, bir HRS koridoru ile sağlanan artan yoğunluk değeri ile tespit edilmektedir. Literatürde yüksek ve düşük yoğunluklu yerleşim alanlarına uygun değerlendirmeler yapmak gerektiğini ve km² başına düşen kişi sayısının 10.000-15.000 aralığında olan bölgelere yakın yerlere HRS planlamak gerektiğini vurgulanmıştır. En yüksek verimliliğe ulaşılabilmesi için HRS aracındaki yolcuların seyahat sürelerinin düşürülmesi uygun olacaktır (Ludin & Latip, 2006).

Raylı sistem hattının geçeceği bölgelerde yüksek yoğunluklu nüfus yerleşiminin olması da çok önemli fayda ve yüksek kapasiteli bir hat sağlayacaktır. Nüfus yoğunluğunun düşük olduğu yerleşim alanlarından geçirilecek hatlar, düşük yolculuk sayılarına ve mali zararlara neden olacaktır (Brunner vd., 2011; Kırılangoğlu, 2014). Nüfusun yoğun olduğu alanlar genel olarak yolculuk talebinin de yüksek olduğu alanlar olmakla beraber özellikle merkezi iş alanlarında bu kural geçerli değildir. Bu bölgelerde kalıcı nüfus (gece nüfusu) olmadığı ve iş merkezleri olduğu için bu alanların nüfus büyüklükleri çok düşük olmaktadır (Kırılangoğlu, 2016; El-Hallaq & El-Yazory, 2017).

Yolculuk sürelerinin uzun olduğu ve bir ulaşımı tamamlamak için birden fazla aktarma yapıldığı bir şehirde, tüm ulaşım sisteminin birbirine entegre olması gerekmektedir. Yolcuların diğer toplu taşımaya aktarma yapmadığı bir raylı sistem, istenilen hizmet düzeyine gelemeyecek ve yolcuların da ilk tercihi olamayacaktır (Kırılangoğlu, 2014). Büyük kentlerde tek toplu taşıma aracına binerek ve başka hiçbir aracı kullanmadan yapılan yolculuk sayısı görece azdır. Evden işe, işten eve, evden okula, okuldan eve vb. seyahatler incelendiğinde toplu taşımada aktarma sisteminin yoğun olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, uygulanacak raylı sistem hattına ait istasyonların diğer toplu taşıma durakları ile olan mekânsal ilişkisinin çok iyi şekilde planlanması gerekmektedir (Kırılangoğlu, 2014). HRS istasyonlarından birinin, önemli ulaşım düğümlerinden birine maksimum 400 metre mesafede yer alması gerekmektedir (Rosenberg & Esnard, 2008). Bu konuda önemli bir diğer nokta diğer ulaşım sistemleriyle olan bağlanabilirliğin maksimize edilmesidir (Farkas, 2009).

Yapı inşası için değerlendirilen zemin ile ilgili sınırlamalar raylı sistemler için geçerli de geçerli sayılmaktadır. Yer üstünde giden tramvay ve HRS gibi toplu taşıma modlarındaki gevşek ve güçsüz zeminler yer yer çökmelere neden olacak ve sistemi büyük zarara uğratabilecektir. Yer altında bu problemin yönetimi teknoloji olanakları ile zor da olsa mümkün kılınmakla beraber, uygulanacak uygun sondajların neticeleri değerlendirilmeli ve güzergâh bu şekilde ayarlanmalıdır. Alçıtaşı, yüksek sülfat içerikli yapılar, taşıma kapasitesi, sığ dolgu ve derin dolgu alanları ve nehirler jeoteknik ve jeolojik uygunluk ölçütü için dikkate alınmalıdır (Ahmed & Asmael, 2015). Zeminin mekaniği, müdahaleci kaya yapısı ve tabakalaşmanın dikkate alınması gerekmektedir (Farkas, 2009).

Bir raylı sistem uygulanmadan önce o bölgedeki trafik yoğunluğu iyi analiz edilmelidir. Ülkemizde bu konudaki veri Trafik Analiz Bölgeleri (TAB) sistemi ile düzenli olarak belirli bölgelerde kaydedilmektedir. HRS için bu verinin kullanılacağı bağlam ise trafik sıklığı olan bölgelere HRS planlamak olarak karşılık

bulmaktadır. Raylı sistemin, trafiği yoğun olan bir güzergâha uygulanmasının iki büyük yararı vardır. İlk yararı, raylı sistem uygulandıktan sonra özel araçlarından vazgeçip raylı sistemi seçen yolcuların daha ucuz ve daha hızlı bir yolculuk yapmalarınıdır. İkinci yararı ise raylı sistemi kullanmayı seçmeyip özel araçları ile yolculuğa devam etmeyi seçenlerin daha açık bir yolda trafik sıkışıklığı yaşamadan yolculuk edebilmeleridir (El-Hallaq & El-Yazory, 2017).

HRS istasyonlarından birkaçının, bölgedeki kamu, eğitim kurumları vb. önemli alanlara en fazla 500 metre mesafede yer alması gerekmektedir (Ludin & Latip, 2006). HRS istasyonlarından birinin, yüksek yoğunluklu çalışma alanlarının en fazla 400 metre yarıçapı içerisinde olmalıdır (Rosenberg & Esnard, 2008).

Raylı sistemler gibi yer altından gidebilen ve arazi eğiminden etkilenmiyor gibi görünen sistemlerde de güzergâhtaki kot farklılıkları özellikle istasyon bölgelerinde büyük sorunlar oluşturmaktadır. Eğitim sebebiyle istasyon derinlikleri artmakta ve bu da yolcuların 35-40 metre bazen daha da fazla merdiven inip çıkmaları neticesini doğurmaktadır. Bu da vakit, enerji ve ekonomik yönden ciddi kayıplara yol açmaktadır (Kırlangıçoğlu, 2014). Genel kabul olarak HRS'de kullanılacak maksimum eğim %7'yi geçmemelidir (Valley Metro, 2018). HRS'ler için uygun görülen maksimum eğimin %6 olduğu da bazı kaynaklarda belirtilmiştir (Hamilton Public Works, 2020).

Planlaması yapılan raylı sistem güzergâhlarının özellikle MİA ve sanayi bölgelerinden geçmesi önemli bir tercihtir. Böylelikle bu bölgelerde çalışan, özel araçları veya otobüslerle ulaşan yolcuların hızlı bir raylı sisteme geçiş yapmaları sağlanacaktır. Bunun dışında, bu bölgelerde çalışmayan fakat bu bölgelerde işi olan insanların da ulaşmalarının nasıl sağlanacağını planlanarak bir taşıma kapasitesi oluşturulması gerekmektedir (Kırlangıçoğlu, 2014).

Toplu konut alanlarında hayatlarını sürdürenlerin işlerine, okullarına ve diğer gereksinimlerine ulaşmaları ciddi şekilde değerlendirilmeli ve bu alanlardan özel araçlarla şehir merkezine olan yolculuklar imkân dâhilinde azaltılmalıdır. Planlanan raylı sistem güzergâhı toplu konut alanlarına ne derece yakın olursa o seviyede faydalı olacaktır (Kırlangıçoğlu, 2014). HRS istasyonlarından en az birinin güzergâhtaki toplu konut alanlarına en fazla 400 metre uzaklıkta yer alması gerekmektedir (Rosenberg & Esnard, 2008).

Farklı ulaşım seçeneklerinin aynı mekânı paylaşması olarak açıklanabilecek ölçüt olan var olan yolları paylaşma olanağı, HRS'lerin avantajlarından biri olarak görülebilmektedir. Ulaşım modlarının alternatiflendirilmesi, halkın opsiyonlarını arttıracaktır

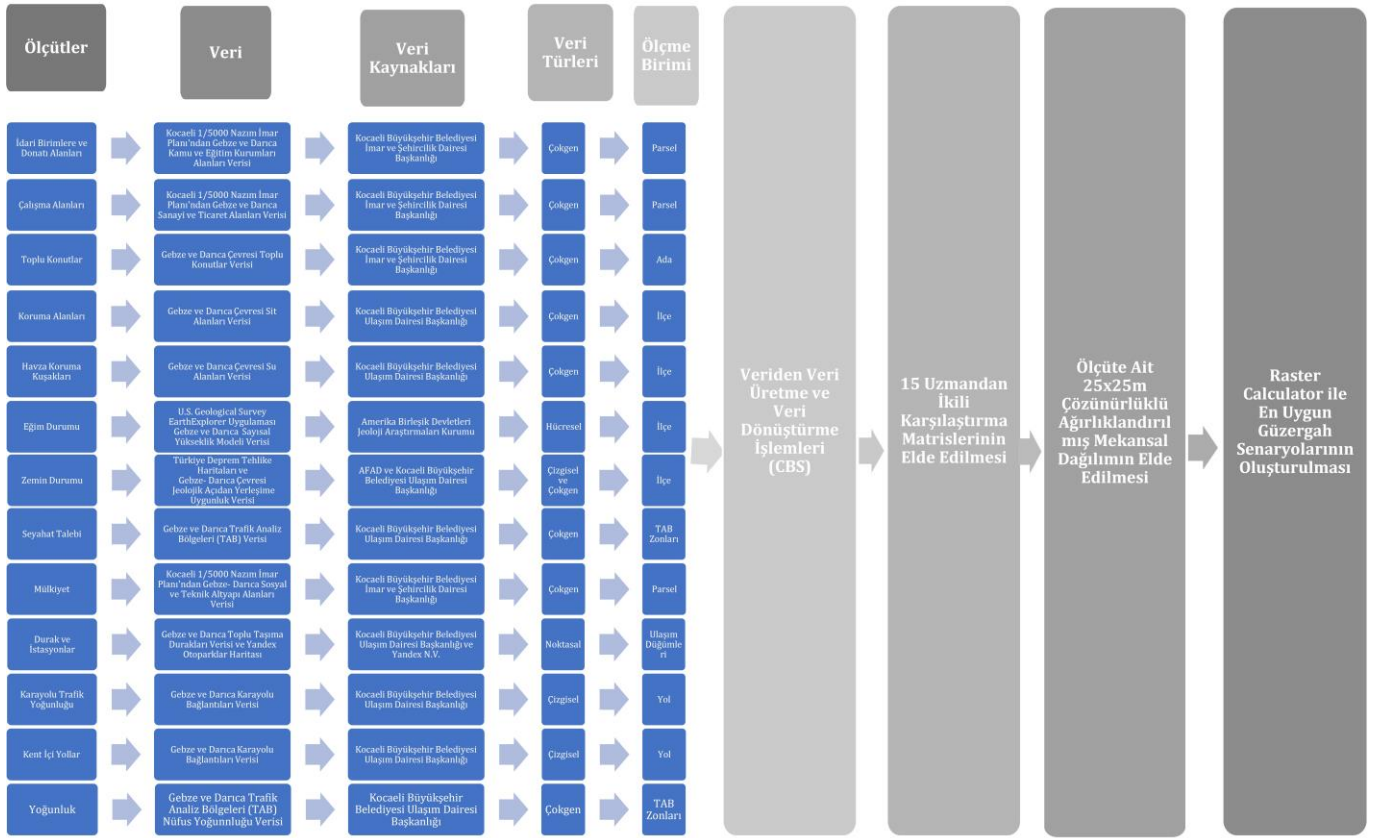
için hayat kalitesini yükseltmeye uygun bir çözüm olarak anlaşılabilir. Bu konseptte HRS'lerin mevcut olan diğer ulaşım modları ile aynı yolu paylaşarak hizmet etmesi her iki mod için karşılıklı olarak pozitif tesirli olmaktadır (Banai, 2006). Akademik çalışmalarda bu konuda sayısal sınır değerleri net olarak belirlenmiş olmamakla birlikte 20 metreden dar yolar veto edilip 20 metreden geniş yollar paylaşma olanağı için uygun görülebilmektedir (Brunner vd., 2011).

