

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması

Urban Railway Corridor Planning Based on Multi Criteria Decision Making Techniques

Cem KIRLANGIÇOĞLU¹✉

¹ Sakarya Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye.

✉ Sorumlu yazar/Corresponding author: kirlangicoglu@sakarya.edu.tr

Makalenin Tarihiçesi – Article History

Geliş / Received: 09/11/2016

Revizyon / Revised: 30/11/2016

Kabul / Accepted: 05/12/2016

ÖZET

İstanbul'da önemsenmesi ve çözülmesi gereken başlıca konulardan birisi de ulaşım sorunudur. Gelecek yıllarda inşa edilecek yeni konut alanları ve açılacak yeni istihdam sahaları, bu problemin daha da büyümesine neden olacaktır. Hızla artan yolculuk talebinin karşılanmasında, karayolu odaklı çözümlerden ziyade yüksek kapasiteli raylı toplu taşıma sistemlerinden yararlanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından planlanan yatırımlarda en büyük pay ulaşımına, ulaşımın içinde en büyük pay ise raylı sistemlere aittir. 2004 yılı öncesinde 45,1 km iken şu anda 145,5 km olan raylı sistem ağının 2019 yılında 454,2 km'ye, 2024 yılında 603,7 km'ye, 2024 sonrasında ise toplamda 974,05 km'ye çıkarılması planlanmaktadır. Milyarlarca dolarlık bu yatırımların hem İstanbul'a hem de Türkiye'ye en yüksek faydayı sağlayacak şekilde hayata geçirilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı; bu yatırımların fiziki ve beşeri coğrafya faktörleri de göz önünde bulundurularak en doğru şekilde yönlendirilmesine katkıda bulunmaktır. Çalışmada, raylı sistem güzergâh tasarımında kullanılan geleneksel yöntemlere alternatif olarak Coğrafi Bilgi Teknolojileri tabanlı yeni bir tasarım modeli geliştirilmiştir. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin kullanıldığı bu model sayesinde, tasarım sürecine etki eden tüm faktörler bir arada değerlendirilerek hem karar vericilere hem de teknik personele yönelik bir karar destek sistemi ortaya çıkarılmıştır. Çalışmanın sonucunda, önerilen tasarım modeli örnek çalışma alanı olarak seçilen İstanbul şehrine başarıyla uygulanmış ve raylı sistem yatırımları için en uygun bölgeler tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Metro, Tramvay, İstanbul

ABSTRACT

The issue of traffic congestion is one of the most important problems that has to be solved in near future of İstanbul. Due to the fast urbanization process, new urban areas and new employment zones will increase this problem in the coming years. Instead of highway projects that will be temporary solutions, high capacity rail-based transit systems must be constructed to overcome the rapidly increasing travel demand. Transportation is the major investment area of İstanbul Metropolitan Municipality and urban railway systems have the top priority among all other alternatives. The total length of the current railway network, which was 45,1 km before the year of 2004, is 145,5 km now. It is planned to firstly extend these lines to 454,2 km until 2019, to 603,7 km until 2024, and then to 974,05 km after the year of 2024. These investments need huge budgets reaching to billions of US dollars and very significant for national economy. Therefore they have to be planned very carefully to gain maximum efficiency and profitability. This study aims to direct railway investments in accordance with the physical and human geography. A new point of view has been developed based on integrating the traditional railway route design processes with Geographic Information Systems and Multi Criteria Decision Making techniques within the scope of the study. This new and accurate decision support system will be useful for both decision makers and the design engineers. As a result of the study, the proposed railway route design model has been successfully applied on the case study area, İstanbul. In addition, some conceptual new railway routes have been proposed after interpreting the analysis results.

Keywords: Geographic Information Systems, Metro, Multi Criteria Decision Making, Tram, İstanbul

1. GİRİŞ

İstanbul genelinde yolculuk talebinin çok yüksek olması ve bu talebi karşılayacak yeterli toplu ulaşım altyapısının henüz tesis edilmemiş olması nedeniyle, ulaşım hizmet seviyesi yetersiz kalmaktadır. 1985 yılında yaklaşık 5,5 milyon kişinin ikamet ettiği İstanbul'un nüfusu, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından sağlanan en güncel verilere göre 14.657.434 kişidir (TÜİK, 2016). Hâlihazırda İstanbul'da toplu ulaşım alanındaki yolculukların %77,30'u karayolu ve %4,85'i denizyolu ile gerçekleştirilmekte, sadece %17,85'i demiryolu ile yapılmaktadır (İETT, 2015).

Trafik sorununu çözmesi beklenen raylı sistem kullanım oranının düşük olmasının nedeni hem insanların toplu taşıma kullanım alışkanlıklarının az olması hem de mevcut raylı sistem hatlarının hızla artan yolculuk taleplerini karşılayacak düzeyde ve yaygınlıkta olmamasıdır. Bu nedenle, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) için raylı sistem yatırımları, toplu taşıma yatırımları arasında yüksek öncelikli konuma sahiptir. İBB, karayolu çözümlerinin trafik sorununu aşmada geçici çözümler olduğunu bilmekte ve esas çözümün raylı sistem yatırımlarında olduğunu belirtmektedir (İBB, 2016).

Modern, hızlı, konforlu ve güvenli olması; trafik sıklığından etkilenmemesi ve herhangi bir sıklığa sebebiyet vermemesi; karayolu ulaşım sistemlerine göre daha az gürültülü olması ve havayı daha az kirletmesi; iklim şartlarından diğer ulaşım sistemlerine göre daha az etkilenmesi; trafikte kaza riskinin çok düşük olması; taşıdığı yolcu sayısına oranlandığında karayolu ulaşımından daha az alana ihtiyaç duyması; fayda-maliyet oranlarına bakıldığında uzun vadede diğer sistemlere göre daha yüksek değerlere sahip olması; daha az enerji tüketmesi; düzenli sefer aralıklarına sahip olması vb. avantajlarından dolayı raylı sistemlerin küçük şehirlerden büyük şehirlere kadar birçok değişik ölçekli uygulama alanında öncelikli tercih olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın kapsama alanı İstanbul ili idari sınırlarıdır (Şekil 1). Şehir, Asya kıtası ile Avrupa kıtası arasında geçiş oluşturan Marmara Bölgesi'nde yer almaktadır ve Marmara Denizi kıyısında İstanbul Boğazının iki yakasında konumlanmıştır. Araştırma alanı, il sınırları içinde kesintisiz yerleşmenin görüldüğü yerlerdir.



Şekil 1. İstanbul'un konumu
Figure 1. Location of Istanbul

2016 yılı bütçesi 16 milyar 100 milyon lira, İSKİ ve İETT ile birlikte 24 milyar lira olarak belirlenmiştir. Şirket ciroları dâhil konsolide bütçe 38 milyar 600 milyon ve bu bütçeden gerçekleştirilmesi öngörülen projelerin tutarı 12 milyar 327 milyon 81 bin liradır. Bunun yüzde 67 oranındaki kısmı yani 8 milyar 266 milyon 632 bin lirası ulaşım projelerine, bu projeler arasında en büyük pay ise

kent içi raylı sistem projelerine ayrılmıştır (İBB, 2015). Milyarlarca liralık bu yatırımların çok dikkatli şekilde yönlendirilmeleri gerekmektedir. Bu sebeplerden ötürü, raylı sistem projeleri İstanbul halkına ve Türkiye ekonomisine en yüksek faydayı sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. İstanbul'da kentsel büyümenin kuzeye yönlendirilmesi ve burada 40.000 hektarlık yeni bir şehrin

planlanması, Kanal İstanbul, 3. Havalimanı vb. çok büyük projelerin açıklanması İstanbul'un geleceğini ve dolayısıyla da gelecekteki yolculuk taleplerini tamamen değiştirmiştir. Ayrıca; 2016 yılında faaliyete geçen Yavuz Sultan Selim Köprüsü ve bağlantı yollarını da içeren Kuzey Marmara Otoyolu Projesi'nin şehirleşmeyi ve dolayısıyla ulaşım taleplerini nasıl değiştireceği konusu belirsizliğini korumaktadır. Dolayısıyla önceden hazırlanan imar planlarına göre gerçekleştirilecek bir raylı sistem koridor planlama çalışmasının doğruluk ve güvenilirlik seviyesi düşük olacaktır. Bu sebeplerden ötürü, bu çalışmada geleceğe yönelik değil mevcut duruma yönelik bir ihtiyaç analizi gerçekleştirilmiş ve hâlihazırdaki raylı sistem altyapısı ile karşılaştırılarak raylı sistem ihtiyacı hissedilen ve coğrafi açıdan en uygun bölgeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Önerilen güzergâh tasarım modeli sayesinde; yeni raylı sistem koridorlarının en yüksek yolcu kapasitesine sahip, en çok ihtiyaç duyulan ve en uygun teknik koşullara sahip bölgelerden geçecek şekilde tasarlanmasına katkıda bulunulması planlanmaktadır.

Bu çalışma; yazarı tarafından Haziran 2014 tarihinde yayınlanan "Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Raylı Sistem Güzergâh Tasarımı: İstanbul Örneği" isimli doktora tezinden üretilmiştir ve çalışmada kullanılan tüm haritalara ait altlık veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesinden temin edilmiştir. Çalışma; raylı sistemlere yönelik 1:1000 ölçekli kesin bir güzergâh belirleme çalışmasından ziyade 1:25.000 ölçekli bir koridor belirleme çalışmasıdır. Amaç, sadece genel bir fikir vermek ve ihtiyaç duyulan bölgeleri göstermektir. Kesin güzergâhın nasıl olacağı; bu koridor planlamasının ardından gerçekleştirilecek derinlemesine araştırmalar, yolculuk talep analizleri, mali ve ekonomik fizibilite etütleri ve hattın düşey profiline yönelik çalışmalar ile netleştirilmelidir.

Çalışma kapsamında çok geniş kapsamlı ulusal ve uluslararası literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan temel kaynak "GIS and Multicriteria Decision Analysis" (Malczewski, 1999) kitabı olmuştur. Bu eser, en önemli çok kriterli karar verme yöntemlerini çok detaylı ve uygulamalı bir şekilde ele alarak çok daha kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir hale getirmiştir. Bu sayede karmaşık ve çok bilinmeyenli denklemlerden ziyade, sözlü olarak ifade edilebilen ve basit matematiksel hesaplamaların yeterli olduğu bir çalışma ortaya koymuştur. Bu eserden edinilen bilgiler sayesinde yeni bir raylı sistem koridor planlama modeli üretebilmek için gerekli iş akış şemasının nasıl kurgulanması gerektiği anlaşılmıştır.

Buna ek olarak, 'Route/Site Selection of Urban Transportation Facilities: An Integrated GIS/MCDM

Approach' (Farkas, 2009) isimli çalışma, çok kriterli karar verme sistemleri ve coğrafi bilgi teknolojilerinin bir arada kullanılarak hem mekânsal hem de mekânsal olmayan verilerin analizini amaçlamaktadır. Makalede tersine mühendislik olarak tanımlanan bu analizlerde; ekonomik, kurumsal, yönetsel, sosyal ve çevresel faktörleri bir analitik hiyerarşi ağacında toplayarak kent içi ulaşım güzergâhlarının nerelerden geçmesi gerektiği sorusuna yanıt aramaktadır.

İBB (2011); Ulaşım Daire Başkanlığınca hazırlanan "İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı Raporu" İstanbul'un 2023 yılı arazi kullanım ve nüfus yapısına bağlı olarak, ekonomik açıdan düşük maliyetli ve kentin planlı gelişimine katkı veren; ekolojik açıdan çevreye verdiği zararı minimuma indiren; toplumsal açıdan sosyal eşitlik ilkesine bağlı, kentin tarihi ve kültürel kimliği ile uyumlu, erişilebilirlik, konfor, güvenlik, güvenilirlik gibi nitelikleri içeren, sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin kurulması ile kentte yaşayanların ulaşım taleplerinin karşılanması amacını taşımaktadır.

DLH (2014); T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Genel Müdürlüğüne 'Kent içi Raylı Toplulaşım Kriterleri ve Mevzuatın Geliştirilmesi İş'i' kapsamında yayınlanan "Raylı Sistem Tasarım Kriterleri" dokümanlarında metro, hafif raylı sistemler, tramvay, monoray, füniküler, teleferik ve diğer raylı sistemlerin nasıl tasarlanması gerektiği son derece teknik ve detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Fakat bu çalışmalar bir coğrafyacı ya da şehir plancısı bakışıyla değil, tamamen bir inşaat ya da harita mühendisi perspektifiyle doğrudan uygulamaya yönelik olarak hazırlanmıştır.

