

# Fayda Esaslı Erişilebilirliğin Ulaşım Türü Seçimi Üzerindeki Etkisi

Mustafa ÖZUYSAL\*  
Serhan TANYEL\*\*  
M. Yıldırım ORAL\*\*\*

## ÖZ

İnsanların istenilen tesislere, ürünlere ve etkinliklere ulaşabilme kolaylığı olarak tanımlanan erişilebilirlik indeksi [1], ulaşım faaliyetinin temel amacı olan erişimin ve bundan sağlanması beklenen faydanın kestirimine odaklandığından, ulaştırma talep modelinde uygulanma potansiyeli olan bir performans ölçütüdür. Bu çalışmada, fayda esaslı erişilebilirliğin toplulaştırılmış ölçekteki tür seçimi üzerinde etkili olup olmadığı irdelenmiş ve tür seçim oranlarının yalnız erişilebilirlik indeksinden yararlanılarak modellenen olanakları araştırılmıştır. Korelasyon, esneklik analizi gibi doğrusal yaklaşımlarda, özellikle konut ve sosyal donatı türü erişilebilirlik indekslerinin tür seçimi üzerinde etkin ancak kestirimde yetersiz olduğu görülmüştür. Doğrusal olmayan yapay sinir ağları yaklaşımı kullanıldığında ise özellikle özel taşıt seçimlerinin yüksek bir genelleme yeteneği ile tahmin edilebildiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** erişilebilirlik, ulaşım türü seçimi, yapay sinir ağları

## ABSTRACT

### The Effects of Utility Based Accessibility on Transportation Mode Choice

Accessibility index is defined as the ease of people to reach the desired facilities, products and activities [1]. It has a considerable potential for the application in travel demand models because it is focused on the main purpose and expected utility of transportation activities. In this study, the effects of utility based accessibility on aggregate mode choice behavior and modeling facilities by using only accessibility indices are investigated. As the result of linear approaches like correlation and elasticity analysis, the accessibility indices like residential and social infrastructure are found to be effective but not enough for the prediction of aggregate mode choice ratios. On the other hand, the artificial neural networks, as a nonlinear approach is found to have high prediction capability especially for the private car choices.

**Keywords:** accessibility, transportation mode choice, artificial neural networks

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 09.02.2010 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - mustafa.ozuysal@deu.edu.tr

\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - serhan.tanyel@deu.edu.tr

\*\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir - yildirim.oral@deu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Ulaştırma sistemleri, insanların amaçları doğrultusundaki etkinliklere katılımına hizmet eden tesisler olmasına karşın, birçok ulaşım sistemi analizinde, etkinliğe erişim ve bundan sağlanacak faydadan çok, ulaşım sistemlerinin çıktılarının artırılması ve altyapıya ait hizmet seviyelerinin yükseltilmesi üzerinde durulmaktadır [2]. Bu yaklaşım, ulaşım altyapısı esaslı erişilebilirlik olarak sınıflandırılmakta; son yıllarda uygulama alanı bulan daha rasyonel erişilebilirlik ölçütleri ise etkinlik ve fayda esaslı olmak üzere iki ana sınıfta incelenmektedir.

Etkinlik esaslı erişilebilirlik, yolculuğun başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki bağlantının derecesini ifade etmeye yönelik ölçütlerden oluşmakta olup, uzaklık, kontur, potansiyel ve konum-zaman erişilebilirliği gibi farklı yaklaşımlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada, tür seçiminde kullanılan fayda fonksiyonuna olan paralelliği bakımından, daha çok fayda esaslı erişilebilirlik ölçütleri üzerinde durulacaktır.

Fayda esaslı erişilebilirlik (FEE) ölçütü, erişilebilirliği bir grup ulaşım alternatifinin çıktısı olarak kestirme temeline dayanmaktadır. Fayda teorisi, temel olarak aynı ihtiyacın karşılanmasına hizmet eden potansiyel alternatifler içinden bir tanesinin seçilmesiyle ilgili karar mekanizmasını tanımlamaya yönelik bir yaklaşım olup, yolculuk davranışlarının ve aynı ulaşım sisteminin farklı kullanıcılara sağladığı faydaların modellenmesinde kullanılmaktadır [3]. Fayda esaslı erişilebilirlik yaklaşımı, erişilebilirliğin bireysel derecede ele alınması, ulaşım türü ve yol ağı bağlantılarının yanında, kullanıcı özelliklerinin de ele alınması zorunluluğunu getirmektedir [4].

Erişilebilirlik ve ulaşım türü ilişkisi temelde, arazi kullanımı ve ulaşım altyapısı özelliklerinin birlikte değerlendirildiği, dört aşamalı talep modelinin iki veya üç aşamasını eş zamanlı olarak ele alan birleştirilmiş talep modelleri ile ilişkilidir. Ulaşım talebini birleşik bir optimizasyon problemi olarak ele alan ilk yaklaşım Beckmann vd.'ne aittir [5]. Ayrıştırılabilir talep ve maliyet fonksiyonlarının tek kullanıcı türü ve esnek talep için optimize edildiği yaklaşımı, yolculuk dağıtım ve atama aşamalarını birleştiren birçok farklı türevi takip etmiştir. Örneğin Evans, yolculuk dağıtımında kullanılan analiz bölgesi merkezleri arasındaki maliyetin, ulaşım ağı yüklendiğinde yükseldiğini, dolayısıyla yolculuk atama sonucunda elde edilen maliyetler ile dağıtımda kullanılan maliyetlerin aynı olmadığını vurgulamış ve bu iki aşamayı birleştirerek bu maliyet farklılığını ortadan kaldırmaya yönelik bir model geliştirmiştir [6].

Son yıllarda performans-talep dengesine yönelik birçok çalışma olmasına rağmen, bunların çok az bir bölümü hiyerarşik yapıyla birleştirilmiş talep seçimlerini modellemeye yöneliktir. Hiyerarşik yapıyla ulaşım ağı dengesi modellerinin gelişimi ise son on yılda gerçekleşmiştir. Boyce vd.'nin çalışması o döneme değin ağ dengesi konusundaki birleştirilmiş yaklaşımların ayrıntılı bir özetini sunmaktadır [7]. Çalışmada, dağıtım-tür seçimi ve atama aşamalarının birleştirildiği bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin amaç fonksiyonu Beckmann vd.'nin klasik ayrıştırılabilir maliyet fonksiyonlarından türetilmiş olup entropi, sınır koşulları yardımıyla yansıtılmıştır. Ulaşım ağı dengesinde hiyerarşik lojit model kullanan ilk yaklaşım Fernandez vd.'ne ait olup çalışmada "park et ve bin" uygulaması için en uygun istasyonun seçimi talep fonksiyonunun bir alt düzeyinde ele alınmıştır [8] [9]. De Cea vd.'nin 2001 ve 2005'teki çalışmalarında ise yolcu ve taşıt akımlarını kestirmek amacıyla çoklu ulaşım türüne sahip

kentiçi ulaşım ağları için çoklu kullanıcı türlerine yönelik bir performans-talep dengesi modeli geliştirmiştir [10] [11]. Fernandez vd. de 2003'teki çalışması da şehirlerarası yük taşımacılığını modellemek için talebi hiyerarşik lojistik yapıda ele alan çoklu ulaşım türlü bir arz-talep modeli geliştirmiştir [12].

Birleştirilmiş modellerin birçoğu “konveks optimizasyon” yaklaşımına dayalı olup bu yaklaşımların teorik olarak birleştirildiği ve formülasyonlarının tek bir temele dayandırıldığı tek çalışma De Cea vd.'ne (2008) aittir [13]. Birleştirilmiş talep ve performans-talep modelleri için geliştirilmiş bir formülasyon öneren çalışma, çok amaçlı optimizasyon yöntemini arz odaklı yaklaşım yerine performans odaklı yaklaşıma uyarlamaktadır.

De Cea vd. [13] tarafından türetilen bu geliştirilmiş optimizasyon probleminin özel bir formu olan EVA (Erzeugung: yolculuk yaratımı, Verteilung: yolculuk dağıtımı, Aufteilung: türel dağılım) modeli, yolculuk yaratım, dağıtım ve atama aşamalarını, De Cea vd. [13] tarafından geliştirilen genel yaklaşımla birçok ortak özelliği olan bir prosedürle birleştirmektedir.

EVA yaklaşımını, De Cea vd. yönteminden ayıran farklılıklardan bir tanesi, fayda fonksiyonunun doğrusal olmayan bir yöntemle tanımlanabilmesidir. Böylece EVA yaklaşımı, fayda fonksiyonunun farklı kullanıcı gruplarına veya farklı yolculuk amaçlarına göre adaptasyonunu sağlayabilmektedir [14]. Ayrıca EVA modeli, bireysel davranış ve trafik akımının bireysel makroskopik bir modeli olarak tanımlanmakta, dolayısıyla davranış bakımından homojen kabul edilen birçok alt kullanıcı grubunun oluşturulmasına dayanmaktadır. Bu yönüyle klasik talep modellerinde yolculuk yaratımında kullanılan çapraz sınıflama yönteminden esinlenmektedir. Model yolculuk bitiş noktası ve tür seçimini birleştirilmiş bir yaklaşımla modellerken, yolculuk yaratımındaki kullanıcı grubu - etkinlik amacı çiftleri ile ilişkilendirmektedir.

Arazi kullanım bileşenlerinin tür seçimine ortak dengeleme faktörleri ile yansıtılması, EVA modelinin elastik kısıtlı yaklaşımı ile en belirgin formunda ortaya konmaktadır. Arazi kullanımından doğan etkinlik olanaklarının analiz bölgeleri arasında rekabet oluşturması ve ulaştırma altyapısının doygunluğunu dikkate alan bu yaklaşım, bu iki unsurun geliştirilmiş maliyete yansımaları ve dolayısıyla tür seçimindeki fayda fonksiyonunun etkilenmesini sağlamaktadır. Ancak EVA modelinde birbiriyle doğrudan ilişkilendirilen talep seçim aşamaları yolculuk dağıtımı ve tür seçimidir. Dolayısıyla bir “ij” bölge çifti arasında “k” ulaşım türü yapılan yolculuğun geliştirilmiş maliyetinin bahsedilen iki unsur sebebiyle değişmesi, bir üst hiyerarşiye ancak bitiş bölgesi “j” nin değişmesi şeklinde yansımakta, arazi kullanımının şekil verdiği yolculuk yaratımı ve çekimine etki edememektedir.

Bu çalışmada kullanılan erişilebilirlik ölçütü, matematiksel olarak, klasik talep modelindeki yolculuk dağıtım yaklaşımlarından türetilmiştir. Erişilebilirliğin “olanaklar” olarak tanımlanan arazi kullanım bileşenlerini de içermesi, yolculuk yaratım ve dağıtım unsurlarının ikisini de barındırdığını göstermektedir. Çalışmadaki tür seçim yaklaşımlarında ise erişilebilirlik bileşenleri tür seçimini kestirmede destek bağımsız değişkenler olarak sınanmaktadır. Dolayısıyla, klasik talep modellerinin ilk üç aşamasını harmanlandığı söylenebilir. Ancak bu üç aşama arasında ortak dengeleme faktörleri yardımıyla birbirini eniyileyen bir bağ, bu çalışma kapsamında uygulanmamıştır. Yukarıda

değınilen talep model aşamalarını birleştirmeye yönelik yaklaşımlar ise çoğunlukla klasik modelin son üç aşamasını (yolculuk dağıtım, türel dağılım ve trafik atama) birleştirmeye müsaittir. De Cea vd. [13] tarafından genelleştirilen birleşik modele yolculuk yaratımı aşamasının da integrasyonu teorik açıdan mümkün görünse de bu, uygulamada optimizasyon için Lagrange fonksiyonunun türevinin kapalı bir formda hesaplanmasını güçleştirecektir. Bu yüzden birleştirilmiş talep modelleri, çalışmada kapsam dışında tutulmuştur.

Ulaşım türü seçiminin modellenmesi, talep modelinin en kritik aşamalarından birini oluşturmakta ve günümüzde tür seçiminden elde edilecek faydanın kişiye özel olduğu gerçeğinden hareketle, yeni nesil bireysel seçim modelleri daha çok tercih edilmektedir. Ancak bireysel model oluşturmak için yüksek maliyetli ve işlenmesi yoğun işgücü ve uzun süre gerektiren ulaşım hane halkı anket verilerinin teminini gerektirmektedir. Ayrıca elde edilen bireysel model sonuçlarının trafik atama aşamasına yansıtılması da bireysel seçimlerin analiz bölgesi ölçeğine taşınması zorunluluğu doğurmaktadır. Bu genelleştirme, veri kaybının yanısıra, çoğunluğu “1” ve “0” dan ibaret kukla değışkenlerden oluşan bireysel verilerin analiz bölgelerine aktarılırken bölge ortalamalarına dönüştürülmesi ile gerçek fayda fonksiyonunun doğasından farklı bir konuma çekilmekte, dolayısıyla bireysel davranışta başarılı sonuç veren bir model, genelleştirilmiş seçim oranları için aynı başarıyı veremeyebilmektedir. Bu yüzden analiz bölgelerinden yaratılan ve çekilen yolculukların tür seçimlerini, anket verisi kullanma zorunluluğu olmaksızın tahmin edebilmenin uygulamada oldukça yararlı olacağı düşünölmektedir.