Havza koruma kuşakları gibi yüksek nüfusa ve yolculuk değerlerine sahip olmayan bölgelerden raylı sistem geçirilmesi mantıklı görülmemen bir durumdur. Baraj ve göllerin etrafındaki havza koruma kuşakları kentleşmeye büyük sınırlamalar getirmektedir. Raylı sistem güzergâh tasarımı yapılırken bu alanlar mutlaka dikkate alınmalıdır (Kırlangıçoğlu, 2014). Ekolojik olarak korunan tüm alanları raylı sistem güzergâh tasarımı için yapılan değerlendirme sırasında edilmeli yani bu alanlarda raylı sistem olmamalıdır (Farkas, 2009).

Raylı sistem güzergâh planlama prosesinde konu genellikle yolculuk rakamları, eğimin durumu, teknolojik ve ekonomik sınırlar gibi ölçütler üzerinden değerlendirilmektedir. Fakat bu süreçler ve uygulama neticesinde çevreye mümkün mertebede zarar verilmemesi gerekmektedir. Bu nedenle kentsel, tarihi, arkeolojik, doğal ve karma sit alanlarına gereken değer verilerek güzergâhlar o şekilde planlanmalıdır (Kırlangıçoğlu, 2014).

Raylı sistem yapılabilirlik çalışmaları ve güzergâh tespiti aşamalarında kamulaştırma süreçlerine önem verilmektedir. Planlanan güzergâhta fazla sayıda istimlak gerekliliği olması, kanuni ve ekonomik bakımdan aksamalar yaşanacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle kamulaştırma ihtiyacı olan mülkiyetlerdense imkân dâhilinde belediyelere veya hazineye ait araziler uygulamada kullanılmalıdır. Şahsi mülkiyetteki alanlara denk gelen istasyonlara özel değerlendirmeler yapılması gerekmektedir (Ludin & Latip, 2006). Güzergâh belirleme aşamasında devlete ait olan alanların seçilmesi daha uygun olacaktır (Rosenberg & Esnard, 2008). Özel mülkiyet sahipliğinde olan alanlarda ise üzerinde yapı olmayan alanların seçilmesi makul olacaktır. Raylı sistemin her bir kilometresinin geçireceği rotadaki maliyetinin ne kadar olması gerektiği konusunda ise bu makalede, raylı sistem uygulamak için seçilecek olan parsellerin, şehirdeki tüm parsellerin ortalama değerinden daha düşük değerde olan parsellerden seçilmesi gerektiğini vurgulanmıştır (Rosenberg & Esnard, 2008).

Çalışma, yukarıda verilen ölçütler üzerinde yapılan işlemler üzerine kurulmaktadır. Değişkenleri ve Metodolojiyi özetleyen araştırma süreci Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Metodoloji akışı

2.3. Materyal ve Yöntem

Çalışma, yöntem olarak Çok Kriterli Karar Verme ve coğrafi bilgi sistemlerinin bir arada kullanıldığı araştırmalar grubunda yer almaktadır.

Çok Kriterli Karar Verme, karar problemleri için verimli çıktılar oluşturan bir sistemdir. Çeşitli karar ölçütleri altında karar problemleriyle ilgilenen genel yöneylem araştırma modelleri sınıfının bir koludur. En çok kullanılan ÇKKV metotları; ELECTRE, TOPSIS, PROMETHEE, SAW, Analitik Ağ Süreci, Analitik Hiyerarşi Süreci'dir. ÇKKV yöntemlerinin kombinasyonları ile de çeşitli uygulamalar mümkündür (Gal vd., 2013).

Analitik Hiyerarşi Süreci, tüm yöntemler içinde en sık kullanılanlarındandır. AHS, katılımcıların İkili Karşılaştırma (Pairwise Comparison) yöntemi kullanarak kilit ölçütleri değerlendirmesini sağlamaktadır (Saaty, 1990). Bu yaklaşımla, katılımcı her defasında sadece iki ölçütü özel olarak karşılaştırır. Bu metot ile kararını vermekte ve tüm ölçütlerin tek tek tercih ağırlıklarını tespit etmektedir. Karşılaştırmalar objektif ölçümler kullanılarak veya subjektif değerlendirmeler ile yapılmaktadır. Uzman grupları veya toplumdaki katılımcılar da bu karşılaştırma evresinde tartışıp, seçtikleri ölçüt için değerlendirme yapabilmektedir (Brunner vd., 2011). AHS ile probleme ilişkin ana hedef, ölçütler, nitelikler, alt ölçütler ve seçenekler arasındaki ilişki hiyerarşik bir düzende kurgulanmaktadır. Bu sürecin en önemli niteliklerinden birisi nesnel ve öznel tercihlerin karar alma sürecine aynı anda dahil edilmesidir. AHS ile bilgi, deneyim, bireyin öznel düşünceleri ve öngörülerini belirli bir mantık çerçevesinde bir araya getirilir. AHS ile kişileri, nasıl

karar almaları gerektiği hususunda bir yöntem kullanmaya zorlamak yerine kendi karar alma düzeneklerini keşfedip bu şekilde daha verimli kararlar almaları amaçlanmaktadır (Akad & Gedizlioğlu, 2007; Kırılangoçlu, 2016).

Coğrafi Bilgi Sistemleri, koordinatları belirlenmiş coğrafi verinin oluşturulup kullanılabilir hale getirilmesi, yönetilmesi, işlenmesi, sorgulanması, analizi, sunulması ve rapor edilmesi işlemlerinin yapılabildiği yazılım, donanım ve yöntemlerin birleşimidir (Miller, 2001; Jones, 2013).

CBS'yi kullanışlı kılan özelliklerden bir tanesi, sözel bilgileri de coğrafi mekâna entegre edebilme imkânı sunmasıdır. Bu sayede sözel bilgiler ait oldukları coğrafi alanlar ile ilişkilendirilebilir ve görselleştirilebilir. CBS, mekânsal bilgileri katman (layer) ve öznel tablolara (attribute tables) yardımı ile organize etmektedir (Lo & Yeung, 2007; Heywood, 2011). CBS içerisindeki alansal veri setleri coğrafi olarak ilişkilendirildiği takdirde birer gerçek yeryüzü konumuna sahip olurlar. Katmanlar arasındaki pek çok mekânsal ilişki ortak coğrafi mekânlar üzerinden kolayca sağlanabilir. CBS, araçları yardımıyla basit veri katmanlarını obje sınıfları olarak yönetir ve bu veri katmanlarıyla birçok ilişki ortaya koyabilir (Chang, 2002; Longley vd., 2015). Bu çalışmadaki veri işlemlerinde, CBS bilgisayar uygulaması olan ArcGIS kullanılmıştır.

Harita Cebri (Map Algebra), ArcGIS'in Mekânsal Analiz araç kutusunun önemli araçlarından birisidir. İçeriğindeki operatör ve fonksiyonların kullanımı ile verinin hassas analizlerinin yapılmasına imkân sağlar. Coğrafi analiz yapmak için tüm Mekânsal Analiz araçlarının, operatörlerinin ve işlevlerinin yürütebileceği

basit ve güçlü bir sistemdir (Zeiler, 1999; Burrough & McDonnell, 2015).

Harita Cebri, matematiksel bir dilde ifadeler oluşturarak mekânsal analiz yapmanın bir aracıdır. Harita Cebri alt başlığında bulunan tek araç olan Raster Hesaplayıcı (Raster Calculator) ile bir raster veri kümesi çıkaran matematiksel ifadeler ve rasterlar kolayca oluşturulabilmektedir (Mitchell, 1999; Pucha-Cofrep vd., 2018). Raster, genellikle dörtgen şeklinde olan pikselleri (renk noktaları) temsil eden veri yapısıdır. Raster Hesaplayıcı'nın çalışma mantığı, girilen raster veriler üzerindeki sayısal değerleri kullanarak, matematiksel işlemler yardımıyla yeni raster değerlemeleri yapılmasını sağlamak üzerine kurulmuştur. Bu araç ile piksellere sayısal değerler atanarak bir algoritma oluşturulabilir veya önceden var olan bir veya daha fazla raster katmanından yeni bir raster türetilir (Mitchell, 1999; Pucha-Cofrep vd., 2018).

Gebze ve Darıca bölgeleri için çalışmada belirlenen değişkenleri temsil etmesi için elde edilmesi gereken veriler; Nazım İmar Planları, Arazi Kullanımı, Sit Alanları, Su Yüzeyleri, Deprem Bölgeleri, Sayısal Yükseklik Modeli, Ulaşım Ağı, Toplu Taşıma Durakları ve Otopark Alanlarının Konumları, Yerleşime Uygunluk Haritaları, Trafik Analiz Bölgeleridir. Belirlenen çalışma alanı ve araştırma konusu için ihtiyaç duyulan mekansal veri Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nden ham veri olarak elde edilmiştir.

Ham olarak elde edilmiş verilere ArcGIS'de uygun işlemler yapılmadan önce, belirlenen ölçütlerin bu çalışmadaki ağırlıklarını belirleyebilmek için Çok Kriterli Karar Verme süreci başlatılmıştır.

Çalışmada yöntem olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) seçilmiş ve İkili Karşılaştırma Analizi (Yöntemi) uygulanmıştır. İkili Karşılaştırma Analizi uygulamasında amaç, önceden belirlenmiş olan ölçütlerin önem sıralamasının oluşturulmasıdır. Bu sıralamanın yapılabilmesi için tüm ölçütler, kendileri dışında kalan diğer ölçütlerle ikili olarak karşılaştırılarak birbirlerine göre önem düzeyleri sayısal ifadeler ile uzmanlara iletilen anketler yardımıyla belirlenmiştir. Uzmanların ulaşım planlama konusunda yetkin ve Gebze-Darıca bölgesinin gereksinimlerini bilen kişiler olmasına özen gösterilmiştir. Bu uzmanlar 3 şehir plancısı akademisyen, 5 inşaat mühendisi akademisyen, 1 harita mühendisi akademisyen, 5 belediye çalışanı şehir plancısı ve 1 serbest şehir plancısı olmak üzere toplam 15 kişidir.

İkili karşılaştırma tablolarından oluşan "Uzman Ölçüt Değerlendirme Formu" 15 uzmana iletilerek, ölçütleri birbirleriyle karşılaştırarak önem derecelerini belirlemeleri istenmiştir. Bu önem (ağırlık) sıralaması her bir uzman tarafından yapıldıktan sonra teslim alınan değerlendirme formları AHS yazılımı olan Expert Choice (Expert Choice, 1993) desteği ile "Ölçüt Ağırlık Seviyeleri"ne dönüştürülmüştür. Bunun dışında her ölçüte kendi içinde alt ağırlıklandırmalar (kırılımlar) uygulanmıştır.

İkili Karşılaştırma Analizi'nin tamamlanması sonrası ArcGIS yazılımında, sonuç haritasının oluşturulabilmesi için tüm ölçütlere ait veriden veri üretme ve veri dönüştürme işlemleri yapılmıştır. ArcMAP (ArcGIS'in ana bileşeni) araçları (Multiple Ring Buffer, Polygon to Raster, Polyline to Raster, Slope

Analyst vb.) ile ulaşılan sonuç verisi, tüm ölçütlere ait bir kenarı 25 metre olan kareler ile ifade edilen piksel formatındaki ağırlıklandırılmış mekansal dağılımdır.

Bu aşamada ölçüt ağırlıkları işleme dahil olmuştur. İlk olarak her bir ölçüte ait olan alt ağırlıklandırmanın sayısal değerleri normalize edilmiştir (en büyük değer 1 olarak kabul edilerek kalan değerler 0-1 aralığında değerler almıştır). Her bir ölçüte ait alt ağırlıklandırma normalize değerleri (x), ölçüt ana ağırlıklandırma değeri (y) ile ve ardından hesap kolaylığı amacıyla 1.000 değeri ile çarpılarak "Nihai Alt Ağırlıklandırmalar" (x. y. 1.000) elde edilmiştir. Ortaya çıkan bu ağırlıklandırmalara, "Standart Puan" veya "Uygunluk Puanı" adları da verilebilir. Devamında bu nihai alt ağırlıklandırma değerleri Reclassify (Yeniden Sınıflandırma) aracı ile ait olduğu piksel değerlerine işlenmiştir. Bu pikseller bir araya gelerek Gebze ve Darıca ilçe sınırları boyutundaki Raster Görüntü Haritalarını oluşturmaya uygundur. Bu Raster Görüntü Haritalarında her bir piksele ait 0 ile 1.000 arası değişen değerler ortaya çıkmıştır. En yüksek değerlere sahip pikseller ilgili ölçüt kapsamında güzergâhın geçebileceği potansiyel konumları ifade etmektedir.

