Planlama 2025;35(3):343–363 | doi: 10.14744/planlama.2025.90958

ARAŞTIRMA / ARTICLE

Ulaşım Planlamasında Sürdürülebilir Erişilebilirlik Yaklaşımı: İstanbul Örneği

A Sustainable Accessibility Approach in Transportation Planning: The Case of Istanbul

Utku Cihan,[1] Kevser İsmet Üstündağ[2]

[1]Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul
[2]Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İstanbul

ÖZ

Erişilebilirlik, kentlerde yaşam kalitesini belirleyen temel unsurlardan biridir. Sürdürülebilir erişilebilirlik ise bireylerin temel hizmetlere çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan adil bir biçimde ulaşabilmesini ifade eder. Bu kavram, özellikle büyük şehirlerde, toplu taşıma sistemlerinin etkinliği ve hizmetlerin mekânsal dağılımı ile yakından ilişkilidir. Bu çalışmada, İstanbul'un toplu taşıma sistemine dayalı erişilebilirlik düzeyleri; seyahat süreleri ve istihdam verileri kullanılarak kümülatif olanaklar yöntemi ile hesaplanmış; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında entegre edilerek mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, literatüre dayalı olarak 30, 60 ve 90 dakikalık eşik değerler dikkate alınmış, 2022 yılı mevcut durumu ile 2040 yılı ulaşım yatırımlarının tamamlandığı varsayımsal senaryo, her bir eşik değer için yeniden modellenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, yapılacak ulaşım ve istihdam yatırımları ile 2040 yılı senaryosunda erişilebilirliğin tüm zaman eşiklerinde artacağını göstermektedir. İstanbul'da 60 dakikalık sürede, istihdama erişim oranlarının ortalama değeri %24,41'den %32,55'e çıkmıştır. 90 dakikalık sürede en düşük erişim değeri önemli ölçüde yükselmiştir. Buna karşın, 30 dakikalık erişim süresinde minimum değer değişmemiştir; bu durum, bazı bölgelerde istihdam alanlarına kısa sürede ulaşımın halen mümkün olmadığını ortaya koymaktadır. Makale, İstanbul'da sürdürülebilir erişilebilirliğin artırılabilmesi için toplu taşıma sistemlerinin güçlendirilmesi, kentsel hizmetlerin mekânsal olarak dengeli biçimde sunulması ve çeper mahallelerin ulaşım altyapısının iyileştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu öneriler, erişilebilirlik düzeyini genel olarak yükseltmenin yanı sıra, kent içi mekânsal adalet-

ABSTRACT

Accessibility constitutes one of the core determinants of urban quality of life. Sustainable accessibility refers to the capacity of individuals to reach essential services in an environmentally, economically, and socially equitable manner. Particularly in large metropolitan areas, this concept is intrinsically linked to the efficiency of public transport systems and the spatial distribution of urban services. This study evaluates Istanbul's public transport–based accessibility by employing the cumulative opportunities method using travel-time and employment data. The analyses were conducted within a Geographic Information Systems (GIS) environment, enabling a spatially integrated assessment. In line with the literature, thresholds of 30, 60, and 90 minutes were adopted. For each threshold, the 2022 baseline and a hypothetical 2040 scenario, assuming the completion of all planned transport investments, were modelled and comparatively examined. Findings reveal a clear improvement in accessibility across all threshold values in the 2040 scenario as a result of anticipated transport and employment investments. Within a 60 minute travel time, the average employment accessibility increases from 24.41% to 32.55%. At the 90 minute threshold, the lowest accessibility levels rise substantially. However, the minimum value within the 30 minute threshold remains unchanged, indicating that in certain areas, rapid access to major employment centers is still unattainable. The study concludes that enhancing sustainable accessibility in Istanbul requires strengthening the public transport network, ensuring a more balanced spatial distribution of urban services, and improving transport infrastructure in peripheral neighborhoods. These policy directions not only aim to elevate overall accessibility levels but also

Geliş tarihi: 21.04.2025 Revizyon tarihi: 16.07.2025
Kabul tarihi: 18.07.2025 Online yayımlanma tarihi: 18.11.2025
İletişim: Utku Cihan
e-posta: utkucihan@gmail.com

TMMOB Şehir Plancıları Odası

OPEN ACCESS This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

sizlikleri gidermeyi de amaçlamaktadır. Çalışma, bu doğrultuda erişilebilirlik temelli yaklaşımların kent planlamasında daha fazla dikkate alınması gerektiğini vurgulamakta ve İstanbul'un ulaşım politikalarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar sözcükler: İstanbul; kentsel ulaşım planlaması; kümülatif olanaklar yöntemi; sürdürülebilir erişilebilirlik; toplu taşıma.

to alleviate intra-urban spatial inequities. Accordingly, the study underscores the need for accessibility-based approaches to receive greater emphasis in urban planning practice and provides insights that can inform future transport policy development for Istanbul.

Keywords: Istanbul; urban transport planning; cumulative opportunities method; ustainable accessibility; public transport.

1. Giriş

Sürdürülebilir erişilebilirlik, modern kent planlamasında, bireylerin mekânsal kaynaklara erişimini iyileştirirken çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri dengelemeyi hedefleyen kritik bir kavramdır (Curtis, 2008; Geurs ve van Wee, 2004). İstanbul gibi büyük ve hızla büyüyen metropollerde, artan nüfus ve yoğun kentleşme, ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olarak yeniden yapılandırılmasını zorunlu hale getirmiştir (Bertolini vd., 2005).

Geleneksel ulaşım planlama yaklaşımları, genellikle hareketlilik odaklı olup, bireylerin yalnızca fiziksel mesafeleri aşmasını sağlayan çözümler sunmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, bireylerin sosyal ve ekonomik kaynaklara erişimini yeterince dikkate almadığı için toplumsal eşitlik ve çevresel etkiler açısından sınırlı kalmaktadır (Banister, 2008). Sürdürülebilir erişilebilirlik, bu eksiklikleri gidermeyi amaçlayarak bireylerin ihtiyaç duyduğu hizmetlere ve olanaklara çevresel maliyetleri azaltarak erişebilmesini sağlar (Curtis ve Scheurer, 2010).

Araştırma kapsamında yanıt aranan temel sorular şunlardır: İstanbul'da 2022 yılı itibarıyla sürdürülebilir erişilebilirlik düzeyi mekânsal olarak nasıl dağılmaktadır ve bu dağılım kent merkezleri ile çeper bölgeler arasında nasıl bir eşitsizlik üretmektedir? Planlanan ulaşım yatırımlarının hayata geçirildiği 2040 yılı senaryosunda bu mekânsal dağılım nasıl değişmektedir? Farklı zaman eşikleri (30, 60 ve 90 dakika) kullanılarak yapılan analizler, erişilebilirlik olanakları açısından ne tür sonuçlar ortaya koymaktadır? Son olarak, kümülatif olanaklar yöntemi ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mekânsal analizler, bu eşitsizlikleri hangi ölçütler üzerinden sayısallaştırmakta ve değerlendirmektedir? Bu sorular temelinde oluşturulan yöntemsel çerçeve, İstanbul örneğinde sürdürülebilir erişilebilirlik düzeylerinin nicel olarak ölçülmesine ve mekânsal planlama süreçlerinin iyileştirilmesine olanak tanımaktadır.

Bu makale, İstanbul'un mevcut ve geleceğe dönük ulaşım altyapısını sürdürülebilir erişilebilirlik bakış açısından değerlendirerek, kent içi mekânsal eşitsizlikleri görünür kılmayı ve erişilebilirlik temelli planlama yaklaşımlarına katkı sunmayı amaçlamaktadır. Erişilebilirlik yalnızca ulaşım sürelerine indirgenmeyip, toplumsal adalet, çevresel etki ve kentsel hizmetlere erişim hakkı gibi çok boyutlu unsurlarla birlikte ele alınmaktadır. Bu çerçevede, çalışmada kullanılan zaman eşiği temelli analiz yaklaşımı, hem güncel durumu hem de geleceğe dönük ulaşım yatırımlarının mekânsal etkilerini değerlendirmek açısından önemlidir.

Bu değerlendirme, İstanbul'un tamamını kapsayan kentsel ölçekte yürütülmüş ve analizler 1307 adet Trafik Analiz Zonu (TAZ) düzeyindeki toplulaştırılmış verilere dayandırılmıştır. Çalışmanın odağında, bireylerin toplu taşıma kullanarak istihdam alanlarına erişimi yer almakta; erişilebilirlik kavramı toplu taşıma sistemlerinin sunduğu ulaşım olanakları çerçevesinde ele alınmaktadır. Elde edilen veriler, toplu taşıma seyahat süreleri ve istihdam yoğunluğu temelinde kümülatif olanaklar yöntemi ile analiz edilmiş; çıkan sonuçlar CBS aracılığıyla görselleştirilmiştir. Analizler, kentsel hizmetlere erişimin zaman eşiği bağlamında değerlendirilmesini ve İstanbul'daki mekânsal erişim adaletsizliklerinin daha sistematik biçimde ortaya konmasını sağlamaktadır.

Bu makale, sürdürülebilir erişilebilirlik konusunu İstanbul gibi çok merkezli ve hızlı büyüyen bir metropol bağlamında ele almasıyla literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Kümülatif olanaklar yöntemi ve CBS tabanlı zaman eşiği analizleri temelinde yürütülen bu değerlendirme, Türkiye bağlamında nicel ve mekânsal erişilebilirlik çalışmalarının sınırlı olması nedeniyle önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Ayrıca, farklı zaman eşiklerine dayalı senaryo karşılaştırmaları, kent planlama kararları açısından öngörülebilir mekânsal çıktılar sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem bilimsel bilgi üretimine katkı sağlamakta hem de kent yönetimlerinin erişilebilirlik temelli politika geliştirme süreçlerine veri odaklı bir zemin sunmaktadır.

Makale yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, araştırmanın amacı, kapsamı ve önemi açıklanmaktadır. İkinci bölümde, sürdürülebilir erişilebilirlik kavramı tanımlanmakta ve konuyla ilişkili temel kavramlara yer verilmektedir. Üçüncü bölümde, konuya ilişkin literatür değerlendirilmekte; ulusal ve uluslararası çalışmalar ışığında sürdürülebilir erişilebilirliğe yönelik farklı yaklaşımlar karşılaştırılmaktadır. Dördüncü bölümde, İstanbul'da sürdürülebilir erişilebilirlik kümülatif olanaklar ölçütü ile ele alınmakta; kullanılan veri setleri, analiz araçları ve zaman eşiği temelli modelleme yaklaşımı açıklanmakta; 2022 ve 2040 yıllarına ilişkin analiz bulguları sunulmaktadır. Beşinci bölümde, analiz sonuçlarının mekânsal dağılımları incelenmekte; ilçeler düzeyindeki farklılıklar ve erişim eşitsizlikleri değerlendirilmektedir. Altıncı bölümde, analiz bulguları İstanbul'da farklı ilçelerin iş olanaklarına erişim düzeyleri üzerinden ele alınmakta ve bu farklılıkların sürdürülebilir erişilebilirlik açısından taşıdığı anlam irdelenmektedir. Yedinci ve son bölümde ise genel bir değerlendirme yapılmakta, ulaşılan sonuçlar özetlenmekte ve politika önerileri sunulmaktadır.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, bireylerin ve toplulukların mevcut ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmayan bir gelişim anlayışını ifade eder. Bu kavram ilk kez Brundtland Raporu'nda (World Commission on Environment and Development, 1987) kapsamlı bir şekilde tanımlanmış ve ekonomik büyüme, çevresel koruma ve toplumsal eşitlik arasında bir denge kurmayı hedeflemiştir. Literatürde sürdürülebilirlik, üç temel boyutta ele alınmaktadır: (1) Çevresel Sürdürülebilirlik: Doğal kaynakların korunmasını ve çevresel zararların en aza indirilmesini hedefler (Hall vd., 2010). Bu bağlamda, karbon emisyonlarının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı öncelikli konular arasında yer almaktadır. (2) Ekonomik Sürdürülebilirlik: Kaynakların verimli kullanılması ve ekonomik büyümenin uzun vadeli olarak desteklenmesi anlamına gelir. Özellikle, yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomi modelleri ekonomik sürdürülebilirlik yaklaşımları arasında önemli bir yer tutmaktadır (UN-Habitat, 2009a, 2009b). (3) Sosyal Sürdürülebilirlik: Toplumsal eşitliğin sağlanması, yaşam kalitesinin artırılması ve toplumların sosyal uyumunun güçlendirilmesini içerir (UNESCO, 2020).

Sürdürülebilirlik kavramı, özellikle şehir planlamasında ve ulaşım politikalarında belirgin bir rol oynamaktadır. Ulaşım sistemleri; fosil yakıt tüketimi, hava kirliliği ve karbon emisyonları gibi çevresel etkilerin önemli bir kaynağıdır (Banister, 2008). Bu nedenle, sürdürülebilir şehircilik yaklaşımı, ulaşım planlamasında çevresel etkilerin azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir ulaşım türlerinin teşvik edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Son yıllarda, Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi uluslararası politikalar, sürdürülebilir kalkınmanın uygulanabilirliğini artırmayı amaçlayan yenilikçi stratejiler geliştirmiştir (European Commission, 2020). Örneğin, Kopenhag gibi şehirler, sıfır karbon hedefleri doğrultusunda bisiklet altyapılarını güçlendirmiş ve toplu taşıma sistemlerinde yenilenebilir enerji kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu tür yaklaşımlar, sürdürülebilirlik kavramının sadece bir hedef değil, aynı zamanda bir eylem planı olduğunu göstermektedir.

2.2. Erişilebilirlik

Erişilebilirlik, bireylerin ve toplulukların, mekânsal kaynaklara, hizmetlere ve olanaklara ulaşma kolaylığı olarak tanımlanır (Geurs ve van Wee, 2004). Bu kavram hem ulaşım sistemlerinin performansını hem de arazi kullanımının etkinliğini değerlendiren bütünleşmiş bir ölçüt olarak kent planlamasında önemli bir rol oynamaktadır. Literatürde erişilebilirlik, yalnızca fiziksel mesafelerle sınırlı olmayan, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve zamansal faktörleri içeren çok boyutlu bir kavram olarak ele alınmaktadır (Bertolini vd., 2005).

Geurs ve van Eck (2001) ulaşım planlaması kapsamındaki erişilebilirlik çalışmalarını dört temel bileşen üzerinden değerlendirmiştir: (1) Ulaşım Sistemleri: Ulaşım türlerinin hızı, kapasitesi ve maliyeti gibi özellikler, bireylerin hizmetlere ulaşımını doğrudan etkiler. (2) Arazi Kullanım: Hizmetlerin, iş ve sosyal olanakların mekânsal dağılımı erişilebilirlik düzeyini belirler. (3) Zamansal Faktörler: Hizmetlerin kullanım saatleri ve ulaşım sistemlerinin zaman açısından uygunluğu. (4) Bireysel Özellikler: Gelir düzeyi, fiziksel yetenekler ve kişisel tercihler gibi birey bazlı farklılıklar.

Erişilebilirlik kavramı, kentlerin sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamada temel bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Hansen (1959) erişilebilirliği, ekonomik olanaklara ulaşma kolaylığı ile ilişkilendirmiştir. İstanbul örneğinde yapılan bir çalışmada, özellikle düşük gelirli bireylerin toplu taşımaya erişiminde sadece mesafe değil, ulaşım hizmetlerinin maliyetinin de önemli bir kısıt olduğu gösterilmiştir (Topuz Kiremitçi ve Gerçek, 2015). Lynch (1981) kentsel alanların estetiği ve yaya hareketliliğiyle bağlantılı olarak erişilebilirliği ele almıştır. Günümüzde teknolojinin gelişimiyle birlikte, bireysel hareketlilik verileri ve dinamik analiz yöntemleri, erişilebilirlik değerlendirmelerini daha hassas hale getirmiştir (Curtis ve Scheurer, 2010).

