

## İSTANBUL'UN ARAZİ KULLANIM DEĞİŞİMİ VE METRO AĞI KAPSAMA ALANLARINA YÖNELİK MEKANSAL ANALİZLER

İsmail ÖNDEN<sup>1</sup>, Emre ÇAKMAK<sup>2</sup>

### Öz

Hali hazırda Avrupa'nın ve Türkiye'nin en kalabalık metropolü olan İstanbul'un nüfusu artış eğilimindedir. Bu artış genç nüfus ile de birleşince ulaşım ile ilgili talep nüfus artışından da yüksek olarak gözlemlenmektedir. Çalışma kapsamında nüfus artışı ile toplu ulaşım arasındaki bağlantı nedeni özelinde çeşitli araştırma sorunsallarına yanıtlar aranmıştır. İlk değerlendirilen araştırma sorunsalı İstanbul'un arazi kullanımının hangi bölgelerde artışının yoğunlaştığı ve bu değişimin ilçe merkezlerini (ilçe nüfus öbeği merkezleri) değiştirip değiştirmediğidir. İkinci araştırma sorunsalı mevcut metro hatlarının ve gelecek projelerin mevcut nüfusa hizmet sunma oranlarının ne olduğu ve nasıl değişeceği. Üçüncü sorunsalı ise raylı sistem hizmeti ve gelecek projelerinin şehirdeki toplu ulaşım talebini hangi oranda kapsayabildiği ve gelecekte hangi oranda kapsayabileceğinin analizidir. Cevabı aranan yanıtlarda İstanbul yapı verisine ait vektör veriler ve İstanbul'daki toplu ulaşımındaki akıllı kart verileri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında veri setleri sayısallaştırılmıştır. Analiz sonuçları göstermiştir ki, İstanbul'da belirli bölgelerde yapı yoğunluğu artmış olmakla birlikte ilçe merkezleri belirgin oranda değişmemiştir. Raylı sistem projeleri ile nüfus kapsama oranı mevcut hatlar ile %42 iken tüm projeler tamamlandığında %87'ye, yolculukların %79,7'si kapsanırken, projeler tamamlandığında %97,5'e ulaşacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Arazi Kullanımı, Mekânsal Analiz, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Toplu Ulaşım

**JEL Sınıflaması:** H54, L92, O18

### SPATIAL ANALYSIS FOR THE LAND USE CHANGE OF ISTANBUL AND THE COVERAGE AREAS OF ISTANBUL'S METRO NETWORK

#### Abstract

Currently, Istanbul is Europe's and Turkey's most populous metropolis and its population is still in a growing trend. This increase, coupled with the young population, and this fact lead a higher transportation demand in the city. Within the scope of the study three research questions related to this change is discussed. The discussed first research question is whether the population growth changed the centers of the districts (district population centers) of Istanbul. The second research question is how the new subway lines will cover the population's transportation need according to land uses. The third research question is an analysis of the extent to which future services and future projects can accommodate the public transport demand in the city, and in what future area it may be included. For these questions Istanbul's land use data and smart card data, which are vector dataset, are used. These dataset converted to geographic dataset and analyzed with the Geographic Information System capabilities. GIS' spatial analysis tools are used for the answers of the discussed questions. The results clearly showed the land use of Istanbul is significantly changed in the last decade; however, the centrals of the district remained close to the existing centers. Another result is found that the current subway system covers 42% of the land use and 79,7% of the public transportation demand, these ratios will be 87% and 97,5% at the end of the transportation projects' completion.

**Keywords:** Land Use, Spatial Analysis, Geographic Information Systems (GIS), Public Transportation

**JEL Classification:** H54, L92, O18

<sup>1</sup> Doç. Dr., TÜBİTAK TÜSSİDE, [ismail.onden@tubitak.gov.tr](mailto:ismail.onden@tubitak.gov.tr), ORCID: 0000-0003-2807-9454

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Piri Reis Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, [ecakmak@pirireis.edu.tr](mailto:ecakmak@pirireis.edu.tr), ORCID: 0000-0002-3406-3144

## 1. Giriş

İstanbul, Türkiye'nin ve Avrupa'nın en kalabalık metropollerinden birisidir. Nüfus yapısına bakıldığında ise şehirdeki genç ve çalışan nüfusun toplam orana göre yüksek olduğu da görülmektedir. Bu durum şehirdeki mevcut nüfusun artış eğiliminde olması sonucunu da beraberinde getirmektedir. Şehir uzun yıllar boyunca göç almakta olduğundan dolayı nüfusun hızlı şekilde arttığı, dolayısı ile de şehirdeki arazi kullanımının bu yeni bina talebi ile arttığı bilinmektedir.

Arazi kullanımı ile ilgili değişimlerin izlenmesi gerek şehir planlamacıların gerekse harita bilimi (kartografya) araştırmacılarının ilgi alanında olduğundan konu ile ilgili derin bir literatür mevcuttur (Anderson, 1976; Congalton, 1991). İstanbul özelinde de arazi kullanımının değişimi ile ilgili uydu fotoğraflarından elde edilen raster (hücresel) verisetleri baz alan çalışmalar da mevcuttur (Çakir ve diğ., 2008; Geymen ve Baz, 2007; Goksel, 1998; Yılmaz ve Yılmaz, 2010). Çalışmalar Silivri (Yılmaz ve Yılmaz, 2010), Beykoz (Kara ve Karatepe, 2012) gibi detayı odağına alabildiği gibi, tüm İstanbul için de gerçekleştirilmiştir (Çakir ve diğ., 2008). Bu çalışmalardan bazıları arazi kullanım tipinin değişimini odağına alırken (Çakir ve diğ., 2008), kimisi de su havzaları ile ilgili değişimlerini analiz etmiştir (Goksel 1998). Uzaktan algılama çalışmaları dışında vektör veri seti kullanarak İstanbul'daki lojistik kullanımı ile ilgili yoğunluk hesapları da gerçekleştirilmesi (Önden ve diğ., 2014), planlama ile ilgili öneri geliştiren modeller de çalışılmıştır (Baz ve diğ., 2009). İstanbul'daki lojistik merkezlerin yer seçimi için parçacık sürü algoritması ve GIS tabanlı yer seçimi modeli de geliştirilmiştir (Çakmak ve diğ., 2020)