JHA, SCHONFELD, ve SAMANTA (2007); "Optimizing Rail Transit Routes with Genetic Algorithms and Geographic Information System" isimli çalışmalarında raylı sistem güzergâh alternatiflerinin çok fazla sayıda olduğu ve bunun CBS bazlı analizlerle azaltılması hatta mümkünse tek bir seçeneğe indirilmesi gerektiğini savunmaktadırlar. Konut bölgeleri, hanehalkı karakteristikleri, nüfus, demografik yapı, toplu taşıma istasyon noktaları, yolculuk süreleri, yolculuk talepleri vb. pek çok kriterden yola çıkarak en iyi alternatifin nasıl seçilmesi gerektiğine dair bir model önermektedirler. Bunlara ek olarak; hem yolcu hem de inşa ve işletme firması açısından maliyet analizleri de yapılmakta ve optimum güzergâh bulunmaya çalışılmaktadır.

BLAINEY ve PRESTON (2013); tarafından yayınlanan "A GIS Based Appraisal Framework for New Local Railway Stations" isimli makale raylı sistem güzergâh tasarımlarının birinci derecede etkileyen istasyon lokasyonlarının nasıl seçilmesi gerektiği ile ilgili Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı

yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Konuya sadece yolculuk talebi açısından değil finansal açıdan da yaklaşmış ve istasyonların hangi bölgelerde olması gerektiği ile ilgili fayda maliyet analizine dayalı bir model geliştirmiştir.

MOHAJERI ve AMIN (2010); "Railway Station Site Selection Using Analytical Hierarchy Process and Data Envelopment Analysis" isimli makalelerinde en uygun raylı sistem istasyon yer seçimi için çok kriterli karar verme metodlarından Analitik Hiyerarşi Prosesinin (AHP) nasıl kullanılabileceğini açıklamaya çalışmışlardır. 4 aşamalı bir analiz süreci izlemişler ve konuyu raylı sistemlerle ilgili olarak teknik açıdan, yolcu açısından, mimari ve şehircilik açısından, ekonomik açıdan ele almışlardır. Daha sonra bu 4 ayrı faktörü bir arada değerlendirerek karar sürecine destek amaçlı yeni bir model önerisi getirmişlerdir.

DJENALIEV (2007); "Multicriteria decision making and GIS for railroad planning in Kyrgyzstan" isimli yüksek lisans tez çalışmasında Kırgızistan'da halen geleneksel yöntemlerle ve bilgisayar analizleri kullanılmadan gerçekleştirilen raylı sistem güzergâh belirleme çalışmalarına alternatif olarak coğrafi bilgi teknolojileri tabanlı çok kriterli karar verme yöntemlerini önermektedir. Geleneksel yöntemi uygulayan uzman mühendislerle görüşmeler yapmış ve onların yöntemlerini bilgisayar tarafından otomatik olarak uygulanabilecek hale getirmeye çalışmıştır. Örnek çalışma alanı olarak seçtiği Çin-Kırgızistan-Özbekistan demiryolu için yaptığı çalışma sonucunda güzergâh önerileri getirmiştir.

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (2003); "Design and Planning Guidelines for Public Transport Infrastructure" isimli raporunda, toplu ulaşım altyapısının nasıl planlanması ve tasarlanması gerektiğini tanımlamaktadır. Genel olarak yöneticilere ve tasarımı yapacak olan mühendislere yönelik olarak hazırlanan bu raporda genel olarak kentsel gelişim ile toplu ulaşım sisteminin bir arada değerlendirilmesi gerektiği ve hem yerel yönetimlere hem de uygulayıcı kurumlara çok büyük sorumluluklar düştüğünü teknik bir dille anlatmaktadır.

SAATÇIOĞLU ve YAŞARLAR (2012); "Kent içi Ulaşımında Toplu Taşımacılık Sistemleri: İstanbul Örneği" adlı makalelerinde sürdürülebilir bir kent içi ulaştırma planlamasında öncelikler ve tercihler tespit edilirken; ekonomik ve kültürel önceliklerin yanı sıra, diğer bir takım özelliklerin de mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadırlar. İstanbul'un kent içi ulaşım sorunlarının nedenlerini ve sonuçlarını da ortaya koyan çalışmada, kentin mevcut ulaşımında geline son durumu yeni ulaşım yöntemlerini de göz önünde bulundurarak incelemekte ve kent içi ulaşımına yönelik çözümler getirmektedirler.

TÜMERTEKİN (1997); "İstanbul İnsan ve Mekân" isimli eserinde 1960'lardan itibaren yapmış olduğu kent ile ilgili çalışmaları güncelleyerek yayınlamıştır. Kentin merkezi iş alanları, sanayi faaliyetleri ve nüfus özellikleri ile bunların mekân üzerinde etkileri üzerinde durulmuştur.

MARTIN ve GREENWOOD (2012); "High Speed Rail Alignment Generation and Optimization Using GIS" isimli yayınlarında, Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı analizlerle yüksek hızlı tren güzergâhlarının çok daha hızlı ve çok daha düşük maliyetli olarak planlanabileceğini belirtmektedirler. Bu değerlendirmelerde fiziki ve beşeri coğrafyaya ait çeşitli faktörler kullanılmaktadır.

BRUNNER, KIM, ve YAMASHITA, (2011); "Analytic Hierarchy Process and Geographic Information Systems to Identify Optimal Transit Alignments" isimli çalışmalarında teknik, sosyal, ekonomik ve çevresel faktörleri bir araya getirerek CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi Yöntemiyle değerlendirmekte ve optimum toplu taşıma güzergâhının bulunmasında kullanılmaktadırlar.

RATNER (2000); "Relating U.S. Urban Population, Employment, and Congestion to U.S. Rail Transit Development and Success" isimli makalesinde, ABD'de son 30 yılda gerçekleştirilen raylı sistem yatırımlarını ele almakta ve hem nüfusun hem de istihdamın yoğun olduğu bölgelerde raylı sistemlerin yürüme mesafesinde olması gerektiğini savunmaktadır. Ancak bu sayede özel araçların trafikten çekileceğini belirtmektedir. Ulaşım odaklı kentsel gelişim senaryolarını değerlendirmektedir.

SENIOR (2009); "Impacts on travel behaviour of Greater Manchester's light rail investment (Metrolink Phase 1): Evidence from household surveys and Census data" adlı makalesinde, hanehalkı anketlerinden yola çıkılarak ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) gerekli mekânsal analizler gerçekleştirilerek yolculuk eğilimlerinin anlaşılabilirliğini savunmaktadır. Bu eğilimler doğrultusunda tasarlanacak raylı sistem güzergâhlarının yolcuları nasıl çekeceği üzerine analizler içermektedir.

VERMA ve DHINGRA (2005); "Optimal Urban Rail Transit Corridor Identification within Integrated Framework Using Geographical Information System" isimli yayınlarında, yolculuk talebi bazlı raylı sistem tasarımında Coğrafi Bilgi Teknolojilerinin nasıl kullanılabileceğini açıklamışlardır. Fakat raylı sistemin tek başına değil, bütün toplu taşıma sistemleri ile entegre olacak şekilde ve hem karar vericiler hem de kullanıcılar açısından iyi düşünülerek planlanması gerektiğini söylemektedirler. Hindistan'da bir şehirde örnek uygulama gerçekleştirmişlerdir.

TAYAL (2002); "Optimization of Network Alignment for Light Rail Transit: Phoenix, Arizona" isimli

çalışmasında, toplu taşıma sistemi optimizasyonunun CBS tabanlı olarak nasıl yapılması gerektiği konusunda bilgi vermektedir. Fayda maliyet oranlarının artırılması ve hem konut hem de iş alanlarına yönelik gerekli ulaşım düzenlemelerinden bahsetmektedir.

HASSE (2007); "Evaluating Alternate Commuter Rail Corridors in Southern New Jersey" isimli çalışmasında 4 farklı raylı sistem güzergâh alternatifini Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve CBS kapsamında karşılaştırmakta ve en uygun güzergâhı tespit etmeye çalışmaktadır. Teknik yapılabilirlik ve fizibilite karşılaştırmalarının yanı sıra, yolculuk üretim ve çekim noktalarına olan mesafeleri de kriter olarak analizlerde kullanılmaktadır.

ZHONGZHEN ve HAYASHI (2002); "GIS-based analysis of railway's origin/destination path-selecting behavior" isimli makalelerinde mikro simülasyon yöntemiyle büyük şehirlerdeki raylı sistemlerin başlangıç ve bitiş noktalarının nerelerde olması ve güzergâhın hangi bölgelerden geçmesi gerektiğini bulmaya çalışmaktadırlar. Çok yüksek detay seviyesinde, bina ölçeğine kadar inerek gerçekleştirdikleri analizlerde, her binanın yürüme mesafelerini sisteme işlemekte ve optimum istasyon bölgelerini ve güzergâhı bulmaya çalışmaktadırlar.

GOODCHILD (2000); "GIS and Transportation: Status and Challenges" isimli yayınında ulaşım odaklı CBS çalışmalarını 3 aşamada ele almaktadır. Harita görünümü, navigasyon görünümü ve davranışsal görünüm. Her aşamayı ayrı ayrı ele almış ve ulaşım planlamasının zaman, mekân ve ölçek bazlı değerlendirmelerini gerçekleştirmiştir.

SHAW ve XIN (2003); "GIS and Transportation: Status and Challenges" isimli makalede arazi kullanım fonksiyonları ile ulaşımın arasında karmaşık bir etkileşimin olduğunu vurgulamaktadırlar. Geçmiş yıllarda önerilen modelleri incelemiş ve zaman-mekânsal yeni bir model önermiştir. Kullanıcı odaklı ve ölçekli olan bu model geçmişten gelen veriler ışığında geleceğe yönelik öngörüler ve öneriler sunmaktadır.

BERESFORD ve BACON (2006); "Intelligent transportation systems" isimli makalelerinde devam etmekte olan 10 adet akıllı ulaşım sistemi projesini mercek altına almaktadırlar. Bunlardan bazılarını araç bazlı istatistikler çerçevesinde, bazılarını sürücü bazlı, bazılarını raylı sistem bazlı, bazılarını da yolcu bazlı olarak değerlendirmişlerdir.

BLACK, PAEZ ve SUTHANAYA (2002); "Sustainable Urban Transportation: Performance Indicators and Some Analytical Approaches" isimli yayınlarında yerel yönetimlerin Sürdürülebilir Ulaşım konseptini

Avustralya'daki bazı uygulamalar üzerinden incelemektedirler. Bu konuda geçmişten bu yana çok sayıda çalışma yapıldığını fakat yeteri kadar gelişme sağlanmadığını ve uygulama için gerekli analitik modellerin yetersiz olduğunu belirtmektedirler. Mekânsal sorgulamalar içeren ve istatistiklere dayalı regresyon analizlerini kullanan CBS tabanlı bir model önermektedirler.

TREPAINER, CHAPLEAU, ve MORENCY (2008); "Tools and Methods for a Transportation Household Survey" adını verdikleri makalelerinde, ulaşım odaklı hanehalkı anket sonuçlarının mekâna bağlı olarak değerlendirilmesi için Coğrafi Bilgi Teknolojilerinden istifade edilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar. Anketlerin hazırlanmasından sonuç analizlerinin gerçekleştirilmesine kadar geçen tüm süreçleri detaylı bir şekilde anlatmaktadırlar.

JEANSONNE ve KAPAVIK (2003); "Case Study: Site Selection of Multibillion Dollar Multimodal Transportation Center" isimli çalışmalarında çok fonksiyonlu bir ulaşım transfer merkezi için gerçekleştirilen en uygun yer seçim analizleri anlatılmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme Sistemlerinde kullanılmak üzere 20 faktör belirlenmiş ve 50 alternatif lokasyon karşılaştırılarak en uygun yer tespit edilmiştir.

HARMET ve SAGAMI (2010); "Using GIS in a Large-Scale Transportation Planning Study" ismini verdikleri çalışmalarında Illinois eyaletinde gerçekleştirdikleri CBS tabanlı toplu taşıma optimizasyonu çalışmalarını anlatmaktadırlar. Bu kadar geniş kapsamlı, büyük ölçekli ve çok sayıda faktörün ele alındığı bir projede, Coğrafi Bilgi Teknolojilerinin ne tür faydalar sağladığını göstermektedirler.

YAO (2007); "Where are public transit needed: Examining potential demand for public transit for commuting trips" isimli makalesinde toplu taşıma güzergâhlarının belirlenmesinde yolculuk talep tahminlerinin nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğini tarif etmektedir. Atlanta'da CBS tabanlı Trafik Analiz Bölgeleri üzerinde gerçekleştirilen uygulamalarda öncelikle mevcut durumu anlamaya yönelik analizler gerçekleştirilmiş, ardından da geleceğe yönelik nüfus, yolculuk sayısı ve kentsel gelişim tahminleri üzerinden yeni toplu taşıma sistemlerinin nerelerde olması gerektiği yönünde öneriler getirilmiştir.

HWANG v.d. (2006); "Applications of GIS for the Public Mass Transit Planning" isimli bildirilerinde Kore'nin Seul şehrinde giderek artan trafik sıkışıklıklarına dikkat çekmekte ve özel araç bağımlılığının nasıl azaltılıp toplu ulaşım kullanımının nasıl artırılacağına yönelik öneriler

getirmektedirler. Yolcu bazında yolculuk takibi yapılan CBS tabanlı sistemlerinde, hangi toplu taşıma türlerinin hangi oranda kullanıldıklarına yönelik sayımlardan yola çıkarak, toplu ulaşım servis ağına yönelik düzenlemeler getirmektedirler.