Çalışmanın son bölümünde, raster formatında "Ağırlıklandırılmış Mekansal Dağılım Haritaları" elde edilmiştir. Son olarak ArcMAP'in Raster Hesaplayıcı (Raster Calculator) aracı kullanılarak bu ölçütlere ait Raster Görüntü Haritaları'nın tüm piksel değerleri matematiksel olarak toplanarak "Ağırlıklandırılmış Nihai Mekansal Dağılım Haritası" elde edilmiştir. Aracın kullanımı için bir örnek Şekil 3'te gösterilmiştir. Sol tarafta yer alan raster katmanının tüm piksellerini 5 ile çarpmaktan oluşan basit bir işlem görülmektedir. Sonuç ise sağ tarafta görülen yeni bir raster katmanında saklanmaktadır (Pucha-Cofrep vd., 2018).

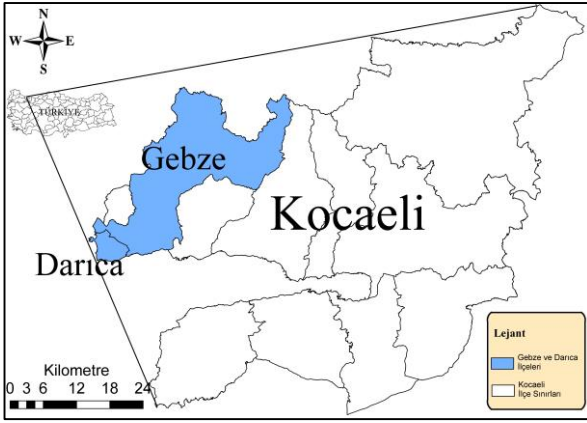
2	2	3	4	x 5 =	10	10	15	20
3	5	2	5		15	25	10	25
5	3	3	2		25	15	15	10
2	4	5	3		10	20	25	15

Şekil 3. Temel bir Raster Calculator işlemi

2.4. Çalışma Alanı: Gebze-Darıca Hafif Raylı Sistem Hattı

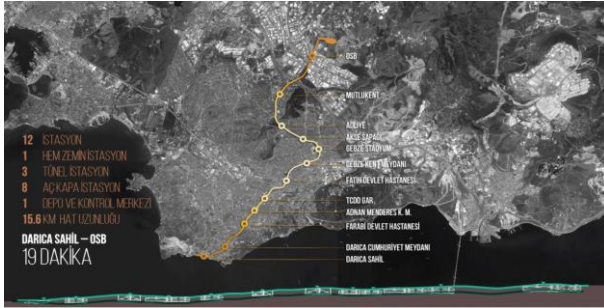
Gebze ve Darıca'nın, İstanbul ve Kocaeli gibi ulusal yatırımların büyük bölümünü oluşturan iki şehir arasında köprü görevi görüyor olması, bu iki ilçenin önemini gün geçtikçe arttırmaktadır. Fakat artan önemi, nüfus yoğunluğu ve yolculuk taleplerine karşın iki ilçe arasında yalnızca doğu-batı doğrultusunda raylı sistem ulaşımı sağlanmaktadır. Kuzey-güney doğrultusunda ise mevcut durumdaki yolculuk talepleri, özel araçların yoğun olarak kullanıldığı karayolu ulaşımı ile sağlanmaktadır. İlçelerin sadece doğudaki Kocaeli ve batıdaki İstanbul ile değil, ayrıca birbirleri ile ve kuzey kesimi ile olan ulaşım entegrasyonlarının kurulabilmesi için bölgeye verimli ve yeterli kapasitede bir raylı sistem gerekmektedir. Bu sisteme duyulan gereğin diğer nedeni de bölgedeki yükselen özel araç sahipliği neticesi ortaya

çıkan ulaşım problemleridir. Şekil 4'te çalışma alanı olan Gebze ve Darıca'nın konumu verilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanı

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından ulaşım ve imar planlarının değerlendirilmesiyle ulaşım sorunlarına çözüm getirmek, gelişim ve kalkınmanın sürdürülmesi ve yaşam kalitesinin artırılması amacıyla Gebze ve Darıca arasında raylı sistemi inşa edilmesine karar verilmiştir (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2018a). Değerlendirmeler neticesinde hattın bir HRS olarak planlanması uygun görülmüştür. Kocaeli 2035 Yılı Ulaşım Master Planı çerçevesinde projesi hazırlanan hattın tüm güzergâhta sürücüsüz olarak işletilmesi planlanmaktadır (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2018b). Şekil 5'te hattın güzergâhı verilmiştir.



Şekil 5. Gebze-Darıca HRS hattının güzergâhı (ARUP, 2017).

Hattın projelendirmesinde konforlu, güvenilir, erişilebilir, diğer ulaşım modlarına entegre edilebilir, ekonomik, verimli, uluslararası standartlara uygun ve uygulanabilir olma ölçütlerinin temel hedefler olarak belirlendiği ifade edilmektedir (ARUP, 2017). Güzergâh planlamalarında ilk olarak bölgenin arazi kullanım özellikleri tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde, bölge üzerindeki önemli çekim merkezi olan kamu ve/veya özel kurum ve kuruluşlar tespit edilmiştir. Hattın geçmesi gereken önemli noktalar bu şekilde belirlenmiş ve güzergâh çalışmaları bu noktalar üzerinden ilerlemiştir (ARUP, 2017).

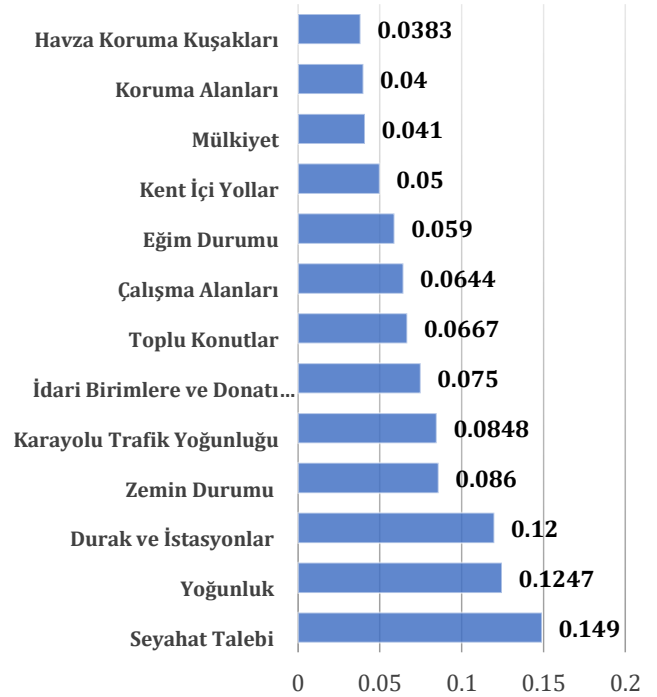
Yapılan ön güzergâh çalışmalarında; koridor çevresi arazi kullanım etütleri, belirlenen çekim noktaları, Kocaeli Ulaşım ve İmar Planları, mevcut ve planlanan yatırımlar, toplu taşıma ile entegrasyon ve zemin özellikleri dikkate alınmıştır. Bunlara ek olarak topoğrafik durum, jeolojik çalışmalar, yolculuk sayıları, planlanan yatırımlar, mevcut altyapı durumu ve

arkeolojik çalışmalar da değerlendirilmek üzere incelenmiştir.

Henüz inşa halinde olan, 2022 sonunda GOSB-Gebze arasındaki kısmın tamamlanmasıyla Marmaray ile entegre olacak projenin 2023 sonunda tamamının işletmeye alınması planlanmıştır (DHA, 2020a; 2020b). Projenin 2035 olarak belirlenmiş olan projeksiyon senesinde, bölgede yapılacak olan 8 milyon yolculuğun 2,3 milyonunun toplu ulaşım ile olacağı ve 55 bin aracın trafikten çekileceği tahmin edilmiştir (DHA, 2020a; 2020b). Bu projenin, İstanbul-Kocaeli yerleşim ve çalışma alanları bağlantıları doğrultusunda, en fazla yolculuk üretimi sağlayan çalışma alanlarına sahip OSB'lere, doğu-batı ve kuzey-güney bağlantısı sağlanması amacı ile oluşturulduğu ifade edilmektedir (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2018b).

3. BULGULAR

AHS kapsamında, ulaşım planlama konusunda gerekli olgunluğa erişmiş ve Gebze-Darıca bölgesinin ihtiyaçlarını bilen 15 uzmana önceden iletilmiş olan İkili Karşılaştırma Anketleri, Expert Choice yazılımına işlenmiş ve bir arada değerlendirilmesi ile Şekil 6'da verilen Nihai Ölçüt Ağırlıklandırma grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6. 15 Uzman görüşü ile tespit edilmiş ölçüt ağırlıklandırmaları (Ağırlıklar toplamı = 1)

AHS kapsamında uzmanlar yardımıyla önceden hesaplanan bağıl ölçüt ağırlıkları, Yolculuk Talebinin Düzeyi ölçütünün en önemli ağırlık olan 0,144'ü aldığını ve ardından 0,129 ile Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanacağı ölçütünün geldiğini göstermiştir. Genel Tutarlılık Oranı (TO) 0,02 sonuçların, Saaty'ye (Saaty, 2008) göre analiz için kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. TO, çalışmaya dâhil edilen ölçütlerin sayısına bağlı olarak artan matrisin satır ve sütun sayısına bağlıdır. İkili Karşılaştırma Analizi'ne giren ölçüt sayısı 7'yi aştığında, TO'nun Saaty'nin önerdiği 0,1'den

daha düşük bir değer olarak hesaplanabilmesi pek mümkün değildir (Saaty & Ozdemir, 2003). Bunun yanında TO örneklem özelliklerine göre de değişkenlik gösterebilmektedir. Bireysel uzman yanıtları için TO 0,10 veya 0,15 ile sınırlandırılırken, aralarında uzman olmayanların da bulunduğu grup yanıtları için TO, Ho ve diğerlerinin önerisine göre 0,20'ye kadar esnetilebilmektedir (Ho vd., 2005).

Elde edilen ölçüt ağırlıklandırılmalarının seviyeleri, literatürdeki benzer veya aynı isimli ölçütlerin kullanılma sıklığı ile büyük oranda örtüşmektedir. En yüksek ağırlığa sahip ilk üç ölçüt olan Yolculuk Talebinin Düzeyi, Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanğı ve Jeoteknik-Jeolojik ve Sismolojik Uygunluk aynı ya da benzer isimlerle (Nüfus Yoğunluğu, Yolculuk Üretimleri, Bağlanabilirlik ve Fay Hatlarına Olan Yakınlık, Jeolojik, Litolojik Yapıda ve Toprağa Uygunluk) diğer alan çalışmalarında da yüksek puan almıştır.

Ölçüt ağırlıklandırma işlemlerinin tamamlanması sonrası ArcMAP'de Gebze ve Darıca bölgeleri için, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Yandex N.V, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (USGS) tüm ölçütlere ait temin edilen verilere dönüştürme ve yeni veri üretme işlemleri uygulanmış, tüm ölçütleri temsil eden veriler 25x25 metrelik karelerden oluşan aynı koordinatlara ve projeksiyon sistemine sahip Raster Haritalar üretilmiştir (Şekil 7).

Diğer verilerden farklı olarak Ulaşım Ağı-Trafik Analiz Bölgeleri verisi mevcut durumun yanında hem 2014 hem 2035 (Gebze-Darıca HRS hattının projeksiyon yılı) yılları için elde edilmiştir. 2035 yılı için tahmin edilen verinin kullanımı, raylı sistemlerin işletmeye alındıktan sonra uzun yıllar boyunca kullanılma potansiyeline sahip olmasından ötürü, çalışmanın sonuçlarının geleceğe yönelik olmasına önemli katkı sağlamaktadır. Çalışmanın gelecekteki uygulamalara yol gösterici olabilmesi açısından Ulaşım Ağı-Trafik Analiz Bölgeleri verisinin 2035 projeksiyonu sonuç haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır (Şekil 7). Haritaların lejantlarında, Tablo 2'de de detaylı olarak verilen ölçüt alt kırılımları görülebilir.