Erişilebilirlik ölçüm yöntemleri, şehirlerin ulaşım planlamasında ve politika oluşturma süreçlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, çekim tabanlı modeller ve CBS, bireylerin mekânsal erişimlerini ölçmek için etkin araçlar sağlamaktadır (Geurs ve van Wee, 2004). Elde edilen sonuçlar, şehirlerin kentsel ulaşım projelerini planlarken sosyal eşitliği ve çevresel etkileri dikkate almalarına olanak tanır.

2.3. Sürdürülebilir Erişilebilirlik

Sürdürülebilir erişilebilirlik, bireylerin sosyal ve ekonomik kaynaklara çevresel etkileri en aza indirerek erişimlerini sağlamayı hedefleyen bir kavramdır. Bu yaklaşım, sürdürülebilir şehircilik ilkeleri doğrultusunda, toplu taşımanın güçlendirilmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve sosyal eşitliğin artırılması gibi hedefleri içerir (Curtis, 2008). Sürdürülebilir erişilebilirlik, kentlerin yalnızca mekânsal düzenlemelerini değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel politikalarını da yeniden düşünülmesini gerektirir (Bertolini vd., 2005; Levinson ve Wu, 2019).

Literatürde sürdürülebilir erişilebilirlik kavramı, ulaşım ve arazi kullanım politikalarının entegre edilmesiyle geliştirilmiş bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Geurs ve van Wee (2004) bu kavramı açıklarken, ulaşım türlerinin kapasitesi, hızı ve maliyetinin bireylerin erişim kolaylığını belirlediğini ifade etmektedir. Özellikle toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ve entegrasyonunun, sürdürülebilir erişilebilirliğe ulaşmada kritik bir öneme sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Bertolini (2005) arazi kullanımın, hizmetlerin mekânsal dağılımı ve yoğunluğu üzerinden bireylerin erişim imkanlarını doğrudan etkilediğini belirtmektedir. Bu nedenle, karma arazi kullanım ve



Şekil 1. SDGler (Kaynak: UNDP, 2015).

kısa mesafeli ulaşım politikalarının teşvik edilmesinin sürdürülebilir erişilebilirlik açısından önemli olduğunu öne sürmektedirler.

Banister (2008), ulaşım faaliyetlerinin karbon emisyonları ve enerji tüketimi üzerindeki etkisinin çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir unsur olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, Avrupa kentlerinde elektrikli otobüs sistemlerinin yaygınlaştırılmasının, karbon ayak izinin azaltılmasında etkili bir yöntem olduğunu belirtmektedir.

Curtis ve Scheurer (2010) sosyal adaletin sürdürülebilir erişilebilirlik açısından önemli bir unsur olduğunu ifade etmektedir. Onlara göre, tüm toplumsal grupların temel hizmetlere eşit erişiminin sağlanması, sürdürülebilir ulaşım politikalarının önemli hedeflerinden biri olmalıdır. Bu bağlamda, toplu taşıma sistemlerinin uygun fiyatlı ve erişilebilir olması gerektiği vurgulanmaktadır.

Bu çalışmalardan hareketle sürdürülebilir erişilebilirlik kavramı; ulaşım sistemleri, arazi kullanım, çevresel etkiler ve sosyal adalet unsurlarının bütüncül şekilde ele alınmasını gerektiren çok boyutlu bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

2.4. Sürdürülebilir Erişilebilirlik Kavramı ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG'ler) İlişkisi

Birleşmiş Milletler'in 2015 yılında kabul ettiği "Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları" (SDG'ler); küresel düzeyde yoksulluğun sona erdirilmesi, eşitsizliklerin azaltılması ve gezegenin korunmasını hedefleyen 17 temel amaçtan oluşur (Birleşmiş Milletler, 2015). Bu hedefler, ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal adaletin bir arada sağlanmasını amaçlayarak kapsamlı bir kalkınma vizyonu sunar. SDG'ler arasında "Yoksulluğa Son", "Açlığa Son", "Sağlık ve Kaliteli Yaşam" ve "Nitelikli Eğitim" gibi hedefler, insan refahını artırmaya odaklanırken; "Toplumsal Cinsiyet Eşitliği", "Eşitsizliklerin Azaltılması" ve "Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar" toplumsal adalet ve insan haklarını merkeze alır. Öte yandan, "Temiz Su ve Sanitasyon", "Erişilebilir ve Temiz Enerji", "İklim Eylemi" gibi hedefler, gezegenin korunmasına yönelik çevresel sürdürülebilirlik stratejileri içerir. "Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar" gibi kentsel gelişime odaklanan hedefler ise yaşam kalitesini artırmak için akıllı altyapı, çevre dostu ulaşım ve planlı kentleşmeyi teşvik eder (UNDP, 2015). Ekonomik boyutta ise "İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme", "Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı" gibi hedefler, yenilikçi çözümlerle kalkınmayı desteklerken, "Sorumlu Üretim ve Tüketim" kaynakların verimli kullanımını esas alır. Son olarak, bu küresel vizyonun başarıya ulaşabilmesi için "Amaçlar İçin Ortaklıklar" hedefi, iş birliğinin önemine değinir. SDG'ler, bireylerden devletlere, sivil toplumdan özel sektöre kadar tüm aktörlerin ortak çabalarını gerektiren bütüncül bir yaklaşım sunarak gelecekte daha adil, yaşanabilir ve sürdürülebilir bir dünya kurma hedefini ortaya koymaktadır. (Birleşmiş Milletler Türkiye Ofisi, 2015).

Şekil 1, SDG'lerin birbirine bağlı ve bütüncül yapısını vurgulayarak, sürdürülebilir erişilebilirlik konusunun toplumsal eşitlik,

çevresel sorumluluk ve mekânsal adalet gibi farklı boyutlarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Sürdürülebilir erişilebilirlik kavramı, Birleşmiş Milletler'in SDG'leri ile güçlü bir ilişkiye sahiptir ve İstanbul örneğinde bu ilişki çeşitli boyutlarda öne çıkmaktadır. Özellikle "Amaç 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar" kapsamında, İstanbul'da erişilebilirliğin artırılması için toplu taşıma altyapısının geliştirilmesi, bisiklet ve yaya yollarının iyileştirilmesi, herkes için güvenli ve çevre dostu ulaşım sistemlerinin teşvik edilmesi belirlenen sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesine doğrudan hizmet eder. Bu uygulamalar, trafik yoğunluğunu azaltarak yaşam kalitesini iyileştirir ve şehirdeki karbon emisyonlarını düşürerek "Amaç 13: İklim Eylemi" ile de örtüşür. Ayrıca, dezavantajlı gruplar ve düşük gelirli bireylerin ulaşım imkanlarının artırılması, "Amaç 10: Eşitsizliklerin Azaltılması" açısından önem taşır. Daha geniş kapsamda, gelişmiş ulaşım altyapısı, ekonomik büyümeyi teşvik ederek "Amaç 8: İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme" hedefine de katkıda bulunur. İstanbul'da sürdürülebilir erişilebilirlik projeleri, kentsel yaşam kalitesini artırırken çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal eşitliği destekleyen SDG hedeflerine ulaşmada stratejik bir rol üstlenmektedir.

3. Ulaşım Planlama Literatüründe Öne Çıkan Sürdürülebilir Erişilebilirlik Uygulamaları

Geurs ve van Wee (2004), sürdürülebilir erişilebilirliği değerlendirmek için çekim modelleri ve CBS tabanlı yöntemleri önermiştir. Bu modeller, bireylerin hizmetlere olan mekânsal erişimlerini ölçmenin yanı sıra, çevresel etkileri de değerlendirmektedir. Le Clercq ve Bertolini (2003) Amsterdam'da yaptıkları çalışma ile bu modellerin toplu taşıma altyapısının etkinliğini artırmada nasıl kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Stockholm, sürdürülebilir erişilebilirlik politikalarının başarılı bir şekilde uygulandığı örneklerden biridir. "Trafik Sıkışıklığı Vergisi" politikası, şehir merkezindeki trafik yoğunluğunu azaltmış ve toplu taşımayı teşvik etmiştir. Londra'da ise "Düşük Emisyon Bölgesi" (ULEZ) uygulaması, karbon emisyonlarını azaltmak ve çevre dostu ulaşım türlerini teşvik etmek için önemli bir araç olmuştur (Kwok ve Yeh, 2004).

Kwok ve Yeh (2004), Hong Kong'da "Türel Erişilebilirlik Açığı" (MAG) endeksini geliştirerek, toplu taşımanın özel araçlara kıyasla ne kadar erişilebilir olduğunu ölçmüştür. Bu çalışma, erişilebilirlik politikasının sadece fiziksel ulaşım sistemlerine değil, aynı zamanda bireylerin sosyo-ekonomik yapısına göre şekillendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Larsson vd. (2022), İsveç'teki kentlerde kısa mesafeli yolculuklarda aktif ulaşımın (yaya ve bisiklet) önemini vurgulamıştır. Çalışma, yerel hizmetlere erişimin yaya dostu altyapılarla desteklenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Son yıllarda, sürdürülebilir erişilebilirlik kavramı dijital teknolojilerle entegre edilmiştir. Akıllı şehir uygulamaları, bireylerin toplu taşıma ve diğer ulaşım türlerine erişimini gerçek zamanlı veriyle desteklerken, çevresel sürdürülebilirliğe yönelik politikaların uygulanmasını da kolaylaştırmaktadır (Papa ve Ferreira, 2019).

3.1. Literatürde Yer Alan Erişilebilirlik Ölçüm Yöntemleri ve Sınıflandırılması

Bilimsel ve akademik çalışmalarda geçmişten bu yana birçok erişilebilirlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. El-Geneidy ve Levinson (2006), bu yöntem ve yaklaşımlara ilişkin ayrıntılı bir tarihsel çalışma yürütmüştür. Son dönemde yapılmış çalışmalar da dahil olmak üzere erişilebilirlik çalışmalarının çoğunda; Hansen'in (1959) çekim modeline kadar uzanan, varış noktasındaki potansiyel olanakları ve yolculuğun zamansal veya ekonomik maliyetini de içeren bir ağırlıklandırma fonksiyonu kullanılmıştır.

Erişilebilirlik ölçüm yöntemleri, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmıştır. Bu yöntemlerin sınıflandırılmasında en temel ayrım, analiz birimine dayalı olarak yapılır. Bireysel ölçümler, belirli bir bireyin veya hane halkının iş yerlerine veya hizmetlere erişimini değerlendirirken, toplumsal ölçümler ise erişilebilirliği bölgesel veya kentsel düzeyde analiz eder (Curtis, 2008). Bunun yanı sıra zaman ve mesafe faktörü de önemli bir sınıflandırma kriteridir. Zaman bazlı ölçümler, belirli bir zaman diliminde ulaşılabilecek hedefleri analiz ederken; mesafe bazlı ölçümler, fiziksel mesafeyi ve bu mesafenin erişilebilirlik üzerindeki etkisini değerlendirir (Kwok ve Yeh, 2004; Bertolini vd., 2005).

Hedeflerin niteliği, erişilebilirlik ölçüm yöntemlerini belirleyen bir diğer önemli etkendir. Fiziksel hedeflere yönelik ölçümler, iş yerleri veya sağlık hizmetleri gibi belirli konumları değerlendirirken, sosyo-ekonomik hedefler, eğitim olanakları ve iş imkanları gibi sosyal parametrelere odaklanır (Elldér vd., 2018). Ayrıca kullanılan veri türüne göre de sınıflandırma yapılabilir. Mekânsal veriler, CBS kullanılarak analiz edilirken, sosyal ve ekonomik veriler, demografik bilgileri ve toplumsal eşitlik unsurlarını içerir (Vega, 2012; Gil ve Read, 2015).

Erişilebilirlik ölçüm yöntemleri, kullanılan modellere göre de ayrılır. Kontur yöntemleri, belirli bir zaman veya mesafe eşiği içerisinde erişilebilir alanları değerlendirirken; çekim modelleri, hedeflerin çekim gücünü ve uzaklığını temel alır (Bertolini vd., 2005). Türel erişilebilirlik yöntemleri ise farklı ulaşım türlerinin etkinliğini karşılaştırır. Örneğin, özel araçlarla toplu taşıma arasındaki erişim farklarını analiz etmek bu tür bir yönteme örnek oluşturur (Kwok ve Yeh, 2004). Çok türlü yaklaşımlar, farklı ulaşım türlerinin (yürüme, bisiklet, toplu taşıma) entegrasyonunu değerlendirirken; "SNAMUTS" veya "Place Rank" gibi ağ temelli yöntemler, erişilebilirliği geniş bir perspektiften analiz eder (Vega, 2012; Gil ve Read, 2015).

Son olarak, erişilebilirlik ölçüm yöntemleri, sürdürülebilirlik unsurlarına göre de sınıflandırılır. Çevresel erişilebilirlik öl-

Tablo 1. Erişilebilirlik ölçüm yöntemlerinin sınıflandırılması

Sınıflandırma yaklaşımı	Alt sınıflar	Açıklama ve referanslar
Analiz birimi	Bireysel, toplumsal	Birey veya hane halkının erişimi vs. bölgesel/kentsel düzeyde erişim (Curtis, 2008)
Zaman/ mesafe temelli	Zaman bazlı, mesafe bazlı	Zaman diliminde ulaşılan hedefler veya fiziksel uzaklık temelli analiz (Kwok ve Yeh, 2004)
Hedeflerin niteliği	Fiziksel, sosyo-ekonomik	İş, sağlık gibi konumsal hedefler ile eğitim ve iş imkânları gibi sosyal hedefler (Elldér vd., 2018)
Veri türü	Mekânsal veriler, sosyal ve ekonomik veriler	GIS ile analiz edilen mekânsal veriler ve demografi, eşitlik gibi sosyal veriler (Vega, 2012; Gil ve Read, 2015)
Model türü	Kontur, çekim, türel karşılaştırma, ağ temelli	Zaman/mesafe eşiğine dayalı kontur, çekim gücüne model, ulaşım türü karşılaştırmalı ve ağ analizleri (Bertolini vd., 2005)
Ulaşım türü	Tek türlü, çok türlü	Sadece bir ulaşım türü veya birden çok türün birlikte değerlendirilmesi (Gil ve Read, 2015)
Sürdürülebilirlik unsurları	Çevresel, ekonomik, sosyal	Karbon ayak izi, ekonomik erişim olanakları ve sosyal eşitlik gibi faktörler (Tomej ve Liburd, 2020)

çümleri karbon emisyonlarını ve çevresel etkileri dikkate alırken, ekonomik erişilebilirlik yöntemleri ulaşım maliyetlerini ve ekonomik erişim olanaklarını değerlendirir. Sosyal erişilebilirlik ise toplumsal eşitlik ve adil erişim sağlama odaklıdır (Elldér vd., 2018; Tomej ve Liburd, 2020). Ayrıca, bu yöntemler kapsadığı ulaşım türlerine göre de farklılaşır; tek türlü yaklaşımlar yalnızca bir ulaşım türünü analiz ederken, çok türlü yaklaşımlar birden fazla ulaşım türünü değerlendirir (Gil ve Read, 2015). Erişilebilirlik ölçüm yöntemlerinin bu çeşitliliği, politika ve planlama süreçlerine geniş bir perspektif sunarak, sürdürülebilir ulaşım hedeflerinin hayata geçirilmesini destekler.