Bu çalışmanın ilk aşamasında, İzmir kent merkezi örneği üzerinde, arazi kullanımı ve genelleştirilmiş yolculuk maliyetinden yararlanılarak, özel taşıt ve toplu ulaşım olmak üzere iki ana ulaşım türü için fayda esaslı erişilebilirlik indeksleri hesaplanmış ve uygun maliyete duyarlılık parametresi seçimi için temel bir yaklaşım önerilmiştir. İkinci aşamada, tür seçimlerinin toplulaştırılmış ölçekte yaratılan ve çekilen yolculuklar için gözlemlenen oranları ile, elde edilen erişilebilirlik indeksleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Bunun için her bir erişilebilirlik – tür seçimi kombinasyonuna ait korelasyon analizlerinden ve erişilebilirlik ölçütlerinin bir arada değerlendirildiği esneklik regresyonlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, erişilebilirlik bir indeks değer olduğundan, standardize edilmiş değerlerinin sınıflara ayrılması ile tür seçim oranlarının benzer sınıfları arasında örtüşme olup olmadığı da irdelenmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise, tür seçim oranlarının sadece erişilebilirlik indeksleri kullanılarak, yapay sinir ağları örneği gibi doğrusal olmayan bir yaklaşımla tahmin edilebilme yeteneği araştırılmıştır.

## **2. FAYDA ESASLI ERİŞİLEBİLİRLİK**

Fayda esaslı yaklaşımın başlıca kabullerini Koenig [15] aşağıdaki gibi ortaya koymuştur:

- İnsanlar karşılaştıkları her alternatif ile belli başlı bir faydaya ortak olurlar ve bireysel bir davranış olarak, maksimum faydayı sağlayanı seçerler.
- Her bir bireyin sahip olduğu bütün alternatiflerin sağladığı faydaya etki eden faktörlerin tamamının değerlendirilebilmesi mümkün olmadığından, bu fayda deterministik ve stokastik bileşenlerin toplamı ile temsil edilebilir.

Bir “n” bireyine ait alternatif kümesi içindeki her bir “k” alternatifinin bir “ $U_k$ ” toplam faydasına sahip olduğu ve birey tarafından toplam faydanın maksimize edileceği yaklaşımı ile, erişilebilirliğin temel matematiksel tanımı Ben-Akiva ve Lerman [16] tarafından aşağıdaki gibi ortaya konmuştur:

$$A_n = E(\max U_k) \quad (1)$$

Burada “E” beklenen değeri temsil etmektedir. Bir “n” bireyi tarafından algılanan “U” faydasının stokastik ifadesi ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$U_{ij} = V_{ij} - \beta c_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Burada;

$V_{ij}$  : “i” noktasından “j” noktasına yapılan yolculuğun, “n” bireyi tarafından elde edilen ve deterministik olarak bilinen değerine,

$c_{ij}$  : “ij” yolculuğunun maliyetine (seyahat süresi, parasal maliyet vb.),

$\beta$  : maliyete duyarlılık parametresine,

$\varepsilon_{ij}$  : rastgele değişkene (stokastik kısım) karşılık gelmektedir.

Bu fayda fonksiyonu, erişilebilirlik ölçütüne fayda teorisi temeline dayalı bir başlangıç noktası oluşturmuştur [17]. Denklem tür seçiminde kullanılan fayda fonksiyonuna olan mantıksal ve yapısal benzerliği dikkati çekmektedir. Bir bireyin sahip olduğu bir alternatifler kümesi içindeki her bir hedefe bir fayda atadığı ve kendi faydasını maksimize eden bir alternatifi seçtiği kabul edilirse, erişilebilirlik çoklu lojit modelin paydası olarak tanımlanabilir ki bu aynı zamanda “logaritmik toplam” olarak bilinir [18] [19]. Logaritmik toplam, bütün alternatifler kümesinin çekiciliğini özet olarak ifade eden bir ölçüt olarak görülmektedir [20]:

$$A_n = \ln \left( \sum_k e^{V_k} \right) \quad (3)$$

Burada “ $A_n$ ” erişilebilirlik ölçütünü, “ $V_k$ ” ise “n” bireyi için “k” alternatifine ait toplam fayda içindeki fayda oranını, ulaşım türü ve yolculuk hedefi kombinasyonuna bağlı olarak ifade etmektedir. Bu şekli ile ifade, stokastik fayda fonksiyonundaki rastgele değişkenin ( $\varepsilon_{ij}$ ) Weibull dağılımına uyduğunu kabul etmektedir. Bu ifade aynı zamanda negatif üssel bir uzaklığa bağlı azaltma fonksiyonu kullanılarak potansiyel bir erişilebilirlik ölçütü şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla “n” bireyine ait erişilebilirlik ( $A_n$ ), “i” alanında yaşayan bireyin, “ $c_{ij}$ ” maliyeti ile ulaşabileceği “j” noktasında bulunan “D” fırsatlarından elde edebileceği fayda halinde yorumlanabilmektedir:

$$A_n = \frac{1}{\beta} \ln \sum_j D_j e^{-\beta \cdot c_{ijm}} \quad (4)$$

Burada tüm ifade, yolculuk maliyetine duyarlılık parametresine ( $\beta$ ) bölüdüğü için erişilebilirlik, yolculuk maliyeti biriminden ifade edilmiştir. “m” indisi ulaşım türünü ifade etmekte, dolayısıyla her bir ulaşım türü için ayrı erişilebilirlik değeri hesaplanabilmektedir.

Fayda esaslı erişilebilirlik kavramı üzerine birçok teorik çalışma yapılmasına rağmen, erişilebilirlik uygulamaları içinde pek fazla yer almamıştır. Az sayıdaki örnekler üzerinde detaylı bir inceleme Özuysal'a [21] ait tez çalışmasında yer almaktadır.

Fayda esaslı ölçütlerin en önemli avantajlarından biri, teorik yapısının oldukça sağlam oluşudur. Çünkü geleneksel mikro-ekonomik refah teoremi ile doğrudan bir ilişki sağlamaktadır. Ayrıca davranışsal içeriği, temel potansiyel erişilebilirlikten daha yüksektir. Dolayısıyla fayda esaslı ölçüt, bir yerleşimdeki bireylerin erişilebilirliğini temsil ederken, potansiyel ölçüt, bütün bireyleri homojen kabul ederek bir yerleşimin veya zonun erişilebilirliğini temsil eder. Ayrıca fayda esaslı ölçütün bireysel davranışın toplulaştırılmasında da daha güvenilir sonuçlar sağladığı söylenmektedir [2].

FEE farklı ulaşım türleri için genelleştirilmiş yolculuk maliyetini dikkate aldığı için türel dağılımın modellenmesinde katkı sağlayabilecek erişilebilirlik ölçütlerinin başında yer almaktadır. Bireysel boyutta da ele alınma imkanı bulunan FEE, bu çalışma kapsamında analiz bölgesi bazında incelenmiştir.

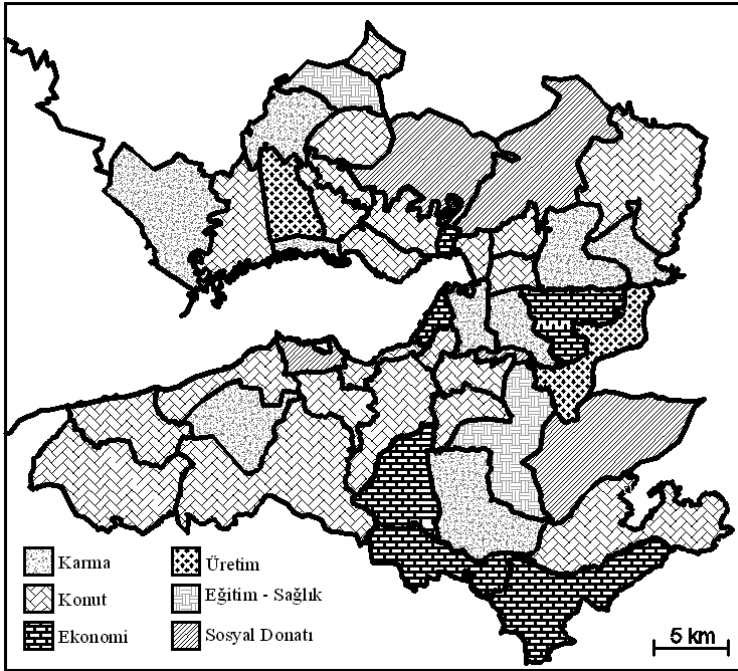
FEE analizi için kullanılan arazi kullanım verileri, İzmir Ulaşım Ana Planı [22] raporunda yolculuk yaratımı aşamasında kullanılmak üzere düzenlenen formuyla ele alınmıştır. Tablo 1'de görülen 17 farklı arazi kullanım verisi dikkate alınmış ve bunlar benzerliklerine ve temel kullanım yapısına göre, ulaşım faaliyetinde etkin olduğu düşünülen 5 ana grupta değerlendirilmiştir:

- i- Konut (1)
- ii- İmalat dışı ekonomik faaliyetler (6, 7, 14, 15)
- iii- İmalat (5)
- iv- Eğitim ve sağlık kuruluşları (8, 9, 10)
- v- Sosyal ve kültürel kuruluşlar (11, 12, 13, 16, 17)

Analiz edilen erişilebilirlik sınıfları, içerdiği arazi kullanım türüne göre isimlendirilmiştir. Bu beş arazi kullanım türünden birinin diğerlerine göre hakim olduğu İzmir kent merkezi analiz bölgeleri (toplam arazi kullanımının %50'sinden fazlasını oluşturan) Şekil 1'de gösterilmiştir. Karma olarak isimlendirilen bölgelerde ise %50 ve üzerinde bir tür hakimiyeti bulunmamaktadır. Buna göre, körfezin güney ve kuzey kıyılarında konutsal arazi kullanımının oldukça hakim olduğu görülmektedir. Ekonomi faaliyetinin, liman ve Bayraklı kesimlerinin haricinde kentin güneydoğu kesiminde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Üretim ve eğitim-sağlık faaliyetinin ağırlıklı olduğu sadece ikişer bölge bulunmuştur. Sosyal donatı yoğunluğu ise yeşil alan gelişiminin yüksek olduğu bölgelerde gözlemlenmektedir.

Tablo 1. Kullanılan arazi kullanım verileri

Arazi Kullanım Türü
1 Meskun Konut
2 Gelişme Konut
3 Toplam Konut
4 Konut+Turizm
5 Toplam Sanayi
6 Depolama
7 Konut Dışı Kentsel Çalışma / Turizm / Kamu
8 Eğitim
9 Üniversite
10 Sağlık
11 Sosyo-Kültürel
12 Rekreasyon
13 Yeşil Alanlar
14 Merkezi İş Alanları
15 2. ve 3. Derece Merkezler
16 Fuar
17 Kentsel ve Bölgesel Spor Alanları



Şekil 1. İzmir kent merkezi analiz bölgelerindeki ağırlıklı arazi kullanımları

FEE, arazi kullanım verilerinin yanısıra, her bir analiz bölgesi arasındaki yolculukların geliştirilmiş maliyetlerini de gerektirmektedir. Geliştirilmiş maliyet, üzerinde çalışılan ulaşım türüne göre, yolculuk süresi, doğrudan ücret, bekleme ve park yeri arama süresi, park yeri ücreti gibi birçok bileşenden oluşabilmektedir. Bilindiği gibi, geliştirilmiş maliyetin elde edilmesindeki en kritik nokta, rasyonel yolculuk sürelerinin elde edilmesi ve zamanın maliyetidir.

Çalışmada kullanılan yolculuk süreleri İzmir Ulaşım Ana Planı çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen özel taşıt ve toplu ulaşım atamalarından elde edilmiştir. Hane halkı ulaşım anketi ile 47 analiz bölgesi arasında gözlenen başlangıç-bitiş çifti sayısı özel taşıt yolculukları için 317, toplu ulaşım yolculukları için ise 812'dir. Erişilebilirliğin prensip olarak bütün başlangıç-bitiş çiftleri arasında hesaplanması gerektiğinden, atama sonuçlarından elde edilen yolculuk sürelerinin kullanılması tercih edilmiştir. Şekil 2'de modellenen sürelerin gözlemlenen sürelerden sapma miktarlarının dağılımı görülmektedir. Pozitif işaretli sapmalar, gözlemlenen sürelerin daha büyük olduğunu göstermektedir. Özel taşıt yolculuk süreleri için sapmalar serbest akım koşulları için %11 düzeyinde, tıkanık akım koşulları için ise %13 düzeyinde yığılmaktadır. Gözlemlenen özel taşıtlı yolculuk süreleri ortalamasının 32,6 dakika olduğu düşünülürse ortalama sapmanın 3,5-4 dakika mertebesinde kaldığı söylenebilir. Toplu ulaşım yolculuklarında ise serbest akım koşulları için %5 civarında bir sapma yığılması görülmüştür. Tıkanık akım koşulları için ise sapmalar -%5 civarında en yüksek sayıda gözlenmekte, ancak diğer histogramlara göre daha geniş bir saçılma elde edilmektedir. 46,7 dakikalık ortalama toplu ulaşım yolculuk süresi için sapmaların 2,5 dakika civarında gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır. Başlangıç-bitiş uçları arasındaki kapıdan kapıya geçen süreyi kapsayan bu sapma miktarları, ulaşım olanaklarının analiz bölgeleri arasında göreceli olarak kıyaslandığı erişilebilirlik analizi için kabul edilebilir ölçüdedir. Çalışmada erişilebilirliğin daha kritik bir şekil aldığı tıkanık akım koşullarına ait model yolculuk süreleri kullanılmıştır.