Şekil 7'deki haritaların lejantlarında verilen alt kırılımların ve bu alt kırılımların alacakları farklı normalize değerlerin belirlenme aşaması, çalışmanın en özgün kısmını oluşturmaktadır. Çalışmadaki tüm alt kırılım değerleri için standardizasyon sağlanabilmesi adına bu değerler normalize edilerek 0 ile 1 arasında değerlere atanacaklardır. Alt kırılımların normalize olduğu bu aşamada 0 değeri HRS güzergâhı için uygunluktan en uzak değerleri, 1 değeri de HRS güzergâhı için en uygun değerleri ifade etmektedir (Tablo 2'nin en üst kısmı).

Seyahat Talebi ölçütü için alt kırılım değerleri 0-6.000, 6.000-10.000, 10.000-15.000, 15.000-20.000 ve 20.000+ yolculuk (1 TAB Başına Düşen Günlük Sayı) olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1 değerleri uygun görülmüştür.

Yoğunluk ölçütü için alt kırılım değerleri 0-50, 50-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-300, 300-350, 350-400 ve 400-450 kişi/hektar olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla

0,0,125, 0,25, 0,375, 0,5, 0,625, 0,75, 0,875 ve 1 değerleri uygun görülmüştür.

Duraklar ve İstasyonlar ölçütü otobüs durakları, Marmaray istasyonları ve vapur iskeleleri ve otoparklar alt ölçütlerinden oluşmaktadır. Otobüs duraklarına yakınlık için alt kırılım değerleri 0-250, 250-500, 500-750 ve 750+ metredir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0,35, 0,15, 0,05 ve 0 değerleri uygun görülmüştür. Marmaray istasyonları ve vapur iskelelerine yakınlık için alt kırılım değerleri 0-250, 250-500, 500-750, 750-1500 ve 1500+ metredir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0,65, 0,45, 0,25, 0,1 ve 0 değerleri uygun görülmüştür. Otoparklara yakınlık için alt kırılım değerleri 0-250 ve 250+ metredir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0,35 ve 0 değerleri seçilmiştir.

Zemin Durumu ölçütü jeoteknik-jeolojik uygunluk ve sismolojik uygunluk alt ölçütlerinden oluşmaktadır. Jeoteknik-jeolojik uygunluk ölçütü için alt kırılım değerleri Uygun Olmayan Alan, Ayrıntılı Jeolojik Etüt Gerektiren Alan, Önlemler Alan ve Uygun Alandır. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0, 0,2, 0,4 ve 1 değerleri uygun görülmüştür. Sismolojik Uygunluk ölçütü için alt kırılım değerleri 0-2, 2-5, 5-10, 10-30 ve 30+km'dir (Aktif Faylara Uzaklık). Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0, 0,25, 0,5, 0,75 ve 1 değerleri uygun görülmüştür.

Karayolu Trafik Yoğunluğu ölçütü için alt kırılım değerleri Karayolu Dışı, 0- 285, 285- 688, 688- 1.091, 1.091- 1.494, 1.494- 1.897, 1.897- 2.300, 2.300- 2.702 ve 2.702- 6.233 taşıt/2pikasaat'tir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0, 0,125, 0,25, 0,375, 0,5, 0,625, 0,75, 0,875 ve 1 değerleri kullanılmıştır.

İdari Birimler ve Donatı Alanları ölçütü için (yakınlık) alt kırılım değerleri Alanın İçinde, 0-250, 250-500, 500-750, 1000-1.500 ve 1.500+metredir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 1, 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 ve 0 değerleri uygun görülmüştür.

Eğitim durumu ölçütü için alt kırılım değerleri 0-4,50, 4,5-7, 7-12 ve 12+ eğitim yüzdeleri olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 1, 0,8, 0,4 ve 0 değerleri uygun görülmüştür.

Çalışma Alanları ölçütü için (yakınlık) alt kırılım değerleri Alanın İçinde, 0-250, 250-500, 500-1.000, 1000-2500 ve 2.500+metredir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 1, 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 ve 0 değerleri uygun görülmüştür.

Toplu Konut Alanları ölçütü için (yakınlık) alt kırılım değerleri Alanın İçinde, 0-1.000, 1.000-2.000, 2.000-3.000 ve 3.000+metre belirlenmiştir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 1, 0,75, 0,5, 0,25 ve 0 değerleri kullanılmıştır.

Kent İçi Yollar ölçütü için alt kırılım değerleri <10 ve ≥10 metre yollar şeklinde belirlenmiştir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0 ve 1 olarak belirlenmiştir.

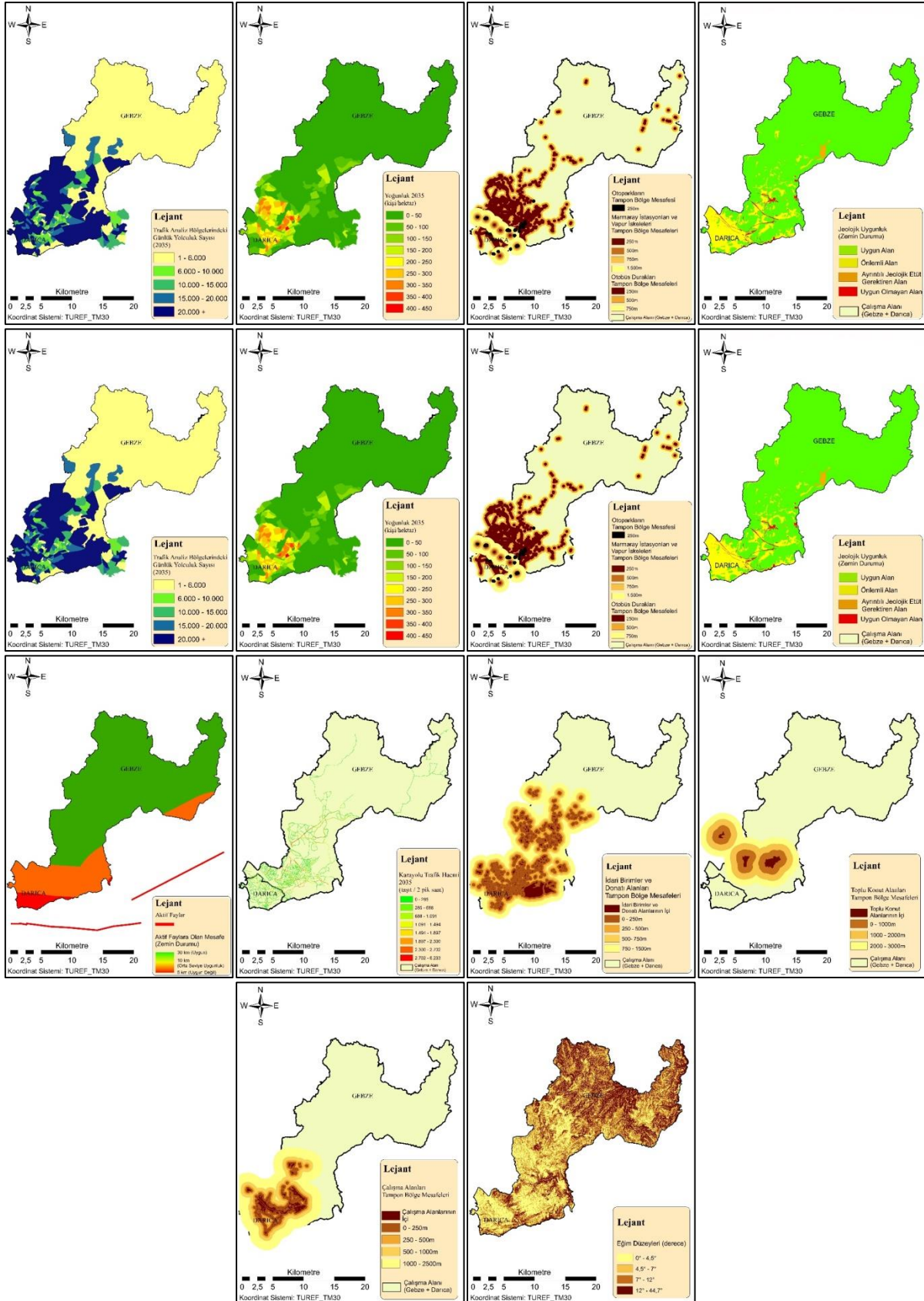
Havza Koruma Kuşakları ölçütü için (uzaklık) alt kırılım değerleri 0-300, 300-1.000, 1.000-2.000, 2.000-5.000 ve 5.000+metre olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0, 0,25, 0,5, 0,75 ve 1 seçilmiştir.

Koruma Alanları ölçütü için (uzaklık) alt kırılım değerleri 0-100, 100-250, 250-500, 500-1.000, 1000-

2500 ve 2.500+metredir. Bu değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1 belirlenmiştir.

Mülkiyet ölçütü için alt kırılım değerleri Şahıs ve Kamu mülkiyetidir. Değerlerin de normalize alt kırılım değeri olarak sırayla 0,4 ve 1 belirlenmiştir.

Tablo 2’de, Şekil 7’deki haritaların lejantlarında yer alan alt kırılımlar ile ilgili tüm detaylar bir arada verilmiştir



