

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEHİRSEL YERLEŞİMLERDE
ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTÜNÜN
MODELENMESİ VE KULLANIMI:
ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ÖZUYSAL

Ağustos, 2010
İZMİR

**ŞEHİRSEL YERLEŞİMLERDE
ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTÜNÜN
MODELENMESİ VE KULLANIMI:
ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı**

Mustafa ÖZUYSAL

**Ağustos, 2010
İZMİR**

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MUSTAFA ÖZUYSAL, tarafından **DOÇ. DR. SERHAN TANYEL** yönetiminde hazırlanan “**ŞEHİRSEL YERLEŞİMLERDE ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTÜNÜN MODELLENMESİ VE KULLANIMI: ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Serhan TANYEL

Yönetici

Yrd. Doç. Dr. M. Yıldırım ORAL

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Tolga ÇİLİNGİR

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Haluk GERÇEK

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Yalçın ALVER

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim sürecince tüm akademik çalışmalarında büyük özverisi ve emeği bulunan, doktora tezimin her aşamasında, sahip olduğu ve bana kazandırdığı akademik ve mühendislik nosyonunun yanı sıra, manevi teşvik ve desteklerini de hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Serhan TANYEL'e gösterdiği yakın ilgi, sonsuz yardım ve sabır için şükranlarımı sunarım.

Tez izleme aşamaları boyunca, özellikle tezimin şehir bölge ve planlama nosyonu gerektiren arazi kullanımına ilişkin unsurlarını anlayıp yorumlamamda benden yardımlarını esirgemeyen Sn. Yrd. Doç. Dr. M. Yıldırım ORAL ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Tolga ÇİLİNGİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Yol gösterici değerli görüş ve değerlendirmeleri ile, tezimin son şeklini almasında büyük katkıları bulunan tez savunma sınavı jüri üyesi değerli hocalarım Sn. Prof. Dr. Haluk GERÇEK ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Yalçın ALVER'e teşekkür ederim.

Tezimin son dönemlerinde, elde ettiğim sonuçları yorumlamam ve karşılaştığım bir takım problemlerin üstesinden gelmemde değerli ilgi ve desteklerini benden esirgemeyen Ortadoğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Sn. Prof. Dr. Ayhan İNAL ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Hediye TÜYDEŞ hocalarıma, tezime ilk dışarıdan bakışı sağladıkları ve değerli vakitlerini ayırdıkları için teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora çalışmam ile elde ettiğim birikimimi, yurtdışında doktora sonrası yapacağım araştırmalar ile zenginleştirmem konusunda beni teşvik etmesinin yanı sıra, ziyaretçi araştırmacı olarak kabul alma sürecinde her türlü destek ve yardımı sağlayan, anabilim dalı başkanımız Sn. Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle doktora tezimin yazım aşamasında, bölümde sorumlu olduğum iş yüklerini büyük ölçüde hafifleterek zamanımı etkin kullanmamda yardımcı olmalarının yanı sıra, tezimin her aşamasında manevi destek ve ilgilerini esirgemeyen Sn. Araş. Gör. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Ali TOPAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezim boyunca, maddi boyutunun ötesinde, Türkiye'nin en köklü bilimsel araştırma kurumundan teşvik alma onurunu bana yaşatan, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na, bana sağladığı yurtiçi doktora bursu için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatım boyunca bana olan güven ve desteklerini bir gün bile esirgemeyen, bana bu güven duygusunu sürekli hissettirerek başarılı olmamı ve bu günlere gelmemi sağlayan, en değerli varlıklarım; iki emektar ve gerçek kahramana; Annem ve Babama, koşulsuz destekleri ve emeklerinden ötürü en derin şükranlarımı sunarım.

Mustafa ÖZUYSAL

ŞEHİRSEL YERLEŞİMLERDE ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTÜNÜN MODELLENMESİ VE KULLANIMI: ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Ulaşım faaliyetlerinin temel amacı olan aktiviteye erişim, ulaşımın planlanmasına yönelik çalışmalarda performans ölçütü olarak ulaşım altyapısı çıktılarının yanı sıra, arazi kullanımının şekillendirdiği aktivite olanaklarının da dikkate alınması ihtiyacını doğurmaktadır. İnsanların ve ticari aktivitelerin istenilen tesislere, ürünlere ve aktivitelere ulaşabilme kolaylığı olarak tanımlanan erişilebilirlik, günümüz ulaşım problemlerinin tanımlanmasında, arazi kullanımı ve ulaşım altyapısını etkileşimli olarak ele alabilen tek performans ölçütü olarak öne çıkmaktadır.