Uzaktan algılama yöntemi ile elde edilmiş, uydu fotoğraflarından edilen analiz çıkarımlarına göre İstanbul'un arazi kullanımı son 50 sene de 3 kat artmıştır (TerraSAR-X-Bild, 2016). Nüfus artışı ise buna karşın 5 kat olarak tespit edilmiştir (TUIK, 2017). Bu dramatik değişimler, şehirdeki ulaşım talebinin profilini de değiştirmiştir. Daha önce sınırlı bölgedeki iş merkezleri ve nüfus kümelenmesi olan metropol (Önden ve diğ., 2015), günümüzde bir ucundan diğer ucuna 150 kilometre uzunluğundaki bir alanı ifade eden devasa bir metropole evrilmiştir. Dolayısı ile sınırlı sayıdaki iş ve yaşam merkezleri, yerlerini nüfusu yüzbinler ile ifade edilen yeni iş ve konut alanlarına bırakmıştır.

İfade edilen değişimlerin hem şehir yaşantısına hem de ulaşım altyapısına etkileri muazzam olmuştur. Şu anda şehir bütçesinin en büyük kaleminin ulaşım harcanmasının nedeni dünyadaki en sıkıntılı trafik problemlerinden birisiyle uğraşılması ve her sene nüfustan fazla artan ulaşım talebidir (TÜSSİDE, 2015). TomTom (2018) trafik indeksine göre İstanbul'un trafiği dünyanın en sıkışık altıncı trafiğidir. Trafikğin en yoğun olduğu sabah saatlerinde her yarım saatlik seyahat için ekstra 24 dakika ve akşam saatlerinde ise her yarım saatlik seyahata ilave 34 dakika eklenmektedir (Tomtom, 2018). Diğer taraftan İstanbul'daki ulaşım talebinin yoğunluğu nedeni ile sunulan hizmet ile ilgili de sıkıntılar gözlemlenebilmektedir. Bu nedenler dolayısı ile İstanbul'daki özellikle ana omurgayı oluşturacak raylı sistem yatırımlarının gerçekleştirilmesi trafikteki sıkışıklığın azaltılması ve de kaliteli ulaşım hizmeti sunulması amaçları ile gerçekleştirilmektedir.

Gerçekleştirilecek olan ana ulaşım ağlarının gerekliliği herkes tarafından kabul ediliyor olmakla beraber raylı sistemlerin etkinliğine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Çalışma kapsamında üç ana araştırma sorunsalı hem raylı sistemlerin sunacağı hizmetlerin etkisinin ne olacağının analizi, hem de araştırma konusu ile alakalı mekânsal analizleri içermektedir.

Bu kapsamda cevabı aranan sorunsallar şunlardır:

- Arazi kullanımını son on yılda nasıl değişmiş ve hangi bölgelerde yoğunlaşmıştır?
- Arazi kullanımının değişmesi ilçe merkezlerinin değişmesine neden olmuş mudur?
- Raylı sistem yatırımlarının mevcut nüfus kapsama oranı nedir ve yeni yatırımlar ile kapsama alanları nasıl değişecektir?

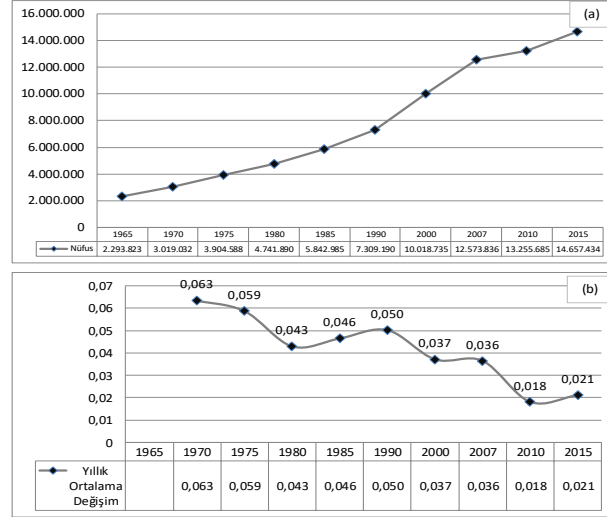
Araştırma sorunsallarına geçmeden önce, ilçe merkezi tanımını açıklamakta fayda bulunmaktadır. İlçe merkezi ile tanımlanmak istenen ilçedeki nüfus yoğunluğunun bina detayında ilçe nüfus öbeğinin merkezini göstermektedir. Bu araştırma sorunsalları sadece raylı sistemin başarısını araştırmayıp, aynı zamanda şehrin değişimi ile ilgili sorunsallara da yanıt aramaktadır. Araştırma modelinin bu şekilde kurgulanmasındaki temel sebep, sadece mevcut duruma göre başarı oranlarını belirlemek yerine şehirdeki dinamik değişimlerin de yansıtılabilmesinin sağlanmasıdır. Bu sorunsalların yanıtlarının bulunabilmesi için çalışma kapsamında CBS/mekânsal analiz yetenekleri kullanılmış ve şehirdeki tüm yapı verilerinin değerlendirildiği büyük miktardaki verinin analizi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen analizlerde uzaktan algılama fotoğrafları yerine vektör veri ile birlikte bu verilerin öznitelikleri kullanılmıştır. Bu sayede görsellerin anlamlandırılması yerine gerçek konum ve gerçek nüfus bilgileri detay seviyesinde yansıtılabilmektedir. Sonuç olarak da doğru değişim bilgileri tespit edilebilmiştir. Ardından da bu değişimler toplu ulaşım politikaları bile birleştirilmiştir. Bu sonuçlar şehir yöneticileri gibi profesyoneller için ve şehir planlama ve ulaşım planlama araştırmacıları için çeşitli sonuçlar taşımaktadır.

Makalede raporlama şu akışta gerçekleştirilmiştir. Öncelikle analizlerin gerçekleştirildiği şehir ile ilgili genel tanımlayıcı bilgiler verilmiş ve çalışmanın arkaplanı açıklanmıştır. Ardından uygulama bölümüne geçilerek, araştırılan sorunsallara yönelik analizlerin gerçekleştirilmesi ve elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Bu bölümden sonra elde edilen bulgular tartışılmış ve son bölümde de sonuç verilmiştir.