Literatürdeki erişilebilirlik ölçüm yöntemlerinin sınıflandırma yaklaşımları, örnek çalışmalara dayalı olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Curl vd.'nin (2011) yaptığı sınıflandırma kent planlama literatürü açısından hem güncel hem de uygulamaya dönük bir yaklaşım sunduğundan bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yaptıkları sınıflandırmada sürdürülebilir erişilebilirlik kavramını yalnızca fiziksel ulaşım olanaklarıyla (karayolu, raylı sistemler, toplu taşıma ağı, yaya ve bisiklet altyapısı gibi fiziksel taşıma sistemlerinin varlığı ve niteliği) değil; aynı zamanda bireylerin toplumsal konumları, yaşam biçimleri ve gündelik davranışları ile ilişkili olarak ele almışlardır. Çalışma, planlayıcı ve karar vericilerin erişilebilirlik kavramını nasıl yorumladıklarını ve uygulamada karşılaştıkları sorunları ortaya koyarak, planlama süreçlerinde ortak bir yaklaşımın gelişimini destekler. Sınıflandırma, özellikle dezavantajlı grupların erişim koşullarını dikkate alarak sürdürülebilir erişilebilirliğin sosyal boyutlarını öne çıkarır. Ayrıca, kuramsal olduğu kadar uygulamaya dönük bir rehber niteliği taşıdığı için çalışmada detaylı şekilde ele alınmıştır. Curl vd.'nin (2011) yaptığı sınıflandırma Tablo 2'de sunulmuştur.

3.1.1. Altyapı Tabanlı Ölçütler

Ulaşım ağının performansına bağlı olarak erişilebilirliğin derecelendirildiği bir yaklaşıma sahiptir. Trafik sıkışıklığı düzeyi ve karayolu ağındaki ortalama seyahat hızı gibi ulaşım altyapısının (gözlenen veya simüle edilen) performansını veya hizmet düzeyini analiz eden altyapı temelli ölçütlerdir (Geurs ve van Wee, 2004). Altyapı tabanlı ölçütler yaygın olarak birçok çalışmada kullanılmışlardır. Avrupa ülkelerinin ulusal ulaştırma politikası planlarında, erişilebilirliğin iyileştirilmesinin (altyapıya dayalı erişilebilirlik önlemleriyle ölçülen) genellikle ekonomik kalkınma ve/veya bölgelerin ve/veya nüfus gruplarının ekonomik yoksunluğunu azaltmak için önemli olduğu düşünülmektedir (Geurs ve van Eck, 2001). Örneğin; Church vd. (2000) Londra'daki erişilebilirlik ve sosyal dışlanmaya ilişkin yaptıkları çalışmada yolculukların başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yolculuk zaman değerlerini kullanarak şehir merkezlerine veya hastanelere erişimlerini ölçmüşlerdir. Yolculuk süresini; yürüme, bekleme, araç içinde geçen süre ve aktarma sürelerini de dikkate alarak belirlemişlerdir.

Altyapı tabanlı ölçüt modelleri, genellikle sınırlı ya da daha kolay erişilebilir veriyle çalışabildikleri için pratik uygulamalarda veri toplama açısından daha az maliyetli ve uygulanabilir modellerdir. Ölçütlerin belirlenmesinde şehirlerin kullandığı ulaşım modeli verilerinden yararlanılabilir. Ayrıca elde edilen sonuçlar plancılar ve karar vericiler açısından kolay yorumlanabilirler. Ancak diğer modellere göre daha basittirler. Arazi kullanım değerlerini ve bireysel davranışları dikkate almazlar. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda her modelin amacı doğrultusunda kullanılması gerekir ve temsil düzeyi, ölçüt ve model seçimi ulaşılmak istenen sonuç özelinde değerlendirilmelidir. Örneğin, Linneker ve Spence (1992), Londra'nın iç kısımlarının, Birleşik Krallık'ta en yüksek erişim maliyetlerine (zaman ve araç işletme maliyetleri açısın-

Tablo 2. Erişilebilirlik ölçütlerinin sınıflandırılması

Ölçüt türü	Tanım	Örnek ölçütler
Altyapı tabanlı ölçütler (Church vd., 2000)	Ulaşım ağının performansına dayanır ve bu nedenle kapasite gibi ulaşım modelleme ölçütlerini ya da toplu taşıma sıklığı ve güvenilirliği gibi faktörleri içerebilir.	• Gelişim alanına seyahat süreleri • Bir noktadan geçen otobüs hizmetlerinin sıklığı • Yerel yönetim alanında trafik sıkışıklığı
Kümülatif ölçütler - Kontur ölçütleri - Eşik ölçütleri (Casas, 2007; Escalona-Orcao ve Díez-Cornago, 2007; Nettleton vd., 2007)	Bir konumdan (orijin) başka bir konuma (hedef) ya da hedefler kümesine olan erişilebilirliği temsil eder ve en kolay anlaşılan ölçütlerdir. Genellikle kontur haritaları ile gösterildiklerinden kontur ölçütleri olarak da adlandırılırlar.	• Makul (örneğin 30 dakikalık) yürüme süresi eşiği içinde kalan nüfus oranı (ör. bir aile hekimliği merkezi için) • Bir posta kodu sektöründen 20 dakikalık sürüş mesafesinde bulunan okul sayısı
Çekim tabanlı ölçütler - Hansen ölçütleri - Olanak ölçütleri - Potansiyel ölçütler (Bertolini vd., 2005; Geertman ve Ritsema Van Eck, 1995; Hansen, 1959; Knox, 1981)	Kümülatif ölçütlerin bir uzantısıdır, ancak olanaklara bir direnç (impedans) faktörü ve hedefin çekiciliği ile ağırlık verir. Olanak veya potansiyel ölçütleri olarak da adlandırılabilir. Sonuç olarak elde edilen değer mutlak bir anlam taşımaz; çalışma alanındaki diğer noktalara göreceli bir erişilebilirlik göstergesidir.	• Tanımlanmış bir nüfusun (ör. bir yerel yönetim bölgesi içinde) istihdama erişimi (erişilebilirlik seyahat süresi ve her işyerinde mevcut iş sayısı kullanılarak hesaplanır) • Okullara olan erişim (seyahat süresi ve okul çağındaki çocuk sayısı dikkate alınarak hesaplanır)
Fayda tabanlı ölçütler (Bohnet ve Gertz, 2008; Niemeier, 1997)	Seyahat davranışını, bireylerin azalan getiriler prensibine dayalı olarak bir konumu seçme olasılığına göre değerlendirir; bireyin belirli bir seçeneği tercih etme olasılığı, o seçeneğin tüm seçeneklere göre çekiciliğine dayanır.	• Belirli bir nüfus için erişilebilirlikteki bir değişimin parasal değeri • Bireyin bir hedeften elde edeceği beklenen faydaya göre hedefin çekiciliği açısından erişilebilirlik
Aktivite tabanlı ölçütler - Zaman-mekân ölçütleri - Potansiyel Yol Alanları (Buliung ve Kanaroglou, 2006; Casas, 2007; Farber ve Páez, 2009)	Bireylerin mekânsal olarak dağılmış faaliyetlere erişim düzeylerine ilişkindir, faaliyetlerin konumunu, ulaşım ağı üzerindeki yolculuğu ve genellikle seyahat günlüğü verileri ile yakalanan davranışsal bir öğeyi dikkate alır.	• Potansiyel yol alanı: Hedeflerin konumu, ulaşım ağı ve bireyin zaman planlaması kısıtları dikkate alınarak ziyaret edilebilecek alan • Hane halkı faaliyet alanı: Potansiyel Yol Alanı'nın, tüm hane üyelerinin faaliyetleri ve kısıtlarını içerecek şekilde genişletilmesi

Kaynak: Curl vd., 2011

dan) sahip olduğunu, ancak yüksek seyahat maliyetine rağmen işyerlerine potansiyel erişilebilirliğin en yüksek düzeyde olduğunu göstermişlerdir. Modelde arazi kullanım boyutunun dikkate alınmaması, erişilebilirliğin çok boyutlu yapısının ihmal edilmesine ve dolayısıyla ulaşım ile arazi kullanım değişikliklerinin sosyal ve ekonomik sonuçlarının kapsamlı bir biçimde değerlendirilememesine neden olmaktadır (Geurs ve van Wee, 2004).

3.1.2. Kümülatif Ölçütler

Bir konumdan (başlangıçtan) diğerine (varış noktası) veya varış noktaları kümesine erişilebilirliği temsil eder ve en kolay anlaşılan ölçütlerdir. Örneğin, bir ilkokulun çevresinde, belirli bir yürüme mesafesi (400 m veya 800 m gibi) içerisinde ikamet eden öğrenci sayısı ya da belirlenen süre (15 veya 30 dakika gibi) içerisinde toplu taşıma ile erişilebilen sağlık ocağı sayısı gibi ölçütlerdir. Bu tür ölçütler, belirli bir mesafe ya da süre eşiği içerisinde kaç olanağa erişilebildiğini sayan yapıları nedeniyle, literatürde genellikle "kontur ölçümleri" olarak tanımlanır (Geurs ve van Wee, 2004; Curtis ve Scheurer, 2010).

Escalona-Orcao ve Díez-Cornago (2007) çalışmalarında, Avrupa'nın en seyrek nüfuslu bölgelerinden biri olan İspanya'nın Teruel kentinde sağlık hizmetlerine erişimi "kümülatif ölçütler" yöntemi ile analiz etmiş; ortalama 15, 30, 45 ve 60 dakika içerisinde kent merkezinde bulunan sağlık birimlerine ulaşılabilen bölgeleri belirlemişlerdir. Nettleton vd. (2007) ise, İngiltere'nin Birmingham kentindeki genel cerrahi uzmanlık hizmetine toplu ulaşım ile erişilebilirlik düzeyini bu yöntem ile analiz etmiş, CBS kullanarak hizmet noktalarının erişilebilirlik haritalarını üretmişlerdir.

3.1.2.1. Kontur ölçütü

Ölçüt, Ingram (1971) tarafından geliştirilen "göreceli erişilebilirlik" kavramına dayanır. Göreceli erişilebilirlik, iki noktanın

birbirine bağlanma derecesidir ve en basit biçimiyle iki konum arasındaki düz çizgi mesafesi, yolculuk süresi veya hız gibi fiziksel ölçütlerle ifade edilir. Bu ölçüt, özellikle yapılaşmış alanlarda temel hizmetlerin mekânsal dağılımının değerlendirilmesi amacıyla kullanılır. Örneğin, bir yerleşim alanında yaşayan bireylerin 500 metre mesafede bir toplu ulaşım durağına ya da 30 dakika içerisinde bir hastaneye ulaşabilme durumları bu kapsamda analiz edilir. Ancak bu ölçüt yalnızca tek bir hedef nokta için geçerli olduğunda anlamlıdır; birden fazla hedef noktanın söz konusu olduğu durumlarda izokronal analizler daha uygun hale gelir (Özuysal, 2010).

3.1.2.2. Eşik ölçütü

Ölçüt, belirli bir seyahat süresi veya mesafesi dahilindeki erişilebilir olanakların sayısını ifade eder. Bu yöntemde, olanak sayısının artışı doğrudan erişilebilirliğin artışı olarak değerlendirilir. Bu artış, ya altyapı iyileştirmeleriyle ya da olanakların çoğalmasıyla ilişkilidir. Wickstrom (1971) erişilebilirliği, belirli bir zaman eşiği içerisinde ulaşılabilen tüm olanakların toplamı olarak modellemiştir. Daha sonraki çalışmalarda bu yöntem, özellikle kamu, sağlık ve eğitim hizmetlerine erişimin analizinde yaygın olarak kullanılmıştır (Geurs ve van Wee, 2004). Yöntem, hem ulaşım hem de arazi kullanım bileşenlerini dikkate alır ve kullanıcıların bu sistemlere dair algılarını da ölçmeye yöneliktir. Ancak tüm olanakların eşit ağırlıklı kabul edilmesi yöntemin önemli bir sınırlılığıdır.

3.1.3. Çekim Tabanlı Ölçütler

Çekim tabanlı ölçütler, ulaşım ve mekânsal planlama literatüründe erişilebilirliği analiz etmek için en yaygın kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Bu ölçütler, bireylerin belirli bir başlangıç konumundan çeşitli kentsel olanaklara erişimini hem bu olanakların çekicilik düzeyi (örneğin istihdam hacmi, hizmet kapasitesi gibi) hem de bu olanaklara ulaşmak için gereken mesafe, zaman veya maliyet gibi empedans (direnç) değişkenleriyle birlikte değerlendirir.

Model, erişilebilirlik analizinde cazip hedeflerin yakın mesafelerdeki bireyler için daha erişilebilir olduğunu varsayarak, hedeflerin cazibesini ve mesafeyi birleştiren kapsamlı bir değerlendirme sunar (Bertolini vd., 2005; Curtis, 2008). Modelin avantajları arasında hem hedeflerin büyüklüğünü hem de mesafeyi dikkate alması, politika geliştirme süreçlerine rehberlik etmesi ve ulaşım ile arazi kullanım entegrasyonunu analiz etme yeteneği yer alır (Geurs ve van Wee, 2004; Vega, 2012).

Bununla birlikte, veri yoğunluğu gereksinimi, olanakların yalnızca niceliksel olarak değerlendirilmesi ve mesafenin etkisini ölçen fonksiyonların belirlenmesindeki sübjektiflik gibi dezavantajlara sahiptir. Ayrıca, olanakların niteliksel özelliklerini (örneğin, kalite veya sosyal bağlam) dikkate almaması, daha karmaşık sosyal ve ekonomik etkileşimlerin analizini sınırlandırabilir (Elldér vd., 2018). Tüm bu özelliklere rağmen, çekim modeli, ulaşım sistemlerinin etkinliğini artırmak, erişim eşitliğini sağlamak ve sürdürülebilir kentsel gelişimi desteklemek için kullanılabilecek etkili bir planlama aracıdır.

Bu tür ölçütlerin pratikteki uygulamalarına yönelik dikkat çekici bir örnek, Owen ve Levinson (2014) tarafından geliştirilmiş olan modeldir. Model, toplu taşıma hizmet düzeyini seyahat süresi, aktarma sayısı ve servis sıklığı gibi değişkenlerle birlikte ele alarak, büyük şehirlerde toplu taşıma ile erişilebilirliğin kıyaslanabilir biçimde analizine olanak tanımaktadır.

Modelin erken versiyonu, Hansen (1959) tarafından geliştirilmiş ve potansiyel olanakların mesafe etkisiyle birlikte ağırlıklandırılması esasına dayandırılmıştır. Literatürde "Hansen ölçütü", "olanak potansiyeli ölçütü" veya "potansiyel erişilebilirlik" gibi adlarla da anılır (Geurs ve van Wee, 2004; Bertolini vd., 2005). Çekim tabanlı erişilebilirlik ölçütleri, kullanılan mesafe ya da zaman direncini hesaplama biçimine ve erişilmek istenen olanakların nasıl tanımlandığına bağlı olarak farklı şekillerde uygulanabilir.

3.1.3.1. Kümülatif Olanaklar Ölçütü

Kümülatif olanaklar ölçütü, çekim temelli ölçütlerin en basit ve sınırlı formudur. Bu yaklaşımda, bireyin belirli bir zaman veya mesafe eşiği içerisinde erişebileceği olanakların (örneğin iş, okul, sağlık tesisi) toplam sayısı hesaplanır. Örneğin model, bir konut bölgesinden 30 dakika içerisinde toplu taşıma ile ulaşılabilen iş sayısının hesaplanması ve söz konusu bölgenin işe erişilebilirliğini tanımlamak için kullanılabilir. Benzer şekilde, yaya erişimiyle 10 dakika içerisinde ulaşılabilen sağlık, eğitim ve ticaret tesislerinin toplamı da yerleşimin gündelik yaşama dair erişilebilirliğini gösterebilir.

Model ayrıca, toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini analiz etmek ve hizmetlerin hangi alanlara yeterince ulaşamadığını belirlemek için de kullanılır. Örneğin, Londra'nın toplu taşıma ağı üzerinde yapılan bir çalışma, iş merkezlerine olan erişilebilirliği analiz ederek, farklı bölgeler arasındaki erişim eşitsizliklerini ortaya koymuştur. Bu analiz, bazı bölgelerdeki bireylerin iş olanaklarına ulaşmakta ciddi kısıtlamalar yaşadığını ve toplu taşıma sisteminin kapsama alanında iyileştirmelere ihtiyaç olduğunu göstermiştir (Vega, 2012). Benzer şekilde, Hollanda'nın Rotterdam bölgesinde yapılan bir başka çalışma, toplu taşıma sistemlerinin entegre edildiği bölgelerde erişilebilirliğin önemli ölçüde iyileştiğini ortaya koymuştur. Kümülatif olanaklar yöntemi, bu çalışmada politika yapıcılara kentsel planlamada hangi bölgelere öncelik verilmesi gerektiğini belirlemede rehberlik etmiştir (Bertolini vd., 2005).