Şekil 7. Çalışmadaki tüm ölçütlerin yeniden sınıflandırılmadan önceki analizi

Tablo 2. Ölçüt ana ağırlıkları ve ölçüt alt kırılım değerleri

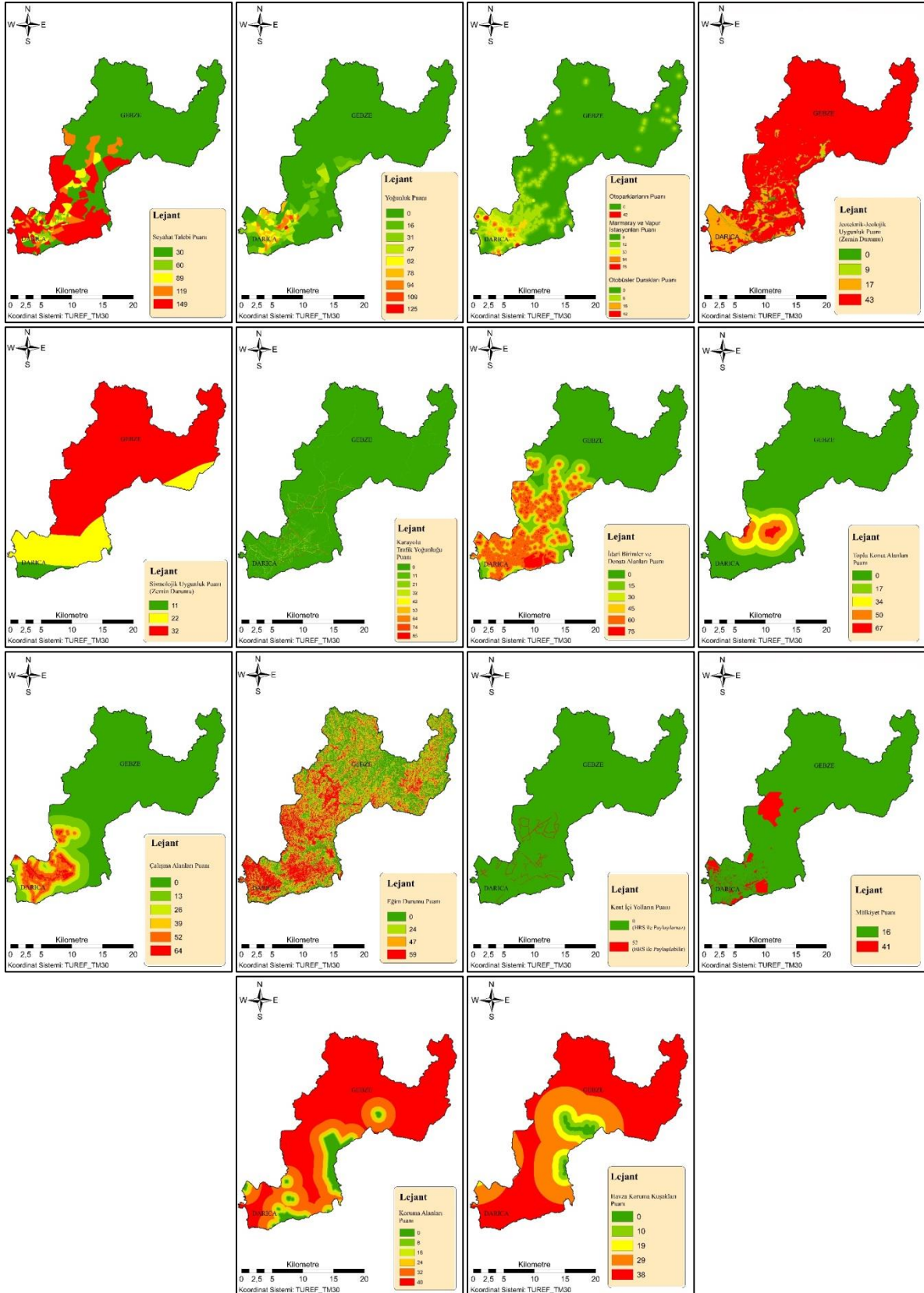
Ölçüt Adı	Ölçüt Ana Ağırlık	Ölçüt Alt Başlığı	Ölçüt Alt Kırılımları						Alt Kırılımın Birimi
			Ara Değerler (0,1- 0,2- 0,8 -0,9)						
	AHS		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; transform: rotate(-45deg);">Azalan Normalize Alt Kırılım Değeri (0'a doğru)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; transform: rotate(45deg);">Artan Normalize Alt Kırılım Değeri (1'e doğru)</div> </div>						
Seyahat Talebi	0,149		0-6.000	6.000-10.000	10.000-15.000	15.000-20.000	20.000+	1 TAB Başına Düşen Günlük Yolculuk Sayısı	
Yoğunluk	0,125		0-50	50-100	100-150	150-200	200-250...	kişi/hektar	
			...250-300	300-350	350-400	400-450			
Durak ve İstasyonlar	0,120	Otobüs Duraklarına Yakınlık		750+	500-750	250-500	0-250	metre	
		Marmaray İstasyonu ve Vapur İskelelerine Yakınlık	1500+	750-1500	500-750	250-500	0-250	metre	
		Otoparklara Yakınlık				250+	0-250	metre	
Zemin Durumu	0,086	Jeoteknik-Jeolojik Uygunluk		Uygun Olmayan Alan	AJE Gerektiren Alan	Önlemlenilen Alan	Uygun Alan	Uygunluk Değerlendirmesi	
		Sismolojik Uygunluk	0-2	2-5	5-10	10-30	30+	Fay Hatlarına Uzaklık (kilometre)	
Karayolu Trafik Yoğunluğu	0,085		Karayolu Dışı	0-308	308-800	800-1.288	1.288-1.777...	Karayolu Trafik Hacmi (taşıt/2pikasaat)	
				...1.777-2.267	2.267-2.756	2.756-3.246	3.246- 6.674		
İdari Birimlere ve Donatı Alanları	0,075	1.500+	750-1.500	500-750	250-500	0-250	Kurumların İçinde	metre	
Eğim Durumu	0,059			12+	7-12	4,5- 7	0- 4,50	Eğim Düzeyleri (%)	
Çalışma Alanları	0,064	2.500+	1.000-2.500	500-1.000	250-500	0-250	Alanların İçinde	metre	
Toplu Konutlar	0,067		3.000+	2.000-3.000	1.000-2.000	0-1.000	Alanların İçinde	metre	
Kent İçi Yollar	0,050					<20	≥20	Paylaşılabilir Yol Genişliği (m)	
Havza Koruma Kuşakları	0,038		0-300	300-1.000	1.000-2.000	2.000-5.000	5.000+	metre	
Koruma Alanları	0,040	0-100	100-250	250-500	500-1.000	1000-2500	2.500+	metre	
Mülkiyet	0,041					Şahıs	Kamu	Mülkiyet Sahibi	
TOPLAM	1								

HRS güzergah planlaması bakımından yolculuk talebinin yüksek olmasından ötürü Darıca'nın batısı, Gebze'nin güneyi ve GOSB'un avantajlı bölgeler olduğu, Marmaray Hattı boyunca diğer ulaşım modlarıyla entegrasyon olanağının yüksek olduğu görülmektedir. Darıca'nın tamamının ve Gebze'nin güney kesiminin sismolojik açıdan sorunlu kuşak içerisinde yer aldığı,

jeoteknik-jeolojik açıdan Gebze'nin Darıca'dan daha uygun bir bölge olduğu, Darıca'nın neredeyse tamamının ve Gebze'nin güneyinin kamu ve eğitim kurumlarına yakınlık bakımından avantajlı olduğu, Gebze'nin kuzey yarısı hariç çalışma alanının topoğrafik açıdan iyi bir seçenek olduğu anlaşılmaktadır. GOSB ve Gebze'nin güneybatı bölümünün sanayi ve ticaret alanlarına

yakınlık yönünden üstün olduğu, Gebze'nin güneyinde ve batısında bulunan üç toplu konut alanının bu bölgeleri avantajlı kıldığı, Ballıkayalar Deresi, Umur Deresi ve Denizli Gölet'i ve kolları çevresindeki havzaların ve Darıca'nın doğusu ve Gebze'nin batı kenarlarında bulunan sit alanlarının imar ve inşaa kısıtlarından ötürü

uzak durulması gereken alanlar olduğu görülmektedir. Gebze'nin İstanbul il sınırına yakın alanları ve yine Gebze'nin en güney ucunun çoğunlukla kamu mülkiyetindeki alanlar olmaları sebebiyle HRS güzergâhı için alternatif alanlar olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Çalışmadaki tüm ölçütlerin yeniden sınıflandırılmış analizi

Çalışmaya dâhil edilen veri katmanlarının türleri ve ölçme birimleri birbirinden farklıdır. Nihai Harita'nın elde edilebilmesi için, bu katmanlar ArcMAP ortamında Reclassify aracı yardımıyla yeniden sınıflandırılarak standartlaştırılmıştır. Yeniden sınıflandırma işlemleri için ilk olarak her bir ölçüte ait olan Ölçüt Alt Kırılım değerleri en yüksek değer 1 en düşük değer 0 olacak şekilde normalize edilmiştir. Her bir ölçüte ait alt kırılım normalize değerleri (x), ölçüt ana ağırlık değeri (y) ile ve ardından hesap kolaylığı amacıyla 1.000 değeri ile çarpılarak "Nihai Alt Ağırlıklandırılmalar" (x. y. 1.000) elde edilmiştir. Ortaya çıkan bu ağırlıklandırmalara "Uygunluk Puanı" adı verilmiştir. Yeniden sınıflandırma işlemi Tablo 3'te bir örnekle gösterilmiştir.

Tablo 3. Yolculuk talebinin düzeyi ölçütü alt kırılımlarının reclassifı işlemleri

Seyahat Talebi				
1 TAB Başına Düşen Günlük Yolculuk Sayısı (yolcu)	Normalize Değer (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-6 bin	0,2	0,149	0,030	30
6 bin-10 bin	0,4	0,149	0,060	60
10 bin-15 bin	0,6	0,149	0,089	89
15 bin-20 bin	0,8	0,149	0,119	119
20 bin+	1	0,149	0,149	149

Bu uygunluk puanları ArcMAP'in Reclassify (Yeniden Sınıflandırma) aracı ile ait olduğu piksel değerlerine işlenmiştir. Katmanlardaki raster verilerin yeni değerleri ile yeniden sınıflandırılan haritalar Şekil 8'de gösterilmektedir. Haritalardaki yeşil tonlu renkler (düşük sayısal değerlere sahip pikseller) HRS güzergâhı için uygun olmayan alanları, kırmızı tonlu renkler (yüksek sayısal değere sahip pikseller) HRS güzergâhı için uygun olan alanları ifade etmektedir. Yeniden sınıflandırılmış haritalar standardizasyonun sağlanabilmesi adına aynı renkler ile ifade edilmiştir.

3.1. Güzergâh Önerilerinin Tespiti

Yeniden sınıflandırılan ve birimleri (raster), çözünürlükleri (25mx25m), koordinatları (TUREF_TM30) ve sınırları (Gebze-Darıca) aynı olan ölçüt haritalarını son aşamada ArcMAP'in Raster Calculator aracı kullanılarak birleştirilmiştir. Şekil 9, Raster Calculator aracı ile ölçüt haritalarının matematiksel olarak piksel değerlerinin toplanması sonucu ortaya çıkan uygunluk haritasını göstermektedir. Bu haritada en yüksek piksel değerine (785- koyu kırmızı) sahip alanlar HRS güzergâhı olmak için uygunluğu en yüksek alanları, en düşük piksel değerine sahip (92- koyu mavi) sahip alanlar ise HRS güzergâhı olmak için uygunluğu en düşük alanları göstermektedir.

Şekil 9'da verilen Güzergâh Uygunluk Haritası incelendiğinde, çalışma alanının güney bölümü olan Darıca ilçesinde bulunan; Şehit Cevher Dudayev Parkı

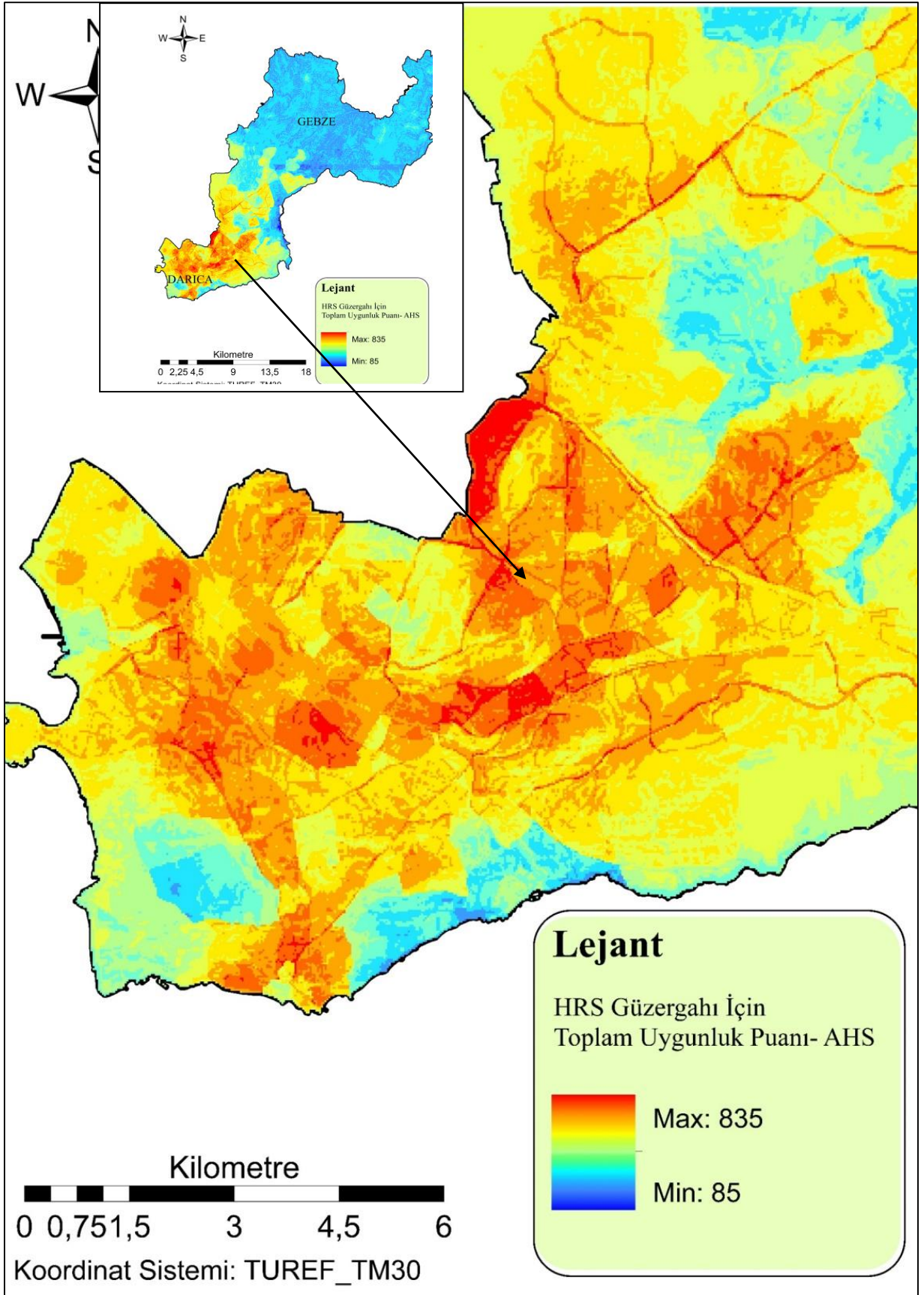
yakın çevresi, Yalı Mahallesi'nin güney ve yeşil alanlar bulunan doğu bölümü, Darıca Cumhuriyet Meydanı'nın yarım kilometre uzağındaki tüm alanlar, Darıca Farabi Devlet Hastanesi yakın çevresi, Nenehatun Mezarlığı yakın çevresi, Nenehatun Mahalle merkezi ve batısı, Osmangazi Mahallesi'nin batı yarısı, Sırasöğütler Mahallesi'nin tamamı, Emek Mahallesi'nin doğu yarısının HRS güzergâh planlaması için uygun öneri oluşturabilecek alanlar olduğu görülmüştür.