LOO, CHEN ve CHAN (2010); "Rail-based transit-oriented development: Lasonsa from New York City and Hong Kong" isimli makalelerinde, son yıllarda otomobil bağımlılığının azaltılması ve insanların toplu taşımaya yönlendirilmesi hususlarını destekleyici önlemlerin nasıl alınabileceğine örnekler vermektedirler. Arazi kullanım, istasyon karakteristikleri, sosyo-ekonomik ve demografik yapı gibi faktörlerin iyi tahlil edilmesi neticesinde raylı sistem kullananların sayısının artırılabilirliğini ifade etmektedirler.

SMITH ve DINAN (2003); "Developing Transportation Models Utilizing Geographic Information Systems" isimli konferans bildirilerinde çalışma alanı olarak seçtikleri Georgia'da tüm bölgelere ait toplu ulaşım ağlarını birbirine bağlayacak ve bölgesel ulaşım sürekliliğini sağlayacak bir modeli anlatmaktadırlar. Mekânsal analizlere ve yolculuk eğilimlerine bağlı gerçekleştirilen CBS tabanlı analizler sonucunda, hizmet eksikliği bulunan ya da yolcu potansiyeli olan alanlara yönelik toplu ulaşım optimizasyonu önerileri verilmektedir.

CHEN v.d. (2011); "Multi-scale and multi-modal GIS-T data model" adlı çalışmalarında kent içi ulaşım sistemlerinin demografik ve ekonomik yapıya çok ciddi etkilerinin olduğunu belirtmektedirler. Tüm toplu ulaşım sistemleri arasında entegrasyon olmadan tam bir çözümün mümkün olmayacağını ve bu entegrasyonun da Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı analizlerle, hem sayısal hem de sözel verileri bir arada değerlendirilerek mümkün olduğunu anlatmaktadırlar. Konuya hem karar vericiler, hem ulaşım planlamacıları hem de sistemi kullanacak kişilerin gözünden yaklaşmaktadırlar.

Bütün bu eserler ve çok daha fazlası incelenerek bir arada değerlendirilmiş ve raylı sistem koridor planlamasına yönelik yeni bir model üretme imkânı bulunabilmiştir.

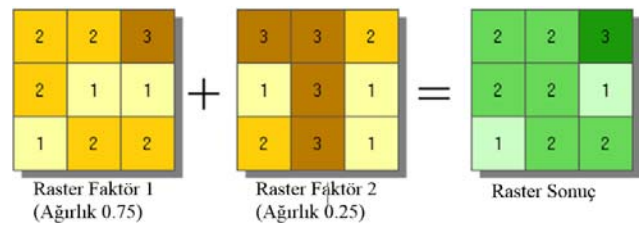
2. VERİ ve YÖNTEM

Raylı Sistem koridorlarının belirlenmesi, belli kriterler çerçevesinde istenilen koşulları sağlayan geçiş bölgelerinin bulunması ve daha sonra da raylı sistem hattının bu bölgelerden ya da yakın çevrelerinden en uygun şekilde nasıl geçebileceğinin bulunması sürecidir. Bu kapsamda, mekânsal ve mekânsal olmayan verilerin birbirleriyle entegre edilmesi ve güzergâh belirleme sürecinde etki edecek bütün faktörlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Sürecin çok fazla bileşen içermesi ve bütün

bu bileşenlerin bir arada değerlendirilerek bir sonuç elde edilebilmesi için etkinliği kanıtlanmış profesyonel yöntemlere ve yazılımlara ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu süreçte, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden istifade edilecektir. Bu sayede, bütün kriterler bir arada değerlendirilecek ve ileride tasarlanacak raylı sistem hatlarının hangi bölgelerden geçmesi gerektiği bulunmaya çalışılacaktır. ÇKKV; farklı kaynaklardan farklı formatlarda gelen çok çeşitli verilerin ve bilgilerin, kullanıcının tercihleri çerçevesinde bir araya getirilerek tek bir ana hedefe yönelik olarak uygun ve bütünsel olarak değerlendirilmesi sürecidir (Malczewski, 1999). Çeşitli ÇKKV yöntemleri arasından da, en çok bilinen ve kullanılan ileri konumsal analiz yöntemlerinden biri olan 'çok katmanlı ağırlıklı çakıştırma yöntemi (weighted overlay)' bu çalışma için uygun görülmüştür.

Bu yöntem, ağırlıklı çakıştırma analizinde kullanılacak faktörlere ait raster formatındaki girdi katmanlarının önem derecelerine göre puanlanarak analiz edilmesi sonucu istenilen ağırlıklarla normalize edilerek çakıştırılması tekniğine dayanmaktadır. Bu aşamada kullanılan ağırlıklı çakıştırma yönteminin mantığı aşağıda verilmiştir (**Şekil 2**). Şekilde, raster formatındaki iki faktörün her bir pikseline ait puanlar mevcuttur. İki faktörün birbiri ile toplanması ve sonuç haritaya ulaşılma aşamasında, her bir piksel ait olduğu faktörün genel ağırlık değeri ile çarpılır ve denkleme o şekilde girer. Mesela aşağıdaki örnekte, her iki faktörün sol üst köşesindeki piksel değerlerini ele alacak olursak; $(2 \times 0.75) = 1.5$ ve $(3 \times 0.25) = 0.75$. Toplam değer $(1.5 + 0.75 = 2.25)$ olacaktır. Ağırlıklı çakıştırma yönteminde her bir pikselin tam sayı değeri alması gerektiği için, 2.25 değeri kendisine en yakın tam sayı olan 2 şeklinde sonuç haritasında yer almaktadır.



Şekil 2: Ağırlıklı çakıştırma yöntemi mantığı (ESRI, 2016)

Figure 2: Weighted overlay logic

Bu yöntemin çalışmada kullanılabilmesi için öncelikle ağırlıklı çakıştırma sürecinde kullanılacak faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda; raylı sistem güzergâh tasarım uzmanları, belediye yöneticileri ve akademisyenler ile gerçekleştirilen görüşmeler ardından ulusal ve uluslararası düzeyde kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve kişisel tecrübelerden de yola çıkılarak güzergâh seçiminde öncelikli olarak göz önüne alınması gereken 12 faktör belirlenmiştir (**Şekil 3**).



Şekil 3. Raylı sistem koridor planlamasına etki eden en önemli faktörler
Figure 3. Most important factors affecting the railway corridor planning process

Faktörlerin belirlenmesinin ardından faktörlerin birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Her bir faktörün koridor planlaması için diğerlerine kıyasla ne derecede önemli olduğu literatür

araştırmaları ve raylı sistem güzergâh tasarım uzmanlarıyla yapılan görüşmeler neticesinde belirlenmiştir (**Tablo 1**).

Tablo 1: Tasarım kriterlerinin birbirlerine göre önem derecelerinin karşılaştırılması
Table 1: Comparison of design criteria according to their importance degree to each other

KRİTERLER	Yolculuk Talebi	Diğer Ulaşım Entegrasyon	Nüfus Yoğunluğu	Ekolojik & Sit Alanları	Kamulaştırma İhtiyacı	Sanayi & Ticarete Yakınlık	Kamu & Eğitime Yakınlık	Toplu Konutlara Yakınlık	Eğitim	Jeolojik Yapı	Faylara Uzaklık	Su Alanlarına Uzaklık
Yolculuk Talebi	1	1.111	1.250	1.429	1.667	2.000	2.222	2.500	3.333	4.000	5.000	10.000
Diğer Ulaşım Entegrasyon	0.900	1	1.125	1.286	1.500	1.800	2.000	2.250	3.000	3.600	4.500	9.000
Nüfus Yoğunluğu	0.800	0.889	1	1.143	1.333	1.600	1.778	2.000	2.667	3.200	4.000	8.000
Ekolojik & Sit Alanları	0.700	0.778	0.875	1	1.167	1.400	1.556	1.750	2.333	2.800	3.500	7.000
Kamulaştırma İhtiyacı	0.600	0.667	0.750	0.857	1	1.200	1.333	1.500	2.000	2.400	3.000	6.000
Sanayi & Ticarete Yakınlık	0.500	0.556	0.625	0.714	0.833	1	1.111	1.250	1.667	2.000	2.500	5.000
Kamu & Eğitime Yakınlık	0.450	0.500	0.563	0.643	0.750	0.900	1	1.125	1.500	1.800	2.250	4.500
Toplu Konutlara Yakınlık	0.400	0.444	0.500	0.571	0.667	0.800	0.889	1	1.333	1.600	2.000	4.000
Eğitim	0.300	0.333	0.375	0.429	0.500	0.600	0.667	0.750	1	1.200	1.500	3.000
Jeolojik Yapı	0.250	0.278	0.313	0.357	0.417	0.500	0.556	0.625	0.833	1	1.250	2.500
Faylara Uzaklık	0.200	0.222	0.250	0.286	0.333	0.400	0.444	0.500	0.667	0.800	1	2.000
Su Alanlarına Uzaklık	0.100	0.111	0.125	0.143	0.167	0.200	0.222	0.250	0.333	0.400	0.500	1

Faktörlerin birbirine göre önem derecelerinin karşılaştırılması neticesinde, tasarım sürecine etki eden her bir faktörün 1'e oranlanmış önem derecesi **Tablo 2** kapsamında verilmiştir.

Tablo 2: Faktörlerin 1'e oranlanmış önem dereceleri
Table 2: Importance degree of factors in proportion to 1

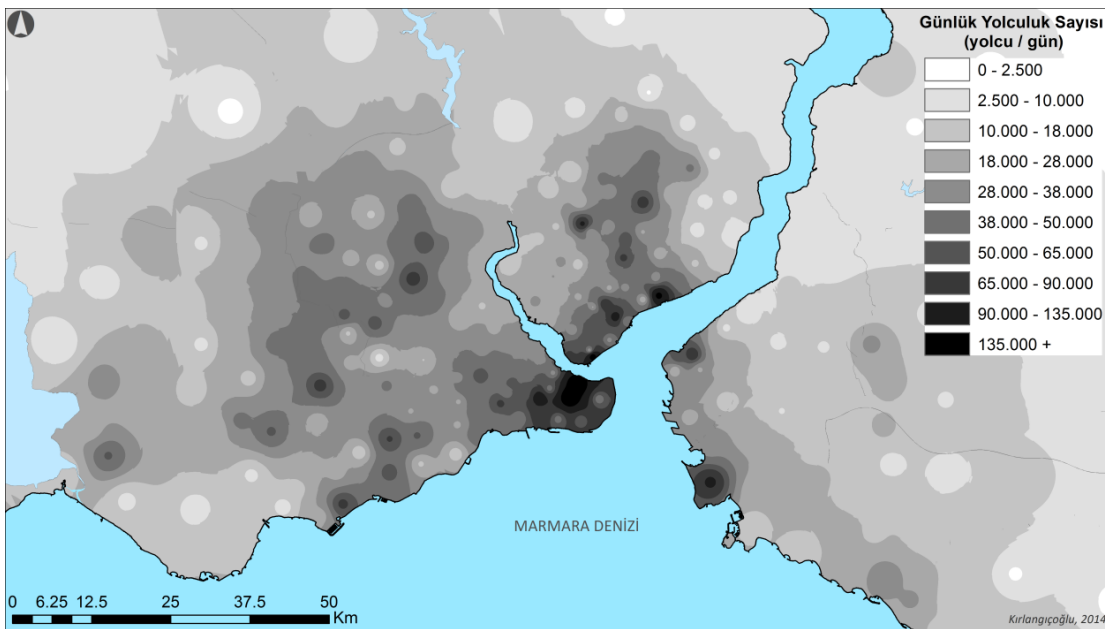
FAKTÖRLER	ÖNEM DERECESESİ
Yolculuk Talebi	0.161
Diğer Ulaşım Entegrasyon	0.145
Nüfus Yoğunluğu	0.129
Sit Alanlarına Uzaklık	0.113
Kamulaştırma İhtiyacı	0.097
Sanayi ve Ticarete Yakınlık	0.081
Kamu ve Eğitime Yakınlık	0.073
Toplu Konutlara Yakınlık	0.065
Eğitim	0.048
Jeolojik Yapıya Uygunluk	0.040
Faylara Uzaklık	0.032
Su Alanlarına Uzaklık	0.016
TOPLAM	1

Tasarım kriterlerinin birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesinin ardından her bir faktörün kendi içindeki değişik özelliklerine göre bir puanlama daha yapılarak faktör içi uygunluk analizleri ve puanlamaları da gerçekleştirilmiştir; ancak sayfa sayısını artırmamak ve konuyu uzatmamak adına bu detaya bu makale kapsamında yer verilmeyecektir. Detaylı analizler ve ağırlıklı puanlandırmaların ardından bütün faktörlere ait sonuç haritaları 25 metre çözünürlüklü ve İstanbul genelini kapsayan raster formatlı haritalara dönüştürülmüştür. Bu

sayede; çalışma kapsamında kullanılan faktörlerin her biri için bu şekilde raster formatlı haritalar hazırlanmış ve ağırlıklı çakıştırma mantığına göre birbirleri ile toplanarak sonuç haritasına ulaşılarak İstanbul genelinde raylı sistem güzergâhı için en uygun bölgeler tespit edilmiştir. Sonuç harita ve raylı sistem güzergâh önerileri 3. Bölümde detaylı olarak verilmiştir. Aşağıda, raylı sistem koridor planlamasına yön veren ve ağırlıklı çakıştırma analizinde kullanılan 12 faktör ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar anlatılmaktadır. Her bir faktörün kendi içinde de raylı sisteme uygun olan ve uygun olmayan tarafları bulunmaktadır. Bu bölgeler farklı olarak renklendirilmiş ve hiç uygun olmayan alanlardan en uygun alanlara kadar tüm bölgelerin mekânsal analizi gerçekleştirilerek uygunluk derecelerine göre puanlandırılmışlardır.