İsveç'te, Gothenburg bölgesinde yapılan bir araştırmada model, düşük gelirli mahallelerin iş merkezlerine olan erişimini incelemede kullanılmıştır. Çalışma, düşük gelirli bireylerin istihdam olanaklarına erişimde yaşadığı dezavantajları vurgu-

lamış ve toplumsal eşitsizliklerin giderilmesi için ulaşım ve arazi kullanım politikalarının nasıl şekillendirilmesi gerektiğine dair öneriler sunmuştur (Elldér vd., 2018). Ayrıca, bu analiz toplu taşıma hizmetlerinin daha adil bir şekilde dağıtılmasına yönelik çözümler geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Bu tür çalışmalar, kümülatif olanaklar yönteminin yalnızca ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesinde değil, aynı zamanda toplumsal eşitlik ve sürdürülebilir kalkınma önceliklerinin hayata geçirilmesinde de etkili bir analitik çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Kümülatif olanaklar yöntemi matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$A_i = \sum_j O_j f(C_{ij})$$

A_i belirli bir başlangıç noktasındaki erişilebilirlik değeridir. O_j belirli bir hedefin cazibesini temsil eder. C_{ij} başlangıç noktası (i) ile hedef (j) arasındaki süre, mesafe veya ulaşım maliyetidir. $f(C_{ij})$ mesafenin veya maliyetin etkisini modelleyen bir direnç fonksiyonudur ve Cheng vd. (2007) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$f(C_{ij}) = \begin{cases} 1 \text{ eğer } C_{ij} \leq t_{eşikdeğer} \\ 0 \text{ eğer } C_{ij} > t_{eşikdeğer} \end{cases}$$

$t_{eşikdeğer}$ = Seyahat süresi eşik değeridir.

A_i değeri, belirli bir konumdan belirli bir zaman eşiği içerisinde erişilebilen olanakların toplamını ifade eder. Bu olanaklar genellikle işler, hizmetler, sosyal tesisler gibi hedeflere karşılık gelir. Kümülatif olanaklar yaklaşımı, bireylerin yalnızca belirli bir eşik değeri (zaman, mesafe vb.) aşmayan olanaklara erişebildiğini varsayar. Bu yaklaşımda, erişilebilirlik yalnızca mekânsal değil, zamansal bir sınır dahilinde değerlendirilir; belirlenen eşik sürenin (örneğin 15, 30 veya 60 dakika) altında kalan hedefler erişilebilir kabul edilirken, bu eşik değeri aşan hedefler erişim dışı sayılır.

Fonksiyon yapısı nedeniyle bu model eşik değer içerisindeki hedefleri tamamen eşit kabul eder ve bu yönüyle klasik çekim modeline göre daha az hassas ancak daha kolay yorumlanabilir bir göstergedir (Handy ve Niemeier, 1997).

3.1.3.2. Sürekli Ağırlıklı Çekim Modelleri

Çekim tabanlı ölçütlerin gelişmiş türlerinde, erişilebilirlik mesafe ya da zaman arttıkça kademeli olarak azalacak şekilde hesaplanır. Bu modellerde her bir hedefin erişime katkısı, yalnızca o hedefin cazibesine (örneğin iş sayısı ya da hizmet kapasitesi) değil; aynı zamanda o hedefe ulaşmak için katlanılması gereken yolculuk süresi, mesafesi veya maliyetine de bağlıdır. Mesafe arttıkça, hedefin erişilebilirlik üzerindeki etkisi giderek azalır; yani yakın hedefler daha erişilebilir kabul edilirken, uzak hedeflerin katkısı daha düşük olur.

Bu yaklaşımda mesafe ya da süre, belirli bir "direnç" (empedans) fonksiyonu ile temsil edilir. Direnç fonksiyonu, yolculuğun zorlaştıkça (örneğin daha uzun sürmesi veya daha fazla maliyete neden olması gibi durumlarda) erişilebilirlik değerinin ne ölçüde azalacağını belirler. Bu fonksiyon, erişilebilirliği keskin eşiklerle sınırlamak yerine, mesafe veya zaman arttıkça kademeli olarak azalan sürekli bir yapı içinde değerlendirir.

Modelde kullanılan direnç fonksiyonunun eğimi, erişimin mesafeye karşı ne kadar hassas olduğunu belirler. Eğer bu eğim yüksekse, yalnızca çok yakın hedefler anlamlı ölçüde erişilebilir kabul edilir; eğim düşükse, daha uzak mesafelerdeki hedefler de erişime katkıda bulunur. Bu özellik, modelin farklı ulaşım sistemleri ve sosyal gruplar için esnek biçimde uyarlanmasına olanak tanır.

3.1.4. Fayda Tabanlı Ölçütler

Ekonomik ilkelerden yola çıkarak seyahat davranışının farklılaştığını savunan bu yaklaşım, bir bireyin seçim yapma olasılığını diğer tüm seçeneklerden daha fazla fayda elde etmesine dayandırır. İnsanların farklı konumlarda yer alan çalışma, eğitim, sağlık, alışveriş gibi gündelik faaliyetlere erişimden elde ettiği (ekonomik) faydaları analiz eden fayda temelli ölçüttür. Bu tür ölçümlerin kökeni ekonomik çalışmalara dayanmaktadır (Geurs ve van Wee, 2004). Bir bireyin belirlenen hedefte kazanacağı fayda veya bir grubun erişilebilirliğindeki değişimin parasal değeri ölçüt olarak kullanılabilir.

Fayda tabanlı yaklaşımın temel varsayımları, Koenig'in (1980) yaptığı çalışmada şöyle tanımlanmıştır: (1) İnsanlar karşılaştıkları her alternatif ile bir temel faydayı ilişkilendirir ve bireysel olarak kendilerine maksimum faydayı sağlayacak alternatifi seçerler. (2) Bir bireyin sahip olduğu her alternatif ile ilişkili faydayı etkileyen tüm faktörleri değerlendirmek mümkün olmadığından, bu fayda, rastgele olmayan (deterministik) bir bileşen ile rastgele (stokastik) bir bileşenin toplamı olarak temsil edilebilir. Niemeier (1997) fayda tabanlı yaklaşımı temel alarak Washington eyaletinin King County bölgesindeki iş yolculuklarının ekonomik değerleri üzerine bir çalışma yürütmüştür. Bölgedeki ulaşım hizmetinin sıklığı, türel dağılım ve ücret parametrelerini dikkate alarak iş yolculuklarının erişilebilirlik değerlerini karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kırsal ve kentsel alandaki erişilebilirlik olanaklarının ekonomik değerleri arasındaki farklılıklar ortaya çıkmıştır. Fayda tabanlı yaklaşım, teorik olarak sağlam bir altyapıya sahip olmakla birlikte matematiksel modeli karmaşık teorilere dayandığından uygulanması ve anlaşılması en zor yöntemdir.

3.1.5. Aktivite Tabanlı Ölçütler

Bireylerin mekânsal olarak dağıtılmış faaliyetlere erişim düzeyinin ölçümüdür. Faaliyetlerin konumunu dikkate alır, ulaşım ağı üzerinden yolculuk parametreleri hesaplanır ve davranışsal unsurları içerir. "Zaman-konum ölçütü" veya "potansiyel yol alanı" olarak isimlendirilirler. Aktivitelerin günün belirli zaman

dilimlerinde olması nedeniyle, bireylerin zamansal kısıtlarını (haftanın günleri veya yılın belirli bir zaman aralığı gibi) dikkate alır. Bu ölçüt, erişilebilirliğin zaman ve arazi kullanım bileşenlerini eşit değerde önemli kabul eder. Erişilebilirlik, bireylerin bakış açısından analiz edilir. Yani yolculuk modellerini tanımlamak için bireyin veya hane halkının belirlenen zaman dilimi içerisinde aktivitelere katılımlarının gerçekleşip gerçekleşemeyeceğini analiz eder. Başka bir ifadeyle, önceden belirlenmiş zaman sınırlamaları doğrultusunda erişilebilecek olası olanak alanlarını analiz eder.

Buliung ve Kanaroglou (2006) hane halkı aktivite ve yolculuk davranışlarını CBS kullanarak aktivite tabanlı ölçütler ile modellemişlerdir. Çalışmada Oregon eyaletinin hane halkı araştırma anketinin verileri kullanılmıştır. Casas (2007) engellilerin sosyal dışlanma seviyelerini ölçmek amacıyla çeşitli aktivitelere katılımını incelediği çalışmasında aktivite tabanlı ölçütleri kullanmıştır. Engellilerin yaşadıkları konumlardan yola çıkarak eğlence ve alışveriş gibi aktivitelere erişebilirlik düzeylerini incelemiştir. Farber ve Páez (2009) otomobil sahipliği ve aktivitelere katılım arasındaki ilişkiyi yine bu yöntem ile incelemiştir. Aktivite tabanlı model için yaş, gelir, çalışma durumu gibi parametreleri model içerisinde değerlendirmişlerdir. Ayrıca çalışma, dinlenme, sağlık ve alışveriş gibi aktiviteleri de hane halkı düzeyinde çalışmaya katmışlardır.

Bu yaklaşım; çok çeşitli ulaşım, arazi kullanım ve yolculuk davranış parametrelerinin hesaba katılması nedeniyle ayrıntılı bir çalışma yöntemi içermektedir. Bu özelliği ile doğru analizlerin yapılması açısından avantajlara sahip olmakla birlikte model için gerekli parametrelerin çok fazla olması nedeniyle büyük miktarda veri ve çaba gerektirmektedir. Bu nedenle uygulama alanları genellikle küçük bölgeler ile sınırlandırılmıştır.

3.2. Erişilebilirlik Ölçüm Yöntemlerinin Ulaşım Planlama Yaklaşımları Açısından Değerlendirilmesi

Erişilebilirlik ölçümleri, ulaşım planlamanın yanı sıra şehir planlama, coğrafya, ekonomi, sağlık bilimleri ve çevre bilimleri gibi disiplinlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ulaşım planlamasında, yol ağlarının etkinliği, trafik yoğunluğu ve ulaşım sistemlerinin optimizasyonu gibi konularda önemli bir araçtır. Bu ölçüm yöntemleri, ulaşım altyapısının verimliliğini artırmak, toplumsal eşitliği sağlamak ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerini geliştirmek için kritik analiz imkânları sunar. Erişilebilirlik ölçüm yöntemleri arasında kümülatif olanaklar, çekim modelleri, kontur ölçümleri, çok türlü analizler, aktivite tabanlı ve fayda tabanlı yaklaşımlar yer almaktadır. Her yöntemin ulaşım planlama süreçlerine sağladığı katkılar ve sınırlılıklar farklıdır ve bu yöntemlerin seçimi, analiz amacı ve ihtiyaç duyulan verilere göre yapılır.

Kümülatif olanaklar yöntemi, belirli bir zaman veya mesafe eşiği içerisinde erişilebilen olanakların sayısını ölçer ve toplu taşıma sistemlerinin kapsama alanını değerlendirmek için kullanılır. Ulaşım planlaması açısından bu yöntem, hizmetlere erişim eşitliğini analiz etmek için pratik bir araçtır. Ancak eşik dışında kalan alanları göz ardı etmesi ve olanakların kalitesine duyarsız olması gibi sınırlılıklara sahiptir. Örneğin, düşük gelirli bölgelerde yaşayan bireylerin sağlık hizmetlerine erişimini analiz etmekte etkili olsa da hizmetlerin niteliklerini yansıtamaz (Curtis, 2008; Geurs ve van Wee, 2004). Buna karşılık, çekim modeli, kentsel olanakların çekim düzeyini ve mesafeyi dikkate alarak daha kapsamlı bir erişilebilirlik analizi sunar. Bu model, arazi kullanımıyla ulaşım sistemleri arasındaki ilişkiyi analiz etmekte etkili bir yöntemdir. Örneğin, İstanbul gibi metropollerde iş merkezlerine olan erişimi analiz ederek, toplu taşıma ağlarının daha etkili bir şekilde planlanmasına katkıda bulunabilir (Bertolini vd., 2005). Ancak modelin veri yoğunluğu gereksinimi ve hedeflerin niteliksel farklılıklarını değerlendirmemesi, uygulama süreçlerinde dikkat edilmesi gereken sınırlılıklardır.

Kontur ölçümleri, belirli bir zaman veya maliyet sınırı içerisinde erişilebilen alanları analiz ederek, toplu taşıma hatlarının coğrafi erişimini görselleştirmek için kullanılır. Bu yöntem, toplu taşıma sistemlerinin mekânsal dağılımını hızlı ve basit bir şekilde değerlendirmeyi sağlar (Kwok ve Yeh, 2004). Ancak sosyal ve ekonomik farklılıkları derinlemesine ele alamaması, kentsel erişimde eşitlik gibi konularda yetersiz kalmasına neden olabilir. Çok türlü analiz ise farklı ulaşım türlerinin erişilebilirlik üzerindeki etkisini değerlendirir ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunur. Örneğin, bisiklet yolları ile metro, metrobüs gibi sistemlerin entegrasyonunu analiz ederek, farklı ulaşım türlerinin bütünleşik etkisini ortaya koyabilir (Vega, 2012). Bununla birlikte, çok türlü analiz yönteminin kapsamlı veri ve modelleme gereksinimi, uygulama sürecini karmaşıklaştırabilir.

Aktivite tabanlı yöntemler, bireylerin günlük yaşamlarında gerçekleştirdiği faaliyetlere ve bu faaliyetlere erişim düzeyine odaklanır. Ulaşım planlaması açısından, bireylerin iş, alışveriş ve eğitim gibi günlük aktivitelerini sürdürebilmesi için ulaşım sistemlerinin ne derece etkili olduğunu değerlendirmekte önemli bir araçtır (Geurs ve van Wee, 2004). Örneğin, İstanbul'da iş merkezlerine erişimin zaman içinde nasıl değiştiğini analiz etmek için bu yöntem kullanılabilir. Ancak bu yöntem, birey bazında detaylı verilere ihtiyaç duyar ve bu durum uygulama süreçlerini zorlaştırır. Fayda tabanlı yöntemler ise bireylerin ulaşım sistemlerinden elde ettiği faydayı ölçerek, ekonomik verimlilik ve sosyal eşitlik gibi unsurları bir arada değerlendirir. Bu yöntem ulaşım projelerinin topluma sağladığı yararlarla bu projelerin getirdiği maliyetleri karşılaştırmak için kullanılan güçlü ve analitik bir değerlendirme yöntemidir (Bertolini vd., 2005). Örneğin, İstanbul'da yeni bir metro hattının çevresel faydalarını ve toplumsal eşitliğe katkısını analiz etmek için fayda tabanlı yöntemler kullanılabilir. Ancak bu yöntem, karmaşık ekonomik modelleme gerektirir ve elde edilen sonuçların genellikle soyut olması uygulamada zorluk yaratabilir.

Tablo 3. Erişilebilirlik ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Avantajlar	Sınırlılıklar
Altyapı tabanlı ölçütler	Coğrafi dağılımı görselleştirir, hızlı uygulanabilir.	Sosyal ve ekonomik farklılıkları analiz etmede sınırlıdır.
Kümülatif ölçütler	Basit, hızlı, toplu taşıma erişimini analiz etmek için uygun.	Olanakların kalitesine duyarsız, eşik dışında kalan alanları göz ardı eder.
Çekim modeli	Cazibe ve mesafeyi birleştirir, entegrasyon analizinde etkili.	Veri yoğunluğu, hedeflerin niteliksel farklılıklarını dikkate almaması.
Aktivite tabanlı	Bireylerin günlük hareketlilik ihtiyaçlarını anlamak için etkilidir.	Detaylı bireysel veri gereksinimi, uygulama zorluğu.
Fayda tabanlı	Ekonomik verimlilik ve sosyal faydayı aynı anda değerlendirir.	Karmaşık ekonomik modelleme gerektirir, soyut sonuçlar.