## 2. Analiz Şehir ve Çalışmanın Arkaplanı

Şehirler özelliklerine göre turizm veya sanayi şehirleri olarak sınıflanabilirler (Rodrigue ve diğ., 2013). Bu şehirlerin yapısından daha karmaşık yapıya sahip olduğu ifade edilebilecek olan şehirler her iki niteliği de taşıyan şehirlerdir. Çalışma kapsamında arazi değişimi ve toplu ulaşım altyapısı değişiminin araştırıldığı şehir olan İstanbul her sene 10 milyonun üzerinde turisti ağırlamaktadır (TUIK, 2013). Bunun yanı sıra hizmet ve üretim sanayi de gelişmiş olan İstanbul yıllık 57 milyar dolar civarında ihracatı tek başına gerçekleştirmektedir. Hem sanayisi hem de tarihi geçmişi İstanbul'u bir çekim merkezi haline getirmektedir. Dolayısı ile nüfusu Şekil 1'de de görülebildiği gibi artış eğilimi sonucunda 15 milyona yaklaşmıştır. Nüfusun artış eğilimi her ne kadar yavaşlamış olsa da her sene nüfusa 300 ila 400 bin yeni nüfus eklendiğinden dolayı arazi kullanımının artması ve dolayısı ile de ulaşım talebinin artması sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. İstanbul Toplam Nüfus ve Nüfus Değişimleri

Nüfusun artış oranı yüksek olsa da ulaşım talebindeki artış daha yüksektir. İstanbul trafiği planlaması konusundaki bir araştırma raporu yıllık yeni ulaşım kartı talep artışının, nüfus artış oranından dört kat fazla olduğunu ifade etmektedir (TÜSSİDE, 2015). Bu durum genç nüfusun yoğun olması ve ulaşım ağını kullanan kişi sayısının yüksek olması ile açıklanabilir. Bir diğer veri İstanbul'da akıllı kart kullanılarak gerçekleşen günlük yolculuk sayısı ise 6 milyonun üzerindedir (TÜSSİDE, 2015). Bu rakam akıllı kartın kullanılmadığı ulaşım modlarını kapsamamaktadır. Dolayısı ile hem ulaşımaya yönelik talebin artışı, hem de şehir üzerinde gerçekleşen milyonlar ile ifade edilebilen sayıdaki hareketlilik ulaşım altyapısının geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkartır.

Bu gereklilik nedeni ile İstanbul'da ulaşım yatırımları gerçekleştirilmektedir. İstanbul'da Metro İstanbul şirketi sadece metro sistemlerinin işletmesini gerçekleştirilmeyip, aynı zamanda yatırımların da gerçekleştirilmesini takip etmektedir. Metro İstanbul, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bir iştirakidir. Şirket mevcut metro ağının genişletilmesine yönelik metro planlarını üç aşamada planlamıştır. İlk aşama, 145,45 km uzunluğundaki mevcut demiryolu ağını temsil eder. İkinci aşama, 2016-2019 yıllarında metro inşaatlarının tamamlanmasından sonra devreye alınacak ve 484,10 km'lik alanı ifade eder. Son aşamada 516,05 km'lik raylı sistem devre alınarak İstanbul metro ağı nihai şeklini alacaktır ve 1.000,15 km'lik bir raylı sistem ağına ulaşacaktır. Rakamlarla anlaşıldığı üzere, yerel yönetim sakinlerine gelişmiş bir demiryolu sistemi sağlamayı amaçlamaktadır.

İstanbul'un artan nüfusu ve ulaşım talebi nedeni ile şehir mevcut ulaşım altyapısını yeni ve büyük bütçelere katlanılarak metro ağları ile desteklenmektedir. Bu yeni hatlar şehirdeki yoğun ulaşım talebinin karşılanması ve konforlu ulaşım hizmetinin sağlanmasını sağlayacaklardır. Artan nüfus ile dağılan şehir merkezlerinin belirlenmesi, artış eğiliminin hangi bölgelerde kümelendiğinin değerlendirilmesi ve metroların kapsama alanlarının değerlendirilmesi bu noktada bir araştırma konusu olarak çıkmaktadır.

### 3. Uygulama

Çalışma kapsamında, İstanbul'daki ilçe merkezleri ve yeni yapılaşma sonucunda değişimlerin araştırılması, arazi kullanımlarının değişimi ve raylı sistem yatırımları sonucunda kapsanan nüfus değişiminin araştırılması gerçekleştirilmektedir.

Bu noktada şehirdeki arazi kullanımının değişimleri, bu değişimlerin şehre ait ilçe merkezlerini ne şekilde değiştirdiği araştırılan ilk iki araştırma sorunsalları oluşturmuştur. Bu analizler, şehirdeki nüfus yoğunluğunun nerelerde değiştiği bina yoğunluğuna göre, bina detayında hesaplanmıştır. Ardından mevcut metro hatlarının kapsama alanı ve gelecekteki kapsama alanları bina verisi detayında analiz edilmiştir. Son değerlendirme ise İstanbul'daki mevcut yolculuk verilerinin yeni metro hatları kapsamında ne kadar kapsandığı analizidir. Şehirdeki genişleme alanları ve merkez değişimleri ile kapsama alanlarının ve hareketlilik verilerinin kapsamaları sonuç tartışmasında değerlendirilmiştir.