2.1. Yolculuk Talebi

Raylı sistem koridor planlamasını etkileyen en önemli faktör yolculuk talebidir. Bir bölgeye raylı sistem gelebilmesi için yüksek kapasiteli yolculuk talebi olmazsa olmaz birinci şarttır. Yolculuk talebinin hangi bölgelerde olduğunu anlamak ise ancak kapsamlı bir Ulaşım Etüdü ile mümkündür. Günlük ve zirve saatlerdeki yolculukların nereden nereye gerçekleştikleri genel hatlarıyla bilinirse, raylı sistem güzergâhları bu talebe göre tasarlanabilir ve istasyon noktaları yine bu talebin en fazla yoğunlaştığı bölgelere konumlandırılabilir. İBB tarafından 2006 yılında 90.000 kişi üzerinde 451 adet Trafik Analiz Bölgesi temel alınarak gerçekleştirilen ve 2009 yılında revize edilen hane halkı anketinden yola çıkılarak hesaplanan günlük toplam yolculuk sayılarını ve bunların İstanbul'daki mekânsal dağılımını gösterir analiz paftası aşağıda verilmiştir (**Şekil 4**).

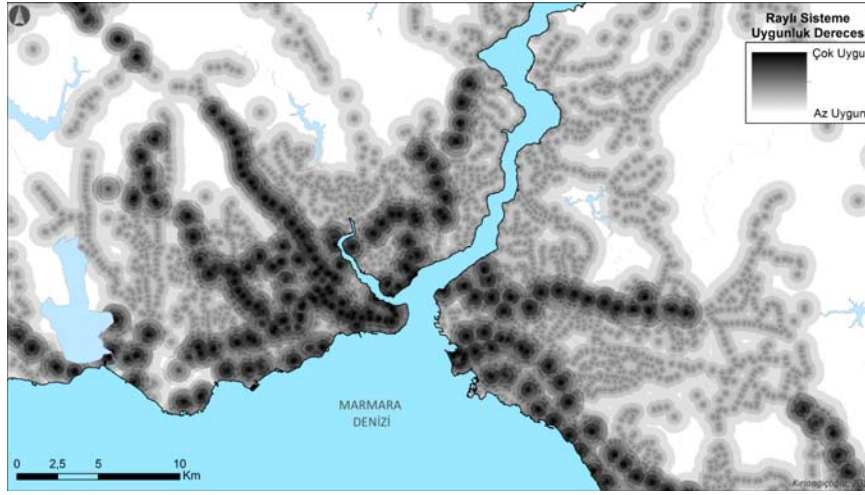


Şekil 4. Şehir merkezindeki günlük toplam yolculuk sayıları (Üretim + Çekim)
Figure 4. Daily trip numbers around the city center (Generation + Attraction)

2.2. Diğer Ulaşım Sistemleri ile Entegrasyon

Özellikle İstanbul gibi yolculuk sürelerinin bu kadar uzun olduğu ve bir yerden bir yere gitmek için bazen birkaç aktarma yapılması gereken bir şehirde, bütün toplu ulaşım sisteminin birbirine entegre çalışması gerekmektedir. Yolcularını merkezi iş alanlarına, okullara, hastanelere vb. varış noktalarına taşıyamayan ve diğer toplu taşıma sistemlerine aktarma yapamayan bir raylı sistem hem beklenen hizmet düzeyine erişemeyecek hem de yolcular tarafından öncelikli olarak tercih edilmeyecektir.

Gerekli analizlerin gerçekleştirilebilmesi için diğer toplu ulaşım sistemleri olan Metrobüs Hattı, Mevcut Raylı Sistemler, Deniz Yolları, Otobüs Hatları, Minibüs Hatları ve durakları sayısal ortamda temin edilmiş ve bir araya getirilmişlerdir. 100, 250, 500, 750 ve 1000 metrelik yürüme mesafesine kadar gerçekleştirilen yakınlık analizi neticesinde, mevcut toplu ulaşım sistemine yürüyerek gidilmesi bakımından en yakın olan bölgeler raylı sisteme uygunluk açısından en yüksek puanı almış, mevcut toplu ulaşım sisteminden uzaklaştıkça raylı sisteme uygunluk puanı düşmüştür (**Şekil 5**).

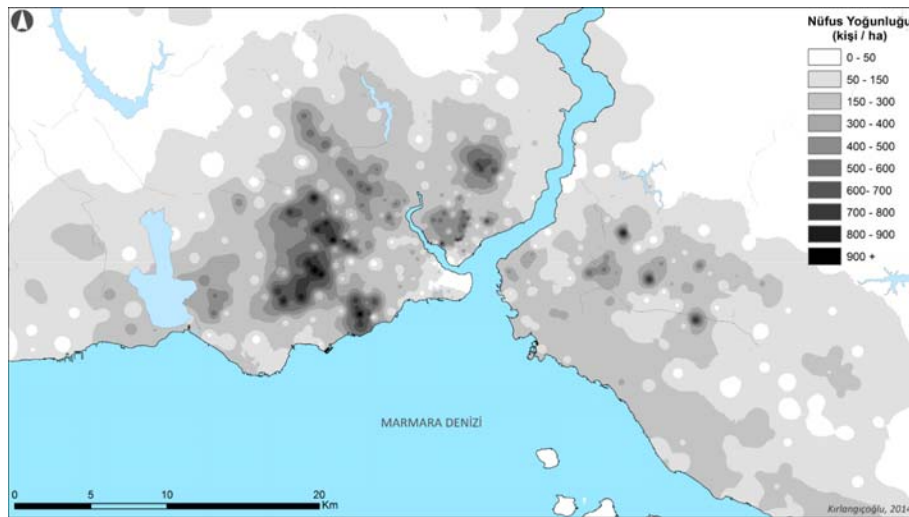


Şekil 5. Toplu taşıma sistemi duraklarının yakınlık analizi
Figure 5. Proximity analysis for other mass transport stations

2.3. Nüfus Yoğunluğu

Raylı sistemler yüksek yolculuklar gerektirmektedir, bu da nüfusun fazla olduğu bölgelerde mümkündür. Dolayısıyla nüfus yoğunluğu da yolculuk

talebi ile bağlantılı önemli faktörlerdendir. Nüfus yoğun bölgelerdeki insanların evlerinden çıkıp işlerine, okullarına vb. çekim noktalarına hızlı ve güvenli erişimleri sağlanmalıdır. **Şekil 6**, merkezi bölgelere ait nüfus yoğunluğu dağılımını ifade etmektedir.

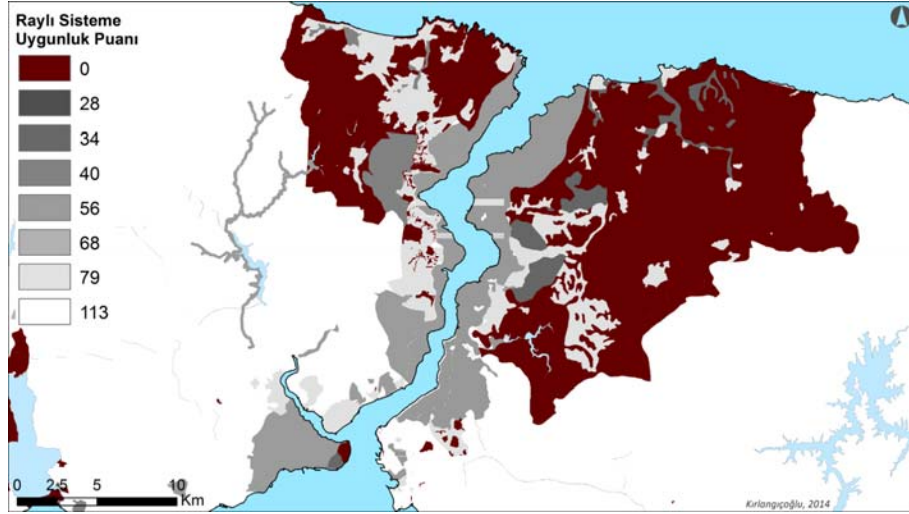


Şekil 6. Nüfus yoğunluğu haritası
Figure 6. Population density map

2.4. Sit Alanlarına Uzaklık

Raylı sistem koridor planlama sürecinde dikkate alınan yolculuk sayıları, topografyanın elverişliliği, teknolojik ve ekonomik kısıtlar vs. kriterlerin yanı sıra, çevreye ve sit alanlarına karşı da son derece hassas

olunması gerekmektedir. Bu nedenle kentsel, tarihi, arkeolojik ve doğal sit alanları dikkate alınarak güzergâhlar belirlenmelidir. **Şekil 7**, tüm sit alanlarının korunma dereceleri göz önüne alınarak hazırlanmış raylı sisteme uygunluk haritasını göstermektedir. Bordo renkli alanlar kesinlikle uygun olmayan alanları ifade etmektedir.

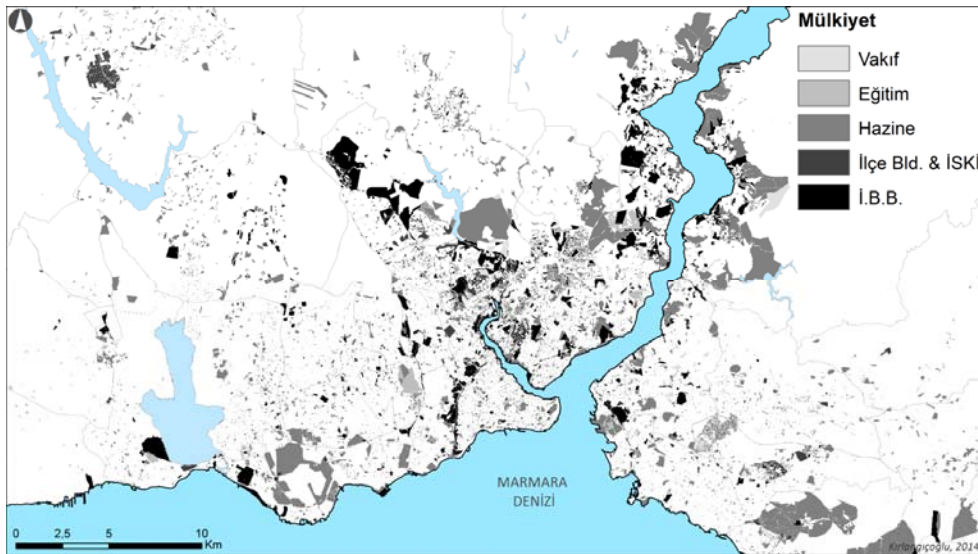


Şekil 7. Sit alanları – raylı sisteme uygunluk haritası
Figure 7. Protected areas – availability for railway system map

2.5. Mülkiyet

Raylı sistem güzergâhları belirlenirken ve fizibilite çalışmaları yapılırken kamulaştırma süreçleri de dikkate alınmaktadır. Bir güzergâhta kamulaştırma olması, hem maliyetin yükselmesi hem de hukuki olarak sıkıntılı süreçlerin yaşanabileceği manasına gelmektedir. Bu nedenle kamulaştırma gerektirecek mülkiyetler değil, mümkünse yerel yönetimlere ya da hazineye ait parsellerden geçiş sağlanmalıdır. Metro gibi yer altından

giden sistemlerde bile özellikle istasyon çıkış bölgelerinde kamulaştırma ihtiyacı doğmaktadır. Tramvay gibi yer üstünden giden sistemlerde ise genelde zaten kamulaştırılmış olan karayolları takip edilmeye çalışılmakta, bunun mümkün olmadığı durumlarda mümkün olduğunca devlete ait mülkiyetler ön plana alınmaktadır. **Şekil 8**'de mülkiyet anlamında raylı sisteme en uygun olan parseller koyu renkle ifade edilirken, daha açık renkli alanlar el değiştirme süreci daha uzun ya da maliyeti daha yüksek alanları ifade etmektedir.