Genel olarak, erişilebilirlik ölçüm yöntemleri, ulaşım planlama alanında farklı analiz ihtiyaçlarına yönelik özelleştirilebilir araçlar sunar. Kümülatif olanaklar yöntemi ve kontur ölçümleri basit ve hızlı analizler için etkili olurken, çekim modeli ve çok türlü analizler daha kapsamlı ve ayrıntılı değerlendirmeler yapılmasına imkan tanır. Aktivite tabanlı ve fayda tabanlı yöntemler ise birey odaklı çözümler ve ekonomik değerlendirmeler açısından öne çıkar. Ancak her yöntemin belirli sınırlılıkları bulunduğu unutulmamalı ve analiz hedeflerine uygun olan yöntem dikkatle seçilmelidir. Çoğu durumda, birden fazla yöntemin birlikte kullanılması, farklı boyutları kapsayan daha bütüncül ve analitik olarak güçlü değerlendirmeler yapılmasını sağlayarak, kentsel erişilebilirliğin artırılması, sosyal eşitliğin sağlanması ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirmesi için etkili çözümler sunabilir.

Erişilebilirlik ölçüm yöntemlerinin ulaşım planlama yaklaşımları açısından ortaya çıkabilecek avantajları ve sınırlılıkları Tablo 3'te karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

Bu makalede çekim tabanlı bir model olan 'kümülatif olanaklar yöntemi', araştırmanın giriş bölümünde tanımlanan araştırma hedeflerine uygun olarak, İstanbul'da toplu taşıma ile istihdam alanlarına olan erişimin zamansal ve mekânsal boyutlarını analiz etmek amacıyla tercih edilmiştir. Bu model, erişilebilirliğin hem arz (istihdam yoğunluğu) hem de ulaşım maliyeti (seyahat süresi) bileşenlerini birlikte değerlendirme olanağı sunar. Modelinin sunduğu bu yapı, çalışmanın erişilebilirliği farklı zaman eşiklerinde (30, 60 ve 90 dakika) değerlendirme ve kent içi mekânsal eşitsizlikleri karşılaştırmalı olarak analiz etme amacına doğrudan karşılık gelmektedir. Ayrıca, modelin CBS ile entegre biçimde uygulanabilmesi, İstanbul gibi karmaşık mekânsal yapıya sahip bir metropolde kapsamlı ve görselleştirilebilir analizler yapılmasını mümkün kılmıştır.

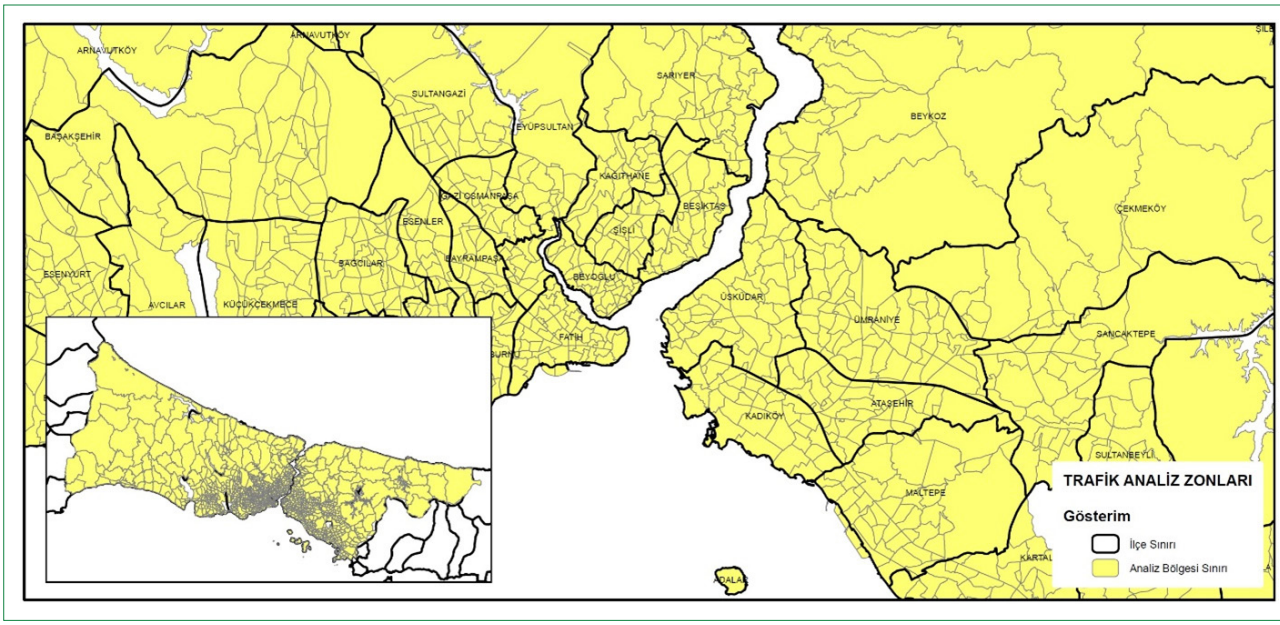
4. İstanbul'da Sürdürülebilir Erişilebilirliğin Kümülatif Olanaklar Ölçütü ile Değerlendirilmesi

Çalışmada kullanılan yolculuk verileri, İstanbul Ulaşım Ana Planı (İUAP) kapsamında 2006—2007 yıllarında gerçekleştirilen Hane Halkı Araştırması'ndan elde edilmiştir. İstanbul genelinde %2,2'lik örneklem oranı ile yaklaşık 90.000 haneye ulaşılmış, %80 cevaplama oranıyla 72.280 haneden veri toplanmıştır. Bu hanelerde yaşayan 6 yaş üstü bireylerin son 24 saat içinde gerçekleştirdiği tüm yolculuklara ilişkin bilgiler (başlangıç ve bitiş noktaları, ulaşım türü, süresi, amacı vb.) kayıt altına alınmıştır. Toplamda 263.768 birey ve yaklaşık 360.000 yolculuğa dair veri elde edilmiştir. Anket verileri, 451 trafik analiz zonunu (TAZ) kapsayacak şekilde mekânsal olarak modellenmiştir.

Çalışmada kullanılan 1307 adet TAZ (Şekil 2) yapısının günümüzdeki haline getirilmesi çalışması ise 2019'dan başlayarak yaklaşık 2 yıl süren İstanbul Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı Projesi (İstanbul SKHP) kapsamında gerçekleştirilmiştir. TAZ'lar, ulaşım talebini daha doğru modelleyebilmek amacıyla kenti, nüfus yoğunluğu, arazi kullanım, yol ağı yapısı ve kentsel fonksiyonlara göre homojen parçalara ayıran mekânsal birimlerdir. Bu zonların oluşturulmasında, ilçe ve mahalle gibi idari sınırlar ve nehir, otoyol vb. coğrafi eşikler dikkate alınarak hem istatistiksel hem de işlevsel süreklilik sağlanmıştır. Zon sınırları, aynı zamanda ulaşım karar destek sistemlerinde kullanılmak üzere CBS ortamında üretilmiş ve standartlaştırılmıştır. Bu nedenle her bir zon, ulaşım davranışlarını temsilen anlamlı bir analiz birimi olarak çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışmada kullanılan 2022 yılı yol ağı ve istihdam verileri, İstanbul Ulaşım Ana Planı (İUAP) kapsamında gerçekleştirilen anketler ve saha araştırmalarına dayanmaktadır. 2040 yılına ilişkin ulaşım ağı ve istihdam projeksiyonları ise, nüfus artış öngörüleri ve planlanan ulaşım yatırımları doğrultusunda İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaşım Planlama Şube Müdürlüğü tarafından geliştirilen senaryolara göre oluşturulmuş ve tüm veriler ilgili kurumlardan gerekli izinler alınarak makale kapsamında kullanılmıştır.

Çalışmada 1307 TAZ'ın her biri için denklem (1) ile ifade edilen kümülatif olanaklar yöntemi uygulanmış ve her bir bölgenin erişilebilirlik değeri (A_i) hesaplanmıştır. A_i değeri, i bölgesinden belirlenen zaman eşiği (30, 60, 90 dakika) içerisinde toplu taşıma ile erişilebilen bölgelerdeki istihdamın toplam



Şekil 2. TAZlar 1307 adet (Kaynak: İstanbul SKHP çalışmaları kapsamında hazırlanarak İBB'den elde edilmiştir).

istihdam içindeki oranını göstermektedir. Kullanılan modelde İstanbul için hazırlanmış olan 2022 ve 2040 yılı istihdam değerleri her bir TAZ bölgesi için kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan yolculuk süresi matrisi, İstanbul Ulaşım Ana Planı (İUAP) çerçevesinde geliştirilen dört aşamalı klasik ulaşım talep modeli üzerinden türetilmiştir. Matrisin kalibrasyonu, 2006—2007 Hane Halkı Araştırması, perde-kordon sayımları, toplu taşıma güzergâh verisi, yol ağı geometrisi ve dış istasyon anketlerine dayalı olarak yapılmıştır. Model, TAZ'lar düzeyinde farklı ulaşım türleri için en kısa seyahat sürelerini tahmin etmiş; bu tahminler, geçmiş yıl verileriyle kalibrasyon ve validasyon süreçlerinden geçirilerek doğrulanmıştır. Bu doğrultuda elde edilen süre matrisi, İstanbul'un mevcut ulaşım sistemine dayalı, karar destek analizlerinde kullanılabilir nitelikte doğrulanmış bir veri setidir.

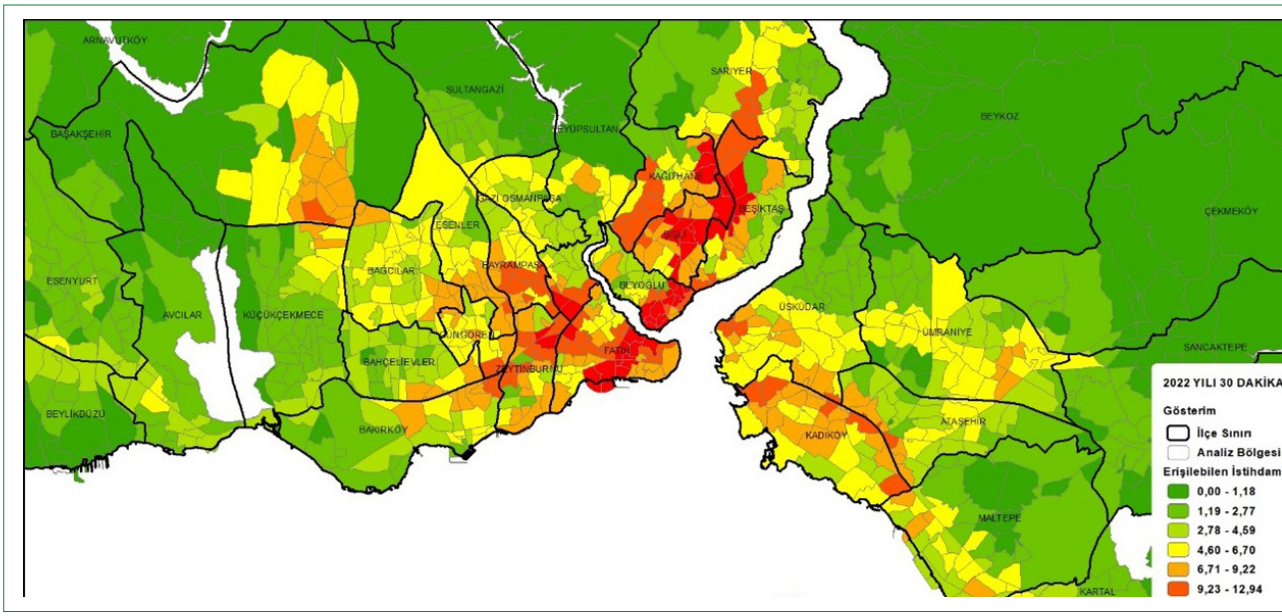
Modelde, erişilebilirlik, belirli zaman eşik değerleri ($t_{eşikdeğer}$) için hesaplanır ve sonuç her eşik değer içerisinde ulaşılabilir olan varış noktalarını dikkate alır. Yani model, belirli bir bölgenin, belirlenen süreler içerinde erişilebilir olup olmadığını dikkate alır. Eşik değer, denklem (2) ile ifade edilen direnç fonksiyonu içerisinde değerlendirilir ve bölgenin belirlenen eşik değer içerisinde erişilebilir olup olmadığını belirler. Bu çalışmada literatürden yola çıkılarak İstanbul'da 30, 60 ve 90 dakikalık eşik değerler kullanılmıştır. Literatürde bu zaman eşikleri, bireylerin işe gidiş-geliş, eğitim, alışveriş gibi günlük ulaşım amaçlarına yönelik ortalama seyahat süreleri esas alınarak belirlenmiştir. Özellikle, işe ulaşımda 30 dakika, bireylerin kabul edilebilir yolculuk süresi olarak öne çıkmaktadır. Bertolini vd. (2005), Hollanda'daki işe gidiş verilerine dayanarak, yolcuların %80'inin iş yerine 30 dakikadan kısa sürede ulaştığını belirtmiştir. Bu eşik değeri, kümülatif olanaklar yöntemi gibi erişilebilirlik analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha uzun süreler olan 60 ve 90 dakika ise, kent içi ve çevresi ile etkileşimlerini ve çok türlü ulaşım sistemlerinde daha geniş bölgesel erişimi değerlendirmek amacıyla kullanılır (Curtis ve Scheurer, 2010).

Makale kapsamında İstanbul için yapılan 2022 ve 2040 yılı hesaplamaları sonucunda 30, 60 ve 90 dakika eşik değerler içerisinde elde edilen en yüksek, ortalama ve en düşük erişilebilirlik değerleri (A_i) Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4'te, 2022 ve 2040 yılları için İstanbul'daki toplu taşıma ile istihdama erişilebilirliğe ilişkin (A_i) değerlerinin üç farklı zaman eşiğinde (30, 60 ve 90 dakika) özet istatistikleri sunulmaktadır. Elde edilen (A_i) değerleri, bireylerin belirtilen süreler içerisinde toplu taşıma ile erişebildikleri istihdam oranlarını göstermektedir. Analiz, İstanbul'daki erişilebilirlik düzeyinde önemli bir mekânsal ve zamansal değişkenlik olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Erişilebilirlik analizi sonuçları: Erişilebilen istihdam oranları

		30 Dakika (%)	60 Dakika (%)	90 Dakika (%)
2022 TT	Maksimum	18,07	60,46	87,79
	Minimum	0	0,02	0,09
	Ortalama	4,23	24,41	51,58
2040 TT	Maksimum	18,83	72,08	90,46
	Minimum	0	0,01	0,37
	Ortalama	5,89	32,55	63,76



Şekil 3. İş olanaklarına erişilebilirlik düzeyi (2022 yılı 30 dakika) (Kaynak: Yazarlar tarafından üretilmiştir).

2040 yılında İstanbul'un erişilebilirlik değerleri genel olarak artış göstermiştir. Ortalama erişilebilirlik 30 dakikalık eşik değerde; %4,23'ten %5,89'a, 60 dakikalık eşik değerde; %24,41'den %32,55'e, 90 dakikalık eşik değerde %51,58'den %63,76'ya yükselmiştir. Maksimum erişilebilirlik de tüm zaman dilimlerinde artış göstermektedir. Minimum erişilebilirlikte ise 30 dakika süresi için değişiklik olmazken (0), 60 dakikada küçük bir düşüş, 90 dakikada ise iyileşme gözlemlenmiştir.