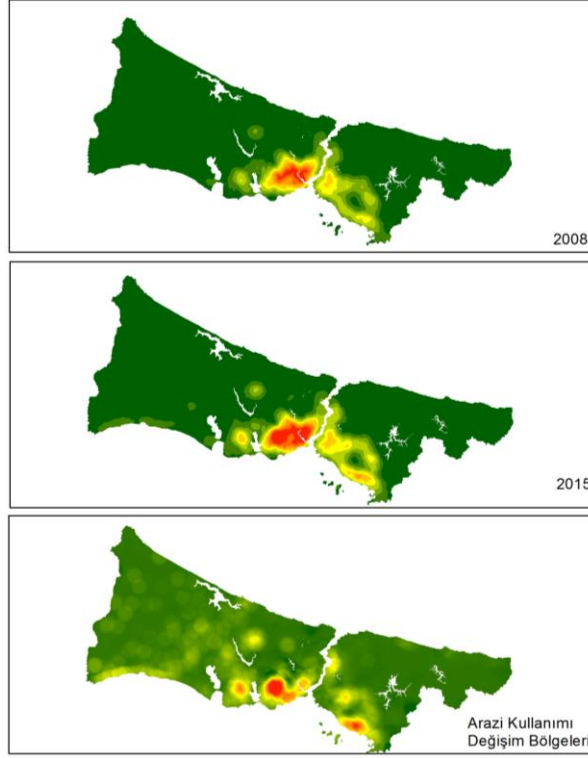
### 3.1. Arazi Kullanımı Değişimi

Toplu ulaşım ile ilgili gelecek ulaşım akslarının analizi için mekânsal analize konu olacak ilk değerlendirme şehirdeki nüfus artışının hangi bölgelerde oluştuğunun değerlendirilmesidir. Buradaki kök neden arazi kullanımı ile ulaşım talebi birbiri ile doğrudan ilişkili olmasıdır. Dolayısı ile gerçekleştirilecek olan herhangi bir ulaşım projesi ile ilgili doğru planlamanın yapılabilmesi için şehrin genişleme yönlerinin değerlendirilmesi gereklidir.

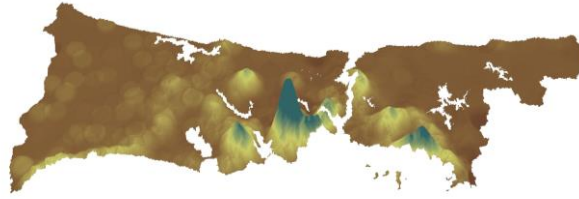
İstanbul'da da nüfus artış hızı Şekil 1'de görülebildiği gibi azalma eğiliminde olsa da yıllık artış 200 ila 300 bin kişi aralığındadır. Bu artış oranı da küçük boyutta bir şehir nüfusuna eşittir. Dolayısı ile nüfusun artış gösterdiği bölgelerin tespit edilmesi, yeni ulaşım taleplerinin belirlenmesi ve ulaşım altyapısının kapsama alanına girip girmediğinin gözlemlenmesinde önem taşımaktadır.

Bu gerekler dolayısı ile İstanbul'daki arazi değişiminin 2008 ile 2015 yılları arasında nasıl değişim gösterdiği analiz edilmiştir. Bu analizlere baz olarak şehir yönetiminden mevcut binaların konumları ve özniteliklerini gösteren vektör haritaları elde edilmiştir. Dikkate alınmış olan veriler 2008 ve 2016 yıllarındaki şehir üzerindeki bina haritasını göstermektedir. Kullanılan verilerde şehirdeki bina sayısının yaklaşık olarak 1.2 milyondan, 1.5 milyona yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu yıllar arasındaki nüfus değişimi de yaklaşık olarak 2 milyon olarak tespit edilmiştir (TUIK ,2017).

Bina verileri şehir üzerindeki arazi kullanımını gösteren veri kaynakları olarak kullanılmıştır. İki farklı döneme ait olan haritalara ait GIS/mekânsal analiz yetenekleri kullanılarak yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Bu harita oluşturulurken grid (ızgara) boyutları eşit seçilmiş ve her iki haritada da elde edilen yoğunlukların aynı bölgenin değeri olması sağlanmıştır. Yoğunluk analizi sonucu elde edilmiş olan haritalar, aynı sınır değerleri kullanılarak yeniden sınıflanmıştır. Şekil 2-a ve b'de görüldüğü gibi şehirdeki bina yoğunlukları tespit edilmiştir. Kırmızı ile gösterilen alanlarda bina yoğunluğu yüksek, sarı ile gösterilen alanlarda bina yoğunluğu orta ve yeşil ile gösterilen alanlarda bina yoğunluğu düşüktür. Grid boyutları aynı belirlenen aynı koordinat sistemi ve tüm nitelikleri aynı olan iki harita, 'raster math (görüntü tarama matematiği fonksiyonu)' vasıtası ile bölgesel değişimi göstermiştir. Şekil 2-c, şehirdeki arazi kullanımının nasıl değiştiğini göstermiştir. Bu elde edilmiş olan değişimin daha kolay okunabilmesi için **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**3'te görülen 3D görsel, 3D analyst (3D çözümleyici) ile oluşturulmuştur.



Şekil 2. İstanbul yapı yoğunluk analizi



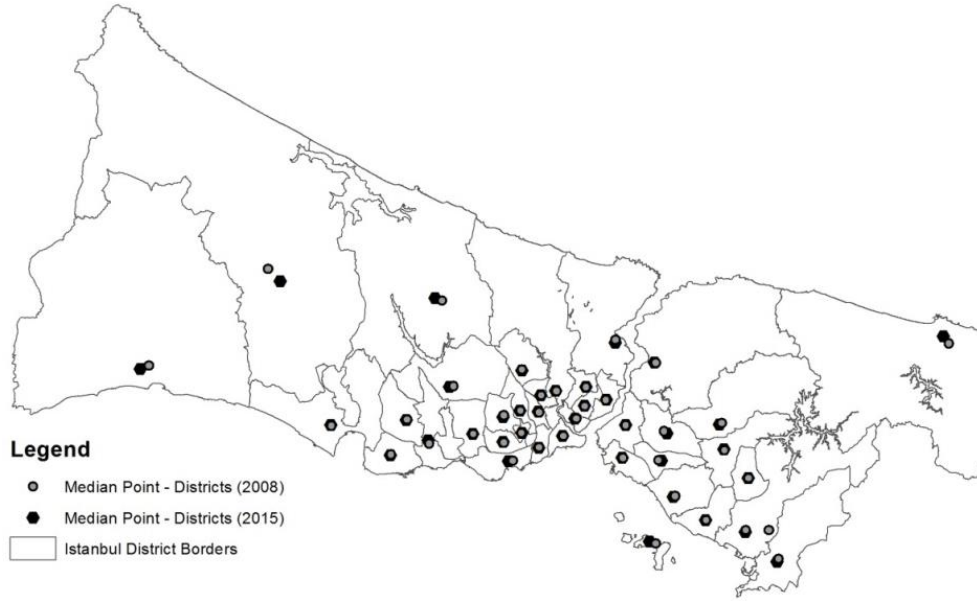
Şekil 3. Arazi kullanımı değişimlerinin 3D görselleştirilmesi