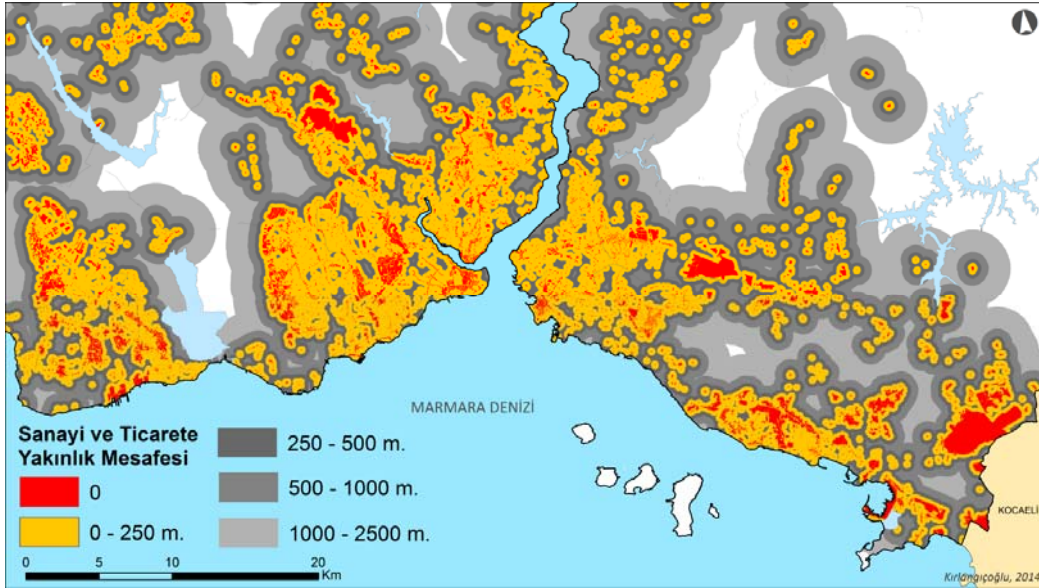


Şekil 8. Mülkiyet durumuna göre öncelik seviyeleri
Figure 8. Priority levels in accordance with the land ownership

2.6. Ticaret ve Sanayi Alanlarına Yakınlık

Gerçekleştirilen hanehalkı anketlerine göre, İstanbul'da evden işe ve işten eve olan yolculuklar tüm yolculukların %32'sini teşkil etmektedir (İBB, 2011). Bu nedenle yeni tesis edilecek raylı sistem güzergâhlarının özellikle merkezi iş alanları ve sanayi bölgelerinden geçmesi tercih edilmektedir. Bu sayede bu bölgelere kendi

özel araçları ile ya da zaten trafiğin içinde olan otobüslerle ulaşan yolcular, hızlı bir toplu taşıma sistemine transfer edilmiş olacaktır. **Şekil 9'**da görülen kırmızı ve sarı alanlar, yeni raylı sistem durakları için erişimi en kolay dolayısıyla da en uygun alanları göstermektedir. Renk beyaza doğru gittikçe, bu alanlardan uzaklaşmakta ve yaya erişimi daha güç hale gelmektedir.



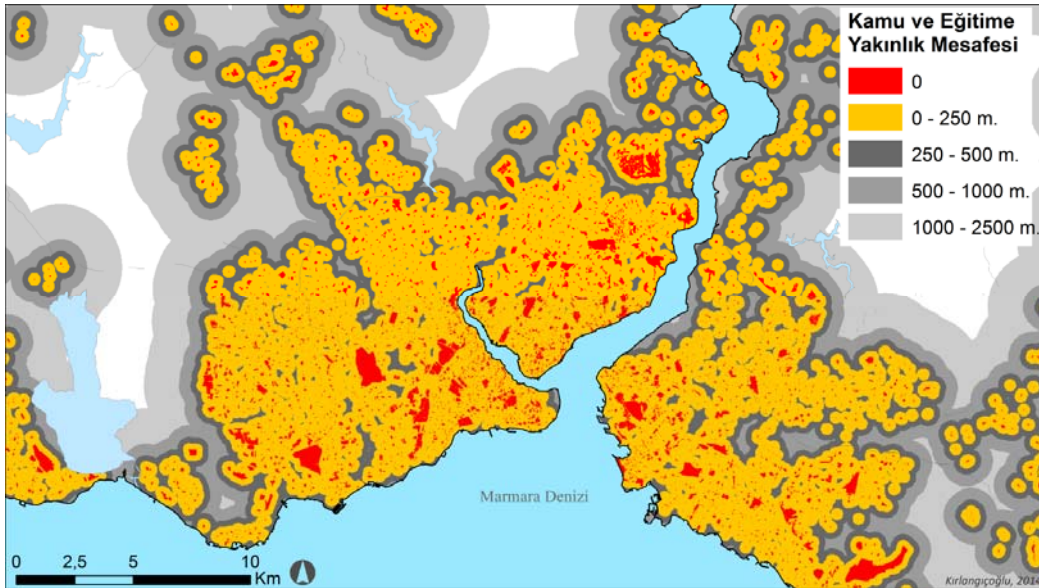
Şekil 9. Sanayi ve ticaret alanları yakınlık analizi

Figure 9. Proximity analysis for industrial and commercial areas

2.7. Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık

Evden işe yolculukların ardından en yüksek değerler kamu ve eğitim kurumlarına yapılan yolculuklara aittir (İBB, 2011).

Bu nedenle, bu alanlara yakın raylı sistem istasyonlarının bulunması da çok önemli ve gereklidir, **Şekil 10**, kamu ve eğitim alanlarına yönelik gerçekleştirilen yakınlık analizini göstermektedir.



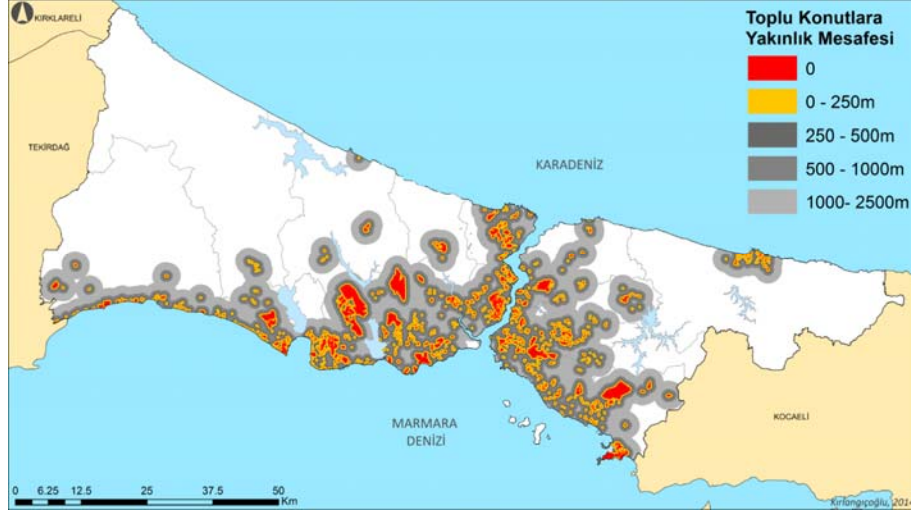
Şekil 10. Kamu ve eğitim alanları yakınlık analizi

Figure 10. Proximity analysis for public and educational areas

2.8. Toplu Konut Alanlarına Yakınlık

İstanbul'da son yıllarda benimsenen çok merkezlilik ve desantralizasyon politikaları neticesinde şehir merkezinin dışında ve toplamda milyonlarca insana ev sahipliği yapan toplu konut alanları çok önemli bir seviyeye ulaşmıştır. Bu alanlarda yaşayan insanların işlerine,

okullarına ve diğer noktalara erişimleri ciddi şekilde ele alınmalı ve bu bölgelerden özel araçlarla şehir merkezine doğru olan yolculuklar mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Tasarlanan raylı sistem güzergâhı toplu konut alanlarına ne kadar yakın olursa o kadar faydalı olacaktır. **Şekil 11'**de gösterilen kırmızı ve sarı alanlar, raylı sisteme yaya erişimi açısından en uygun alanları ifade etmektedir.



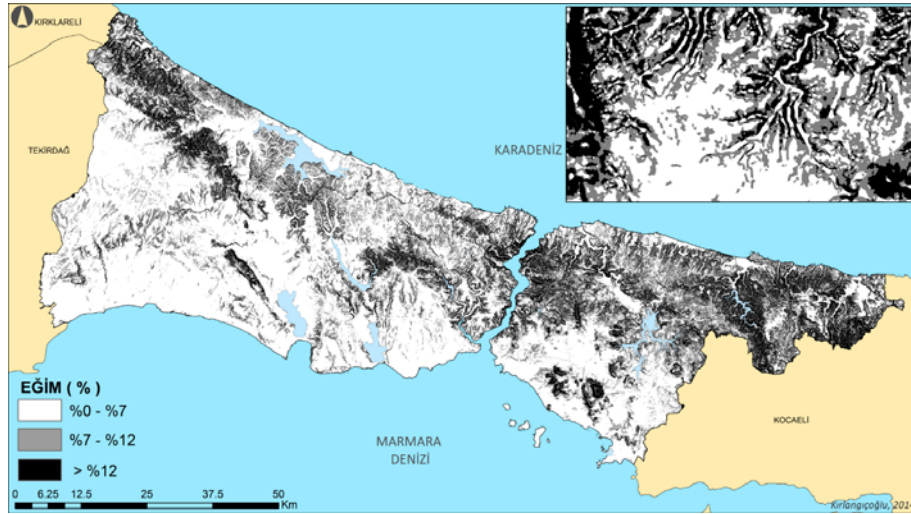
Şekil 11. Toplu konut alanları yakınlık analizi

Figure 11. Proximity analysis for mass housing areas

2.9. Topografya

Eğim ve arazideki kot farklılıkları raylı sistem tasarım sürecinde çok önemlidir. Tramvay gibi eğim ile doğrudan bağlantılı olan sistemlerde %7 eğimin üstüne çıkmamaktadır. Çok tercih edilmemekle birlikte, zorlu durumlarda, takviye bir takım güçlendirmeler ile bu oran %12'ye kadar çıkabilmektedir. Dolayısıyla eğim raylı sistem güzergâhını şekillendiren önemli bir faktördür. Metro gibi yer altından giden sistemlerde de güzergâh üzerindeki kot farklılıkları özellikle istasyon bölgelerinde

ciddi sorunlara yol açmaktadır. Güzergâh üzerinde istasyon derinlikleri artmakta ve bu da yolcuların 30-40 metre, bazen daha da fazla derinliğe inip çıkmalarına sebep olmaktadır. Bu da hem zaman hem enerji hem de ekonomi açısından ciddi kayıplara sebep olmaktadır. **Şekil 12**, İstanbul'un sayısal yükseklik modelinden üretilmiş eğim haritasından yola çıkılarak hazırlanan raylı sisteme uygunluk haritasını içermektedir. Koyu renkli alanlar en uygun olmayan bölgeleri ifade ederken, beyaz renkli alanlar eğim açısından en uygun bölgeleri göstermektedir.



Şekil 12. Eğim açısından raylı sisteme uygun olan ve olmayan alanlar

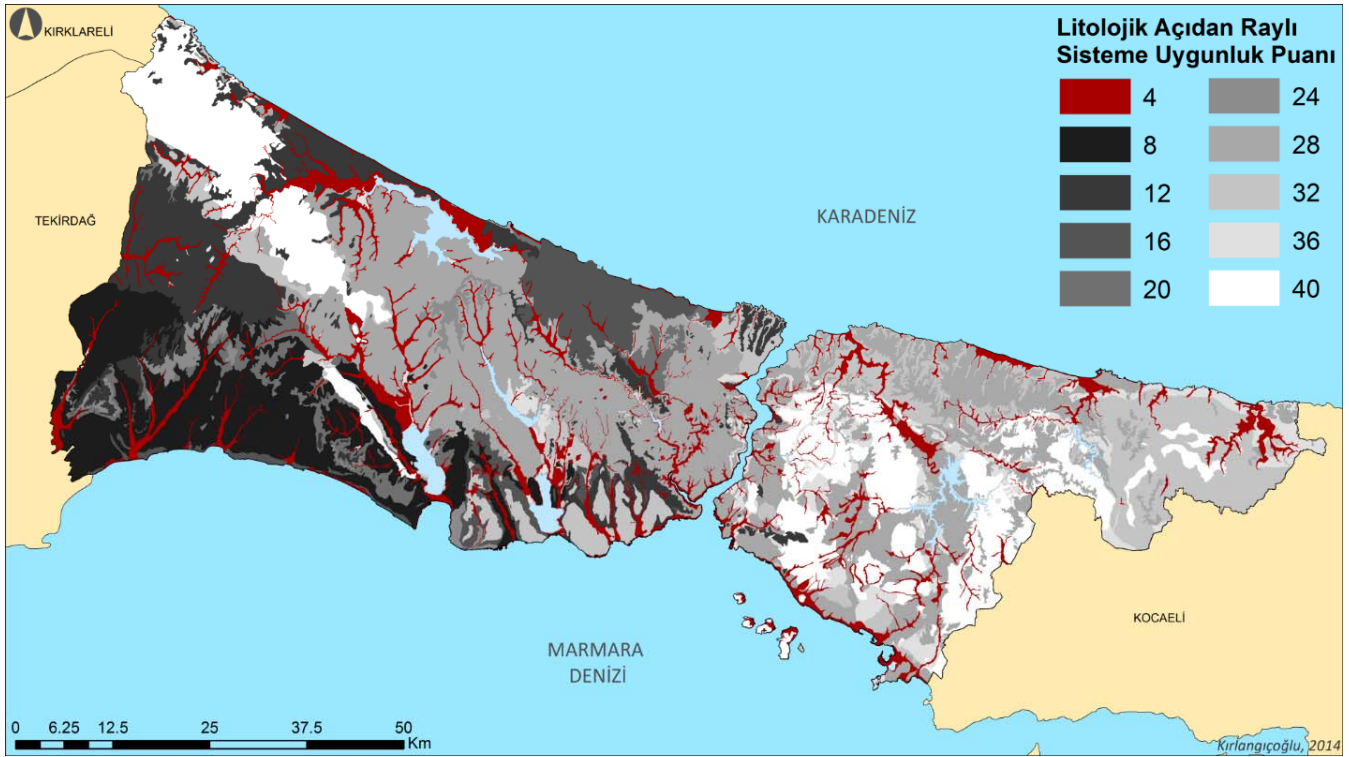
Figure 12. Suitable and unsuitable areas for railway systems in terms of slope

2.10. Jeolojik Yapı

Yapılaşmaya yönelik olarak dikkate alınan zemin ile ilgili kısıtlamalar ve kurallar, raylı sistemler için de hemen hemen aynı şekilde geçerlidir. Özellikle yer üstündeki tramvay gibi toplu taşıma türlerinde dayanıksız ve gevşek zeminler yer yer çökmelere neden olacak, hatta zarar verebilecektir. Yer altında bu durumun yönetimi teknolojik imkânlarla zor da olsa mümkün olmakla beraber, yapılacak detaylı sondaj çalışmalarının neticeleri dikkate alınmalı ve güzergâh bu doğrultuda belirlenmelidir.