Özel taşıt atamalarında, yolculuk süresi artışlarından yararlanılarak her bir talep diliminde yenilenen en kısa yollarla tıkanma etkili yaklaşım kullanılmıştır. Yolculuk sürelerindeki atanan dilimli hacme göre artış Akçelik [23] ifadesine göre elde edilmiştir:

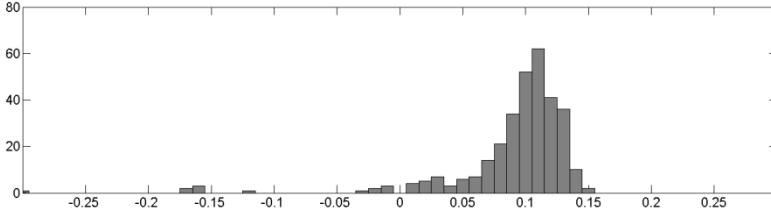
$$t = t_0 + J_A x / [Q (1 - x)] = t_0 [1 + J_A x / (Q t_0 (1 - x))] \quad (5)$$

$$t = t_0 + 0,25 T_F [z + (z^2 + 8 J_A x / (Q T_F))^{0,5}] \quad (6)$$

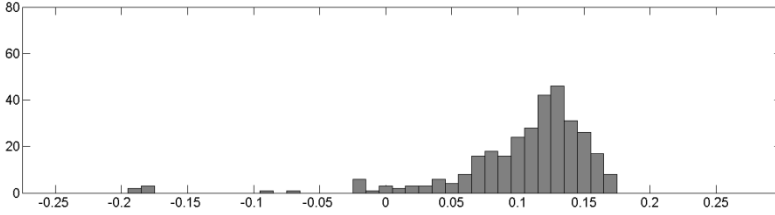
$$t = t_0 \{1 + 0,25 r_F [z + (z^2 + 8 J_A x / (Q t_0 r_F))^{0,5}]\} \quad (7)$$

- t : birim uzunlukta geçen süre  
t<sub>0</sub> : birim uzunlukta geçen minimum süre  
J<sub>A</sub> : gecikme parametresi  
x = q/Q : doyunluk derecesi (z = x-1)  
T<sub>F</sub> : akım periyodu  
r<sub>F</sub> = T<sub>F</sub>/t<sub>0</sub>: akım periyodunun minimum yolculuk süresine oranı  
q : talep (taşıt/saat)  
Q : kapasite (taşıt/saat)

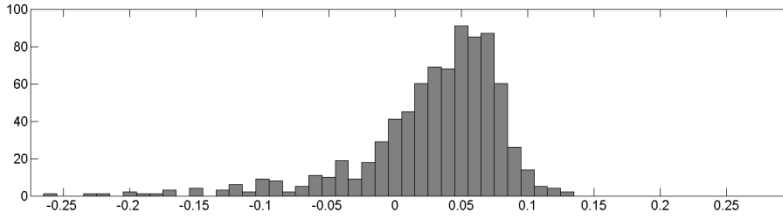




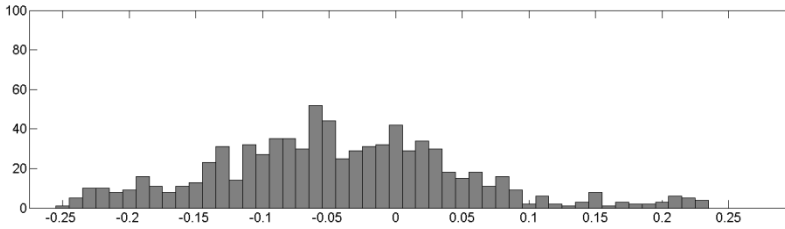
a) Serbest akım koşullarında özel taşıt atamaları



b) Tıkanık akım koşullarında özel taşıt atamaları



c) Serbest akım koşullarında toplu ulaşım atamaları



d) Tıkanık akım koşullarında toplu ulaşım atamaları

Şekil 2. Gözlemlenen ve modellenen yolculuk sürelerine ait farklılık oranlarının dağılımı

Bu yaklaşım, yoğun ulaşım ağı koşulları için yolculuk süresini oldukça yükseltmektedir. Dolayısıyla kapasite kısıtına bağlı tıkanma etkisi kendiliğinden oluşmaktadır. Yolculuk süresinin kestirimine yönelik diğer bazı temel yaklaşımlarda [24] “1” doygunluk derecesine karşılık gelen “ $t/t_0$ ” oranı 5 civarına gelmektedir. Dolayısıyla kapasiteye, yolculuk süresi 5 katına çıktığında ulaşılmaktadır. Akçelik yaklaşımında ise kapasiteye karşılık gelen yolculuk süresi 2 kat civarındadır ve bu oran gözlemlenen koşullara daha yakındır [23].

Genelleştirilmiş yolculuk maliyetlerinde kullanılacak zamanın değerinin belirlenmesi için yapılan, sadece yolculuk doğrudan maliyeti ve süresinin açıklayıcı değişken olarak kullanıldığı ikili lojistik model denemelerinde, doğrudan maliyet etkin ve beklendiği gibi negatif işaretli bulunurken, yolculuk süresi yeterince etkin olmadığını gösteren "t" istatistikleri ve pozitif işaretle bulunmuştur. Dolayısıyla iki değişkenin katsayı oranlarından hareketle bir zaman değeri tayininin sağlıklı olamayacağı düşünülmüştür. Bu yüzden elde edilen yolculuk sürelerinin genelleştirilmiş maliyete yansıtılması için İzmir Ulaşım Ana Planı Hane Halkı Ulaşım Anketi'nden elde edilen, analiz bölgelerine ait ortalama gelir düzeyleri, zamanın değeri olarak kullanılmıştır. Zamanın değeri literatürdeki birçok çalışmada saatlik gelirin bir esnekliği şeklinde elde edilmiştir [25] [26] [27]. Zamanın değeri bu çalışmada, analiz bölgeleri arasında göreceli bir ölçüt olan erişilebilirlik analizi için kullanıldığından, saatlik gelirin herhangi bir sabit esneklik değeri ile çarpılması, hesaplanacak ölçüt değerlerinin analiz bölgelerine dağılımını değiştirmeyecektir. Dolayısıyla saatlik gelirlerin esneklik değeri ile çarpılmadan doğrudan zamanın değeri olarak kullanılması, erişilebilirlik analizi açısından yeterli bir yaklaşımdır.

Fayda esaslı erişilebilirliğin hesaplanması için, ulaşım maliyetine duyarlılık parametresinin ( $\beta$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamadaki az sayıda örnekte, duyarlılık parametresi ya araştırmacılar tarafından öngörülerek belirlenmiş, ya da elde edilen erişilebilirlik değerlerinin dağılımından yararlanılarak bir tecih yapılmıştır. Erişilebilirlik bir indeks değeri olduğundan, duyarlılık parametresi için gözlemlere göre kalibrasyon türü bir yaklaşım kullanılamamaktadır. Elde edilen erişilebilirlik değerlerinin tüm analiz bölgesini iyi temsil edebilmesi için, bir değer etrafında yığılma göstermemesi gerekmektedir. Bu yüzden farklı parametreler ile elde edilen erişilebilirlik dağılımlarının normal dağılıma uygunluğunun sınanması, rasyonel bir yaklaşımdır. Bu amaçla, maliyete duyarlılık parametresinin ( $\beta$ ) 0,01, 0,05, 0,10, 0,25, 0,50 ve 1 değerleri için erişilebilirlik ayrı ayrı hesaplanarak elde edilen sonuçların normal dağılıma uygunluğu karşılaştırılmıştır.

Çalışmada iki farklı ulaşım türünün (özel taşıt ve toplu ulaşım) beş farklı arazi kullanım türüne göre (konut, ekonomi, üretim, eğitim-sağlık ve sosyal donatı) erişilebilirlik indeksleri hesaplandığından, 10 değişik veri vektörü elde edilmektedir. Bir karşılaştırma düzlemi elde edilebilmesi için " $\beta$ "nın bu 10 erişilebilirlik türü için ayrı ayrı seçilmesi yerine, normal dağılıma bütün türlerde en çok yaklaşan " $\beta$ " parametresi tercih edilmiştir. Normal dağılıma uygunluk iki farklı test kullanılarak sınanmıştır. Jarque-Bera testi örneklemin çarpıklık ve basıklık değerlerine göre hipotez testi gerçekleştirmektedir. Normal dağılım bir örneğin çarpıklığı "0"a, basıklığı "3"e yakın olmalıdır. Bu testte çarpıklık ve basıklığın beklenen değerlerine yakınlığı "ki-kare" istatistiği ile kontrol edilmektedir. Sıfır hipotezi ( $H_0$ ) örneklemin normal dağılıma sahip olduğunu, alternatif hipotez ( $H_1$ ) ise dağılımın normalden uzak olduğunu göstermektedir [28]. Alternatif hipotez için "ki-kare" olasılığının %5'ten büyük olması gerekmektedir. Jarque-Bera testi asimptotik bir test olduğundan küçük örneklem için uygun değildir. Çalışmada, örneklem sayısı analiz bölgesi sayısı ile kısıtlı olduğundan (47) -her ne kadar istatistik uzmanlarınca kritik sınır olarak kabul gören 30'dan büyük olsa da- küçük örneklem için uygun görülen Lilliefors testi de dikkate alınmıştır. Bu test ampirik örneklem dağılımını, aynı ortalama ve varyansa sahip normal dağılımla karşılaştırmaktadır. Dağılım normale yakın ise test istatistiğinin, normal dağılımlı halin kritik değerinden küçük olması gerekmekte ve bu farkın anlamlılığı olasılık test değeri ile ifade edilmektedir. Tablo 2'de verilen Jarque-Bera

istatistikleri incelendiğinde özel taşıt türüne ait erişilebilirlik ölçütlerinde normal dağılımı elde etmenin daha kolay olduğu görülmektedir. Toplu ulaşım için ise “ $\beta$ ”nın 0,25 ve üzeri değerleri için normal dağılıma yaklaşmak mümkün olmaktadır. Çoğu erişilebilirlik türü için Jarque-Bera testinin iyi sonuç verdiği duyarlılık parametreleri 0,10 ve 0,25 olarak ön plana çıkmaktadır. Düşük örneklem sayısına uygun olan Lillieforts testi sonuçlarına bakıldığında (Tablo 3) toplu ulaşım için Jarque-Bera testiyle paralellik gözlenirken, özel taşıt için 0,25 ve üzeri duyarlılıklarda normal dağılımdan uzaklaşma başladığı anlaşılmaktadır. Bu yüzden, erişilebilirlik ölçütlerinde maliyete duyarlılık parametresi olarak, her iki testte optimum normallığı sağlayan 0,10 değeri seçilmiştir.

Erişilebilirlik bir indeks değeri olduğundan, sayısal büyüklüğünden çok, tüm çalışma bölgesinde kendi arasındaki dağılımı önem taşımaktadır. Bu yüzden standardize edilmiş değerlerine göre sınıflama yapılarak inceleme yapılmıştır. Her bir analiz bölgesi ölçütünün ortalama değerinden farkının standart sapmasına bölümü ile elde edilen standardize değerler (SD) için 6 ayrı sınıf düzenlenmiştir ve aşağıda verilen şekillerde 1. sınıftan 6. sınıfa doğru koyulaşan bir renk skalası düzenlenmiştir: i)  $SD < -1,5$ , ii)  $-1,5 < SD < -0,5$ , iii)  $-0,5 < SD < 0$ , iv)  $0 < SD < 0,5$ , v)  $0,5 < SD < 1,5$  ve vi)  $1,5 < SD$ .

Tablo 2. Jarque-Bera normal dağılım testi sonuçları

		Özel Taşıt						Toplu Ulaşım					
		$\beta=0,01$	$\beta=0,05$	$\beta=0,10$	$\beta=0,25$	$\beta=0,50$	$\beta=1,00$	$\beta=0,01$	$\beta=0,05$	$\beta=0,10$	$\beta=0,25$	$\beta=0,50$	$\beta=1,00$
Konut	Test	1,76	0,89	1,62	2,88	3,47	5,74	24,73	2,47	3,48	6,48	6,39	3,07
	P	0,414	0,640	0,444	0,237	0,177	0,057	0,000	0,291	0,176	0,039	0,041	0,215
	H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
Ekonomi	Test	1,32	0,75	1,47	3,98	6,37	7,38	46,98	2,35	2,74	3,00	2,60	2,33
	P	0,518	0,688	0,481	0,137	0,041	0,025	0,000	0,309	0,254	0,223	0,273	0,312
	H	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Üretim	Test	365,93	1,59	1,13	3,11	21,15	259,56	846,76	234,33	21,67	1,77	1,82	3,25
	P	0,000	0,452	0,569	0,211	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,412	0,403	0,196
	H	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
Eğitim - Sağlık	Test	185,10	0,18	1,03	6,75	33,22	175,88	361,56	126,97	19,97	1,74	0,38	3,05
	P	0,000	0,913	0,598	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,418	0,829	0,217
	H	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Sosyal Donatı	Test	228,76	0,47	0,91	2,14	3,20	4,69	964,41	124,46	8,99	3,38	0,67	0,75
	P	0,000	0,792	0,635	0,342	0,202	0,096	0,000	0,000	0,011	0,185	0,716	0,686
	H	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

6 sınıfa göre fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki konumsal dağılımı Şekil 3'te görülmektedir. Erişilebilirliğin ulaştırma yatırımları ile konumsal bir bağı olup olmadığının gözlenebilmesi için özel taşıt gösterimlerinde ana karayolu bağlantıları, toplu ulaşım gösterimlerinde de mevcut raylı sistem ve deniz ulaşımı hatları belirtilmiştir.