Çalışma alanının orta ve kuzey bölümünü oluşturan Gebze ilçesinde bulunan; İSU Gebze Atıksu Arıtma Tesisi yakın çevresi, Türk Standartları Enstitüsü Kalite

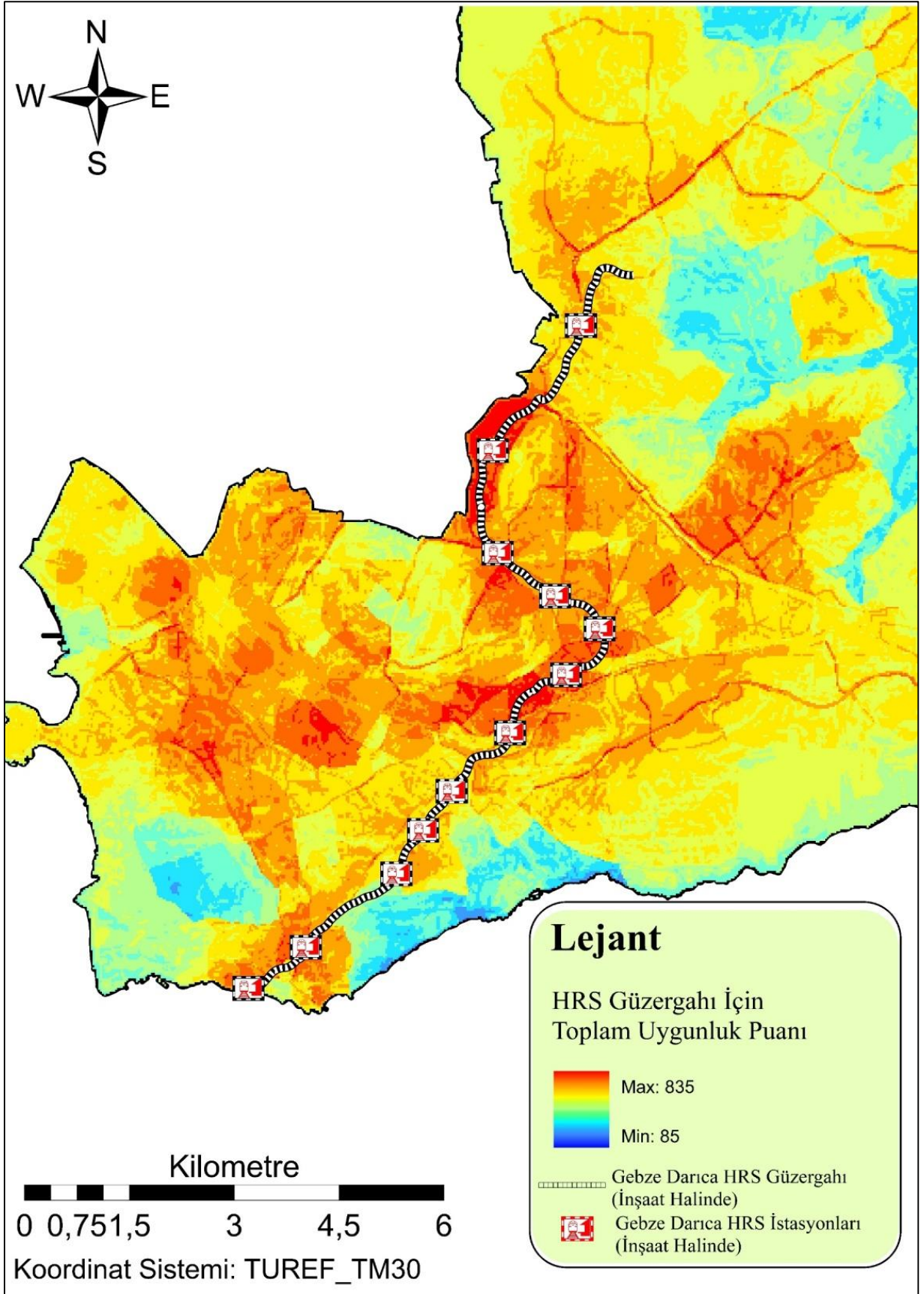
Kampüsü yakın çevresi, Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) kampüsünün tamamı ve Gebze STFA Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi yakın çevresi, D-100 Karayolu'nun çalışma alanında kalan bölümü, Köşklü Çeşme ve Osman Yılmaz Mahallelerinin'nin tamamı, Tatlıkuyu Mahallesi'nin kuzey yarısı, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nin kuzeybatı bölümü, Muallimköy Mahallesi'nin tamamı, Yücel Boru ve Profil Endüstrisi A. Ş. Fabrikası yakın çevresi, Sultan Orhan Mahallesi'nin tamamı, Kirazpınar Mahallesi'nin batı yarısı, Mustafapaşa, Güzeller, Hacıhalil ve Arapçeşme Mahallelerinin'nin tamamı, Mevlana Mahallesi'nin kuzey ve Gaziler Mahallesi'nin güney bölümü, Gebze Belediyesi Şehir Mezarlığı, Yenikent ve İnönü Mahalleleri'nin tamamı ve GOSB'un en güney ucu hariç tamamının HRS güzergâh planlaması için uygun öneri oluşturabilecek alanlar olduğu görülmüştür.

Uygun alanların tespitinin ardından inşaat halindeki Gebze-Darıca HRS güzergâhı, yukarıda verilen sonuç haritası ile karşılaştırılmıştır. Şekil 10'da, Güzergâh Uygunluk Haritası ile inşaat halindeki Gebze-Darıca HRS güzergâhı aynı harita üzerinde sunulmaktadır. Entegrasyon haritası göstermektedir ki; Gebze ile Darıca arasına yapılmakta olan raylı sistem hattı ile bu çalışmada en yüksek puan alan ve raylı sistem yapılması önerilen kırmızı renkli alanlar örtüşmektedir. Bu, önerilen modelin gerçek çalışmalar ile entegre olduğunu ve teyit edildiğini göstermektedir.

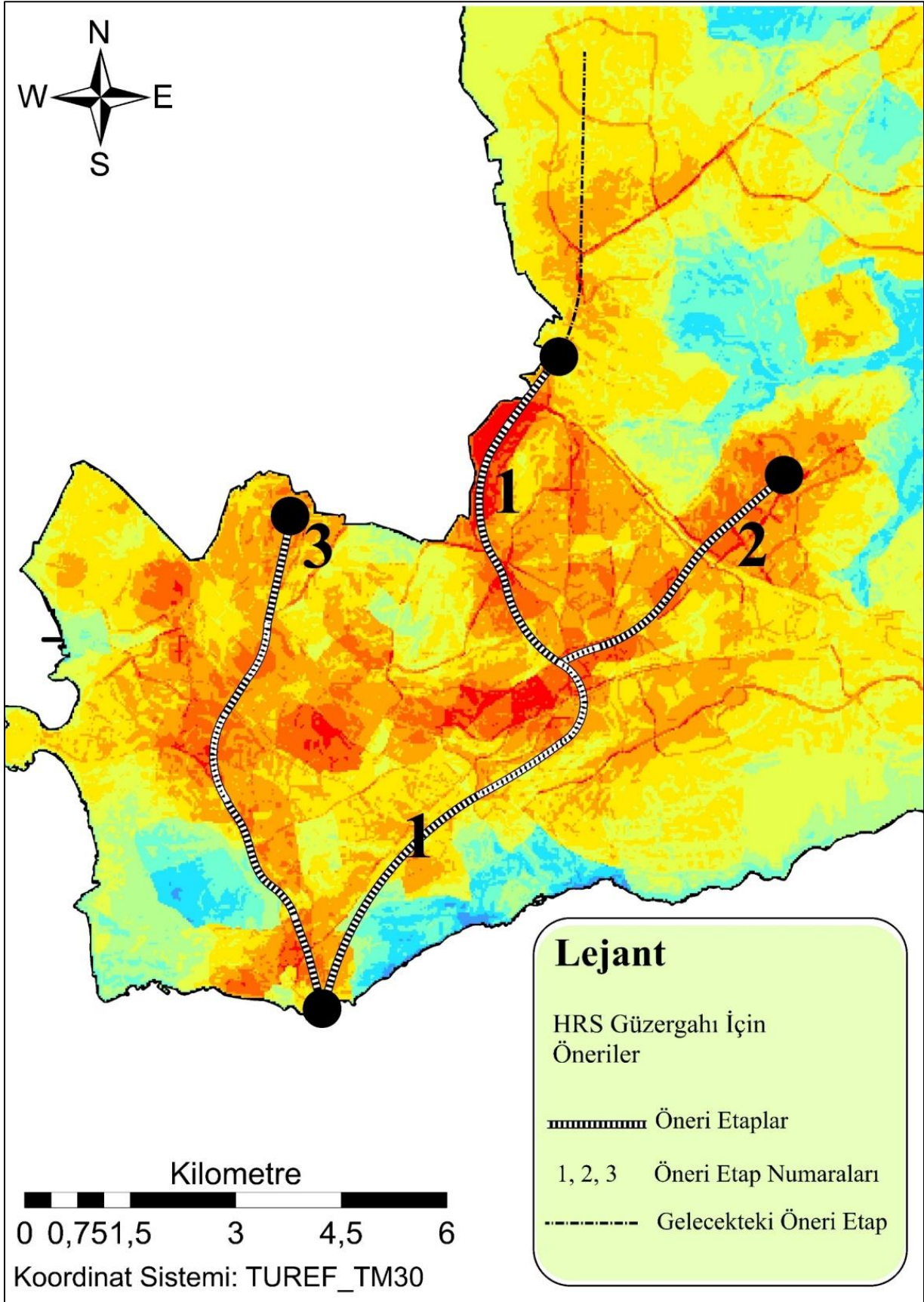
Haritada kırmızı renklere sahip olan fakat herhangi bir HRS projesine sahip olmayan alanlar da mevcuttur. Sonuç haritasından çıkarımlar yapılarak yeni raylı sistem güzergâhlarının nerelerden geçmesinin uygun olabileceğine ilişkin, Gebze- Darıca HRS gibi kuzey-güney doğrultusunda farklı öneriler de geliştirilmiş ve Şekil 11'de verilmiştir. Bu önerilerin amacı, bugünkü ve gelecekteki bütün toplu taşıma talebini en iyi şekilde karşılayan sistemi kurmaktır. Bununla birlikte; uygulanacak olan kesin güzergâhın nasıl olacağı detaylı araştırmalar, yolculuk talep tespitleri, mali ve ekonomik fizibilite ve hattın düşey eksenine yönelik çalışmalar ile belirlenmelidir.