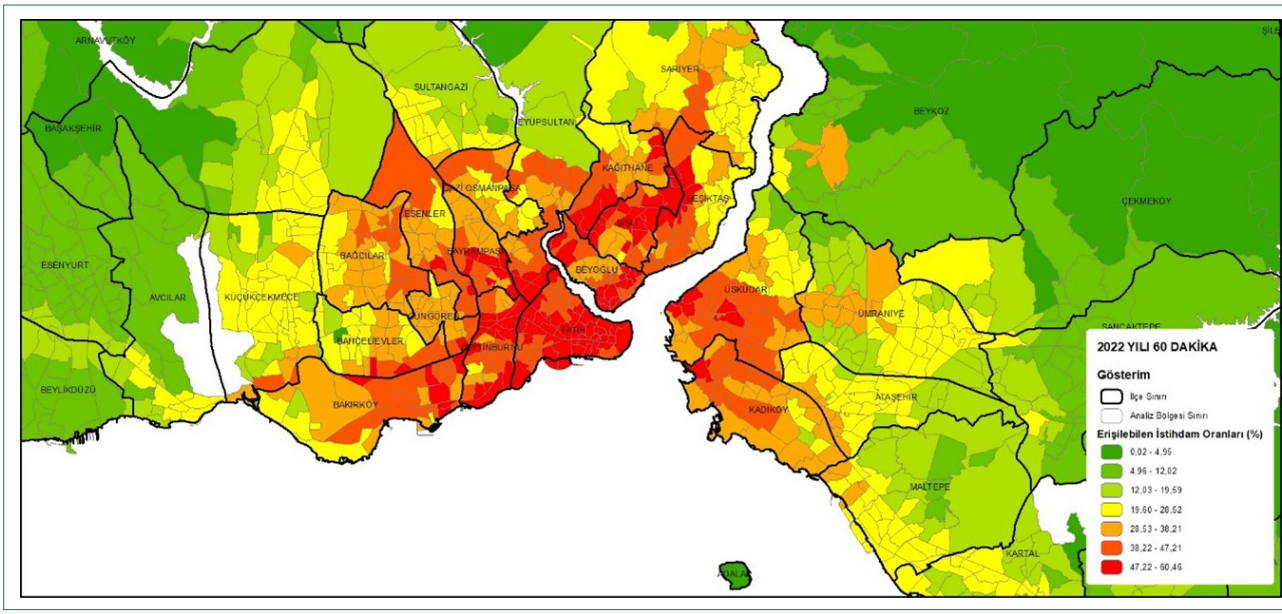
5. Bulgular

CBS, kümülatif olanaklar yönteminin mekânsal analizinde önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Çalışma alanı içerinde yer alan 1307 TAZ bölgesinin her biri için bir erişilebilirlik değeri (A_i) üretilmiştir. CBS ortamında aktarılan erişilebilirlik değerleri (A_i) aşağıdaki şekillerde (Şekil 3–8) yer almaktadır. CBS ortamında üretilen analizlerin mekânsal yansımaları ise 2022 ve 2040 yıllarındaki ulaşım ağı ve istihdam değerlerinin değişimlerini içerecek şekilde 30, 60 ve 90 dakikalık eşik değerlerin her biri için yeniden hesaplanarak görselleştirilmiştir. Bu yöntemle; İstanbul'un farklı ilçe ve mahallelerinde iş olanaklarının erişilebilirliğinin ölçülmesi sonucunda aşağıdaki bulgular ortaya konmuştur.

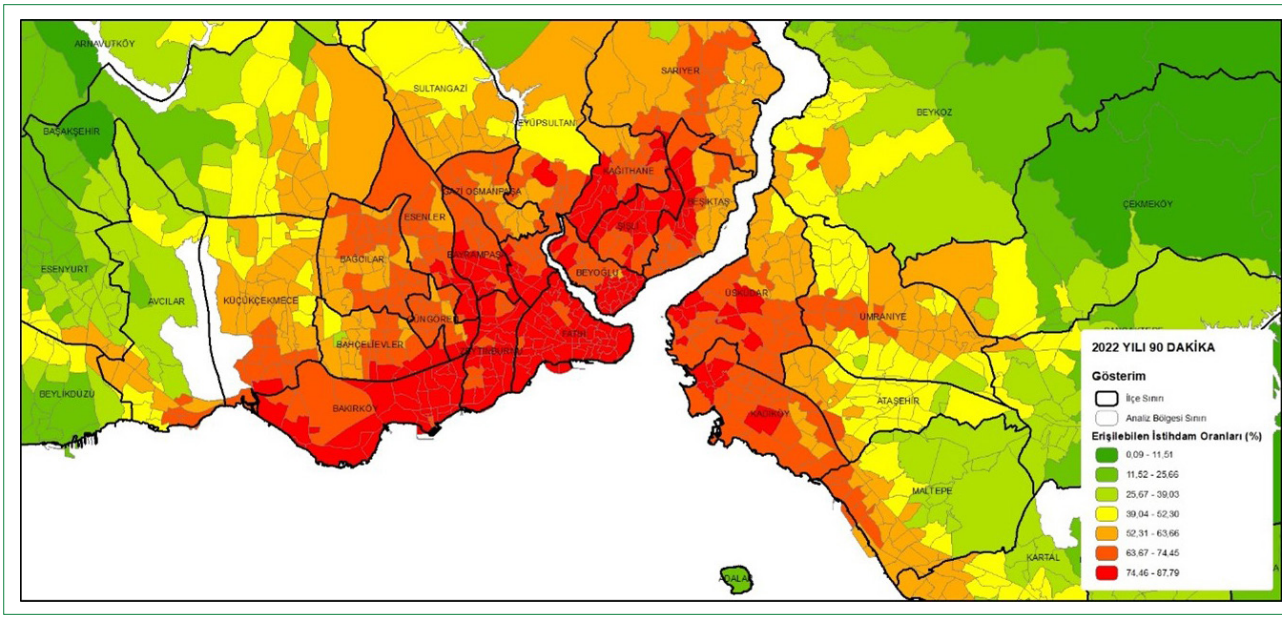
2022 yılına ait 30 dakikalık toplu taşıma ile erişilebilirlik analizinde (Şekil 3), İstanbul'un merkezi iş alanlarına yakın mahallelerin yüksek erişilebilirlik düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Fatih ilçesinde bulunan Sultanahmet ve Eminönü; Beyoğlu ilçesinde bulunan Taksim ve Karaköy; Şişli ilçesinde bulunan Mecidiyeköy ve Kağıthane ilçesinde bulunan Çağlayan gibi mahalleler toplu taşıma altyapısının gelişmiş olması ve iş merkezlerine yakınlıkları nedeniyle kırmızı renk ile gösterilen en yüksek erişilebilirlik seviyesine sahip mahallelerdir. Anadolu Yakası'nda ise Kadıköy ilçesinde bulunan Hasanpaşa ve Merdivenköy; Üsküdar ilçesinde bulunan Altunizade ve Kısıklı mahalleleri metro ve otobüs bağlantıları sayesinde yüksek erişilebilirlik seviyesine sahiptir. Buna karşılık, Arnavutköy ilçesinde bulunan Haraççı ve Boğazköy; Beykoz ilçesinde bulunan Riva; Çekmeköy ilçesinde bulunan Sırapınar; Esenyurt ilçesinde bulunan Kıraç ve Büyükçekmece ilçesinde bulunan Mimarsinan gibi şehrin çeper mahallelerinde yeşil renk ile gösterilen erişilebilirlik değeri düşük seviyededir. Bu mahallelerin düşük erişilebilirlik seviyeleri, toplu taşıma altyapısının sınırlı olması ve merkezi iş alanlarına uzaklıklarından kaynaklanmaktadır.

2022 yılı 60 dakikalık erişilebilirlik analizinde (Şekil 4), İstanbul'un merkezi mahallelerinden çeper mahallelere kadar daha geniş bir erişim alanı ortaya çıkmaktadır. Fatih, Beyoğlu, Şişli ve Kadıköy gibi merkezi ilçelerde bulunan mahalleler, kırmızı renk ile gösterilen en yüksek erişilebilirlik seviyelerini korurken, erişim süresinin uzamasıyla birlikte Küçükçekmece ilçesinde bulunan Cennet ve Sefaköy; Bahçelievler ilçesinde bulunan Şirinevler; Maltepe ilçesinde bulunan Cevizli ve Kartal ilçesinde bulunan Soğanlık gibi mahalleler sarı renk ile gösterilen orta derecede erişilebilirlik düzeyine ulaşmıştır. Bu mahalleler, toplu taşıma sistemlerine erişim avantajı sağlamış, ancak merkezi iş alanlarına daha uzak olmaları nedeniyle kırmızı bölgelerden biraz daha düşük erişilebilirlik göstermektedir. Öte yandan, Arnavutköy ilçesinde bulunan Hadımköy; Beykoz ilçesinde bulunan Tokatköy ve Çatalca ilçesinde bulunan Subaşı gibi çeper mahalleler yine yeşil renk ile gösterilen düşük erişilebilirlik seviyesindedir.

2022 yılına ait 90 dakikalık analiz (Şekil 5), İstanbul'un büyük bir bölümünün iş merkezlerine erişebilir hale geldiğini göster-



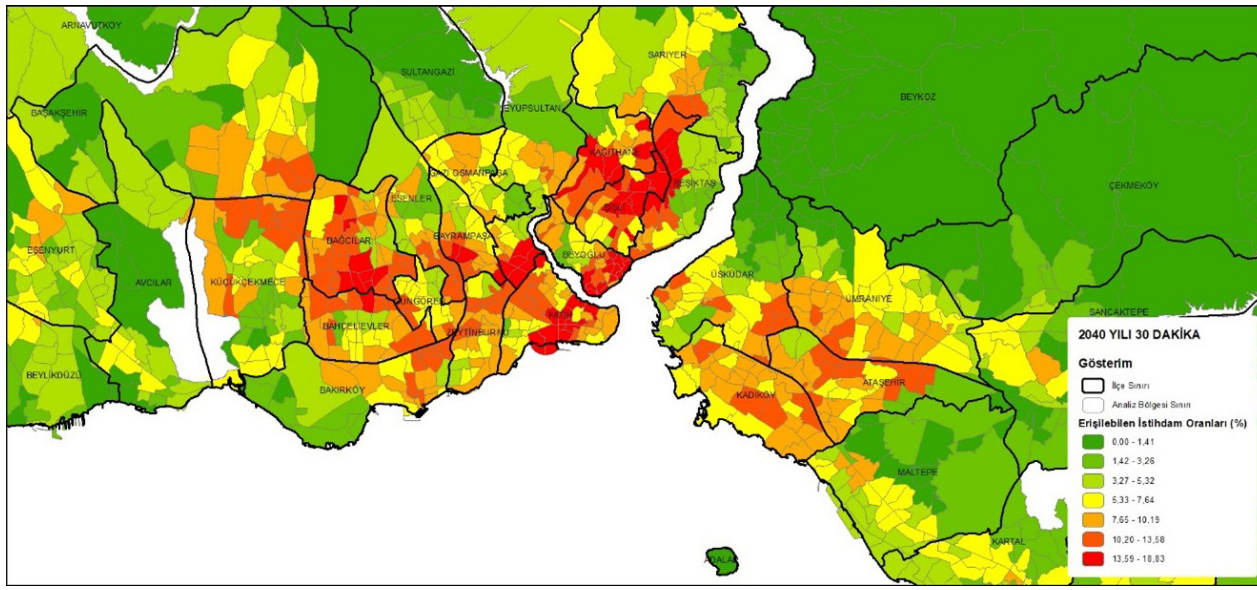
Şekil 4. İş olanaklarına erişilebilirlik düzeyi (2022 yılı 60 dakika) (Kaynak: Yazarlar tarafından üretilmiştir).



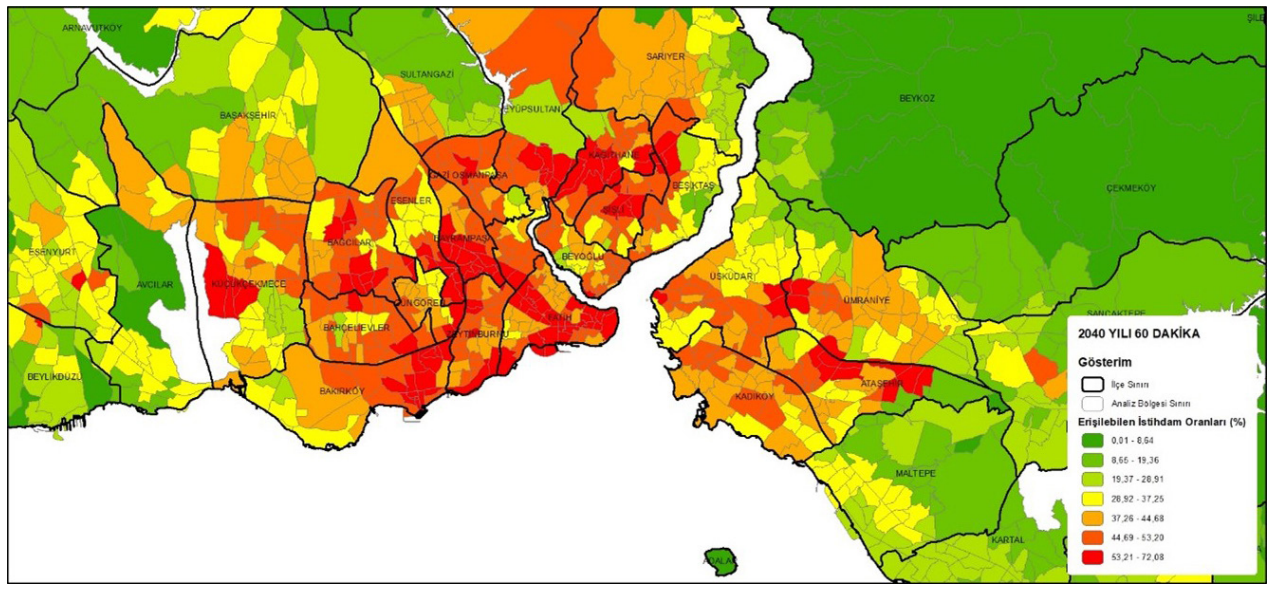
Şekil 5. İş olanaklarına erişilebilirlik düzeyi (2022 yılı 90 dakika) (Kaynak: Yazarlar tarafından üretilmiştir).

mektedir. Kırmızı bölgeler, kentin merkezi iş alanlarının bulunduğu Fatih, Şişli, Kadıköy ve Beyoğlu gibi merkezi ilçelerde bulunan mahallelerin yanı sıra çeper mahalleleri de kapsayacak şekilde genişlemiştir. Örneğin, Esenyurt ilçesinde bulunan Esenkent ve Bağlarçeşme; Avcılar ilçesinde bulunan Ambarlı ve Gümüşpala; Pendik ilçesinde bulunan Kaynarca ve Kartal ilçesinde bulunan Yakacık mahallelerinde sarı, turuncu ve kırmızı renk ile gösterilen erişilebilirlik seviyesi artmıştır. Ancak, Arnavutköy ilçesinde bulunan Taşoluk ve Dursunköy; Beykoz ilçesinde bulunan Riva ve Çatalca ilçesinde bulunan Muratbey Merkez gibi şehrin çeper mahalleleri, 90 dakikalık süreye rağmen düşük erişilebilirlik düzeyinde kalmaktadır. Bu durum, bu mahallelerdeki toplu taşıma yatırımlarının eksikliğini ve iş merkezlerine olan uzaklıklarını vurgulamaktadır.