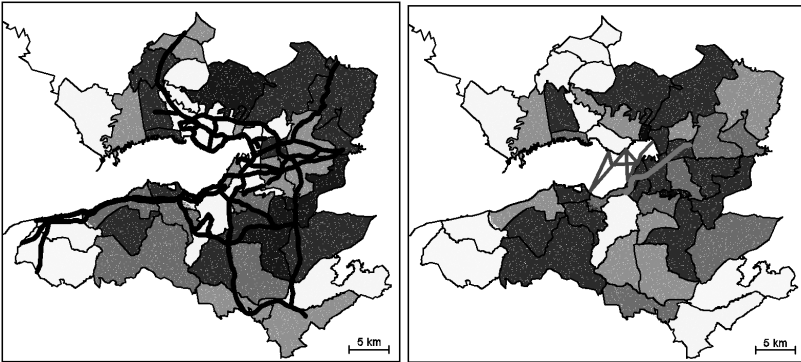
Özel taşıtla konut erişilebilirliğinin kentin kıyı bölgelerinde düşük olduğu dikkati çekmektedir (Şekil 3a). Yoğun trafiğe sahip bu bölgelerde yolculuk süreleri ve dolayısıyla geliştirilmiş maliyet yüksek olduğundan, diğer analiz bölgelerine göre erişilebilirlik

daha düşük olmaktadır. Toplu ulaşım ile konutsal erişilebilirliğin, özel taşıta göre daha homojen ve yaygın olduğu görülmektedir. Mevcut raylı sistem etrafındaki yoğunlaşma da dikkati çeken diğer bir noktadır. Ekonomik faaliyet türü erişilebilirliğin, özel taşıt türü dikkate alındığında kent merkezinin güneydoğu ve kuzeydoğu kesiminde yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 3b). Toplu ulaşım ile ise özel taşıtla erişimin daha zor olduğu güney kıyı şeridine doğru bir yaygınlık elde edilmektedir. Kentte sadece Atatürk OSB ve Pınarbaşı bölgeleri, %50'den fazla üretim ağırlıklı arazi kullanımına sahiptir. Buna bağlı olarak merkez kentin kuzey yarısında, üretim faaliyeti türü erişilebilirlik yüksek çıkmıştır (Şekil 3c).

Tablo 3. Lillieforts normal dağılım testi sonuçları

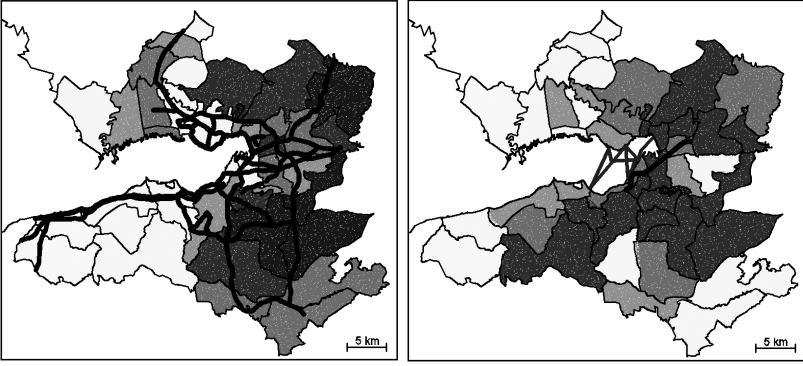
		Özel Taşıt						Toplu Ulaşım					
		$\beta=0,01$	$\beta=0,05$	$\beta=0,10$	$\beta=0,25$	$\beta=0,50$	$\beta=1,00$	$\beta=0,01$	$\beta=0,05$	$\beta=0,10$	$\beta=0,25$	$\beta=0,50$	$\beta=1,00$
<b>Konut</b>	Test	0,07	0,07	0,11	0,13	0,16	0,20	0,10	0,14	0,12	0,11	0,12	0,10
	P	0,000	0,000	0,000	0,040	1,000	1,000	0,000	0,032	0,102	0,000	0,101	0,000
	H	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
<b>Ekonomi</b>	Test	0,05	0,09	0,12	0,14	0,19	0,17	0,21	0,09	0,11	0,10	0,10	0,10
	P	0,000	0,000	0,096	0,027	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	H	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<b>Üretim</b>	Test	0,22	0,08	0,06	0,12	0,17	0,26	0,29	0,23	0,20	0,09	0,11	0,12
	P	1,000	0,000	0,000	0,100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,163	0,098
	H	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
<b>Eğitim - Sağlık</b>	Test	0,26	0,09	0,10	0,13	0,19	0,31	0,37	0,20	0,15	0,08	0,07	0,10
	P	1,000	0,000	0,000	0,067	1,000	1,000	1,000	1,000	0,018	0,000	0,000	0,000
	H	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
<b>Sosyal Donatı</b>	Test	0,17	0,07	0,09	0,10	0,14	0,21	0,24	0,16	0,12	0,10	0,09	0,08
	P	1,000	0,000	0,000	0,000	0,028	1,000	1,000	1,000	0,073	0,000	0,000	0,000
	H	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0

a. konut



Şekil 3. Fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki dağılımı

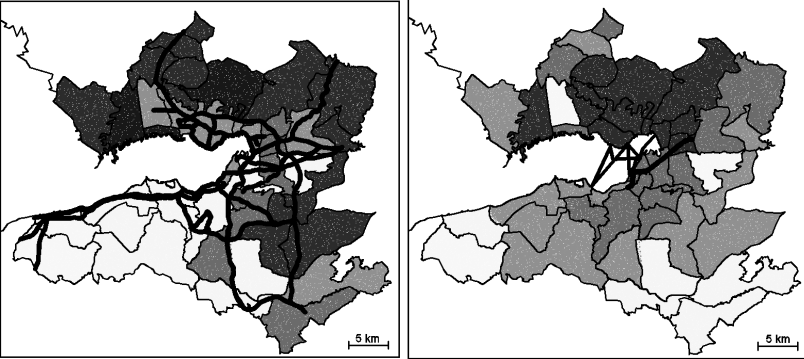
*b. ekonomi*



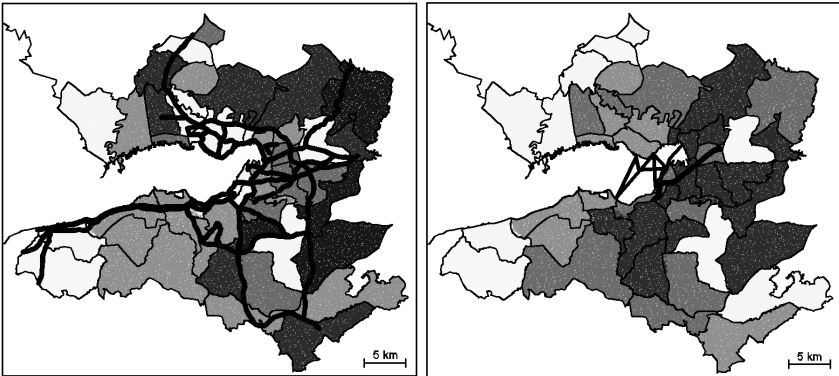
*özel taşıt*

*toplu ulaşım*

*c. üretim*

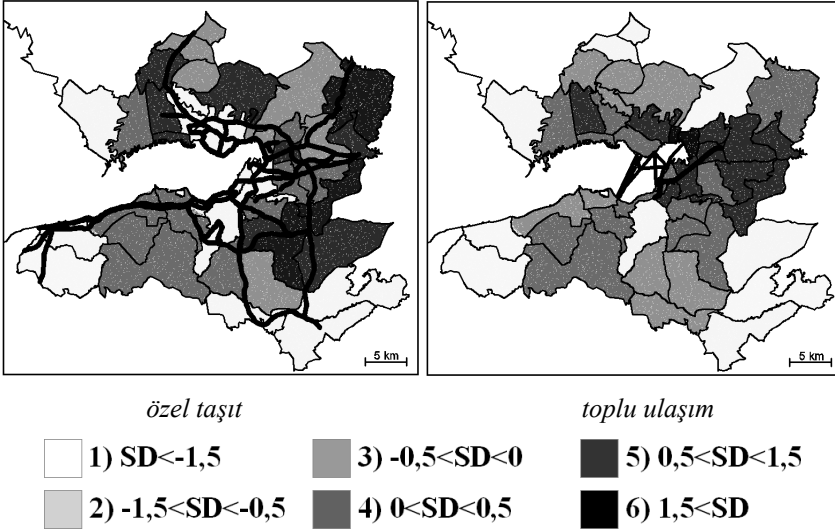


*d. eğitim-sağlık*



Şekil 3 (devamı). Fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki dağılımı

e. sosyal donatı



Şekil 3 (devamı). Fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki dağılımı

Eğitim-sağlık faaliyetlerine erişilebilirlik, kent merkezinin kuzey ve doğu çeperlerinde özel taşıt için yüksek olmaktadır (Şekil 3d). Erişilebilirlik, sadece yolculuk yapılarak varılabilecek analiz bölgelerindeki durumu analiz ettiğinden, eğitim ve sağlık tesislerini içinde barındıran analiz bölgelerinde nispeten düşük değerler elde edilmektedir. Toplu ulaşım ile erişilebilirlik, özellikle Ege ve Dokuz Eylül Üniversiteleri kampüsleri çevresinde yüksek olmaktadır. Sosyal donatıya, kent nüfus ve ticari etkinliğin yoğun olduğu kesimlerden özel taşıtla erişim düşük görünmektedir (Şekil 3e). Kent merkezinin doğu kesimi, toplu ulaşım ile sosyal donatıya erişimde öne çıkmaktadır.

### 3. ERİŞİLEBİLİRLİK ve ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ

Ulaşım türü seçimi, günümüzde daha çok fayda teorisine dayalı yarı stokastik bireysel yaklaşımlarla modellenmektedir. Bu yaklaşımlarda, arazi kullanımı genellikle dikkate alınmamakta ve model sonuçlarının genellenmesinde problem yaşanmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, erişilebilirlik ile ulaşım türü seçimi arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı araştırılmış, tür seçimini erişilebilirlik kullanılarak modelleme imkanı sınanmıştır.

İlk olarak erişilebilirlik ölçütleri ile tür seçimi değişkenleri arasındaki ikili korelasyonlar incelenmiştir. Tür seçimi, her bir analiz bölgesinden üretilen ve çekilen yolculukların temel ulaşım türlerine dağılım oranlarına dayanmakta olup İzmir Ulaşım Ana Planı [27] verilerinden elde edilmiştir. Özel taşıt ve toplu ulaşım için iki ayrı şekilde incelenen tür seçimi, üç farklı değişken şeklinde ele alınmıştır: i) motorlu ulaşım türleri içindeki seçim

oranı, ii) bütün ulaşım türleri içindeki seçim oranı, iii) seçim oranlarının nüfus örnekleme ile genişletildiği büyütülmüş yolculuk sayıları.

Özel taşıt seçimi ile erişilebilirlik türleri arasındaki korelasyonlar Tablo 4’te görülmektedir. Tablodaki italik sayılar etkinlik testi sonuçlarını göstermekte, bu değerlerin  $0,10^2$ ’un altında olması, kayda değer bir korelasyon olduğuna işaret etmektedir. Görüldüğü gibi korelasyon katsayılarının tamamı mutlak değer olarak 1’den uzak olmasına rağmen, bir kısmının etkinlik testi sonuçları kayda değerdir. Bu durum, erişilebilirlik türlerinden bazılarının tür seçimi ile ilişkili olduğunu ancak bu ilişkinin tür seçiminin doğrusal bir bağlantıyla tek başına modellenmesine imkan veremeyeceğini göstermektedir. Konut erişilebilirliği, özel taşıt seçiminin tüm türleri ile etkin korelasyonlar vermektedir. Şekil 3a incelendiğinde, özel taşıt ile konut erişilebilirliğinin daha çok kentin gelişmekte olan dış çeperlerinde yüksek olduğu görülmektedir. Gelişmiş olan iç kesimlerde ise, özel taşıtlı yolculukların zamansal maliyeti daha yüksek olduğundan ve toplu ulaşım imkanları da daha gelişmiş olduğundan özel taşıt daha az seçilmektedir. Eğitim-sağlık ve sosyal donatı türü erişilebilirlik ölçütleri de, ekonomi ve üretim ölçütlerine göre daha yüksek korelasyonlara sahiptir. Bu durum, yolculuğun başladığı ve bittiği analiz bölgelerindeki etkinlikler dikkate alındığında, iş etkinliklerinden çok, düzenli olmayan sosyal etkinlikler ile özel taşıtla yapılması zorunluluğu doğan eğitim ve sağlık etkinliklerine özel taşıtla ulaşma eğiliminin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Etkin korelasyonlar karşılaştırıldığında, yaratılan yolculukların çekilen yolculuklara kıyasla bir miktar daha başarılı korelasyonlar verdiği görülmektedir.