Şekil 9. - Güzergâh uygunluk puanları haritası



Şekil 10. Gebze-Darıca HRS'nin güzergâh uygunluk haritası ile entegrasyonu



Şekil 11. - 3 adet öneri güzergâh etabı

Şekil 11'de görülen 1 numaralı etap Gebze-Darıca HRS ile en benzer öneridir ve inşa halindeki bu hattın ulaşabildiği önemli noktaların çoğuna ulaşabilmektedir. Fakat çalışma alanının ulaşılabilirliği daha da geliştirilmek istenirse 2 ve 3

numaralı etaplar da 1 numaralı güzergaha entegre edilebilecektir.

- 1 numaralı etap çalışma alanının en güney ucu olan Darıca Vapur İskelesi'nden başlayarak GOSB'un en kuzey ucuna kadar devam ettiği için bölgenin güney-kuzey doğrultusundaki ulaşım

ihtiyaçlarının tamamını karşılayabilme potansiyelindedir. Güzergâh önce kuzeydoğu, devamında kuzeybatı ve son olarak yine kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. 1 numaralı öneri, hem doğu hem batı yönüne kentlere raylı sistem ile ulaşma şansı sunan Gebze Marmaray ve Tren İstasyonu'ndan geçerek aktarma şansı sunmaktadır.

- 2 numaralı etap Gebze Kent Meydanı'ndan başlayarak çalışma alanının merkezinde yeni bir yaşam merkezi olan Kirazpınar bölgesine ulaşmaktadır. Güzergâh sürekli olarak kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. 2 numaralı güzergâh 1 numaralı güzergâhı besleme özelliği taşımaktadır. 1 ve 2 numaralı önerilerin kesişimi olan aktarma istasyonunun yaklaşık konumu Gebze Kent Meydanı olarak planlanmıştır.

- 3 numaralı etap da 1 numaralı etap gibi Darıca Vapur İskelesi'nden başlayarak Gebze'nin Çayırova ile sınır bölgesi olan Adem Yavuz Mahallesi'ne ulaşmaktadır. Güzergâh önce kuzeybatı, devamında kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. Darıca bölgesindeki yolcuların Çayırova'ya taşıyabilmesi bu güzergâhın güçlü yönüdür. 3 numaralı öneri Osmangazi Marmaray İstasyonu'ndan geçerek aktarma şansı sunmaktadır.

1. etap Gebze-Darıca HRS ile güzergâh ve ulaştıkları önemli noktalar konusunda yüksek benzerlik göstermektedir. Bölgenin en büyük ulaşım ihtiyacının Darıca Sahil ve GOSB arasında olması sebebiyle bu durum uygun görülmektedir. 1. Etapın Gebze-Darıca HRS'den farklılıkları şu şekilde sıralanabilir:

- Gebze-Darıca HRS Darıca sahilindeki Şehit Cevher Dudayev Parkı'ndan başlarken 1. etap önerisi Darıca Vapur İskelesi'nden başlamaktadır.

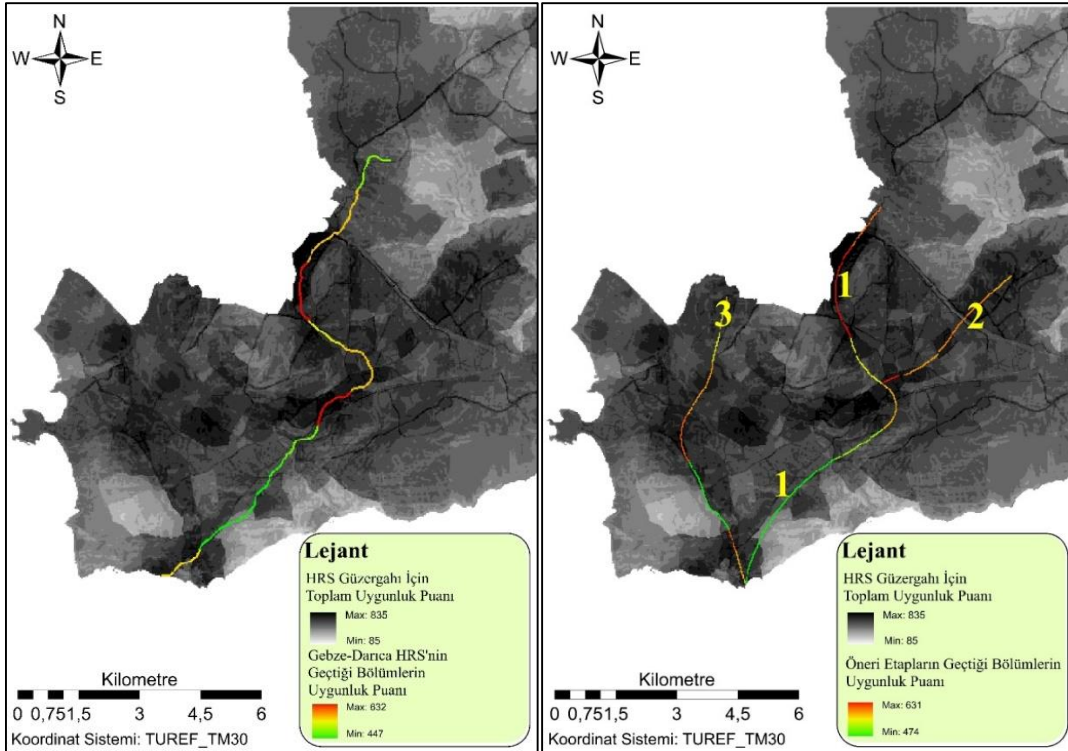
- Gebze-Darıca HRS kuzeydoğu yönündeki ilerleyişini kuzeybatıya çeviren dönüşünü Gebze Kaymakamlığı'nın kuzeyindeki bir alanda gerçekleştirirken 1. etap önerisi bu dönüşünü Gebze Kaymakamlığı'nın güneyinde gerçekleştirmektedir.

- Hem Gebze-Darıca HRS hem 1. etap önerisi GOSB'ta güzergâhlarını tamamlarken 1. etap için gelecekte yapılması planlanan kuzeye doğru bir ek etap verilmiştir.

Güzergâh önerilerinin yorumlanması sonrası bu önerilerin "Güzergâh uygunluk puanları haritası" ile uyumu test edilmiştir. Bu kapsamda Şekil 12'de ArcMAP'in Zonal Statistics (Bölgesel İstatistik) aracı ile gerçekleştirilen analiz haritaları verilmiştir.

Bu haritalar, ölçüt haritalarının birleştirilmesi ile oluşturulan "Güzergâh uygunluk puanları haritası" piksel değer aralığı (85-835) içinde inşaat halindeki HRS hattın (solda) ve 3 öneri etabın (sağda) analizini içermektedir.

Gebze-Darıca HRS'nin piksel değer aralığı 447-632 iken önerilen etapların aralığı 674-632'dir. Bu aralıklardan daha büyük anlam ifade edecek olan aralığı verilen piksel değerlerinin ortalama (mean) değerleridir. Bu değerler Gebze-Darıca HRS için 544,3 iken önerilen etaplar için 550'dir. 550 (1073 pikselin ortalaması) piksel değerinin 544,3 (1058 pikselin ortalaması) değerinden yüksek oluşu, HRS güzergâhı olması için bu çalışmada oluşturulan etapların inşaat halinde olan Gebze-Darıca HRS kadar uygun öneriler olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 12. - İnşaat halindeki HRS hattının ve 3 öneri etabın bölgesel istatistikleri

Darıca Sahil ve GOSB arasında olması sebebiyle bu durum uygun görülmektedir. 1. Etapın Gebze-Darıca HRS'den farklılıkları şu şekilde sıralanabilir:

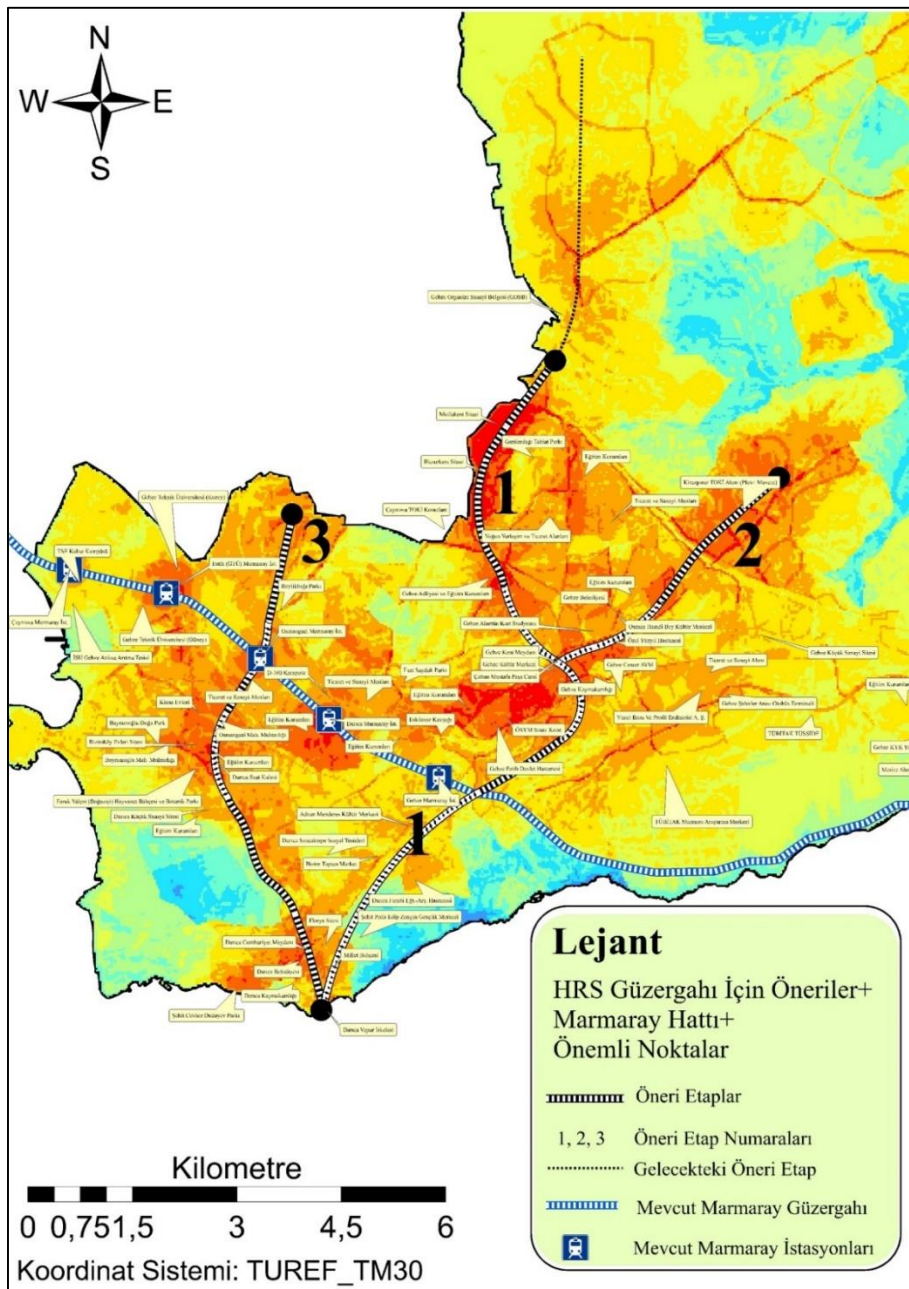
- Gebze-Darıca HRS Darıca sahilindeki Şehit Cevher Dudayev Parkı'ndan başlarken 1. etap önerisi Darıca Vapur İskelesi'nden başlamaktadır.

- Gebze-Darıca HRS kuzeydoğu yönündeki ilerleyişini kuzeybatıya çeviren dönüşünü Gebze Kaymakamlığı'nın kuzeyindeki bir alanda gerçekleştirirken 1. etap önerisi bu dönüşünü Gebze Kaymakamlığı'nın güneyinde gerçekleştirmektedir.