Tez çalışmasında, erişilebilirlik ölçütünün şehrsel yerleşimlerde modellenmesi ve kullanımı incelenmiş, tür seçiminin kestiriminde erişilebilirlik ölçütünden yararlanma olanakları araştırılmıştır. Erişilebilirliğin aktivite esaslı potansiyel ve fayda esaslı olmak üzere iki farklı yapısal türü incelenmiştir. Öncelikle bu ölçüt türlerinin toplulaştırılmış tür seçimi istatistikleri ile olan ilişkileri incelenmiştir. Tür seçimi analizi için toplu ulaşım ve özel taşıt türleri dikkate alınmıştır. Fayda esaslı erişilebilirlik kullanılarak tür seçiminin, doğrusal ve yapay zeka yöntemleri ile tahmin edilmesi olanağı da araştırılmıştır. Son olarak fayda esaslı ölçütün bireysel tür seçiminin modellenmesindeki başarımı incelenmiştir.

Aktivite esaslı potansiyel ölçütün tüm arazi kullanım tipleri, ulaşım türlerinin büyütülmüş yolculuk sayıları ile pozitif etkin korelasyonlar vermiştir. Dolayısıyla bu ölçütün tür seçimini tahmin etmekten ziyade, hareketliliği modellemede daha başarılı olacağı sonucuna varılmıştır. Fayda esaslı erişilebilirlik kullanılarak yapılan analizler, özellikle konutsal, üretimsel ve sosyo-kültürel arazi kullanışları için, erişilebilirliğin toplulaştırılmış tür seçimi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Yapay sinir ağıları uygulaması, özellikle özel taşıt tür seçimlerinin, fayda esaslı ölçüt kullanılarak modellenebileceği sonucuna götürmüştür.

İkili lojit modellerde, fayda esaslı erişilebilirliğin bölge içi aktiviteleri içeren ve oransal arazi kullanımına sahip türevi kullanılarak, iş ve okul amaçlı olmayan yolculuklarda en yüksek başarımla elde edilmiştir. Sadece erişilebilirlik verilerinin kullanıldığı modellerde elde edilen başarımlar, özellikle sınırlı veri koşullarında bireysel tür seçiminin erişilebilirlik verilerinden yararlanılarak modellenebileceği sonucunu doğurmuştur. Sonuç olarak tez çalışması, tür seçiminin modellenmesinde fayda esaslı erişilebilirliğin, tezde tanımlanan belirli yolculuk amacı ve arazi kullanım türleri için, etkin bir ulaşım sistemi performans ölçütü olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: erişilebilirlik, tür seçimi, ikili lojit model, yapay sinir ağıları.

MODELING AND USE OF ACCESSIBILITY MEASURE IN URBAN SETTLEMENTS: INVESTIGATION OF THE EFFECTS ON MODE CHOICE

ABSTRACT

The main purpose of transportation is to access to the activities which not only necessitates the properties of transportation infrastructure as a performance measure in the transportation planning, but also necessitates the inclusion of to access to the activities formed by the land use. Accessibility is defined as the ease and convenience with which people and goods to reach the desired facilities, goods and activities. Accessibility has been gaining attention in last years, as the only performance measure for considering land use and transportation infrastructure in a combined manner.

In this thesis, accessibility measure in urban settlements and its modeling for the prediction of mode choice is investigated. Activity based potential and utility based types of accessibility measures are considered. The correlations with aggregated mode choice statistics are investigated as an initial stage. Public transport and automobile modes are considered for mode choice analysis. The utility based measure is also examined for the prediction of the aggregated mode choice by using linear and artificial intelligent approaches. Finally, the utility based accessibility is used in discrete choice analysis. The prediction capability of the constructed models including different trip purpose classifications and accessibility versions are also compared.

The all land use types of activity based potential measure is found to give positive correlations with both public transport and automobile modes for artificial trip numbers. It is concluded that this measure can introduce better performance for the investigation of mobility, rather than the use for mode choice. Utility based accessibility, especially residential, production and social land use based measures is

determined as an efficient tool for exhibiting a clear difference between aggregated statistics of public transport and automobile modes. Besides, artificial neural network models which are constructed by using utility based measures are found to give considerable prediction capability with reasonable generalization especially for automobile choice.

Binary logit models show that the utility based accessibility measures having inner zone activities and rational land use has the highest prediction capability for the trips excluding work and school purposes. The logit models including only accessibility measures indicate that discrete choice can be modeled by using utility based accessibility especially for the limited discrete trip data conditions. As a result, the thesis proves that utility based accessibility is an efficient tool for the prediction of mode choice for the certain types of trip purposes and land use described in the study.

Keywords: accessibility, mode choice, binary logit model, artificial neural networks.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	v
ABSTRACT	vii

BÖLÜM BİR – GİRİŞ1

BÖLÜM İKİ – ERİŞİLEBİLİRLİK ve ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ.....5