Tablo 4. Özel taşıt seçimi ile erişilebilirlik türleri arasındaki korelasyonlar

		Konutsal	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyal Donatı
Yaratılan Yolculuklar	Motorlu yolculuklara oran	0,432 <i>0,017 *</i>	0,324 <i>0,081 *</i>	0,058 <i>0,763</i>	0,421 <i>0,021 *</i>	0,310 <i>0,096 *</i>
	Genel oran	0,492 <i>0,006 *</i>	0,234 <i>0,214</i>	-0,107 <i>0,575</i>	0,421 <i>0,021 *</i>	0,440 <i>0,015 *</i>
	Büyütülmüş yolculuk sayısı	-0,414 <i>0,023 *</i>	-0,257 <i>0,170</i>	-0,222 <i>0,237</i>	-0,288 <i>0,122</i>	-0,303 <i>0,104</i>
Çekilen Yolculuklar	Motorlu yolculuklara oran	0,377 <i>0,040 *</i>	0,278 <i>0,137</i>	0,086 <i>0,650</i>	0,358 <i>0,052 *</i>	0,269 <i>0,151</i>
	Genel oran	0,445 <i>0,014 *</i>	0,179 <i>0,344</i>	-0,111 <i>0,559</i>	0,350 <i>0,058 *</i>	0,416 <i>0,022 *</i>
	Büyütülmüş yolculuk sayısı	-0,416 <i>0,022 *</i>	-0,253 <i>0,178</i>	-0,214 <i>0,256</i>	-0,290 <i>0,120</i>	-0,307 <i>0,099 *</i>

Tablo 5’te verilen toplu ulaşım korelasyonları incelendiğinde, en etkin korelasyonun üretim türü ile elde edildiği ilk aşamada göze çarpmaktadır. Bunu sosyal donatı ve konutsal erişilebilirlik izlerken ekonomi ve eğitim-sağlık türü erişilebilirliğin etkin korelasyonlara sahip olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla üretim faaliyetine erişimin kolay olduğu bir analiz bölgesinde toplu ulaşım tercihi de yüksek olmaktadır. Üretim faaliyetine erişim

talebi olan kullanıcı kitlesinin, genellikle işgücü ağırlıklı çalışan, gelir düzeyi ve otomobil sahipliğinin düşük olduğu bir sosyo-ekonomik yapıya sahip olduğu düşünülürse, bu bölgelerdeki tür seçiminin toplu ulaşımaya kayması mantıklı görünmektedir. Tablonun, yaratılan ve çekilen yolculuk kısımları karşılaştırıldığında, etkin çıkan korelasyonların her ikisinde aynı olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel sebebi, toplu ulaşım yolculuklarının daha çok düzenli yolculuklardan ibaret olmasıdır.

Tablo 5. Toplu ulaşım seçimi ile erişilebilirlik türleri arasındaki korelasyonlar

		Konutsal	Ekonomi	Üretim	Eğitim - Sağlık	Sosyal Donatı
Yaratılan Yolculuklar	Motorlu yolculuklara oran	0,163 0,390	-0,045 0,813	0,515 0,004 *	0,027 0,888	0,331 0,074 *
	Genel oran	0,390 0,033 *	0,053 0,780	0,503 0,005 *	0,101 0,594	0,411 0,024 *
	Büyütülmüş yolculuk sayısı	0,161 0,397	0,403 0,027 *	0,262 0,162	0,315 0,090 *	0,241 0,200
Çekilen Yolculuklar	Motorlu yolculuklara oran	0,172 0,363	-0,045 0,815	0,468 0,009 *	0,040 0,833	0,350 0,058 *
	Genel oran	0,420 0,021 *	0,109 0,567	0,446 0,014 *	0,156 0,411	0,405 0,026 *
	Büyütülmüş yolculuk sayısı	0,159 0,401	0,407 0,025 *	0,253 0,177	0,315 0,090 *	0,238 0,206

Erişilebilirlik ölçütlerinin tür seçimi üzerindeki çoklu etkisini irdelemek için bir esneklik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, değişkenlerin “e” tabanlı logaritması alınarak çoklu regresyon uygulanmıştır. Böylece değişken katsayıları esneklik cinsinden elde edilmiştir.

Regresyonlardaki bağımsız değişkenler “Fisher” testi sonuçlarına göre elenmiş, test olasılığı 0,05’ten küçük olanlar aşama aşama regresyondan çıkarılmıştır. Regresyon sonuçları Tablo 6’da görülmektedir. Tabloda elenen değişkenlere ait kısımlar boş bırakılmıştır. Görüldüğü gibi, erişilebilirlik ölçütlerinin çoklu davranışları korelasyon sonuçlarına göre oldukça farklıdır. Seçilen erişilebilirlik ölçütlerinin “t” test etkinlik değerleri genellikle yüksek olmasına rağmen, regresyon katsayıları yeteri kadar yüksek değildir. Bu durum, erişilebilirlik ölçütlerinin tür seçiminin doğrusal bir yaklaşımla modellenmesinde gerekli ancak yetersiz olduğunu göstermektedir.

Özel taşıt seçim regresyonları, toplu ulaşım regresyonlarına göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Özel taşıt için, genel seçim oranı modellemeye en elverişli tür seçim değişkeni olarak elde edilirken, büyütülmüş yolculuk sayıları en kötü performansı sergilemektedir. Her ne kadar konutsal erişilebilirlik, korelasyon analizinde olduğu gibi etkili çıkmasa da, üretim ve sosyal donatı türlerinin esneklik regresyonundaki etkinliği, korelasyonlardan çıkarılan sonuçları destekler niteliktedir. Üretim erişilebilirliğinin negatif işareti, üretim etkinliğine erişimin kolay olduğu bölgelerde özel taşıt seçiminin az olacağı, sosyal donatıya erişimin yüksekliğinde ise özel taşıt tercihinin artacağı sonucu çıkmaktadır. Üretim türü erişilebilirlik toplu ulaşım seçimleri açısından da pozitif bir esnekliğe sahiptir.



Tablo 6. Erişilebilirlik ölçütlerinin tür seçimine göre esneklikleri

		R	F	Sabit terim	Konutsal Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyal Donatı	
Özel Taşıt Seçimleri	Yaratılan Yolculuklar	Motorlu yolculuklara oran	0,639	9,323		-0,862		0,634	
		Genel oran	0,681	11,687		-4,655		3,682	
	Çekilen Yolculuklar	Büyütülmüş yolculuk sayısı	0,202	0,572			-1,281	0,985	
		Genel oran	0,538	5,512			-5,072	4,193	
	Yaratılan Yolculuklar	Motorlu yolculuklara oran	0,538	5,512			-0,719	0,501	
		Genel oran	0,624	8,613			-3,666	2,748	
	Çekilen Yolculuklar	Büyütülmüş yolculuk sayısı	0,222	0,698			-1,195	0,903	
		Genel oran	0,222	0,698			-4,371	3,554	
	Toplu Ulaşım Seçimleri	Yaratılan Yolculuklar	Motorlu yolculuklara oran	0,500	9,683		0,463		
			Genel oran	0,463	3,827			302,885	
Çekilen Yolculuklar		Büyütülmüş yolculuk sayısı	0,127	0,475	0,870		-0,917	1,420	
		Genel oran	0,023	0,014	43,836		-1,866	2,656	
Yaratılan Yolculuklar		Motorlu yolculuklara oran	0,023	0,014		0,425			
		Genel oran	0,472	8,030	-10,653		1,552		
Çekilen Yolculuklar		Büyütülmüş yolculuk sayısı	0,236	1,650	-2,065	5,257		2,834	
		Genel oran	0,236	1,650	-50,003	1,285			

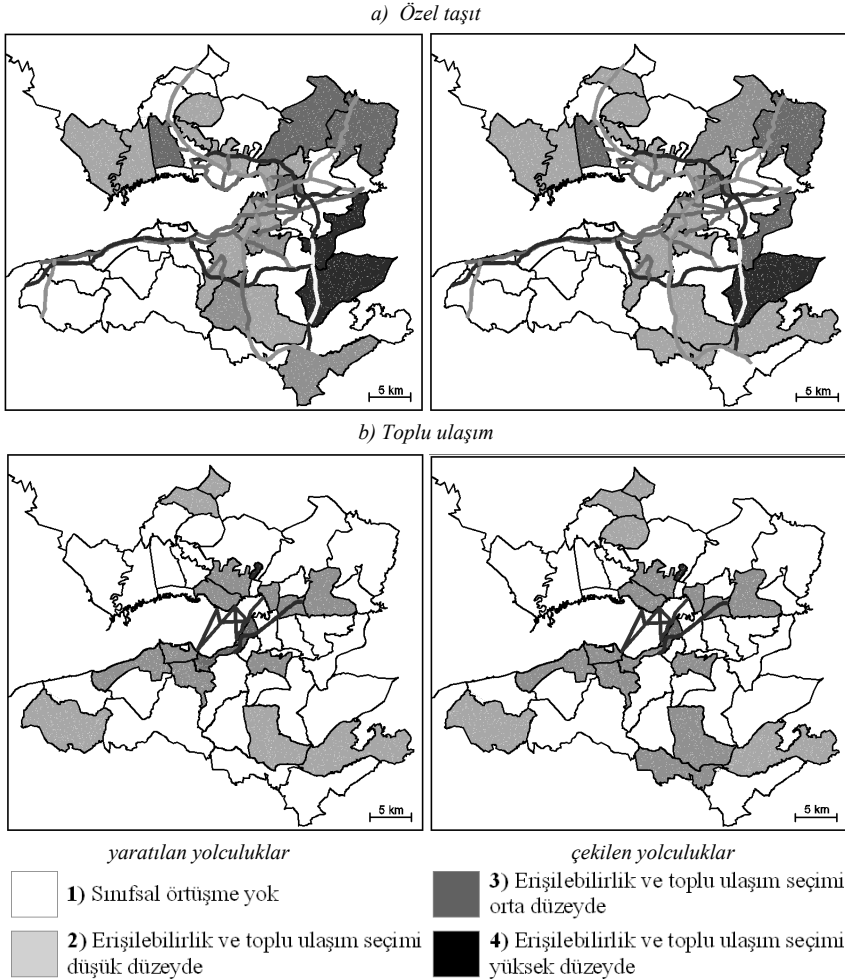
Toplu ulaşım türüne ait esneklik modelleri, özel taşıtın aksine, belirli değişkenlerin istikrarını göstermemektedir. En yüksek başarımlar 0,50 korelasyon katsayısı ile, yaratılan motorlu yolculuk oranı ifadesinde elde edilmiştir. Çekilen yolculuklarda sabit terimin etkin bulunması, bu yolculuklarda erişilebilirliğe bağımlılığın çok daha az olduğunu göstermektedir.

Erişilebilirlik türleri için kendi içinde standardize edilmiş değerlerine göre yapılan ve Şekil 3'te kullanılan standardize edilmiş değerlere ait altılı sınıflama, tür seçimi için de yapıldığında, ortaya çıkan sınıf örtüşmeleri, tür seçimi ile erişilebilirlik ölçütleri arasındaki ilişkiyi görsel yoldan ortaya koymaktadır. Şekil 4'te en az 4 erişilebilirlik türünün birlikte tür seçimi sınıfı ile örtüştüğü bölgeler gösterilmiştir. Renksiz bölgeler örtüşmenin rastlanmadığı kesimleri gösterirken, açık gri bölgeler düşük sınıfların (1. ve 2. standardize aralıklar), gri bölgeler orta sınıfların (3. ve 4. standardize aralıklar), siyah bölgeler ise yüksek sınıfların (5. ve 6. standardize aralıklar) örtüştüğü kesimleri göstermektedir. Şekil 4a'da, özel taşıt seçimleri için bu sınıf örtüşmeleri görülmektedir. Özellikle, çevre yolunun Buca kavşağının bulunduğu kesimde erişilebilirliğin ve özel taşıt seçiminin ortak yüksek sınıflara sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, çevre yolunun kent çeper bölgesini merkeze özel taşıt ile ulaştırmada etkin bir yatırım olduğunu göstermektedir. Sanayi yoğunluğu olan Manisa yolu ve Atatürk O.S.B. kesimlerinde de benzer bir örtüşme mevcuttur. Körfez kıyısındaki merkezi iş alanı kesiminde ise ortak düşük sınıflar dikkati çekmekte; bu kesimlerde özel taşıtla erişilebilirliğin düşük olmasının özel taşıt seçimini de azalttığı anlaşılmaktadır. Sınıfsal örtüşmeler, yaratılan ve çekilen yolculuklara ait seçimler için net farklılıklar göstermemekle birlikte, düşük sınıf örtüşmelerinde bir miktar artışa rastlanmakta, yaratılan yolculuklar için yüksek sınıf olan bazı analiz bölgelerinin düşük sınıfa kaydığı görülmektedir. Bu durumdan, erişilebilirlikteki eksikliğin çekilen yolculuklara ait düşük özel taşıt seçimi üzerinde, yaratılan yolculuklara kıyasla daha etkin olduğu sonucuna varılabilir.