2040 projeksiyonuna göre yapılan 30 dakikalık erişilebilirlik analizinde (Şekil 6), İstanbul'da toplu taşıma yatırımlarının erişim düzeyleri üzerindeki etkisi belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır. Fatih ilçesinde bulunan Sultanahmet ve Eminönü; Beyoğlu ilçesinde bulunan Taksim ve Şişli ilçesinde bulunan Mecidiyeköy gibi mahalleler kırmızı renk ile gösterilen yüksek erişilebilirlik düzeylerini korurken; Küçükçekmece ilçesinde



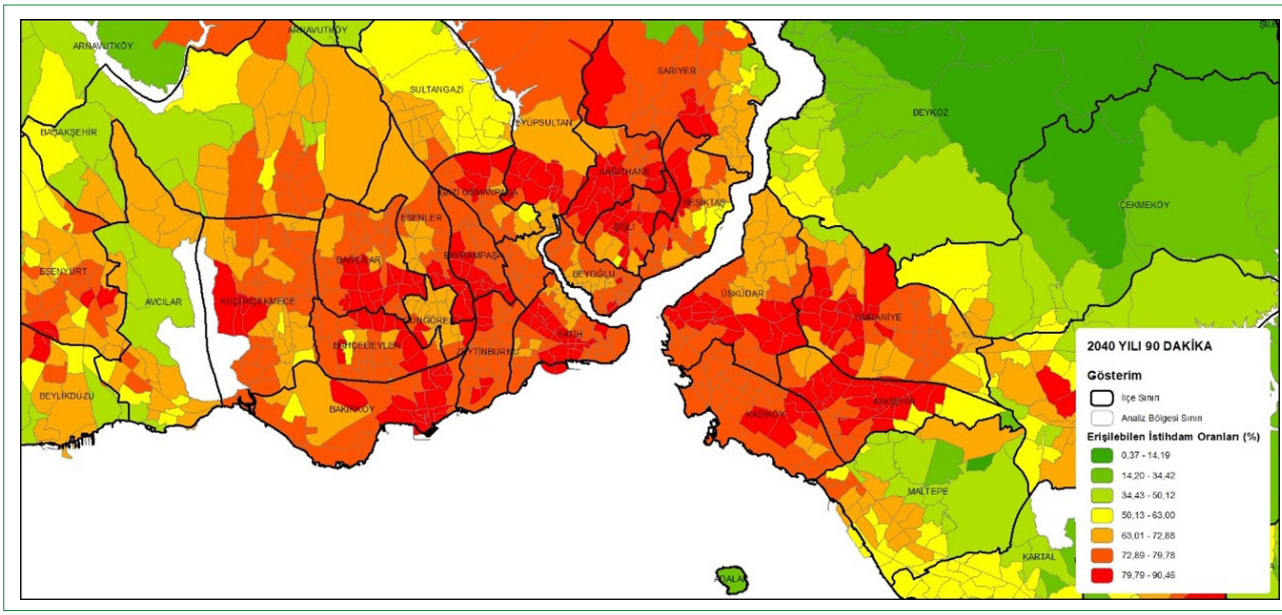
Şekil 6. İş olanaklarına erişilebilirlik düzeyi (2040 yılı 30 dakika) (Kaynak: Yazarlar tarafından üretilmiştir).



Şekil 7. İş olanaklarına erişilebilirlik düzeyi (2040 yılı 60 dakika) (Kaynak: Yazarlar tarafından üretilmiştir).

bulunan Halkalı ve Kanarya; Bahçelievler ilçesinde bulunan Çobançeşme ve Bağcılar ilçesinde bulunan Mahmutbey gibi mahallelerde turuncu renk ile gösterilen erişilebilirlik seviyesinin arttığı gözlemlenmektedir. Anadolu Yakası'nda ise Kadıköy ilçesinde bulunan Kozyatağı; Üsküdar ilçesinde bulunan Altunizade ve Ataşehir ilçesinde bulunan Barbaros mahalleleri, yeni metro hatlarının etkisiyle erişilebilirlik avantajını artırmıştır. Buna rağmen, Arnavutköy ilçesinde bulunan Boğazköy; Beykoz ilçesinde bulunan Tokatköy ve Çekmeköy ilçesinde bulunan Sırapınar gibi mahalleler yeşil renk ile gösterilen düşük erişilebilirlik seviyelerinde kalmaktadır.

2040 yılına ait 60 dakikalık erişilebilirlik projeksiyonu (Şekil 7), kentin çeper mahallelerinde belirgin bir iyileşme göstermektedir. Pendik ilçesinde bulunan Kaynarca ve Çamçeşme; Kartal ilçesinde bulunan Orhantepe; Küçükçekmece ilçesinde bulunan Sefaköy ve Halkalı; Bağcılar ilçesinde bulunan Güneşli mahalleleri yeni metro hatları sayesinde erişilebilirlik düzeylerini arttırmıştır. Anadolu Yakası'nda Ataşehir ilçesinde bulunan Barbaros; Ümraniye ilçesinde bulunan Ihlamurkuyu ve Maltepe ilçesinde bulunan Başıbüyük mahalleleri de iş merkezlerine daha kolay ulaşabilir hale gelmiştir. Ancak, Arnavutköy ilçesinde bulunan Haraççı; Çekmeköy ilçesinde bulunan Hüseyinli ve



Şekil 8. İş olanaklarına erişilebilirlik düzeyi (2040 yılı 90 dakika) (Kaynak: Yazarlar tarafından üretilmiştir).

Çatalca ilçesinde bulunan Muratbey Merkez gibi mahallelerde erişilebilirlik düzeyi sınırlı kalmaya devam etmektedir. Bu mahalleler, şehrin çeperinde yer almaları ve toplu taşıma yatırımlarının bu bölgelerde yetersiz olması nedeniyle dezavantajlıdır.

2040 yılına ait 90 dakikalık erişilebilirlik projeksiyonu (Şekil 8), İstanbul'un büyük bir bölümünün iş merkezlerine ulaşabileceğini öngörmektedir. Fatih, Beyoğlu, Kadıköy ve Şişli gibi merkez ilçeler kırmızı renk ile gösterilen en yüksek erişilebilirlik seviyelerini korurken; Küçükçekmece ilçesinde bulunan Cennet ve Kanarya; Pendik ilçesinde bulunan Velibaba ve Şeyhli; Maltepe ilçesinde bulunan Küçükyalı gibi çeper mahallelerde de erişilebilirlikte önemli iyileşmeler görülmektedir. Buna karşılık, Arnavutköy ilçesinde bulunan Dursunköy; Çekmeköy ilçesinde bulunan Sırapınar; Beykoz ilçesinde bulunan Riva ve Çatalca ilçesinde bulunan Gökçeali gibi şehrin dış mahallelerinde düşük erişilebilirlik sorunları devam etmektedir. Bu mahallelerin erişilebilirlik düzeylerini artırmak için daha kapsamlı toplu taşıma yatırımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Analiz sonuçları, toplumsal eşitliği gözeten bir ulaşım politikası için çeper mahallelerin toplu taşıma planlamasında öncelikli olarak ele alınmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

6. Bulguların İstanbul'un Sürdürülebilir Erişilebilirliği Kapsamında Değerlendirilmesi

Yapılan analizler, İstanbul'un toplu taşıma ile iş olanaklarına erişilebilirlik durumunun hem 2022 yılı itibarıyla mevcut durumunu hem de 2040 yılı projeksiyonlarına göre gelecekteki değişimini ortaya koymaktadır. Genel olarak; Fatih, Şişli, Kadıköy ve Beyoğlu ilçelerinde bulunan merkezi mahallelerin yüksek erişilebilirlik seviyelerine sahip olduğu, Küçükçekmece, Bahçelievler ve Ataşehir ilçelerinde bulunan çevresel mahallelerde orta dereceli bir erişimin bulunduğu, ancak Arnavutköy, Çatalca ve Beykoz ilçelerinde bulunan çeper mahallelerin düşük erişilebilirlik seviyelerinde kaldığı gözlemlenmektedir. Gelecek projeksiyonları, planlanan toplu taşıma yatırımlarının etkisiyle erişilebilirlikte genel bir iyileşme olacağını göstermektedir. Ancak bu gelişmelerin, özellikle çeper mahallelerde yaşayanlar açısından yeterli olmadığı; toplumsal eşitliğin sağlanabilmesi için daha güçlü ve kapsayıcı politikaların hayata geçirilmesi gerektiği vurgulanmalıdır.

2022 yılı analizleri, 30 dakikalık erişim süresinde İstanbul'un yalnızca merkezi mahallelerinin iş merkezlerine rahat bir ulaşım sağladığını, çevresel mahallelerin sınırlı erişime sahip olduğunu ve çeper mahallelerin neredeyse tamamen erişim dışı kaldığını ortaya koymaktadır. 60 ve 90 dakikalık sürelerde erişim alanı genişlese de çeper mahalleler, merkezi bölgelere göre hala dezavantajlıdır. Özellikle Arnavutköy, Çekmeköy, Beykoz ve Çatalca gibi uzak bölgelerde toplu taşıma altyapısının sınırlı olması, bu ilçelerdeki mahallelerin erişilebilirlik açısından ciddi zorluklar yaşadığını göstermektedir.

2040 projeksiyonları, planlanan toplu taşıma yatırımları sayesinde 30, 60 ve 90 dakikalık erişim sürelerinde genel bir iyileşme yaşanacağını göstermektedir. 30 dakikalık sürede Küçükçekmece ilçesinde bulunan Halkalı; Bağcılar ilçesinde bulunan Mahmutbey; Pendik ilçesinde bulunan Kaynarca ve Ataşehir ilçesinde bulunan Barbaros gibi çevre mahallelerde erişim düzeyinin artması beklenmektedir. 60 dakikalık sürede ise bu iyileşmeler, şehrin daha geniş alanlarına yayılacak, çeper mahallelerin çoğu merkezi iş alanlarına ulaşabilir hale gelecektir. Ancak, Arnavutköy ilçesinde bulunan Taşoluk; Çekmeköy ilçesinde bulunan Sırapınar; Beykoz ilçesinde bulunan Riva ve Çatalca ilçesinde bulunan Gökçeali gibi mahallelerde erişim sorunlarının tam anlamıyla çözülmeyeceği öngörülmektedir. 90 dakikalık projeksiyon ise, şeh-

rin büyük bölümünün iş merkezlerine ulaşabilir hale geleceğini ortaya koymaktadır. Ancak bu süre içinde dahi çeper mahallelerin erişilebilirlik düzeyi düşük kalmaya devam edecektir.

Genel karşılaştırmada, Fatih, Şişli, Kadıköy, Beyoğlu gibi merkezi ilçelerde bulunan mahallelerin 2022'de olduğu gibi 2040'ta da en yüksek erişilebilirlik seviyesine sahip olacağı; Küçükçekmece, Bahçelievler, Ataşehir gibi çevre ilçelerde bulunan mahallelerde önemli iyileşmeler yaşanacağı; ancak Arnavutköy, Çatalca, Beykoz gibi çeper ilçelerde bulunan mahallelerde sorunların devam edeceği görülmektedir. 2040 yılına yönelik toplu taşıma yatırımları, erişilebilirliği artırmakla birlikte, şehrin tüm mahallelerinde toplumsal eşitliği sağlamak için yeterli olmayacaktır. Özellikle, çeper mahallelerin toplu taşıma projelerinde daha fazla önceliklendirilmesi gerekmektedir. İstanbul'un sürdürülebilir ulaşım ve erişilebilirlik hedeflerine ulaşması için, mevcut yatırımların genişletilmesi, dezavantajlı bölgeler için hedefe yönelik politikalar geliştirilmesi ve bölgesel eşitsizliklerin azaltılması önem taşımaktadır. Bu analiz, erişilebilirlikte eşitliği sağlamak adına stratejik planlamanın ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

7. Genel Değerlendirme

Bu çalışmada, İstanbul'un sürdürülebilir erişilebilirlik düzeyi, kümülatif olanaklar yöntemi ve CBS tabanlı analizlerle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, kentsel sürdürülebilirlik açısından kritik olan mekânsal erişim eşitsizliklerini ve ulaşım sistemlerinin bu eşitsizlikler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu sonuçlar, İstanbul'un ulaşım planlama ve sürdürülebilir erişilebilirlik çalışmalarına hem teorik hem de pratik düzeyde katkılar sunmaktadır.

Makale, literatürde erişilebilirlik kavramını çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla ele alan "Sürdürülebilir Erişilebilirlik" yaklaşımını desteklemektedir. Çalışmada kullanılan yöntemler, bu kavramın mekânsal ölçümünde etkili araçlar olarak öne çıkmıştır. Literatürde sıklıkla teorik düzeyde ele alınan sürdürülebilir erişilebilirlik kavramı, İstanbul bağlamında pratik veri analizlerine bağlı olarak geliştirilen uygulama ile bir çerçeveye oturtulmuş ve analiz edilmiştir. Analizler, İstanbul'un Silivri, Çatalca, Arnavutköy, Sancaktepe, Tuzla gibi çeper ilçelerinde toplu taşıma altyapısının yetersiz olduğunu göstermiştir. Bu durum, çeperlerdeki hizmet erişimini artırmak için toplu taşıma hatlarının genişletilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, erişilebilirlik düzeylerinin özellikle kentsel hizmetlerin yoğunlaştığı merkez ilçelerde daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, karma kullanımlı ve yoğun yapılaşmış alanlarda toplu taşıma ile istihdama ulaşımın daha elverişli olabileceğine işaret etmektedir. Toplu taşıma sistemlerinin güçlendirilmesi, yalnızca ulaşım performansını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel etkilerin azaltılması ve toplumsal eşitliğin sağlanması açısından da önemli katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda, çeper ilçelerde toplu taşıma altyapısının geliştirilmesi ve ağ entegrasyonunun artırılması, daha adil bir erişim düzeyi sağlamaya yardımcı olabilir. Ayrıca, günlük gereksinimlerin yerel ölçekte karşılanmasına yönelik hizmet alanlarının dengeli dağılımı ve kısa mesafeli ulaşımın teşviki, kentsel sürdürülebilirliğe yönelik bütüncül çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır.

7.1. Gelecekteki Araştırmalar

Bu çalışmanın sürdürülebilir erişilebilirlik alanında ortaya koyduğu bulgular, gelecekteki araştırmalar için çeşitli potansiyel fırsatları işaret etmektedir. İlk olarak, erişilebilirliği ölçmek için daha gelişmiş, dinamik ve veri havuzu genişletilmiş modeller geliştirilmesi gerekmektedir. Geurs ve van Wee (2004), mevcut erişilebilirlik yöntemlerinin statik olduğunu ve zamanla değişen ulaşım ve arazi kullanım dinamiklerini yeterince yakalayamadığını vurgulamıştır. Bu doğrultuda, yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı yöntemlerin erişilebilirlik analizlerinde kullanımı, daha esnek ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Özellikle, gerçek zamanlı veri ile dinamik erişilebilirlik analizlerinin yapılması, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

Gelecekteki çalışmalar, İstanbul'daki erişilebilirlik düzeylerini diğer büyük şehirlerle kıyaslanarak daha geniş bir bağlam sağlayabilir. Bertolini vd. (2005), erişilebilirlik ile arazi kullanım planlaması arasındaki entegrasyonun şehirler arası karşılaştırmalarda önemli bir kriter olduğunu belirtmiştir. Örneğin, İstanbul'un erişilebilirlik performansı, Londra, Paris ve Tokyo gibi şehirlerin sürdürülebilir erişilebilirlik stratejileriyle kıyaslanabilir. Bu tür karşılaştırmalar, İstanbul'un ulaşım planlamasında daha adil, kapsayıcı ve ihtiyaç odaklı politikalar ile stratejilerin geliştirilmesine zemin hazırlayabilir.

Ayrıca, toplumsal eşitlik ve katılım konularına yönelik araştırmalar, sürdürülebilir erişilebilirlik çalışmalarının sosyal boyutunu derinleştirebilir. Vega (2012), erişilebilirlik politikalarının dezavantajlı gruplar üzerindeki etkisini değerlendirmenin, toplu taşıma projelerinin sosyal eşitliği artırmada kritik bir rol oynadığını ifade etmiştir. Bu bağlamda, düşük gelirli grupların, yaşlıların ve engellilerin erişim sorunlarını çözmeye yönelik özel politikalar geliştirilebilir. Örneğin, dezavantajlı grupların iş, eğitim ve sağlık hizmetlerine erişimini artıracak ulaşım projeleri tasarlanabilir. Bu tür politikalar, "Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları"ndan "Amaç 10: Eşitsizliklerin Azaltılması" ve "Amaç 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar" ile uyumludur (Birleşmiş Milletler, 2015). Ayrıca İstanbul için hazırlanan Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı çalışmaları kapsamında "Erişilebilir, ödenebilir, entegre ve kapsayıcı bir ulaşım sistemine sahip olmak" ilk amaç olarak belirlenmiştir (İstanbul SKHP, 2022). Dolayısıyla, erişilebilirlik politikalarının yalnızca fiziksel altyapıya değil, aynı zamanda sosyal kapsayıcılığa da odaklanması, sürdürülebilir ve adil bir kent ulaşım sisteminin oluşturulmasında belirleyici bir unsurdur.