### 3.2. Şehir Merkezleri ve Merkez Noktası Değişimleri

İstanbul'da nüfus artışının öbeğlendiği bölgeler belirlendikten sonra yanıtı aranan ikinci sorunsal İstanbul'un ilçeleri merkezlerinin dramatik olarak değişim gösterip göstermediği sorunsalıdır. Bu sorunsalın yanıtı ulaşım ağına eklenen yeni güzergahların etkilerinin değişim gösterip göstermediğinin cevabı açısından önemlidir. Bu kapsamda İstanbul'un ilçelerinin merkezleri iki veri seti için de hesaplanmıştır. Ardından bu iki merkez arasındaki mesafeler hesaplanarak yeni yapılaşma alanlarının ilçe merkezlerinde oluşturdukları değişimler gözlemlenmiştir.

Bu araştırma sorunsalına yanıt bulabilmek için CBS/Mekansal Analiz yeteneklerine başvurulmuştur. 2008 yılındaki arazi kullanımını gösteren yapı haritasının ilçelere göre orta noktaları tespit edilmiştir. Ardından aynı analiz 2016 yılı için ilçelerin orta noktalarının tespiti için tekrarlanmıştır. Analiz kapsamında öncelikle bina verisi, ilçe verisi GeoDB (veri paylaşımı ekosistemi) içerisine alınmıştır. Ardından ArcGIS 10.5 üzerinde merkez noktasının neresi olduğunu gösteren orta merkez (mean center) algoritması her ilçenin merkez noktasını gösterecek şekilde çalıştırılmıştır. Bu işlem hem 2008 hem de 2016 yılları için çalıştırılmıştır.

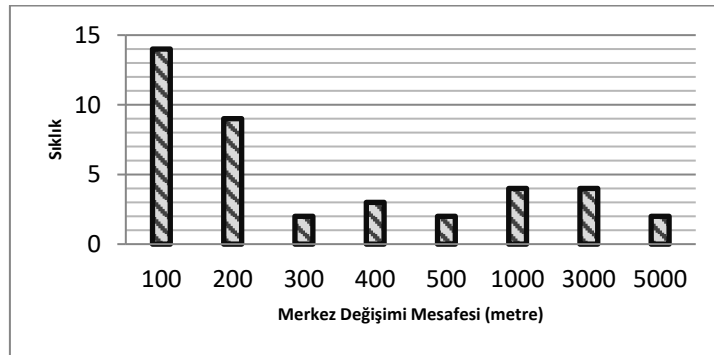
Elde edilmiş olan harita iki farklı tarih için merkez noktaları vermiştir. Ardından öklid mesafesi analizi gerçekleştirilerek tespit edilmiş olan iki farklı tarihe ait merkez noktalarının mesafeleri hesaplanmıştır. Analizin sonucu, Şekil 4’teki haritada görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4. İstanbul ilçelerinin merkez noktaları

Merkezlerin değişimleri Şekil 4’te verilmiştir. Grafik merkezlerin değişimlerinin mesafelerinin gözlenme sıklıklarını vermektedir. Analiz sonucu göstermiştir ki, merkez ilçelerde anlamlı bir farklılık oluşmamıştır. 40 ilçenin 34’ünün merkez değişimi kilometre veya daha az değişim göstermiştir. Civar ilçelerdeki yer alan 6 ilçenin merkez değişimi 5 kilometre ve üzerine kadar gözlemlenmiştir.

Bu ilçeler az yapılaşmaya sahip olan ilçelerdir. Ayrıca düşük nüfusları nedeni ile ağır ulaşım yatırımlarına ihtiyaç duymamaktadırlar. Sonuç olarak toplu ulaşım yatırımlarının odağında olan bölgeler olmadıklarından bu bölgelerin merkez değişimlerinin merkezdekilerine göre yüksek olması çalışma kapsamında aranan sorunsalın cevabına belirgin etki etmemektedir. Elde edilen sonuç, şehirdeki yapılaşmanın belirli merkezlerde oluştuktan sonraki yapılaşmanın da o merkez etrafında şekillenmiş olduğudur. Dolayısı ile BRT veya metro gibi ana ulaşım aksının bir bölgenin merkezi ve yoğun yapılaşma alanını kapsaması sonucunda o bölgedeki gelecekteki talebin de kapsanacağı sonucuna varılabilir.



Şekil 5. Merkez nokta değişimlerinin gözlenen mesafe sıklıkları

### 3.3. Metro Hatları ve Kapsanan Nüfus Oranları

Çalışma kapsamında yanıtı aranan son araştırma sorunsalı, İstanbul'da yatırımı gerçekleştirilen yeni raylı sistemlerin kapsama alanlarının nasıl değişim göstereceğidir. Bu sorunsalın iki başlıkta yanıt aranmıştır. Bunlardan ilki mevcut binaların yeni metro sistemlerinin kapsama alanına hangi oranda girmekte olduğudur.

Bu sorunsalın yanıtının bulunabilmesi, daha önce yanıtlanmış olan iki sorunsalların cevabı ile de ilintilidir. Yani yeni bir metro güzergahı mevcut genişlemeyle birlikte arazi kullanımını değişimi ve yeni nüfus oluşumu bölgeleri ile de alakalıdır. Çalışma kapsamında yoğun yapılaşma alanlarında bulunan merkezlerin değişim göstermediği ve yapılaşmanın bu merkezler etrafında geliştiği ve belirli bölgelerde önemli yeni yapılaşma alanlarının ortaya çıktığı tespit edilmişti. Bu sorunsalda ise yeni hizmete alınması planlanan sistemlerin etkilerinin nasıl genişlediği araştırılacaktır.