Şekil 4b'deki toplu ulaşıma ait sınıf örtüşmelerinin, özel taşıt seçimine oranla daha düşük olduğu dikkati çekmektedir. Ortak yüksek sınıfların, hafif raylı sistem ve deniz ulaşımının hizmet ettiği bölgelerde yüksek olduğu açıktır. Ana ulaştırma yatırımlarının hizmet alanının erişilebilirliğe katkı bakımından oldukça yetersiz kaldığı söylenebilmektedir. Kentin kuzey ve güney uçlarında ise ortak düşük sınıflar yer almaktadır. Sonuç olarak sınıf örtüşmeleri, özel taşıt seçimlerinde erişilebilirliğin, hem yüksek hem de düşük düzeyleri için toplu ulaşım seçimlerine göre daha etkin olduğu söylenebilir.

#### 4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) MODELİ

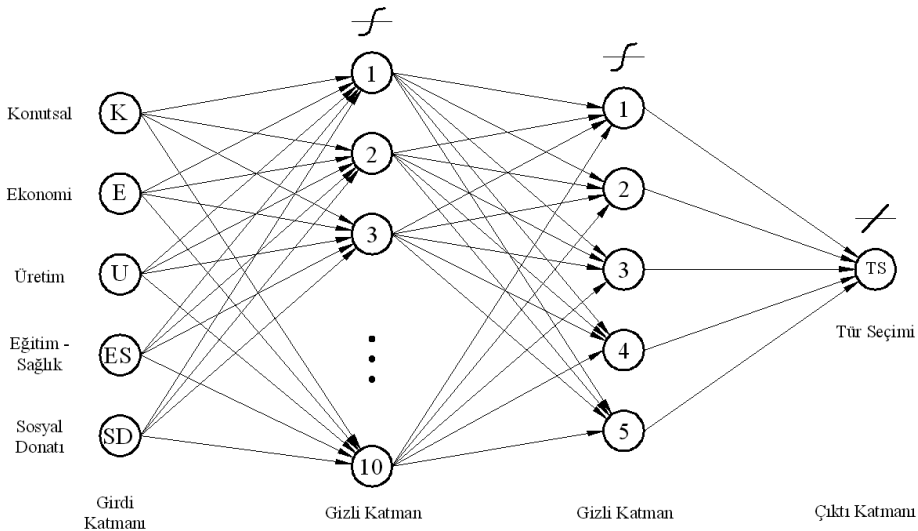
Korelasyon analizi ve esneklik regresyonları, tür seçiminin yalnızca erişilebilirlik ölçütleri kullanılarak doğrusal yöntemlerle ifadesinin mümkün olmadığını göstermektedir. Bu yüzden, çalışmanın bu bölümünde doğrusal olmayan bir yaklaşımın toplulaştırılmış tür seçimi tahmin etmedeki uygulanabilirliği sınanmıştır.



Şekil 4. Toplu ulaşım seçimi ve erişilebilirlik ölçütlerinin sınıfsal örtüşmeleri

YSA, bulanık mantık ve genetik algoritma gibi doğrusal olmayan tahmin modelleri, ülkemizde son yıllarda ulaştırma mühendisliğinin birçok araştırma alanında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle trafik mühendisliğinde, sinyalizasyon kavşaklarının denetimi [29] ve kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin modellenmesi [30] gibi konularda uygulamacılara destek veren doğrusal olmayan model uygulamaları bulunmaktadır. Ayrıca, trafik kazalarında etkili sürücü davranışlarının modellenmesi [31] ve trafik güvenliğinin modellenmesi [32] gibi ulaştırma mühendisliğinin en önemli konularından biri olan trafik güvenliğinde de uygulanabilirliği ispatlanmıştır. Ulaşım planlamasındaki uygulamalar da sayıca sınırlı olmakla beraber, geleneksel ulaşım talep modelinin geliştirilmesine ışık tutar niteliktedir. Ceylan ve Haldenbilen [33], talep modelinin ilk aşaması olan yolculuk yaratımının, şehirlerarası düzeyde genetik algoritma kullanılarak yüksek bir başarımla modellenebileceğini göstermiş, Murat ve Uludağ [34] ise çalışmalarında, talep modelinin son aşaması olan trafik atamada, bulanık mantık ile geçki seçim davranışının modellenebileceğini göstermiştir. Sunulan çalışmaya en yakın YSA uygulaması ise Demir ve Gerçek [35] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, geleneksel lojistik model, YSA, bulanık mantık ve sinir-bulanık yaklaşımlar, yolculuk süresi, özel taşıt ve toplu ulaşım türleri arasındaki genelleştirilmiş maliyet farklılıkları, hane halkı büyüklüğü, yaş ve hane halkı yolculuk sayısı verileri kullanılarak bireysel tür seçimi modellenmiş ve sinir-bulanık yaklaşım en yüksek tahmin başarımla sahip model olarak elde edilmiştir.

Bu uygulamada “İleri Beslemeli” ağ yapısı ve “Geri Yayılımlı” öğrenme tekniği kullanılmıştır. İki gizli katmanlı ağ mimarisi tercih edilmiştir. Yapılan deneme-yanımlar sonucunda ilk gizli katmanda 10, ikinci gizli katmanda 5 sinir hücresi içeren ağ yapısı uygun bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Kullanılan ağ yapısı

Yapay sinir ağlarında girdi ve çıktı olarak kullanılan veriler standardize edilmiş formlarında kullanılmaktadır. Ağ simülasyonu sonunda elde edilen standardize çıktılar, standardizasyonda kullanılan dönüşümün tersi uygulanarak tahmin değerleri elde edilmektedir. Bu uygulamada, verilerin en küçük ve en büyük değerlerini kullanarak gerçek verileri -0,9~0,9 aralığına taşıyan doğrusal bir standardizasyon kullanılmıştır:

$$x_{s,i} = (1,8(x_{n,i} - x_{n,\min(i)}) / (x_{n,\max(i)} - x_{n,\min(i)})) - 0,9 \quad (8)$$

Ağın eğitimi çapraz doğrulama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile veriler 5 gruba ayrılmış, bunların 4 tanesinden oluşan 5 farklı kombinasyon elde edilmiştir. Bu kombinasyonların 4 tanesi ile 2500'er kez olmak üzere toplam 10.000 döngü ile eğitim gerçekleştirilmiş; kullanılmayan 5. kombinasyon ile de sonuçlar test edilmiştir. Dolayısıyla eğitim verilerinde kullanılan 4 kombinasyon, eğitimde kullanılmayan 5. kombinasyonu da kısmen içermekte ve eğitim verileri duyarlılık analizine elverişli ölçüde bir nüfuz sahasına sahip olmaktadır.

Eğitim ve test sonuçları birkaç farklı başarımlı ölçütü kullanılarak karşılaştırılmıştır. Modellerin başarımlı tek bir parametre ile ifade etmeye yönelik “Karesel Hatalar Ortalamasının Karekökü” (KHOK) ve “Etkinlik Faktörü” (EF) ölçütlerinin yanı sıra, her bir tahminin gözlemlenen değerlerden sapma miktarını belirlemeye yönelik “Farklılık Oranı” (FO) ölçütü de hesaplanmıştır:

$$KHOK = \left( \left( \sum_{i=1}^N (Y_i^G - Y_i^T)^2 \right) / N \right)^{1/2} \quad (9)$$

$$EF = 1 - \left( \sum_{i=1}^N (Y_i^G - Y_i^T)^2 / \sum_{i=1}^N (Y_i^G - \bar{Y}_i)^2 \right) \quad (10)$$

$$FO = \log_{10} (Y_i^T / Y_i^G) \quad (11)$$

KHOK, adından da anlaşılacağı gibi, tahminler ile gözlemler arasındaki farkların kareleri toplamının ortalamasının karekökü şeklindedir ve “0” a yakınlığı modelin yüksek başarımlı ifade eder. EF, modelin tahmin yeteneğinin, gözlemler ortalamasından ne kadar farklı olduğunu göstermekte olup “-∞” ile “1” arasında değişmektedir. “EF=1”, modelin tahmin yeteneğinin mükemmel olduğunu göstermekte, “EF=0” tahminin ancak gözlemlenen değerlerin ortalaması kadar başarılı olduğunu yansıtmaktadır. “0” dan küçük EF değerleri ise tahmin başarımlının ortalama değerlerin temsiline altında olduğunu göstermektedir. FO her bir tahmin-gözlem çifti için hesaplanmaktadır. FO’nun -0,05 ile 0,05 aralığında kalması, tahminlerin yaklaşık %10 kadar gözlemlerden saptığını göstermektedir ki bu aralıkta kalan gözlem yüzdesi “uygun tahmin yüzdesi” (UTY) olarak

isimlendirilebilir. -0,05'in altında kalan tahminler “düşük tahmin yüzdesi” (DTY), 0,05'in üzerinde kalan tahminler ise “yüksek tahmin yüzdesi (YTY) olarak sınıflandırılabilir. Sonuç olarak UTY miktarı %100'e yakın olan bir model başarılı olmaktadır. Bu başarımlar ölçütlerinin yanısıra tahmin ve gözlem değerleri arasında regresyonlar yapılmıştır. Başarılı bir modelin regresyonunda, korelasyon katsayısının 1'e yakın olmasının yanında, sabit teriminin 0'a, eğiminin de 1'e yakın olması beklenmektedir.

Özel taşıt ve toplu ulaşım seçimlerinin yaratılan ve çekilen yolculuk türlerine göre olmak üzere dört farklı YSA modelinin başarımlar istatistikleri Tablo 7'de verilmektedir. Tablodaki Eğitim KHOK (std.) ölçütü, eğitim sonunda Denklem 8'e göre standardize edilmiş değerler için karesel hatalar ortalamasının karekökünü ifade etmektedir. EF istatistiklerinin tüm modeller için 0,80'in üzerinde olduğu dikkate alınır, YSA modellerinin genel olarak başarılı olduğu söylenebilir. Ancak KHOK değerleri karşılaştırıldığında, özel taşıt modellerinin en yüksek 0,02 civarında olmasına karşın, toplu ulaşım modellerinin 0,05 ve üzerinde sapmalar gösterdiği görülmektedir. Dolayısıyla toplu ulaşım modellerinden, özel taşıt seçimlerinde olduğu ölçüde bir başarımlar elde edilememiştir. FO istatistiklerine bakıldığında, özellikle çekilen yolculuklarda yüksek tahmin yüzdesinin bir miktar daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı sonuca regresyon istatistiklerinden de varılabilmektedir. Korelasyon katsayıları her iki ulaşım türü için 1'e yakın bulunmuştur ancak, regresyonların eğim değerleri ( $b_1$ ) özel taşıt seçim modelleri için 1'e yakınken, toplu ulaşım seçimleri için 0,8-0,9 civarında kalmıştır.

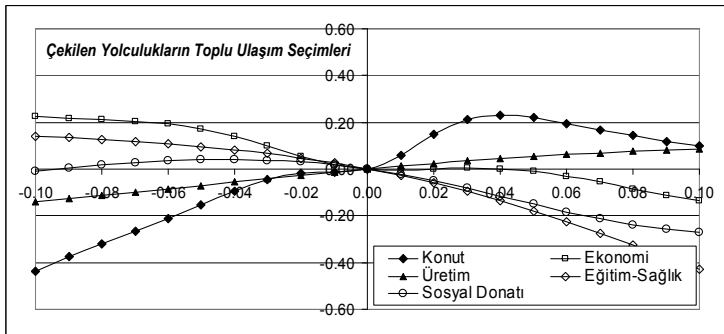
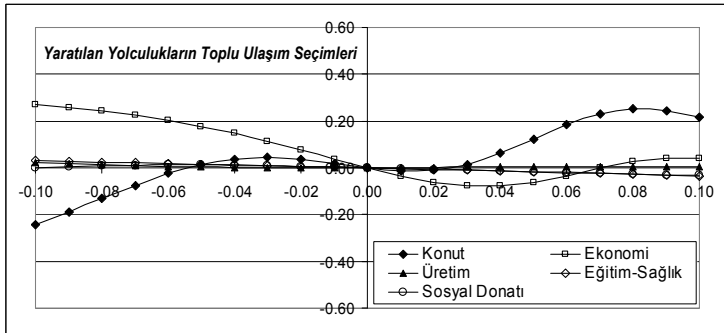
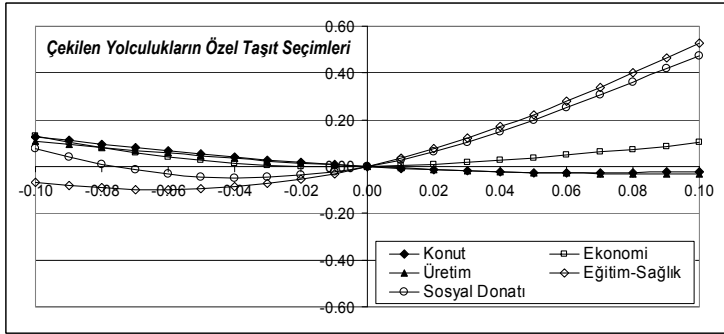
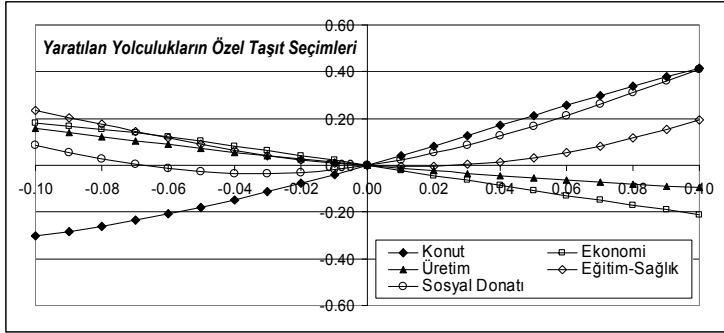
Tablo 7. YSA modellerine ait başarımlar istatistikleri