Raylı sistem hattının inşa edileceği güzergâha ait jeolojik yapının çok iyi bilinmesi ve uygun olmayan zeminlerin tercih edilmemesi gerekmektedir. Bu nedenle, öncelikle İstanbul Büyükşehir Belediyesi Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü tarafından hazırlanan jeolojik yapı

haritası incelenmiş, ardından da uzmanlarla yapılan görüşmeler neticesinde; raylı sistem için en elverişsiz ve dolayısıyla en düşük puanlı litolojik yapıların genelde çakıl, kum ve kil ağırlıklı Kuşdili, Domuzderesi, Kırac vb. formasyonlar ile alüvyon ve dolgu alanlar olduğu anlaşılmıştır. En uygun ve en yüksek puanlı litolojik yapılar ise; granit, granodiyorit, kireçtaşı ve kuvarsit ağırlıklı Aydos, Kurtköy, Pınarhisar, Ballıkaya, Demirciler formasyonları ile Sancaktepe graniti ve Çavuşbaşı granodiyoriti olarak tespit edilmiştir. Diğer ara formasyonlar da dâhil edilerek bütün İstanbul için yapılan litolojik uygunluk sınıflandırması neticesinde her bir zemin türünün aldığı puan **Şekil 13**'te verilmiştir. Kırmızı renkli alanlar en düşük puanlı ve en uygun olmayan bölgeleri, beyaz renkli alanlar ise en uygun bölgeleri temsil etmektedir.



Şekil 13. Jeolojik yapı açısından raylı sisteme uygunluk analizi

Figure 13. Suitability analysis for railway systems in terms of geological structure

2.11. Su Alanlarına Uzaklık

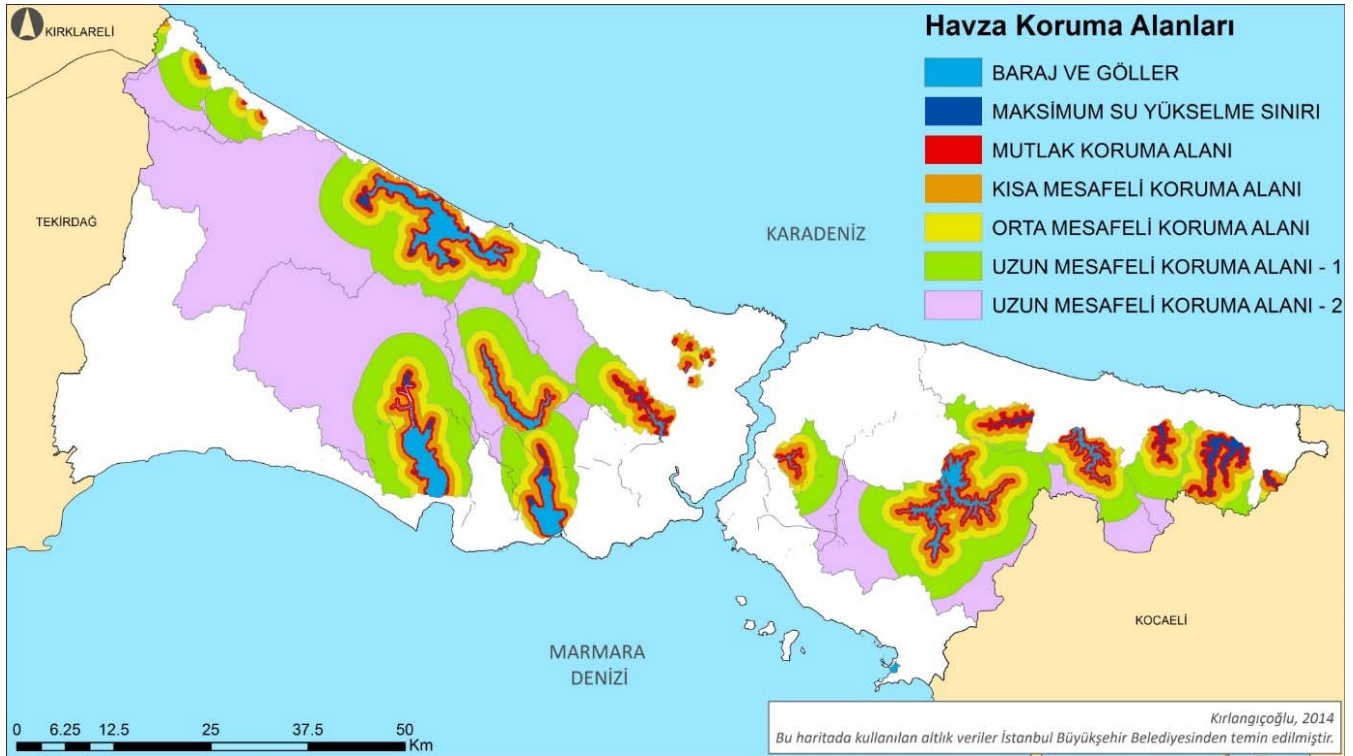
Eğim faktöründe olduğu gibi, su alanları için de daha en baştan belirlenen ve “kesinlikle uygun olmayan” göl, baraj vb. alanlar mevcuttur. Bu alanlar zaten tasarım sürecine katılmadıkları için tasarıma çok fazla etkileri yoktur. Fakat baraj ve göllerin etrafındaki havza koruma kuşakları kentleşmeye ciddi kısıtlamalar getirmektedir. Dolayısıyla raylı sistem güzergâh tasarımı yapılırken bu alanlar da dikkate alınmalıdır.

Özellikle içme suyu havzaları için geniş ve çok katmanlı koruma kuşakları oluşturularak şehirleşmenin bu alanlardaki etkileri kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Zaten yoğun nüfusa ve yolculuk değerlerine sahip olmayan bu alanlardan raylı sistem geçirilmesi hususunda hassasiyet gösterilmesi gerekmektedir. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ve 21.02.2003 tarihinde yürürlüğe giren ‘İçme Suyu Havzaları Koruma ve Kontrol Yönetmeliği’ne göre;

- **İçme suyu havzaları:** İçme ve kullanma sularının temin edildiği ve edileceği yüzey ve yer altı suyu kaynaklarının tabii su toplama alanıdır.
- **Mutlak Koruma Alanı:** İçme ve kullanma suyu temin edilen ve edilecek olan suni ve tabii göller etrafında en yüksek su seviyesinde su ile karanın meydana getirdiği çizgiden itibaren yatay 300 m. genişliğindeki kara alanıdır.
- **Kısa Mesafeli Koruma Alanı:** Mutlak koruma alanı üst sınırından itibaren yatay 700 m. genişliğindeki kara alanıdır.
- **Orta Mesafeli Koruma Alanı:** Kısa mesafeli koruma alanı üst sınırından itibaren yatay 1000 m. genişliğindeki kara alanıdır.
- **Uzun Mesafeli Koruma Alanı:** Orta mesafeli

koruma alanının üst sınırından başlamak üzere su toplama havzasının nihayetine kadar uzanan bütün kara alanıdır. Orta mesafe koruma alanı üst sınırından itibaren 3.000 metre genişliğindeki alan birinci uzun mesafeli koruma alanıdır. Daha sonraki alan ise ikinci uzun mesafeli koruma alanıdır (İSKİ, 2003).

Havzalara ait mutlak koruma alanlarında arıtma tesisleri hariç hangi maksatla olursa olsun hiçbir şekilde yapı yapılamaz, iskâna açılmaz. Baraj ve göllere yakın bölgelerde çok kesin ve yapılaşmayı engelleyici kurallar geçerlidir. Bu bölgelerden uzaklaştıkça bu kurallar hafifler. İstanbul Genel Havza Koruma Alanlarını gösterir harita **Şekil 14**'te verilmiştir.



Şekil 14. İstanbul geneli havza koruma alanları

Figure 14. Basin protection areas for Istanbul

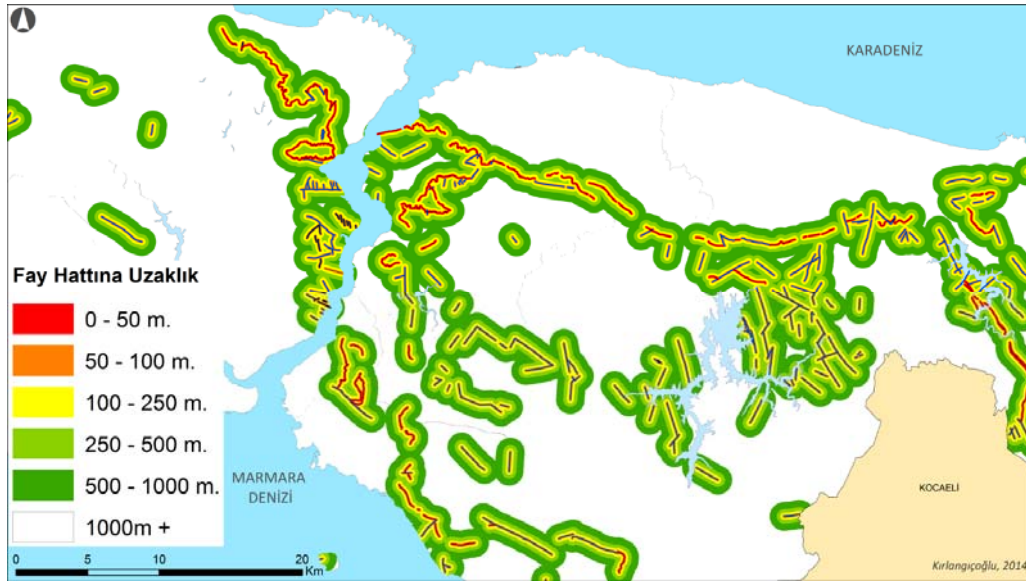
2.12. Fay Hatlarına Uzaklık

1999 Kocaeli (Mw=7.4) ve Düzce (Mw=7.2) depremlerinden sonra yapılan çalışmalar, Marmara denizindeki stres rejiminin değişmediği kabul edilirse, İstanbul'u etkileyebilecek aletsel büyüklüğü Mw=7.0'den fazla bir depremin meydana gelme ihtimalini %65 (+/-%15) olarak vermektedir (Parsons v.d., 2000).

İstanbul'da gerçekleştirilecek tüm projelerde olduğu gibi raylı sistem güzergâh çalışmalarında da depremsellik ve fay hatları dikkate alınmak zorundadır. Gerçekleştirilecek raylı sistem projesi, faylara ne kadar

uzakta tasarlanırsa o kadar güvenli olacaktır. Fay hattı üzerine ya da paralel olarak yakınına inşa edilecek raylı sistem hatları, olası bir deprem durumunda yüksek risk altında olacaklardır. Fay hatlarından ne kadar uzak durulursa risk o kadar azalacaktır.

Dolayısıyla tampon bölgeler oluşturulmalı ve raylı sistem hattına en yakın bölgeler tasarım aşamasında mümkün olduğunca değerlendirme dışı tutulmalıdır. **Şekil 15**'te kırmızı ve turuncu renklerle ifade edilen, çoğu aktif olmayan fay hatlarına yakın bölgeler raylı sistem güzergâhı için tercih edilmemekte ve düşük puan almaktayken, fay hatlarından uzaklaştıkça uygunluk puanı artmaktadır.