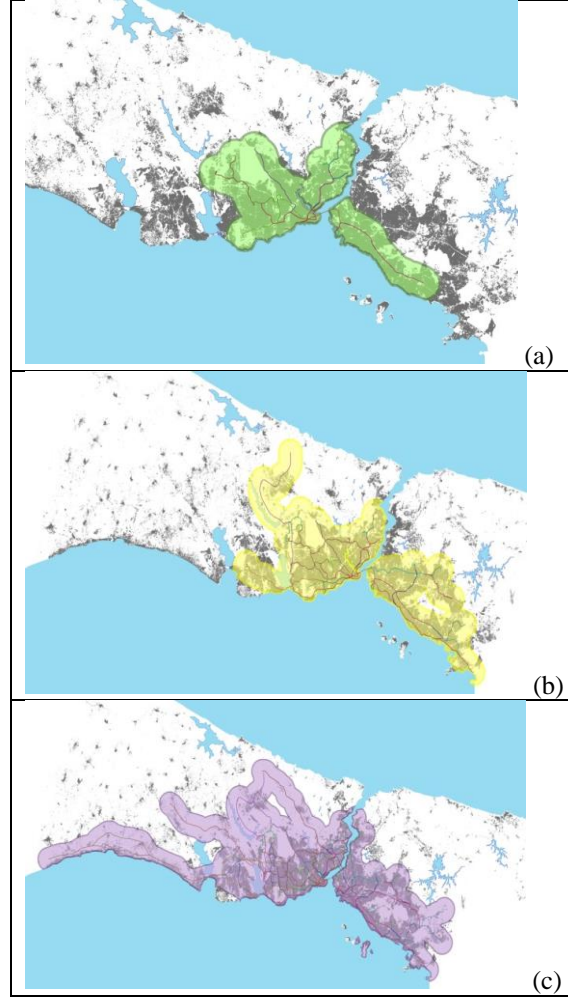
Daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi İstanbul'da çok sayıdaki metro yatırımları planlama ve inşa halindedir. Bu projelerin tamamlanması için üç faz öngörülmektedir. Tüm projeler tamamlandığında İstanbul'da 1000 kilometre toplam uzunluğa sahip bir raylı sistem altyapısı oluşturulacaktır. Bu sistemler hafif metro, füniküler, ağır metro olmak üzere çeşitli bileşenlerden oluşacaktır.

Çalışma kapsamında metro ağı gelişiminin analizi CBS/Mekansal Analiz ile gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmelerde şehir arazi kullanımını yansıtan bina verileri popülasyonun yansıtılması açısından girdi olarak alınmıştır. Bina verileri nüfusun kaba yapısından ziyade, şehir üzerindeki her bir yaşam noktasını gösteren detay verileri ifade etmektedir. Ayrıca fazlara göre metro sistemi de analiz girdisi olarak alınmıştır. Bu veri seti de değişimin izlenebilmesini sağlamaktadır.

Literatürde otobüs duraklarının, metrobüs (Bus Rapid Transit BRT) duraklarının ve metro duraklarının konum analizleri ile ilgili belirli standartlar mevcuttur (Ammons, 2014; Demetsky ve Lin, 1984.; Diaz, 2004; Murray, 2001; USA Transportation, 2011). TÜBİTAK TÜSSİDE'nin gerçekleştirdiği araştırma projesinde BRT ve metro duraklarına yolcuların geliş mesafelerini İstanbul için tespit etmiştir. Araştırmada, duraklara gelişlerin 2 ila 3 kilometre aralığında en yoğun gelişlerin olduğu tespit edilmiştir (TUSSIDE, 2016; TÜSSİDE, 2015). Deniz ile ilgili iskelelere gelişte de benzer bir ilişkinin olduğu görülmüştür (Önden ve diğ., 2015). Bu ilişki nedeniyle, İstanbul'daki metro duraklarının arasında yaklaşık olarak 1 km mesafe olduğundan, raylı sistem etrafında 2 km mesafenin etki alanı olarak alınması kabulü yapılmıştır.

Dikkate alınan veriler ve etki mesafeleri mekânsal analizlerin girdisi olarak alınmıştır. Bu aşamada etki mesafeleri ise, mevcut raylı sistem, Faz 2 yatırımları ile Şekil 6-a'daki gösterilen alanlara etki etmekte ve Faz 3 yatırımları Şekil 6-b'deki gösterilen alanlara etki etmektedir. Bu etki sınırları için tampon (buffer) analizi ile sınır çizgileri oluşturulmuştur. Şekil 6, analiz sonucunda ortaya çıkan tüm kapsama alanı çizgilerini vermektedir.





**Şekil 6.** Fazlara göre raylı sistem yatırımlarının bina etki alanı değişimleri

Kapsama alanı değişimi sınır çizgilerinin belirlenmesinden sonra kapsanan nüfus değişimleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda etki sınırının içerisine düşen yapı miktarları çakışma analizi ile belirlenmiştir. Ardından kapsama alanı içerisine düşen bina sayısı ve toplama oranları belirlenmiştir. Sonuçlar **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** Tablo 1’de verilmiştir. Analiz sonucunda mevcut raylı sistemin nüfusun 46%’sine hizmet verdiği tespit edilmiştir. Bu raylı sisteme gelecek ilk ek fazı sonucunda kapsama alanı 71%’ye ve son fazı sonucunda nüfusun 87%’ye ulaşacağı tespit edilmiştir.

Kapsama alanının arazi kullanımı değişimi gözlemlendiğinde, kapsama alanının arazi kullanımının yüksek olduğu bölgeleri kapsadığı tespit edilmiştir. Nüfusun artış yönü ve nüfusun büyük çoğunluğunun kapsayabileceği tespit edilmiştir.