		Yaratılan Yolculuklar			Çekilen Yolculuklar			
		Eğitim	Test	Genel	Eğitim	Test	Genel	
Özel Taşıtlar Seçimleri	Eğitim KHOK (std.)	0,00538			0,02488			
	Genel başarımlar	KHOK	0,01392	0,01393	0,01261	0,02017	0,01906	0,01862
		EF	0,910	0,915	0,936	0,807	0,804	0,842
	Farklılık Oranı	YTY	19,4	20,0	17,1	18,2	14,8	15,4
		UTY	77,4	76,7	80,5	72,7	77,8	76,9
		DTY	3,2	3,3	2,4	9,1	7,4	7,7
	Regresyon İstatistikleri	$b_1$	0,977	0,987	0,980	0,870	0,925	0,897
		$b_0$	0,009	0,006	0,007	0,022	0,013	0,018
		R	0,963	0,962	0,971	0,902	0,906	0,920
	Toplu Ulaşım Seçimleri	Eğitim KHOK (std.)	0,02042			0,02076		
Genel başarımlar		KHOK	0,05418	0,05569	0,05429	0,05212	0,05200	0,05019
		EF	0,826	0,841	0,821	0,841	0,868	0,849
Farklılık Oranı		YTY	13,8	9,4	9,8	17,1	20,0	17,1
		UTY	75,9	78,1	78,0	77,1	76,7	78,0
		DTY	10,3	12,5	12,2	5,7	3,3	4,9
Regresyon İstatistikleri		$b_1$	0,859	0,891	0,888	0,914	0,894	0,909
		$b_0$	0,073	0,049	0,057	0,055	0,069	0,057
		R	0,910	0,922	0,909	0,922	0,935	0,925

Veri sayısı analiz bölgesi sayısı ile sınırlı kaldığından, elde edilen modellerin genelleme yeteneğinin sınanması gerekmektedir. Bunun için en etkili yöntem Duyarlılık Analizi'dir. YSA modellerine yönelik duyarlılık analizi yaklaşımları ağ çıktısına ve hata fonksiyonuna bağlı yaklaşımlar olarak ikiye ayrılabilir. Ağ çıktısına bağlı yaklaşımlar ise analitik (Jacobian) ve nümerik yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır [36]. Bu çalışmada kullanılan yaklaşım, ağ çıktısına bağlı analitik yaklaşım türüne girmekte olup ağ çıktılarının her bir ağ girdisine göre kısmi türevine dayanmaktadır [37] [38]. Bu yaklaşımın basitleştirilmiş ve genel bir formu olan OAT (one-factor-at-a-time) yöntemi, mühendislik uygulamalarında kullanılan birçok modele uyarlanabilmektedir [39]. Bu yöntemde modeller, üretilen yapay veriler kullanılarak simüle edilmektedir. Öncelikle her bir erişilebilirlik türünün ortalama değerleri alınmış ve bu ortalama değerler  $\pm\%10$  aralığında yayılmıştır. Beş farklı erişilebilirlik ölçütü için her bir YSA modeli, 5 değişik şekilde simüle edilmiştir. Her bir simülasyonda, erişilebilirlik ölçütlerinden bir tanesinin ortalama etrafında yayılmış formu kullanılırken diğer dördü ortalama değerlerinde sabit tutulmuştur. Elde edilen çıktı değerinin, tüm değişkenler ortalama değerini aldığındaki çıktı değerinden yüzdesel farklılıkları hesaplanmıştır. Böylece her bir erişilebilirlik ölçütünün, YSA model çıktısını ne kadar etkilediği belirlenmiştir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi, özel taşıt modelleri için doğrusala yakın duyarlılıklar elde edilmişken, toplu ulaşım modelleri için eğrisel duyarlılık değişimleri bulunmuştur. Özellikle özel taşıt seçim modelleri için, bazı erişilebilirlik ölçütlerine ait duyarlılıklar %40 ve üzerinde çıkmıştır. Duyarlılığın büyük olması, modelin eğitimde kullanılmayan yeni veriler karşısında başarısız tahminler verebileceğini, dolayısıyla genelleme yeteneğinin düşük olduğunu göstermektedir. Duyarlılığın kabul edilebilir seviyelere düşürülebilmesi için, erişilebilirlik verilerinden bir kısmının elenmesi yoluna gidilmiştir. YSA'da değişkenlerin etkinliği birbirine bağlı olduğundan, en yüksek duyarlılığı veren değişkenlerin elenmesi çoğu zaman çözüm anlamına gelmemektedir. Dolayısıyla, duyarlılığı yüksek olmayan bir değişkenin elenmesi, diğer tüm değişkenlerin duyarlılığının düşmesi ile sonuçlanabilmektedir. Bu yüzden erişilebilirlik ölçütleri deneme yanılma yolu ile elenmiştir.

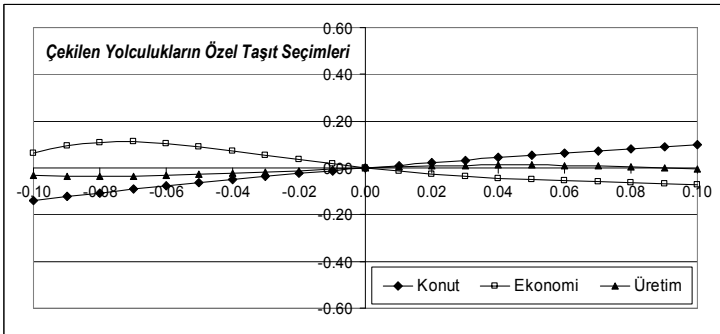
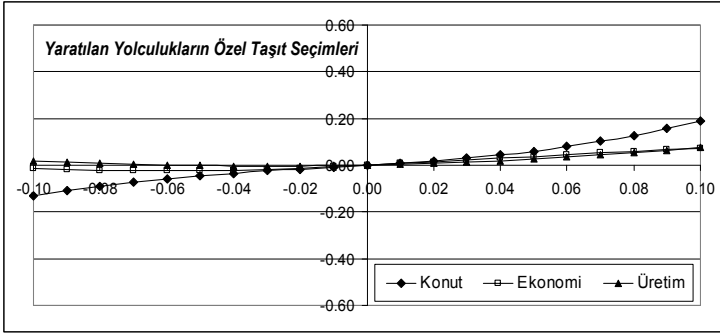
Bütün modeller için ikişer değişkenin elenmesi optimum çözümlere ulaşılmasında yeterli olmuştur. Elenmiş durum için YSA modellerindeki gizli katman sinir hücresi sayıları 10-5' ten 7-3'e düşürülmüştür. Eleme işleminden sonra genel olarak %20 ve altında duyarlılığa sahip YSA modelleri elde edilmiştir (Şekil 7). Eğitim-sağlık ve sosyal donatı türü erişilebilirliklerin elenmesiyle özel taşıt seçim modellerinin her ikisi için de makul duyarlılık değerlerine ulaşılmıştır. Değişkenlerin yatay eksenden sapma miktarlarına bakıldığında, yaratılan yolculuklar için konutsal erişilebilirliğin, çekilen yolculuklar için ise ekonomik erişilebilirliğin seçim türü üzerinde en yüksek duyarlılık oluşturan değişkenler olduğu anlaşılmaktadır. Toplu ulaşım seçiminde çekilen yolculuklar için konutsal ve eğitim-sağlık türü erişilebilirlik ölçütlerinin elenmesi ile makul duyarlılıklar elde edilebilmiştir. Ancak yaratılan yolculuklar için konutsal ve ekonomik erişilebilirlik türleri elenmesine rağmen, duyarlılık miktarları şekilde verileden daha aşağıya çekilememiştir. Şekilde en büyük dalgalanmayı veren sosyal donatı türünün elenmesi ise, tahmin başarımında ciddi düşüşlere sebep olmaktadır. Sonuç olarak özellikle yaratılan yolculuklardaki toplu ulaşım seçiminin YSA ile modellenmesinin, yüksek bir genelleme ile mümkün olamayacağı söylenebilir. Elemeden sonraki YSA başarım istatistikleri Tablo 8'de verilmiştir.



Şekil 6. YSA modellerinin duyarlılık analizi sonuçları

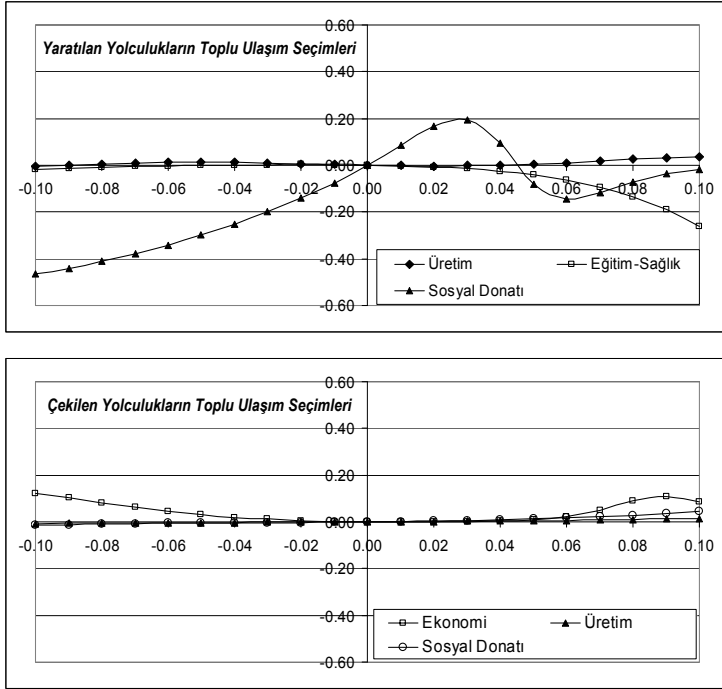
Tablo 8. Eleme sonrası YSA modellerinin başarımlar istatistikleri

		Yaratılan Yolculuklar			Çekilen Yolculuklar			
		Eğitim	Test	Genel	Eğitim	Test	Genel	
Eğitim KHOK (std.)		0,01938			0,02335			
Özel Taşıtlı Seçimleri	Genel başarımlar	KHOK	0,01737	0,01753	0,01736	0,01764	0,01913	0,01819
		EF	0,891	0,875	0,880	0,850	0,828	0,850
	Farklılık Oranı	YTY	9,1	9,4	9,8	9,7	12,1	12,8
		UTY	72,7	78,1	75,6	71,0	72,7	71,8
		DTY	18,2	12,5	14,6	19,4	15,2	15,4
	Regresyon İstatistikleri	$b_1$	0,924	0,905	0,905	0,895	0,866	0,878
		$b_0$	0,007	0,010	0,012	0,015	0,022	0,019
		R	0,948	0,940	0,940	0,924	0,911	0,922
	Eğitim KHOK (std.)		0,03346			0,05229		
	Toplu Ulaşım Seçimleri	Genel başarımlar	KHOK	0,07119	0,06992	0,07000	0,08079	0,07321
EF			0,624	0,708	0,702	0,659	0,673	0,664
Farklılık Oranı		YTY	15,6	19,4	17,1	22,9	19,4	19,5
		UTY	68,8	67,7	68,3	62,9	71,0	68,3
		DTY	15,6	12,9	14,6	14,3	9,7	12,2
Regresyon İstatistikleri		$b_1$	0,849	0,831	0,778	0,649	0,696	0,652
		$b_0$	0,073	0,091	0,116	0,198	0,170	0,198
		R	0,822	0,851	0,843	0,815	0,823	0,818



Şekil 7. Eleme işleminden sonraki YSA modellerinin duyarlılıkları





Şekil 7 (devamı). Eleme işleminden sonraki YSA modellerinin duyarlılıkları

Görüldüğü gibi özel taşıt seçim modellerinin UTUY değerleri halen %70'in üzerindedir. Ancak DTY değerleri elemenden önceki duruma göre bir miktar daha fazladır. Bu durum yeni YSA modellerinin özel taşıt seçimini modellemede düşük tahmine, eskiye göre daha eğilimli olduğunu göstermektedir. Öte yandan, EF istatistikleri 0,85'in üzerinde ve regresyon istatistikleri uygun değerlerdedir. Toplu ulaşım seçim modelleri için ise başarımlı istatistikleri, eleme öncesindeki modellere kıyasla kayda değer miktarda düşüş göstermiştir. KHOK değerleri 0,07'nin üzerindedir. Dolayısıyla toplu ulaşım seçim oranlarının tahminleri  $\pm\%7$  değişim gösterebilecektir. EF istatistikleri de 0,65 mertebesine kadar gerilemiştir. Sonuç olarak toplu ulaşım seçim tahminlerinin, genelleme yeteneği yüksek bir YSA modeli ile yapılabilmesi mümkün görünmemektedir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Fayda esaslı erişilebilirlik, kolay hesaplanabilirliği, arazi kullanışı ve yolculuk genelleştirilmiş maliyetini aynı indeks değerinde dikkate alışı, seçim davranışlarının modellenmesinde sıkça kullanılan fayda teorisine dayanıyor olması gibi birçok yönüyle, ulaştırma planlamasının talep modellerinde kayda değer bir uygulanabilirliğe sahiptir. Çalışma sonucunda fayda esaslı erişilebilirliğin toplulaştırılmış tür seçimi oranları üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu kanısına varılmıştır. Özellikle konut, üretim ve sosyal-kültürel

kullanışın erişilebilirliklerinin tür seçimi ile doğrusal ilişkiye sahip olduğu, ancak bu ilişkilerin tür seçimi oranlarını tahmin edebilecek boyutta olmadığı görülmüştür.