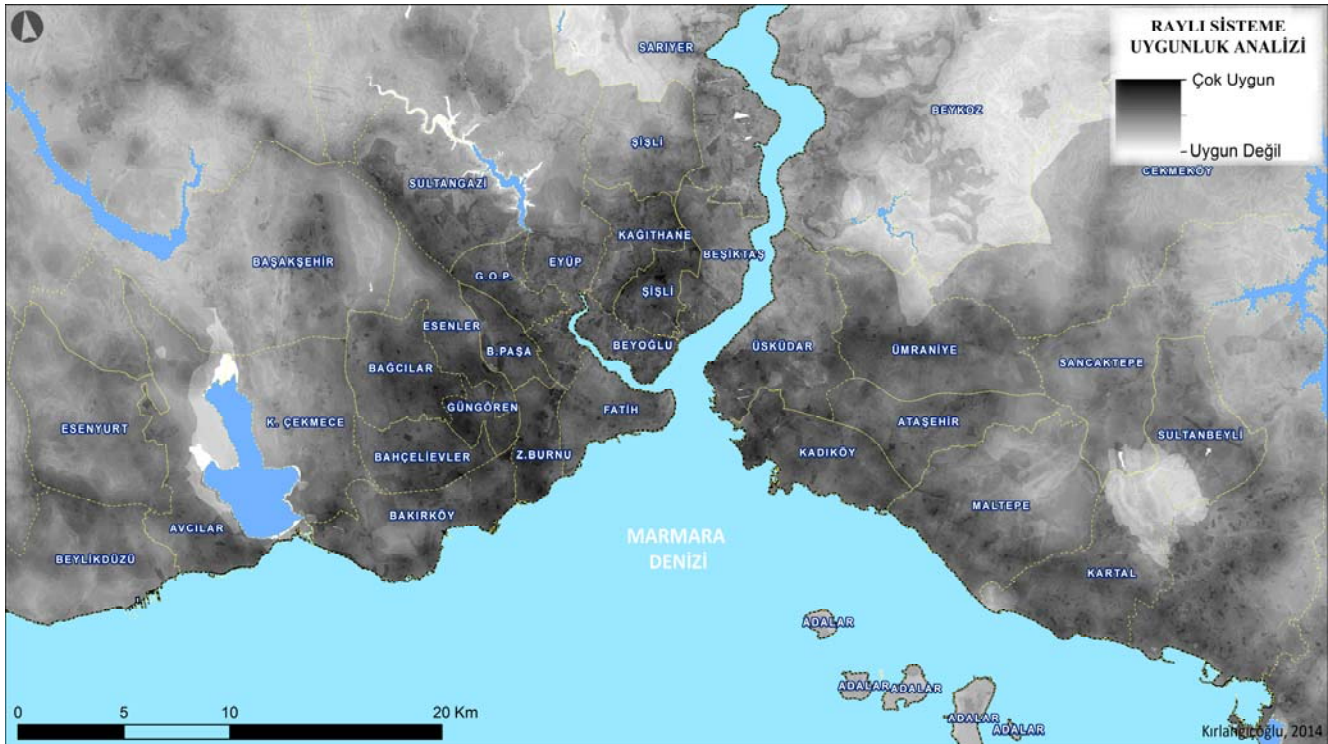


Şekil 15. Fay hatlarına yakınlık analizi
Figure 15. Proximity analysis for fault lines

3. RAYLI SİSTEM GÜZERGÂH ÖNERİ HARİTASININ OLUŞTURULMASI

Çok katmanlı ağırlıklı çakıştırma yöntemiyle 12 faktörün bir arada değerlendirilmesi neticesinde oluşan ve raylı sistem koridor planlaması için öncelikli olarak tercih

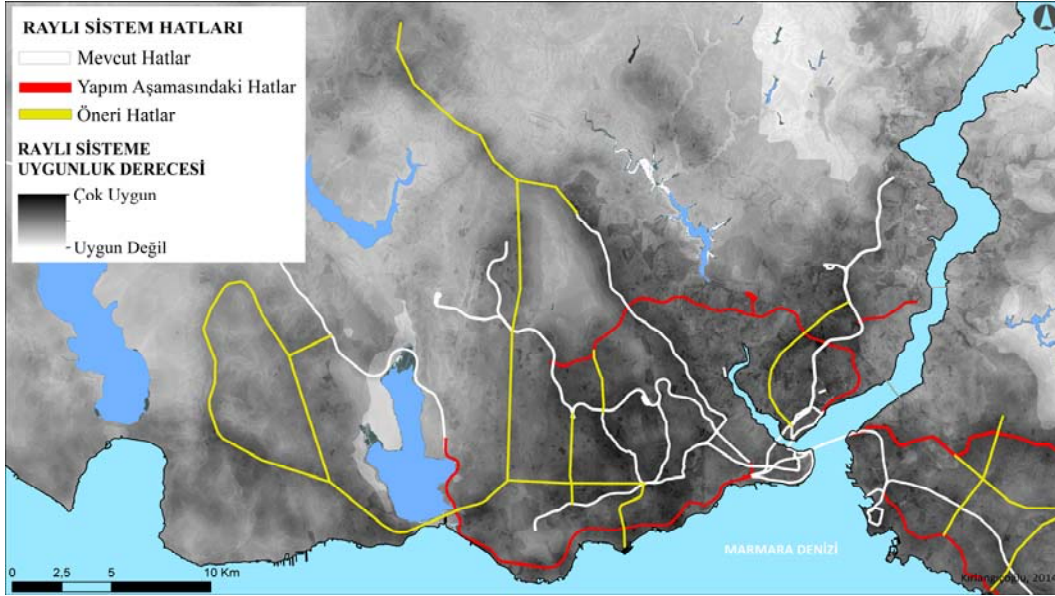
edilmesi gereken alanları İstanbul genelinde gösteren sonuç haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 16). Bu haritada koyu renk ile ifade edilen alanlar tüm faktörlerin değerlendirilmesi neticesinde çok uygun olarak nitelendirilen alanları ifade etmektedir. Renk açıklıkça raylı sisteme uygunluk derecesi düşmektedir.



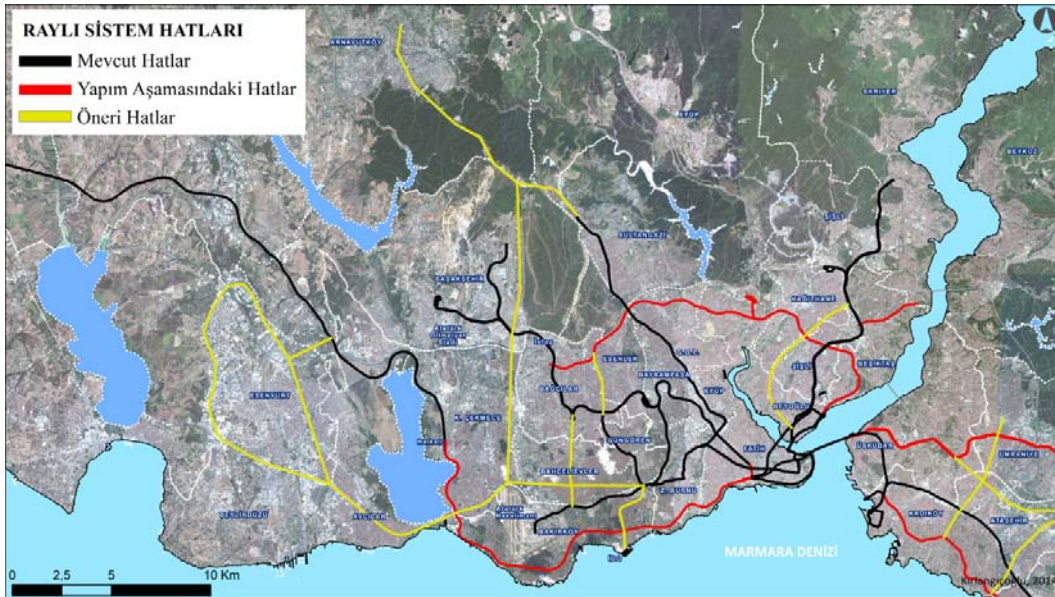
Şekil 16. Raylı sistem yatırımları için en uygun alanlar
Figure 16. The most suitable areas for urban railway investments

Haritadaki koyu renkli bölgelerin genel olarak yolculuk talebinin yüksek olduğu, diğer toplu ulaşım sistemleriyle entegrasyonun sağlandığı, yoğun nüfus alanlarını kapsadığı, merkezi iş alanları ile diğer yolculuk üretim ve çekim noktalarına hizmet götüren bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda kuzeydeki sit alanlarının da beyaz renkli olarak gözükmeleri, bu alanların çok düşük puan aldığını göstermektedir. Su alanlarının çevresi ve fay hatlarına yakın alanlar da açık renklere sahiptir. Bütün bu bulgular raylı sistem güzergâh modelinin doğru şekilde uygulandığını ispatlamakta ve modelin güvenilirliğini doğrulamaktadır.

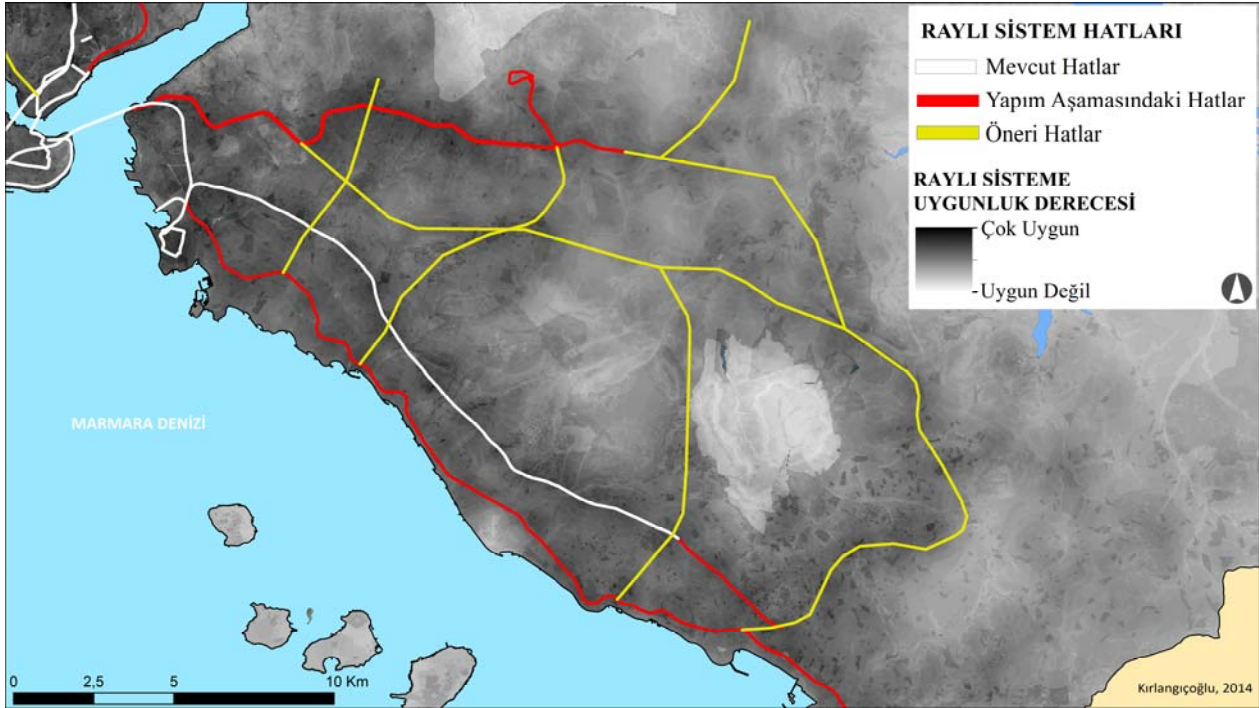
Sonuç haritasından yola çıkarak yeni raylı sistem güzergâhlarının nerelerden geçmesi gerektiği ile ilgili öneriler geliştirilmiş ve aşağıdaki haritalarda verilmiştir. Sonuç haritasındaki koyu renkli alanların ağırlık merkezlerinden çizgiler geçirilerek bazı güzergâh önerileri yapılmaya çalışılmıştır. Önerilen güzergâhlar daha sonra uydu görüntüsü ile entegre edilmiş ve hangi bölgelerden geçtikleri gösterilmiştir. **Şekil 17**, **Şekil 18**, **Şekil 19** ve **Şekil 20** kapsamında İstanbul'daki mevcut raylı sistem altyapısına ek olarak tasarlanabilecek yeni raylı sistem güzergâhları için en uygun alanlar gösterilmektedir.