Ulaşım teknolojilerindeki yeniliklerin sürdürülebilir erişilebilirlik üzerindeki etkileri de araştırma konusu olmalıdır. Curtis

(2008), elektrikli ve otonom araçların toplu taşıma sistemlerine entegrasyonunun, karbon emisyonlarını azaltmada ve sürdürülebilirliği artırmada büyük bir potansiyel taşıdığını belirtmiştir. Bunun yanı sıra, akıllı ulaşım sistemlerinin (nesnelerin interneti ve gerçek zamanlı veri teknolojileri) kullanımı, toplu taşıma sistemlerinin verimliliğini artırarak hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlayabilir.

İklim değişikliği, sürdürülebilir erişilebilirlik çalışmalarında ele alınması gereken bir diğer önemli konudur. Geurs ve van Wee (2004), iklim değişikliğinin ulaşım sistemleri üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Örneğin, aşırı hava olaylarının (sel veya sıcaklık artışı) toplu taşıma sistemlerinin dayanıklılığı üzerindeki etkileri incelenebilir. Ayrıca, iklim değişikliğine uyum sağlayan ulaşım planlaması, kentlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını kolaylaştırabilir.

Son olarak, yerel mekânsal, sosyal ve ekonomik analizler, mahalle bazında yapılan erişilebilirlik çalışmalarını daha da derinleştirebilir. Bertolini vd. (2005), yaya ve bisiklet yollarının erişilebilirlik üzerindeki rolünü değerlendirmenin sürdürülebilir şehir planlaması açısından önemli olduğunu belirtmiştir. Özellikle, kentsel yoğunluğun erişilebilirlik üzerindeki etkisi araştırılarak, mahalle bazındaki ulaşım altyapısının nasıl optimize edilebileceği incelenebilir.

Gelecekteki çalışmalar, sürdürülebilir erişilebilirlik alanında daha kapsayıcı, dinamik ve yenilikçi bir anlayış geliştirmeye katkı sağlayacaktır. Akademik araştırmalar ve uygulamalı politikalar, öneriler doğrultusunda ilerleyerek daha eşitlikçi, çevre dostu ve verimli ulaşım sistemleri oluşturabilir. Bu çerçevede hem akademik hem de pratik düzeyde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için daha geniş bir perspektif kazanılması mümkündür.

Ethics committee approval: As this study does not involve direct human participation or data that requires ethics committee approval, approval from the ethics committee was not obtained.

Informed consent: All participants were informed about the purpose and scope of the study, and written informed consent was obtained in accordance with ethical principles.

Conflict of interest: The authors declare that there are no financial or personal conflicts of interest related to this study.

Funding and support: No financial support was received for the conduct or publication of this research.

Use of artificial intelligence (AI): No AI-based writing or editing tools were used at any stage of this study.

Authorship contributions: Research/project coordination – K.İ.Ü., U.C.; Conceptualisation – K.İ.Ü., U.C.; Research design and structuring – K.İ.Ü., U.C.; Methodology – K.İ.Ü., U.C.; Data sources and documentation – U.C.; Data collection and/or processing – U.C.; Data analysis and/or interpretation – U.C.; Mapping/visualisation – U.C.; Literature review – U.C.; Writing – original draft – U.C.; Writing – review and editing – K.İ.Ü., U.C.

Peer-review: This manuscript was evaluated through a double-blind peer-review process. The manuscript was revised in accordance with the reviewers' comments.

Etik kurul onayı: Bu çalışma, doğrudan insan katılımı ya da etik kurul onayı gerektiren nitelikte veri içermediği için etik kurul onayı alınmamıştır.

Bilgilendirilmiş onam: Araştırmaya katılan tüm bireyler, çalışmanın amacı ve kapsamı konusunda bilgilendirilmiş; etik ilkeler doğrultusunda gönüllü katılımları sağlanarak yazılı onamları alınmıştır.

Çıkar çatışması: Yazarların bu çalışmayla bağlantılı finansal ya da kişisel herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Finansman ve destek: Bu araştırmanın yürütülmesi ve yayımlanması sürecinde herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Yapay zekâ kullanımı: Bu çalışmanın herhangi bir aşamasında yapay zekâ tabanlı yazım ya da düzenleme araçları kullanılmamıştır.

Yazarlık katkıları: Araştırma/proje koordinasyonu – K.İ.Ü., U.C.; Konsept – K.İ.Ü., U.C.; Araştırma tasarımı ve kurgusu – K.İ.Ü., U.C.; Yöntem – K.İ.Ü., U.C.; Veri kaynakları ve dokümantasyon – U.C.; Veri toplama ve/veya işleme – U.C.; Veri analizi ve/veya yorumlama – U.C.; Haritalama/görselleştirme – U.C.; Literatür taraması – U.C.; İlk taslağın yazımı – U.C.; Yazının gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi – K.İ.Ü., U.C.

Hakem değerlendirmesi: Makale, yazar ve hakem kimliklerinin karşılıklı olarak gizli tutulduğu bağımsız hakemlik süreciyle değerlendirilmiş ve hakem görüşleri doğrultusunda gözden geçirilmiştir.

Kaynaklar

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005

Bertolini, L., Le Clercq, F. ve Kapoen, L. (2005). Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. *Transport Policy*, 12(3), 207–220. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.006

Birleşmiş Milletler (United Nations). (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. https://sdgs.un.org/goals

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP). (2015). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG'ler)*. https://www.undp.org

Birleşmiş Milletler Türkiye Ofisi. (2015). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Türkiye Uyumlaştırma Rehberi*. https://turkiye.un.org

Bohnet, M. ve Gertz, C. (2008). Mode specific accessibility and car ownership. Mobil.TUM 2008 - *International Conference on Mobility and Transport*. Münih, Almanya.

Buliung, R. N. ve Kanaroglou, P. S. (2006). Urban form and household activity-travel behavior. *Growth and Change*, 37(2), 172–199. https://doi.org/10.1111/j.1468—2257.2006.00314.x

Casas, I. (2007). Social exclusion and the disabled: An accessibility approach. *The Professional Geographer*, 59(4), 463–477. https://doi.org/10.1111/j.1467—9272.2007.00635.x

Cheng, J., Bertolini, L., ve le Clercq, F. (2007). Measuring sustainable accessibility. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2017(1), 16–25. https://doi.org/10.3141/2017—03

Church, A., Frost, M. ve Sullivan, K. (2000). Transport and social exclusion in London. *Transport Policy*, 7(3), 195–205. https://doi.org/10.1016/S0967—070X(00)00024-X

Curl, A., Nelson, J. D. ve Anable, J. (2011). Does accessibility planning address what matters? A review of current practice and practitioner perspectives. *Research in Transportation Business & Management*, 2, 3–11. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2011.07.002

Curtis, C. (2008). Planning for Sustainable Accessibility: The Implementation Challenge. *Transportation Policy*, 15(2), 104–112.

Curtis, C. ve Scheurer, J. (2010). Planning for Sustainable Accessibility: Developing Tools to Aid Discussion and Decision-Making. *Progress in Planning*, 74(2), 53–106. https://doi.org/10.1016/j.progress.2010.05.001

El-Geneidy, A. ve Levinson, D. (2006). *Access to destinations: Development of accessibility measures*. Minnesota Department of Transportation, Research Services Section. https://hdl.handle.net/11299/638

Elldér, E., Larsson, A. ve Gil Solá, A. (2018). Proximity Changes to What and for Whom? Investigating Sustainable Accessibility Change in the Gothenburg City Region. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(4), 271–285.

Escalona-Orcao, A. I. ve Díez-Cornago, C. (2007). Accessibility to basic services in one of the most sparsely populated areas in Europe: The province of Teruel (Spain). *Area*, 39(3), 295–309. https://doi.org/10.1111/j.1475—4762.2007.00749.x

European Commission. (2020). *The European Green Deal*. European Union. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019–2024/european-green-deal_en

Farber, S. ve Páez, A. (2009). My car, my friends, and me: A preliminary analysis of automobility and social activity participation. *Journal of Transport Geography*, 17(3), 216–225. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2008.07.008

Geertman, S. C. M. ve Ritsema Van Eck, J. R. (1995). GIS and models of accessibility potential: an application in planning. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(1), 67–80. https://doi.org/10.1080/02693799508902025

Geurs, K. T. ve van Eck, J. R. (2001). *Accessibility measures: Review and applications*. RIVM Report 408505 006.

Geurs, K. T. ve van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005

Gil, J. ve Read, S. (2015). *Building a Multimodal Urban Network Using OpenStreetMap for Sustainable Accessibility Analysis*. Springer.

Hall, C. M., Gössling, S. ve Scott, D. (2010). *Tourism and Change in Polar Regions: Climate, Environment and Experiences*. Routledge.

Handy, S.L. ve Niemeier, D.A. (1997) Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives. *Environment and Planning* A, 29, 1175—1194. https://doi.org/10.1068/a291175

Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73–76. https://doi.org/10.1080/01944365908978307

Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: A search for an operational form. *Regional Studies*, 5(2), 101–107. https://doi.org/10.1080/09595237100185101

Knox, P.L. (1981). Retail geography and social well-being: A note on the changing distribution of pharmacies in Scotland. *Geoforum*, 12(3), 255—264

Koenig, J. G. (1980). Indicators of urban accessibility: *Theory and applications*. *Transportation*, 9(2), 145–172. https://doi.org/10.1007/BF00167128

Kwok, R. C. W. ve Yeh, A. G. O. (2004). The Use of Modal Accessibility Gap as an Indicator for Sustainable Transport Development. *Environment and Planning A*, 36(5), 921–936.

Larsson, A., Elldér, E. ve Gil Solá, A. (2022). Proximity changes to what and for whom? Investigating sustainable accessibility change in the Gothenburg City Region 1990–2014. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(1), 1–14. https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1797165

Le Clercq, F. ve Bertolini, L. (2003). Achieving sustainable accessibility: An evaluation of policy measures in the Amsterdam area. *Built Environment*, 29(1), 36–47. https://doi.org/10.2148/benv.29.1.36.53949

Levinson, D. ve Wu, H. (2019). Towards a general theory of access. *Journal of Transport and Land Use*, 12(1), 1–19. https://doi.org/10.5198/jtlu.2019.1660

Linneker, B. J. ve Spence, N. A. (1992). Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London orbital motorway on development in the south east of England. *Environment and Planning A*, 24(8), 1137–1154. https://doi.org/10.1068/a241137

Lynch, K. (1981). *A Theory of Good City Form*. MIT Press.

Nettleton, S., Green, J., Lloyd, S. ve Smith, D. (2007). Public health and public transport: The implications of transport accessibility for healthcare provision. *Journal of Maps*, 2007(1), 65–76. https://doi.org/10.1080/jom.2007.9710828

Niemeier, D. A. (1997). Accessibility: An evaluation using consumer welfare. *Transportation*, 24(4), 377–396. https://doi.org/10.1023/A:1004914803019

Owen, A. ve Levinson, D. (2014). *Access Across America: Transit 2014 Methodology*. University of Minnesota, Center for Transportation Studies. https://www.cts.umn.edu/publications/report/access-across-america-transit-2014-methodology

Özuysal, M. (2010). *Şehirsel yerleşimlerde erişilebilirlik ölçütünün modellenmesi ve kullanımı: Ulaşım türü seçimi üzerindeki etkisinin incelenmesi* (Yayınlanmamış doktora tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Papa, E. ve Ferreira, A. (2019). Sustainable accessibility and the implementation of transport policy: Identifying barriers and solutions. *Transport Policy*, 80, 129–140. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.05.005

Tomej, K. ve Liburd, J. J. (2020). Sustainable Accessibility in Rural Destinations: A Public Transport Network Approach. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(2), 222—239. https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1607359

Topuz Kiremitçi, S. ve Gerçek, H. (2015). Kentsel erişilebilirlik ve ödenebilirlik: İstanbul için bir durum incelemesi. *ITU A|Z*, 12(1), 133–145. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/587682

UN-Habitat. (2009a). *Planning sustainable cities: Global report on human settlements* 2009. Earthscan.

UN-Habitat. (2009b). *Planning Sustainable Cities: Policy Directions*. Global Report on Human Settlements.

UNESCO. (2020). *Sustainable development goals: 17 goals to transform our world*. https://www.unesco.org/sustainabledevelopment

Vega, A. (2012). Using Place Rank to Measure Sustainable Accessibility in Urban Areas. *Journal of Transport Geography*, 24, 45–57.

Wickstrom, G. V. (1971). Defining balanced transportation—a question of opportunity. *Traffic Quarterly*, 25(3), 337–349.

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.

İstanbul Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SKHP). (2022). https://surdurulebilirulasim.istanbul/

EXTENDED ABSTRACT

Ulaşım Planlamasında Sürdürülebilir Erişilebilirlik Yaklaşımı: İstanbul Örneği

Utku Cihan,[1] Kevser İsmet Üstündağ[2]

[1]Mimar Sinan Fine Arts University, Institute of Graduate Studies, Department of Urban and Regional Planning, İstanbul, Türkiye

[2]Mimar Sinan Fine Arts University, Faculty of Architecture, Department of Urban and Regional Planning, İstanbul, Türkiye

Accessibility is a fundamental component in determining the quality of life in urban areas. Sustainable accessibility refers to the ability of individuals to reach essential services in an equitable manner—economically, socially, and environmentally. Especially in large metropolitan areas, sustainable accessibility is closely linked to the effectiveness of public transportation systems and the spatial distribution of opportunities such as employment, education, and healthcare. This study aims to analyze the current and future accessibility levels in Istanbul by focusing on the relationship between public transportation networks and access to employment.

A cumulative opportunities-based approach was adopted to measure accessibility, utilizing travel time thresholds of 30, 60, and 90 minutes. Accessibility indicators were calculated using transport and employment data from the base year 2022 and a projected scenario for 2040, assuming the full implementation of planned transportation investments. The analysis was conducted in a Geographic Information Systems (GIS) environment, allowing spatial representations and zonal comparisons of accessibility levels across 1307 Traffic Analysis Zones (TAZ).

Findings reveal a notable increase in accessibility levels for all time thresholds under the 2040 scenario. For example, the average accessibility rate within 60 minutes increased from 24.41% in 2022 to 32.55% in 2040, while the minimum value at the 90-minute threshold improved significantly, indicating reduced spatial disparities. However, the minimum accessibility value within 30 minutes remained unchanged, suggesting that short-distance access to employment opportunities remains limited in certain peripheral districts. This implies that despite major infrastructure investments, localized challenges in urban connectivity may persist.

The study highlights that central districts such as Fatih, Şişli, Beşiktaş, and Kadıköy exhibit consistently higher accessibility scores, attributable to their dense land use patterns and well-connected public transit networks. In contrast, peripheral areas continue to face limited access, underscoring the importance of targeted interventions. Expanding and integrating public transport services in peripheral zones and redistributing urban services could enhance spatial equity and reduce environmental impacts by discouraging private vehicle use.

In conclusion, the study suggests that improving sustainable accessibility requires a multifaceted planning approach. This includes not only strengthening the physical infrastructure of transport systems but also considering the spatial distribution of urban services and population needs. The findings offer policy-relevant insights for urban planners, emphasizing the need for accessibility-based evaluation frameworks in transportation and land use planning. Such approaches can serve as tools for promoting spatial justice and sustainable urban development in megacities like Istanbul.

Keywords: Istanbul; urban transport planning; cumulative opportunities method; ustainable accessibility; public transport.

Correspondence: Utku Cihan
e-mail: utkucihan@gmail.com