- Hem Gebze-Darıca HRS hem 1. etap önerisi GOSB'ta güzergâhlarını tamamlarken 1. etap için gelecekte yapılması planlanan kuzeye doğru bir ek etap verilmiştir.

Güzergâh önerilerinin yorumlanması sonrası bu önerilerin "Güzergâh uygunluk puanları haritası" ile uyumu test edilmiştir.

Bu kapsamda Şekil 12'de ArcMAP'in Zonal Statistics (Bölgesel İstatistik) aracı ile gerçekleştirilen analiz haritaları verilmiştir. Bu haritalar, ölçüt haritalarının birleştirilmesi ile oluşturulan "Güzergâh uygunluk puanları haritası" piksel değer aralığı (85-835) içinde inşaat halindeki HRS hattın (solda) ve 3 öneri etabın (sağda) analizini içermektedir. Gebze-Darıca HRS'nin piksel değer aralığı 447-632 iken önerilen etapların aralığı 674-632'dir. Bu aralıklardan daha büyük anlam ifade edecek olan aralığı verilen piksel değerlerinin ortalama (mean) değerleridir. Bu değerler Gebze-Darıca HRS için 544,3 iken önerilen etaplar için 550'dir. 550 (1073 pikselin ortalaması) piksel değerinin 544,3 (1058 pikselin ortalaması) değerinden yüksek oluşu, HRS güzergâhı olması için bu çalışmada oluşturulan etapların inşaat halinde olan Gebze-Darıca HRS kadar uygun öneriler olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 13. - Mevcut Marmaray güzergâhına 3 öneri güzergâh etabının eklenmesi ve çalışma alanındaki önemli noktaların gösterimi

Gebze-Darıca HRS'ye benzer öneri olan 1 numaralı etabın yanında 2. ve 3. etap ile birlikte daha fazla yüksek puanlı alana erişilmekte ve çalışma alanının raylı sistem ihtiyacı duyan hemen her noktasına erişilebilmektedir.

Şekil 13'te, "3 Adet Öneri Güzergâh Etabı" haritasının üzerine, HRS uygunluk puanı yüksek olan alanlardaki önemli noktaların ve işletmede olan Marmaray güzergâhının eklenmesi ile oluşan harita verilmiştir.

Bu harita ile mevcut Marmaray güzergâhına ek olarak önerilen 3 öneri güzergâh etabının da uygulanması durumunda, çalışma alanındaki en yüksek puanlı alanların yaklaşık %90'ına ve verilen önemli noktaların çoğuna yürüme mesafesinde ulaşılabilir. Geriye kalan yaklaşık %10'luk en yüksek puanlı alanlar de HRS güzergâhı tasarlamak için çok dar alanlardır. Bu alanlarda otobüs ve minibüsler kullanılarak raylı sistem ulaşımı desteklenebilecektir. Öneri güzergâhların Marmaray güzergâhı ile sistemlerin entegrasyonunun sağlanabilmesi hedefiyle Marmaray istasyonlarında kesişmesine özen gösterildiği harita üzerinde görülebilmektedir.

4. SONUÇLAR

Ulaştırma Mühendisliği ve Şehir Planlama alanlarının kesişim noktasında konumlandırılabilir olan ve HRS yatırımlarının, fiziki ve beşeri coğrafya faktörleri de değerlendirilerek en uygun şekilde uygulanmasının bir modelini sunmayı hedefleyen bu çalışma, Gebze-Darıca örneğinde yüksek doğruluk ile sonuçlandırılmıştır.

Çalışmada, HRS güzergâh planlaması konusunda uzman görüşleri sonucu oluşturulan ölçüt ağırlıklandırılmalarının seviyeleri, alan çalışmalarındaki benzer veya aynı isimli ölçütlerin kullanılma sıklığı ile yüksek oranda örtüşmektedir.

Bu çalışmada uygulanan yöntem sonucunda ortaya çıkan güzergâh uygunluk haritası, Gebze-Darıca arasında inşa halinde olan raylı sistem hattı ile yüksek oranda uyumlu durumdadır. Bu durum uygulanan modelin gerçek uygulamalar ile entegre olduğunu ve teyit edildiğini göstermektedir.

Çalışmada Gebze ve Darıca ilçeleri için inşa halinde olan güzergâhtan ayrı olarak 3 öneri etap sunulmaktadır. Bu önerilerin amacı, bugünkü ve gelecekteki bütün toplu taşıma talebini en iyi şekilde karşılayan sistemi kurmaktır.

Literatürde çok sayıda kullanılmış ve konu hakkında etkinliği ispatlanmış yöntemleri kullanıyor olsa da bu çalışmanın da bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. AHS uygulamasının dayanak noktası olan ikili karşılaştırmanın yüz yüze uygulanması ile daha iyi sonuç elde edilebilecektir. Fakat çalışmanın bu kısmının, COVID-19 (Liu vd., 2020) Pandemisi'nin Türkiye'de etkinliğinin arttığı bir döneme denk gelmesi sebebiyle bu anketler yalnızca e-posta ortamında iletilip geri alınabilmiştir.

AHS'nin kullanıldığı bu çalışmanın yanında başka araştırma tasarım süreçleri ile farklı ÇKKV yöntemleri olan; ölçütlerin birbirleri ile olan etkileşimlerini değerlendirmeye alan Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi

(Saaty, 2004) ölçüt ağırlıklandırmalarını net sayısal değerler yerine sayı aralığı olarak veren Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemi (Liang, 1999) ve AHS'nin eksikliklerine karşı geliştirilen ve henüz çok yeni (2015) bir yöntem olan En İyi- En Kötü Yöntemi (BWM) (Rezaei, 2015) kullanılarak da ileride yeni araştırmalar kurgulanması tavsiye edilmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Ahmed N & Asmael N (2015). A GIS-assisted optimal Baghdad metro route selection based on multi criteria decision making. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 19(6), 44-58.
- Akad M & Gedizlioğlu E (2007). Toplu Taşıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı. *İTÜ Dergisi/d*, 6(1).
- APTA (2013). Economic Recovery: Promoting Growth. *American Public Transportation Association Publications (APTA)*, Washington, USA.
- ARUP (2017). Gebze-Darıca Hafif Raylı Sistem (HRS) Hattı Proje Tanıtım Raporu-AYGM. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi- Mühendislik Hizmetleri Alım İşi.
- Banai R (2006). Public Transportation Decision-Making: A Case Analysis of the Memphis Light Rail Corridor and Route Selection with Analytic Hierarchy Process. *Journal of Public Transportation*, 9 (2): 1-24.
- Brunner I, Kim K & Yamashita E (2011). Analytic Hierarchy Process and Geographic Information Systems to Identify Optimal Transit Alignments. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*. 2215. 59-66.
- Burrough P A & McDonnell R A (2015). Principles of Geographical Information Systems. *Oxford University Press*, ISBN: 978-019-8742-84-5.
- Chang K (2002). Introduction to Geographic Information Systems. McGraw-Hill, *Boston Massachusetts*.
- Djenaliev A & Ban Y (2007). Multicriteria Decision Making and GIS for Railroad Planning in Kyrgyzstan. *Yüksek Lisans Tezi*, Royal Institute of Technology (KTH).
- El-Hallaq M & El-Yazory K (2017). Metro Route Site Selection in Gaza City Using GIS and Spatial Multi Criteria Evaluation. *International journal of Engineering inventions*. 6, 2278-7461.

- Elker C (1999). Çağdaş Ulaşım Politikaları. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ankara, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayını.
- Elker C (2004). Ulaşımında Karar Zamanı. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 2004/1, 429, 25-28.
- Expert Choice Inc. (1993). Expert Choice Version 8: User Manual, (McLean, VA: Decision Support Software, Inc.).
- Farkas A (2009). Route/Site Selection of Urban Transportation Facilities: An Integrated GIS/MCDM Approach. Proceeding of MEB 2009-7th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking, June 5-6 2009, Budapest, Hungary.
- Gal T, Stewart T & Hanne T (2013). Multicriteria decision making: advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications. *International Series in Operations Research & Management Science*.
- Hamilton Public Works (2020). Hamilton Rapid Transit Benefits Report. *Hamilton Public Works*, Ontario, Canada.
- Hamurcu M & Eren T (2015). Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi İle Monoray Güzergâh Seçimi. *Conference: Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, İstanbul, Türkiye.
- Heywood I, Cornelius S & Carver S (2011). An introduction to Geographical Information Systems. *Addison Wesley Longman*, ISBN: 978-027-3722-59-5.
- Ho D, Newell G & Walker A (2005). The Importance of Property-Specific Attributes in Assessing CBD Office Building Quality. *Journal of Property Investment & Finance*, 23(5), 424-444.
- Jendia S M & Skaik M Z (2016). Gaza Metro Network - Route Site Selection. *Journal of Engineering Research and Technology*, 3, 6-15.
- Jones C (2013). Geographical Information Systems and Computer Cartography. *Routledge*, ISBN: 978-058-2044-39-5.
- Kırlangıçoğlu C (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Raylı Sistem Güzergâh Tasarımı: İstanbul Örneği. *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kırlangıçoğlu C (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması. *Coğrafya Dergisi*, 33, 53-71.
- Liang G S (1999). Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts. *European Journal of Operational Research*, 112, 682-691.
- Liu Y C, Kuo R L & Shih S R (2020). COVID-19: the first documented coronavirus pandemic in history. *Biomedical Journal*, 43(4), 328-333.
- Lo C P & Yeung A K W (2007). Concepts and Techniques in Geographic Information Systems. *Prentice Hall*, ISBN: 978-812-0322-30-1.
- Longley P A, Goodchild M F, Maguire D J & Rhind D W (2015). Geographic Information Science and Systems. *Wiley*, ISBN: 978-111-9031-30-7.
- Ludin A & Latip S N H M (2006). Using multi-criteria analysis to identify suitable light rail transit route. *Map Asia Geo ICT for Good Governance; Geospatial World: Bangkok, Thailand*, 29.
- Miller H & Shaw S L (2001). Geographic Information Systems For Transportation: Principles and Applications. *Oxford University Press*, ISBN: 978-019-5123-94-4.
- Pucha-Cofrep F, Fries A, Cánovas-García F, Oñate-Valdivieso F, González-Jaramillo V & Pucha-Cofrep D (2018). Fundamentals of GIS: Applications with ArcGIS. *Franz Pucha Cofrep*, ISBN: 978-994-2308-17-7.
- Rezaei J (2015). Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rosenberg J & Esnard A (2008). Applying a Hybrid Scoring Methodology to Transit Site Selection. *Journal of Urban Planning and Development*, 134 (4), 180-186.
- Quinby H D (1962). Major Urban Corridor Facilities: A New Concept. *Traffic Quarterly*, 16(2), 242-259.
- Saaty T L (1990). Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. *Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications*, ISBN: 978-0-9620317-8-6.
- Saaty T L (2004). Decision making - the analytic hierarchy and network processes (AHS/ ANP). *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 13 (1), 1-35.
- Saaty T L (2008). Decision Making With The Analytic Hierarchy Process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Saaty T L & Ozdemir M (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, 38, 233-244.
- Sarımehmet B, Hamurcu M & Eren T (2020). Çok kriterli karar verme: Kırıkkale YHT istasyonu - şehir bağlantısının sağlanması. *Demiryolu Mühendisliği*, 11, 26-40.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı (2013). Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018). TBMM, Ankara.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2019). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023). T.C. Cumhurbaşkanlığı, Ankara.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2014). Türkiye Habitat III. Ulusal Raporu. TBMM, Ankara.
- T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (2013). 11. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Şurası Kentiçi Ulaşım Çalışma Grubu Şura Raporu. TBMM, Ankara.
- Valley Metro- Light Rail Transit Projects. (2018). LRT Design Criteria Manual. Phoenix, America.
- Verma A, Upadhyay D & Goel R (2011). An integrated approach for optimal rail transit corridor identification and scheduling using geographical information system. *Journal of King Saud University - Science*. 23. 255-271.

Wilkie C & Petersen K (2010). TTF Transport Position Paper: The Benefits of Light Rail. Tourism & Transport Forum, Australia.

Zeiler M (1999). Modelling our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design. *ESRI Pres*, ISBN: 978-187-9102-62-0.



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>