Doğrusal olmayan, yapay zeka temelli bir yaklaşım olan YSA modellerinin uygulanması ile, tür seçim oranlarının erişilebilirlik ölçütleri kullanılarak modellenmesinin mümkün olabileceği görülmüştür. Ancak YSA modellerinin genelleme yeteneği geliştirildiğinde, özel taşıt seçimlerinin tahmin başarımı önemli ölçüde değişmezken, toplu ulaşım seçim modellerinin tahmin başarımı büyük ölçüde azalmıştır. Toplu ulaşım seçimlerinin erişilebilirlik ile yeterli düzeyde tahmin edilememesinin ana sebepleri, ekonomik açıdan aynı düzeydeki kullanıcılara güçlü bir alternatif sunabilecek kadar gelişmiş toplu ulaşım altyapısının olmayışı, ayrı bir araştırma alanı olabilecek kadar geniş bir konu olan zamanın değerinin genelleştirilmiş maliyetlerdeki etkisinin bu çalışmada sınırları içinde çeşitli alternatiflerle denenememiş olması ve toplu ulaşım zorunlu kullanıcı olarak tanımlanan ve arazi kullanışı gibi ikincil faktörlerden seçim açısından etkilenmeyen kesimin ağırlığı olarak akla gelmektedir. Bu yüzden YSA yaklaşımının sadece özel taşıt seçimini tahmin etmede etkin sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır. Ancak taşıt sahibi olan ulaşım alternatifi yüksek kullanıcıların, seçim davranışının kestirilebilmesi ve bu yolculukların genellikle okul ve iş gibi zorunlu olmayan kesimi içeriyor olması, çalışmanın önemli bir noktada hizmet edebileceği görüşünü uyandırmaktadır.

Çalışma kapsamında detaylı olarak ele alınması mümkün olmayan, zamanın değeri, toplu ulaşım ve özel taşıt haricindeki ulaşım türleri, maliyete duyarlılık parametresinin seçimi gibi konuların izleyen çalışmalarda irdelenmesi gerekmektedir. Ayrıca çalışmada, toplulaştırılmış düzeyde, hane halkı verisi gerektirmeyen ölçekteki tür seçim oranlarının kestirimi üzerinde durulduğundan, erişilebilirliğin bireysel seçim davranışı üzerindeki etkileri değerlendirilmemiştir. Takip eden çalışmalarda, erişilebilirliğin bireysel seçim modellerindeki rastlantısal fayda fonksiyonunun başarımına etkisinin incelenmesinin de literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ulaştırma Doktora Programı bünyesinde tamamlanmış olan Mustafa Özuysal'a ait doktora tezinden üretilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan verilerin bir kısmı İzmir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan İzmir Ulaşım Ana Planı'ndan elde edilmiş olup, yazarlar verilerin temininde yardımcı olan tüm yetkililere teşekkür ederler. Ayrıca Mustafa Özuysal, kendisini yurtiçi doktora bursu ile onurlandıran Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na teşekkürlerini sunar.

## **Semboller**

- $A_n$  : “n” bireyine ait erişilebilirlik  
 $b_0$  : ikili regresyonda sabit terim  
 $b_1$  : ikili regresyonda eğim  
 $c_{ij}$  : “ij” yolculuğunun maliyeti

$c_{ijm}$	: “ij” yolculuğunun “m” ulaşım türü için genelleştirilmiş maliyeti
$D_j$	: “j” noktasında elde edilecek fırsatlar
EF	: etkinlik faktörü
FO	: farklılık oranı
$J_A$	: gecikme parametresi
KHOK	: karesel hataların ortalamasının karekökü
N	: gözlem (analiz bölgesi) sayısı
Q	: kapasite (taşıt/saat)
q	: talep (taşıt/saat)
R	: regresyon katsayısı
$r_F$	: akım periyodunun minimum yolculuk süresine oranı
SD	: standardize değer
t	: birim mesafede geçen süre
$t_0$	: birim mesafede geçen minimum süre
$T_F$	: akım periyodu
$U_{ij}$	: “i” noktasından “j” noktasına yapılan yolculuğun toplam stokastik faydası
$U_k$	: “k” alternatifinin toplam faydası
$V_{ij}$	: “i” noktasından “j” noktasına yapılan yolculuğun deterministic faydası
$V_k$	: “k” alternatifine ait toplam fayda içindeki fayda oranı
x	: doygunluk derecesi ( $z = x-1$ )
$x_{n,i}$	: “x” değişkeninin her bir “i” değeri için normal değeri
$x_{n,max(i)}$	: normal “x” değişkeninin maksimum değeri
$x_{n,min(i)}$	: normal “x” değişkeninin minimum değeri
$x_{s,i}$	: “x” değişkeninin her bir “i” değeri için standardize değeri
$Y_i^G$	: gözlemlenen seçim oranı
$Y_i^T$	: tahmin edilen seçim oranı
$\beta$	: maliyete duyarlılık parametresi
$\varepsilon_{ij}$	: faydanın rastlantısal bölümü

### Kaynaklar

- [1] Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Weston, L. Accessibility Measures: Formulation Considerations and Current Applications. The University of Texas at Austin, Center for Transportation Research, U.S.A., 2000.

- [2] Geurs, K. T., Van Eck, J. R. R. Accessibility Measures: Review and Applications. RIVM Report: 408505-006, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, Netherlands, 2001.
- [3] Greene, D. L., Liu J. T. (1988) Automotive fuel economy improvements and consumer's surplus. *Transportation Research Part A*, 22(3), 218-228, 1988.
- [4] Banister, D., Berechman, J. Transport investment and economic development. University College London Press, London, 2000.
- [5] Beckmann, M. J., McGuire, C. B., Winsten, C. B. Studies in the economics of transportation. Yale University Press, New Haven, CT, 1956.
- [6] Evans, S. Derivation and analysis of some models for combining distribution and assignment. *Transportation Research*, 10(1), 37–57, 1976.
- [7] Boyce, D. E., Leblanc, L. J., Chon, K. S. Network equilibrium models of urban location and travel choices: a retrospective survey. *Journal of Regional Science*, 28, 159–183, 1988.
- [8] Fernandez, J. E., De Cea, J., Florian, M., Cabrera, E. Network equilibrium models with combined modes. *Transportation Science*, 28, 182–192, 1994.
- [9] Florian, M., Wu, J. H., He, S. A multi-class multi-mode variable demand network equilibrium model with hierarchical logit structures. *Actas IX Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Santiago, Chili, 1999.
- [10] De Cea, J., Fernandez, J. E., Soto, A. ESTRAUS: a simultaneous equilibrium model to analyze and evaluate multimodal urban transportation systems with multiple user classes. *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*, Seoul, Korea, 2001.
- [11] De Cea, J., Fernandez, J. E., Soto, A., Dekock, V. Solving network equilibrium on multimodal urban transportation networks with multiple user classes. *Transport Reviews*, 25(3), 293–317, 2005.
- [12] Fernandez, J. E., De Cea, J., Soto, A. Multimodal equilibrium models for predicting intercity freight flows, *Transportation Research B*, 37, 615–640, 2003.
- [13] De Cea, J., Fernandez, E., De Grange, L. Combined models with hierarchical demand choices: a multi-objective entropy optimization approach. *Transport Reviews*, 28(4), 415-438, 2008.
- [14] Vritic, M., Fröhlich, P., Schüssler, N., Axhausen, K. W., Lohse, D., Schiller, C., Teichert, H. Two-dimensionally constrained disaggregate trip generation, distribution and mode choice model: theory and application for Swiss national model. *Transportation Research Part A*, 41, 857-873, 2007.
- [15] Koenig, J. G. Indicators of urban accessibility: theory and applications. *Transportation*, 9, 145-172, 1980.
- [16] Ben-Akiva, M., Lerman S. R. (1979) Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility, In: *Behavioural Travel Modelling*. D. A. Hensher and P. R. Sopher, C. Helm (Eds.), Andover, Hants, pp. 654-679, 1979.

- [17] Bröcker, J. How to eliminate certain defects of the potential formula. *Environment and Planning Part A*, 21, 817-830, 1989.
- [18] McFadden, D. *Econometric Models of Probabilistic Choice: Structural Analysis of Discrete Data with Economic Applications*. In: C. F. Manski, D. McFadden (Eds.), MIT Press, Cambridge, MA, U.S.A., 1981.
- [19] Ben-Akiva, M., Lerman, S. R. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press, Massachusetts, U.S.A., 1985.
- [20] Small, K. *Urban Transportation Economics*. University of Toronto Press, Toronto, Ontario, U.S.A., 1992.
- [21] Özüysal, M. Şehirsel Yerleşimlerde Erişilebilirlik Ölçütünün Modellenmesi ve Kullanımı: Ulaşım Türü Seçimi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [22] İzmir Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Ulaşım Koordinasyon Müdürlüğü. *İzmir Ulaşım Ana Planı Raporu*, Cilt VI, 2009.
- [23] Akçelik, R. Travel time functions for transport planning purposes: Davidson's function, its time-dependent form and an alternative travel time function. *Australian Road Research*, 21(3), 49-59, 1991.
- [24] Davidson, K. B. The theoretical basis of a flow-travel time relationship for use in transportation planning. *Australian Road Research*, 8(1), 32-35, 1978.
- [25] Jiang, M., Morikawa, T. Theoretical analysis on the variation of value of travel time savings. *Transportation Research Part A*, 38, 551-571, 2004.
- [26] Waters, W. The value of time savings for the economic evaluation of highway investments in British Columbia. BC Ministry of Transportation, British Columbia, 1992.
- [27] VTPI. Travel time costs. in: *Transportation cost and benefit analysis II*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, 5.2-5.22, 2010 ([www.vtppi.org](http://www.vtppi.org)).
- [28] Judge, G. G., Hill, R. C., Griffiths, W. E., Lutkepohl, H., Lee, T. C.. *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*, Wiley, 1988.
- [29] Murat, Y. Ş., Gedizlioğlu, E. Ayrık sinyalize kavşaklar için bulanık mantık denetim modeli. *Teknik Dergi*, 14(2), 2949- 2963. 2003.
- [30] Murat, Y. Ş. Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Teknik Dergi*, 17(3), 3903-3916, 2006.
- [31] Kalyoncuoğlu, Ş. F., Tığdemir, M. Türkiye’de trafik kazalarında etkili bazı sürücü özelliklerinin bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemi ile değerlendirilmesi. *Teknik Dergi*, 12(4), 2505-2516, 2001.
- [32] Bağırhan, N., Karaşahin, M. Bulanık mantık ile trafik güvenliği modellenmesi. *Teknik Dergi*, 20(2), 4635-4651, 2009.

- [33] Ceylan, H., Haldenbilen, S. Şehirlerarası ulaşım talebinin genetik algoritma ile modellenmesi. *Teknik Dergi*, 16(3), 3599-3618, 2005.
- [34] Murat, Y. Ş., Uludağ, N. Bulanık mantık ve lojistik regresyon yöntemleri ile ulaşım ağlarında geçki seçim davranışının modellenmesi. *Teknik Dergi*, 19(2), 4363-4379, 2008.
- [35] Demir, Y. K., Gerçek, H. Ulaştırma türü seçiminde esnek hesaplama yöntemleri. *İTÜ Dergisi: Mühendislik*, 5(6), 61-73, 2006.
- [36] Montano, J. J., Palmer, A. Numeric sensitivity analysis applied to feed-forward neural networks. *Neural Computing and Applications*, 12(2), 119-125, 2003.
- [37] Zurada, J. M., Malinowski, A., Cloete, I. Sensitivity analysis for minimization of input data dimension for feedforward neural network. In: *Proceedings IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, IEEE, New York, 447-450, 1994.
- [38] Bishop, C. M. *Neural networks for pattern recognition*. Oxford University Press, Oxford, 1995.
- [39] Saltelli, A., Annoni, P. How to avoid a perfunctory sensitivity analysis. *Environmental Modeling and Software* 25(12), 1508-1517, 2010.