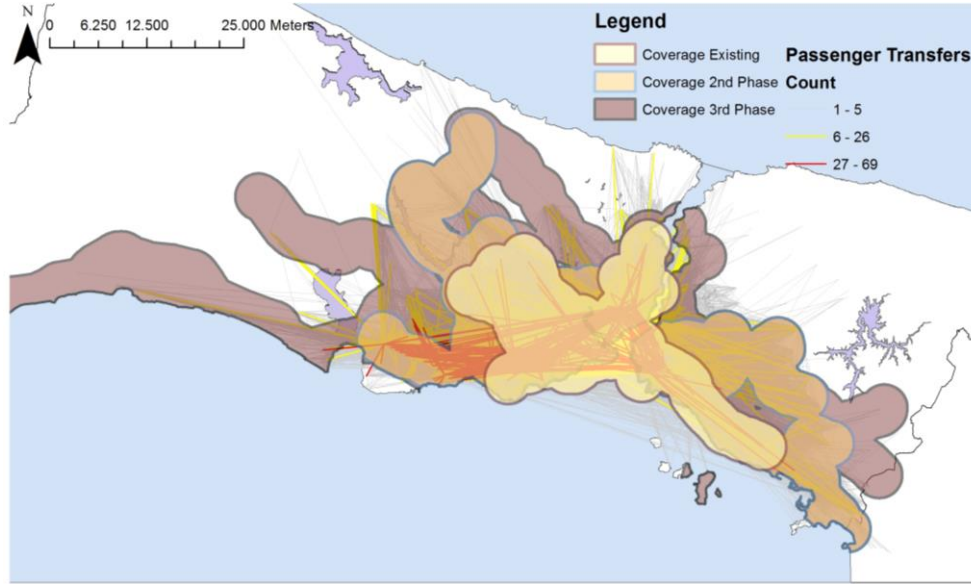
**Tablo 1.** Kapsanan bina oran değişimleri

Faz	Kapsanan Bina (Adet)	Kapsanamayan Bina (Adet)	Oran
Mevcut	696.225	810.771	0,46
Faz 2	1.074.838	432.058	0,71
Faz 3	1.307.913	198.983	0,87

### 3.4. Yolcu Hareketliliklerinin Kapsanması

Raylı sistem kapsama alanları ile ilgili ikinci sorunsal yolculukların kapsanmasının nasıl değiştiğidir. Bu sorunsala yanıt bulabilmek için İstanbul'da akıllı kart ile gerçekleşen yolculuklar dikkate alınmıştır. TÜBİTAK TÜSSİDE tarafından derlenmiş olan İstanbul'daki 12136 durak arasında hareketlilik olan 153905 rotaya ait veri seti dikkate alınmıştır (TÜSSİDE, 2016). Analiz kapsamında, elde edilmiş olan veri setine ait mekânsal veritabanı oluşturulmuştur. Dikkate alınan verisetine ait öznitelik tabloları başlangıç ve bitiş durak noktaları, ilgili ulaşım kesimler arasındaki yolculuk miktarları ve konfor oranlarını ifade etmektedir. Bu veriseti mevcut hareketliliği yansıtabilecek niteliktedir.

Diğer kapsama alanı değişimi analizinde olduğu gibi raylı sistem fazlarına göre bu hareketlilikteki kapsama oranı değişimleri tespit edilmiştir. Analiz kapsamında bir önceki kapsama alanı analizinde kullanılan kabuller ve yöntemler izlenmiştir. Analiz sonucu Şekil 7'de verilmiştir. Şekil, İstanbul'daki yolculukları ve kapsama alanı değişimlerini göstermektedir.



Şekil 7. Yolculuk aktarmalarının kapsama değişimleri

Analiz sonucunda yolculuk kapsama değişimi tespit edilmiştir. Kapsama alanı tespitine göre mevcut durumda %77, Faz 2 sonucunda %96 ve Faz 3 sonucunda %97'lik kapsama sağlanacaktır. Yolculuk sayıları dikkate alındığında bu rakamlar sıra ile %80, %97 ve % 98 olarak tespit edilmiştir. Tablo 2 üzerinde yolculuk kapsama oranları gösterilmiştir.

Tablo 2. Yolculuk kapsama oranlarının değişimleri

Faz	Kapsanan Aktarma Oranı (%)	Kapsanan Yolculuk Oranı (%)
Mevcut	77,1%	79,7%
Faz 2	95,7%	97,3%
Faz 3	96,7%	97,5%

## 4. Tartışma ve Bulgular

Çalışma kapsamında, Avrupa'nın en kalabalık metropolündeki arazi kullanımı değişimi ve toplu

ulaşım ilişkisi araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, üç temel araştırma sorunsallarına yanıt bulunmuştur.

Analizler kapsamında ise yaklaşık olarak son on senede yeni binaların hangi bölgelerde yapılmış olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçları göstermiştir ki zaten yapılaşmış olan bölgelerdeki bina mevcudiyeti daha da artmaktadır. Bu tespit ikinci araştırma sorunsalı olan şehir merkezlerinin değişip değişmediği sorunsalının yanıtı ile de alakalıdır. Zira analiz sonuçları göstermiştir ki ilçe merkezleri belirgin oranda değişmemiş ve mevcut merkezlere çok yakın bölgelerde kalmıştır. Bu sonuç yeni raylı yatırımlarının mevcut yoğun bölgeler dikkate alınarak gerçekleştirilmesi durumunda gelecekte de başarılı hizmet verebileceğini ifade etmektedir. Ancak bu sonuç araştırmanın gerçekleştirilmiş olduğu vaka için geçerlidir. Başka bir vakada planlı olarak şehrin genişlemesi öngörülyorsa bu planlamanın o yeni duruma göre gerçekleştirilmesi gerekecektir. Çalışmanın bulguları özellikle dinamik nüfuslu şehirler ve arazi kullanımı artan şehirler için aydınlatıcıdır. Ek olarak plansız genişleyen şehirler için de öngörü sunabilecek kabiliyettedir.

Çalışma kapsamında kapsama alanı değişimleri iki başlık altında irdelenmiştir. Bunlardan ilki mevcut bina kapsamasının ne oranda gerçekleştiğidir. Bu kapsama değişimine göre %46'dan % 87'ye varan bir kapsama artışı söz konusudur. Yeni güzergahların şehrin genişleme bölgelerini de kapsadığı elde edilen kapsama haritalarında görülebilmektedir.