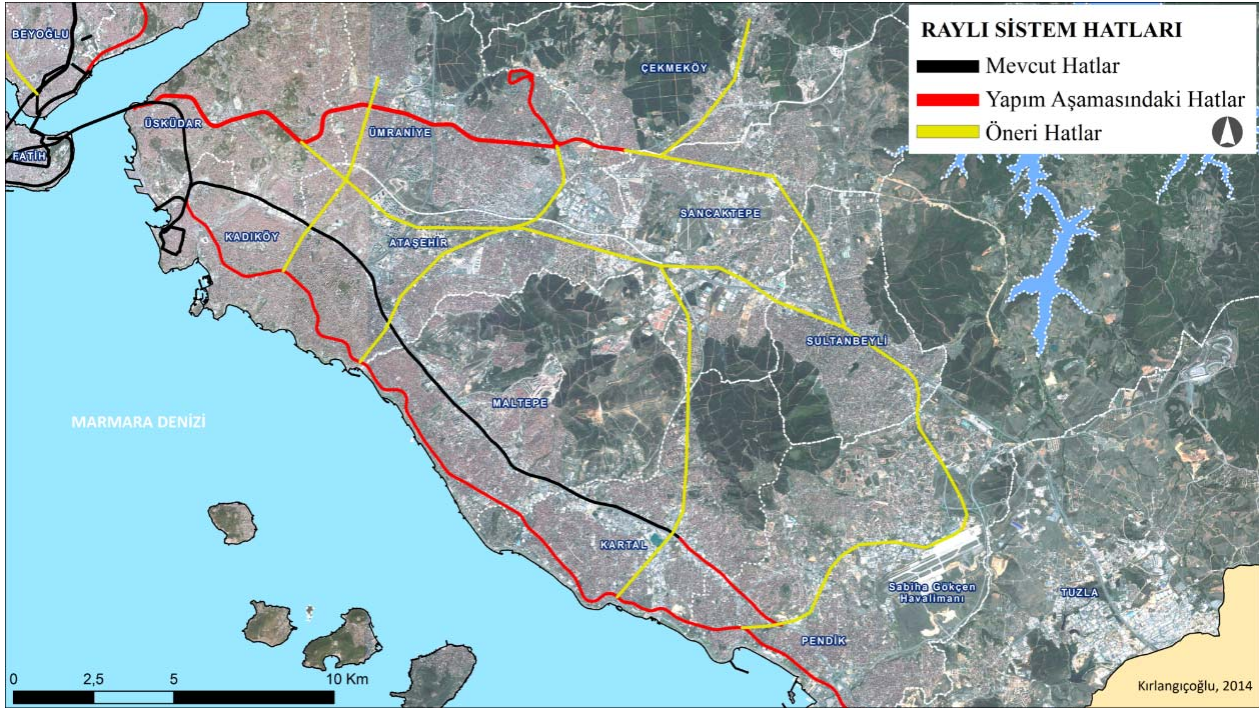
Şekil 17. Öneri raylı sistem güzergâhları-Avrupa Yakası
Figure 17. Proposed railway routes – European Side



Şekil 18. Uydu Görüntüsü üzerinde öneri raylı sistem güzergâhları-Avrupa Yakası
Figure 18. Proposed railway routes on satellite image– European Side



Şekil 19. Öneri raylı sistem güzergâhları-Anadolu Yakası
Figure 19. Proposed railway routes – Anatolian Side



Şekil 20. Öneri raylı sistem güzergâhları-Anadolu Yakası
Figure 20. Proposed railway routes – Anatolian Side

Öneri, mevcut ve inşa halindeki raylı sistem hatlarını içeren yukarıdaki haritalar göstermektedir ki; İBB tarafından bugüne kadar yapılmış ve yapılmakta olan raylı sistem hatları ile bu çalışmada en yüksek puan alan ve raylı

sistem yapılması önerilen koyu renkli alanlar büyük ölçüde örtüşmektedir. Bu sonuç, modelin gerçek çalışmalar ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Raylı sistem yatırımlarının, fiziki ve beşeri coğrafya faktörleri de göz önünde bulundurularak en doğru şekilde yönlendirilmesine katkıda bulunmayı amaçlayan bu çalışma, İstanbul örneğinde başarı ile neticelendirilmiş ve amacına ulaşmıştır. Çalışma kapsamında; öncelikle İstanbul'un ulaşım sorunu ele alınmış ve çözüm olarak büyük bir çoğunluğun üzerinde uzlaştığı raylı sistemler konusu mercek altına alınmıştır. İstanbul'da her yıl yüz milyonlarca yolculuğun gerçekleştiği ve çok büyük ekonomik yatırımlar gerektiren böyle bir konuda, teknolojiyi daha fazla kullanan, daha hızlı ve daha güvenilir bir güzergâh tasarım yöntemi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Geleneksel güzergâh tasarımında, düşünülmesi gereken her konunun farklı bir uzmanı olmakta ve bu uzmanlar çalışma sahası ile ilgili görüşlerini güzergâh tasarımını yapacak kişi ya da gruba aktarmaktadırlar. Aynı ayrı kaynaklardan, çok farklı formatlarda gelen bu bilgileri kendi tecrübelerini de işin içine katarak yorumlayan tasarımcılar, bütün faktörleri kendi süzgeçlerinden geçirdikten sonra uydu görüntüleri, yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları, hâlihazır çizimler ve eşyükselti eğrilerinden de istifade ederek projelerini hazırlamakta ve karar vericilere sunmaktadırlar.

Bu süreç aslında tasarımcıların kendi zihinlerinde gerçekleştirdikleri bir Çok Kriterli Karar Verme sürecidir. Fakat geleneksel yöntemle bu tasarımların yapılabilmesi için bu alanda hem karar vericiler hem de tasarımcıların çok tecrübeli olması gerekmektedir. Buna ek olarak; onları destekleyecek çok sağlam ve büyük bir ekip gerekmektedir. Ayrıca uzun toplantı süreçleri, farklı alternatiflerin hazırlanması, karar değişiklikleri vs. aşamalardan dolayı bir raylı sistem projesinin ortaya çıkması çok uzun süreler alabilmektedir.

Bu durum, hem ek maliyetlere hem de işgücü ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca, halka sunulacak raylı sistem hizmetinin gerçekleşme süresi uzamakta ve katlanarak büyüyen trafik sorunu çözülememektedir. Her yere raylı sistem yapılması elbette çok önemlidir fakat öncelikli ihtiyaç alanlarının çok doğru ve hızlı şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada karar vericilere büyük görev düşmektedir.

Bu çalışmada ortaya konulan model, hem yöneticiler hem de güzergâh tasarımcılarının elini kuvvetlendirecek çok önemli bir Karar Destek Sistemi sunmaktadır. Bu model; tecrübeye saygı gösteren ve geleneksel tasarım yöntemlerini destekleyen bir yöntem içermekle birlikte, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama teknolojilerini de işin içine katarak tüm süreçlerin çok daha hızlı ve doğru bir şekilde tamamlanmasını sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- AKAD, M., & GEDİZLİOĞLU, E. (2007). Toplu Taşıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı. İTÜ Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 88-98.
- BERESFORD, A. R., & BACON, J. (2006). Intelligent Transportation Systems. IEEE Pervasive Computing, 4(5), 63-7.
- BLACK, J. A., PAEZ, A., & SUTHANAYA, P. A. (2002). Sustainable Urban Transportation: Performance Indicators and Some Analytical Approaches. Journal of Urban Planning & Development, 4(128).
- BLAINEY, S. P., & PRESTON, J. M. (2013). A GIS Based Appraisal Framework for New Local Railway Stations and Services. Transport Policy (25), 41-51.
- 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, 1(2215), 59-66.
- CHEN, S., TAN, J., CLARAMUNT, C., & RAY, C. (2011). Multi-Scale and Multi-Modal GIS-T Data Model. Journal of Transport Geography, 1(19), 147-161.
- DJENALIEV, A. (2007). Multicriteria decision making and GIS for railroad planning in Kyrgyzstan. School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology, Master's of Science Thesis in Geoinformatics, Stockholm, Sweden.
- DLH (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı). (2014). Raylı Sistem Tasarım Kriterleri. www.dlh.gov.tr Erişim Tarihi: 08.05.2014
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). (2016). Weighted Overlay. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/weighted-overlay.htm> Erişim Tarihi: 07.10.2016
- FARKAS, A. (2009). Route/Site Selection of Urban Transportation Facilities: An Integrated GIS/MCDM Approach. Proceedings - 7th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking (MEB 2009), (pp. 169-184). Budapest, Hungary.
- GOODCHILD, M. F. (2000). GIS and Transportation: Status and Challenges. Geoinformatica, 2(4), 127-139.
- GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA. (2003). Design and Planning Guidelines for Public Transport Infrastructure. Bus Route Planning and Transit Streets. Australia: Public Transport Authority.
- HARMET, P., & SAGAMI, L. (2010). Using GIS in a Large-Scale Transportation Planning Study. 2010 Esri International User Conference. San Diego, CA: ESRI.

- HASSE, J. (2007). Evaluating Alternate Commuter Rail Corridors in Southern New Jersey. The Association of American Geographers 2007 Annual Meeting. San Francisco, California: Association of American Geographers (AAG).
- HWANG, D., CHO, S.-K., CHOI, Y.-S., & YU, C.-H. (2006). Applications of GIS for the Public Mass Transit Planning. ESRI European User Conference. Atina, Yunanistan: ESRI.
- İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi). (2011). İUAP-İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı Raporu. İstanbul.
- İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi). (2015). İBB 2016 Yatırım Programı. www.ibb.istanbul/tr/ButceYatirim/YatirimProgrami/Pages/2016.aspx Erişim Tarihi: 22.09.2016
- İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi). (2016). Raylı Sistem Projeleri. www.ibb.istanbul/tr/kurumsal/Birimler/RayliSistemlerDB/PublishingImages/rayli_sistemler_1.pdf Erişim Tarihi: 10.10.2016
- İETT (İstanbul Elektrik, Tramvay ve Tünel İşletmeleri). (2015). İstanbul'da Toplu Ulaşım. www.iETT.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95 Erişim Tarihi: 18.09.2016
- İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi). (2003). İçmesuyu Havzaları Koruma ve Kontrol Yönetmeliği. İstanbul.
- JEANSONNE, G. B., & KAPAVIK, B. D. (2003). Case Study: Site Selection of Multibillion Dollar Multimodal Transportation Center. Esri International User Conference (s. San Diego, CA). ESRI.
- JHA, M. K., SCHONFELD, P., & SAMANTA, S. (2007). Optimizing Rail Transit Routes with Genetic Algorithms and Geographic Information System. *Journal of Urban Planning & Development*, 3(133), 161-171.
- LOO, B. P., CHEN, C., & CHAN, E. T. (2010). Rail-based Transit-Oriented Development: Lessons from New York City and Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 3(97), 202-212.
- MALCZEWSKI, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- MARTIN, R., & GREENWOOD, C. (2012). High Speed Rail Alignment Generation and Optimization using GIS. San Diego, CA: ESRI.
- MOHAJERI, N., & AMIN, G. R. (2010). Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 1(59), 107-114.
- PARSONS, T., TODA, S., STEIN, R.S., BARKA, A. and DIETERICH, J.H. (2000). Heightened odds of large earthquakes near İstanbul: An interaction-based probability calculation, *Science*, 288, 661-665.
- RATNER, K. A. (2000). Relating U.S. Urban Population, Employment, and Congestion to U.S. Rail Transit Development and Success. AAG Annual Meeting, 2000 (p. 597). Pittsburgh, Pennsylvania: Association of American Geographers (AAG).
- SAATÇIOĞLU, C., & YAŞARLAR, Y. (2012). Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşımacılık Sistemleri: İstanbul Örneği. *Kafkas Üniversitesi, İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(3).
- SHAW, S.-L., & XIN, X. (2003). GIS and Transportation: Status and Challenges. *Journal of Transport Geography*, 2(11), 103-115.
- SAMANTA, S. (2008). Models and algorithms for a rail transit line alignment using GIS and genetic algorithm. Morgan State University, Maryland, USA.
- SENIOR, M. L. (2009). Impacts on travel behaviour of Greater Manchester's light rail investment (Metrolink Phase 1): evidence from household surveys and Census data. *Journal of Transport Geography*, 3(17), 187-197.
- SMITH, A. C., & DINAN, M. (2003). Developing Transportation Models Utilizing Geographic Information Systems. Abstracts: 2003 URISA. Atlanta, Georgia.
- TAYAL, T. (2002). Optimization of Network Alignment for Light Rail Transit: Phoenix, Arizona. Esri International User Conference. San Diego, CA: ESRI.
- TREPAINER, M., CHAPLEAU, R., & MORENCY, C. (2008). Tools and Methods for a Transportation Household Survey. *URISA Journal*, 1(20), 35-43.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2016). Temel İstatistikler. www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist Erişim Tarihi: 13.09.2016
- TÜMERTEKİN, E. (1997). İstanbul İnsan ve Mekân. İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- VERMA, A., & DHINGRA, S. L. (2005). Optimal Urban Rail Transit Corridor Identification within Integrated Framework Using Geographical Information System. *Journal of Urban Planning & Development*, 2(131), 98-111.
- YAO, X. (2007). Where Are Public Transit Needed: Examining Potential Demand for Public Transit for Commuting Trips. *Computers, Environment & Urban Systems*, 5(31), 535-550.
- ZHONGZHEN, Y., & HAYASHI, Y. (2002). GIS-based analysis of railway's origin/destination path-selecting behavior. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 3(17).