Diğer kapsama alanı değerlendirmesi mevcut yolculukların kapsama alanının değişimidir. Bu değişim ise ilk kapsama rakamlarından farklılık göstermiştir. Mevcut durumda yaklaşık olarak %77 olan kapsamanın %97'ye erişeceği tespit edilmiştir. Mevcut hane kapsamı %46 iken, mevcut hareketlilik rotalarının kapsamasının %77 olması ana güzergah hatlarının mevcut hatlar tarafından kapsanması ile alakalıdır. Dolayısı ile yeni ağ yapısının oluşturulması sonucunda ulaşım karakterinin de değişmesi beklenebilir. Bu iki kapsama alanının değişimindeki farklılık nedeni ile karar vericilerin metro gibi büyük miktarda yatırım ve zaman gerektiren yatırımlar öncesi her iki parametre değişimine yönelik tahmin yapmaları gerektiği ifade edilebilir. Üçüncü aşamada gerçekleştirilecek olan yatırımların şehirdeki ulaşımı taşıyacak kılçık hatlar olarak kurgulandığı kabulü ile bu hatların artan yapı yoğunluğu ve artan talep sonucundaki ulaşım kalitesi ile ilgili iyileşmeyi sağlayacağı ifade edilebilir.

## 5. Sonuç

Çalışma kapsamında toplu ulaşım ile ilgili yatırım sonucunda oluşacak etki analiz edilmiştir. Değerlendirme parametresi olarak arazi kullanımının değişimi ve yolculuk ve bina kapsama alanlarının değişimi belirlenmiştir. Analizler kapsamında GIS/mekânsal analizlerin yetenekleri kullanılmıştır. Bu sayede mevcut toplu ulaşım altyapısı ve hareketlilikleri vektör veri olarak oluşturulabilmiştir. Ardından mesafe bazlı analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonucunda arazi kullanımı değişimleri ve toplu ulaşım ile ilgili etki değişimleri tespit edilmiştir. Bu tespit edilmiş olan bulgular yeni bir toplu ulaşım planlaması gerçekleştirecek olan yöneticiler ile araştırmacılar için çeşitli aydınlatıcı bulgular vermektedir.

Çalışma kapsamında arazi kullanımı değişimi araştırılsa da bu değişimin nedenlerine detaylıca girilmemiştir. İleriki çalışmalarda arazi kullanımının hangi faktörlerden etkilendiğinin

araştırılması, gelecek ulaşım planlamasının yapılması noktasında önem arz edecektir. Ek olarak raylı sisteme gelen yolculukların mesafelerinin tespit edilmesi etki mesafelerinin ve kapsama alanı değişimlerinin daha doğru analiz edilebilmesine imkan tanıyabilecektir.

## Kaynakça

- Ammons, D. (2014). *Municipal Benchmarks: Assessing Local Performance and Establishing Community Standards*.
- Anderson, JR. (1976). A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data.
- Baz, I., Abdurrahman G., ve S. N. Er. (2009). Development and Application of GIS-Based Analysis/Synthesis Modeling Techniques for Urban Planning of Istanbul Metropolitan Area. *Advances in Engineering Software* 40(2): 128–40.
- Cakir, G., Ün, C., Baskent, E. Z., Köse, S., Sivrikaya, F., ve Keleş, S. (2008). Evaluating urbanization, fragmentation and land use/land cover change pattern in Istanbul city, Turkey from 1971 to 2002. *Land Degradation & Development*, 19(6), 663-675.
- Çakmak, E., Önden, İ., Acar, A. Z., & Eldemir, F. (2020). Analyzing the location of city logistics centers in Istanbul by integrating Geographic Information Systems with Binary Particle Swarm Optimization algorithm. *Case Studies on Transport Policy*.
- Demetsky, M J, ve BBM Lin. (1982). Bus stop location and design. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, 108(4), 313-327.
- Diaz, R. (2004). *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*.
- Geymen, A., ve I. Baz. (2007). Monitoring Urban Growth and Detecting Land-Cover Changes on the Istanbul Metropolitan Area. *Environmental Monitoring and Assessment* 136(1–3): 449–59.
- Goksel, C. (1998). Monitoring of a Water Basin Area in Istanbul Using Remote Sensing Data. *Water Science and Technology* 38(11): 209–16.
- Kara, F., ve Karatepe A., (2012). Uzaktan Algılama Teknolojileri Ile Beykoz İlçesi (1986-2011) Arazi Kullanımı Değişim Analizi.
- Murray, A. T. (2001). Strategic Analysis of Public Transport Coverage. *Socio-Economic Planning Sciences* 35(3): 175–88.
- Önden, İ., Çancı, M., Çakmak, E., Gürel, Ö., ve Tuzla, H. (2015). *İstanbul'da Deniz Ulaşımının Geleceğinin Değerlendirilmesi*. İstanbul.
- Önden, İ., Fahrettin E., ve Çancı M., (2014). Clustering Logistics Facilities in a Metropolitan Area via a Hot-Spot Analysis. *Journal of Business Research-Türk2* 6(4).
- Rodrigue, J., Claude C., ve Slack B., (2013). *The Geography of Transport Systems*. Routledge.
- TerraSAR-X, (2016). TerraSAR-X-Bild Des Monats: Istanbul - 'Flächenfraß' Einer Metropole.
- Tomtom. (2018). Tomtom 2018 Traffic Index. [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/istanbul-traffic#statistics](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/istanbul-traffic#statistics) (March 27, 2019).
- TUIK - Turkish Statistical Institute. (2013). *Tourism Statistics Revised Results*.
- TUIK - Turkish Statistical Institute. (2017). Population Size of the Districts at the Study Area. *The Results of Address Based Population Registration System*.
- TUSSID. (2016). Common Intellectual Platform (OAP) Workshop Approach. <http://tusside.tubitak.gov.tr/tr/yontemlerimiz/Calistay-Yonetimi-OAP>.
- TÜSSİDE. (2015). *İstanbul Esnek Ulaşım Modeli Projesi*. Gebze-Kocaeli.

- TÜSSİDE, (2016). *İETT Toplu Taşıma Odaklı İstanbul Trafik Planlaması Projesi - Lastikli Ulaşım Olanaklarının (Ulaşım Envanterinin) Ortaya Konulması Raporu*. Gebze-Kocaeli.
- USA Transportation. (2011). *Federal Transit Administration Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision Making*.
- Yılmaz, R., ve Yılmaz R., (2010). *Monitoring Land Use/Land Cover Changes Using CORINE Land Cover Data: A Case Study of Silivri Coastal Zone in Metropolitan Istanbul. Environ Monit Assess* 165: 603–15.