2.1 Erişilebilirlik	5
2.1.1 Ulaştırma Sistemi Performans Ölçütü Olarak Erişilebilirlik.....	5
2.1.2 Erişilebilirliğin Tanımı	9
2.1.3 Erişilebilirlik Ölçütlerinin Sınıflandırılması.....	12
2.1.4 Yapısal Türlerine Göre Erişilebilirlik Ölçütleri.....	15
2.1.4.1 Altyapı Esaslı Erişilebilirlik	15
2.1.4.1.1 Türkiye’de Karayolu Trafığı için bir Altyapısal Erişilebilirlik Uygulaması	17
2.1.4.2 Aktivite Esaslı Erişilebilirlik	22
2.1.4.2.1 Mesafe Ölçütleri.....	22
2.1.4.2.2 İzokronal Erişilebilirlik	23
2.1.4.2.3 Potansiyel Erişilebilirlik	25
2.1.4.2.4 Ters Dengeleme Faktörleri	28
2.1.4.2.5 Konum-Zaman Etkili Erişilebilirlik	31
2.1.4.3 Fayda Esaslı Erişilebilirlik Ölçütleri	32
2.1.5 Erişilebilirlik Türlerinin Genel Değerlendirmesi.....	35
2.2 Bireysel Tür Seçim Modelleri.....	39
2.2.1 Rastlantısal Fayda Teorisi	41
2.2.2 Lojit Model.....	43

2.2.3 Maksimum Olabilirlik Yöntemi.....	45
2.3 Birleştirilmiş Ulaşım Talep Modelleri.....	49
BÖLÜM ÜÇ – AKTİVİTE VE FAYDA ESASLI ERİŞİLEBİLİRLİK	
ÖLÇÜTLERİNİN ULAŞIM TÜR SEÇİMİ İLE İLİŞKİSİ	60
3.1 Verilerin Hazırlanması.....	61
3.1.1 Çalışma Bölgesi ve Arazi Kullanış Verileri	61
3.1.2 Ulaşım Faaliyetinin Oluşturduğu Direnç	67
3.1.3 Ulaşım Tür Seçimi İstatistikleri.....	70
3.2 Aktivite Esaslı Potansiyel Erişilebilirlik (AEPE).....	72
3.2.1 Yolculuk Uzunluğuna Duyarlılık Parametresinin (α) Belirlenmesi	73
3.2.2 İzmir Kent Merkezi için AEPE Ölçütlerinin Değerlendirilmesi	78
3.3 Fayda Esaslı Erişilebilirlik (FEE).....	95
3.3.1 Yolculuk Maliyetine Duyarlılık Parametresinin (β) Belirlenmesi.....	96
3.3.2 İzmir Kent Merkezi için FEE Ölçütlerinin Değerlendirilmesi	101
3.3.3 FEE ve Tür Seçimi Arasındaki Esnekliğin Analizi ve Sınıfsal Örtüşmeler	111
3.3.4 Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli.....	116
BÖLÜM DÖRT – FAYDA ESASLI ERİŞİLEBİLİRLİĞİN BİREYSEL TÜR	
SEÇİMİNDE KULLANIMI.....	126
4.1 Verilerin Hazırlanması.....	127
4.2 Bireysel Tür Seçim Modeli Yapısı.....	129
4.3 İkili Lojistik Model Sonuçları	131
BÖLÜM BEŞ – SONUÇ	140
KAYNAKLAR.....	144
EK 1 – KISALTMALAR LİSTESİ.....	156

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Gelişmiş ve büyümekte olan kentlerimizin başta gelen problemlerinden biri kent içi trafik yoğunluğudur. Artan otomobil sahipliği, çarpık şehirleşme ve kent içi yol altyapısına yapılan plansız müdahaleler, bu sorunu günden güne büyötmektedir. Özellikle İzmir ve İstanbul gibi geçmişı yüzyıllar öncesine dayanan kentlerimizde, ekonomik ve konutsal alanların iç içe geçmiş olması ve açılan yeni konutsal alanların gerektirdiği ulaştırma altyapısının, bütünleşik ve birbiriyle uyumlu düzenlemeler yerine ilavelerle karşılanması, kent içi ulaşım performansının giderek azalmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden özel taşıt sahipliğinin halen hızla arttığı metropol kentlerimizde, ulaştırma sistemi kullanıcılarının özel taşıt kullanmak yerine toplu ulaşımı tercih etmelerinin sağlanması için ulaşım türü seçiminde etkin bileşenleri doğru performans ölçütleri ile ortaya koymak, günden güne daha çok önem kazanmaktadır.

Ulaştırma sistemleri, insanların amaçları doğrultusundaki aktivitelere katılımına hizmet eden tesisler olmasına karşın, planlama çalışmalarında ve performans değerlendirme analizlerinde, aktiviteye erişim ve bundan sağlanacak faydadan çok, ulaştırma sistemlerinin çıktılarının arttırılması ve altyapıya ait hizmet seviyelerinin yükseltilmesi üzerinde durulmaktadır. Bu sebeple, yolculuk yaratımı ve türel dağılım başta olmak üzere, ulaşım talep modellerinin her aşamasında, ulaştırma sistemi ve arazi kullanımının getirdiği aktivite olanaklarının bir arada düşünüldüğü bir performans değerlendirme ölçütüne ihtiyaç duyulmaktadır. İnsanların ve ticari aktivitelerin istenilen tesislere, ürünlere ve aktivitelere ulaşabilme kolaylığı olarak tanımlanan erişilebilirlik (Bhat ve diğ., 2001), günümüz ulaşım problemlerinin tanımlanmasındaki bu ihtiyaca karşılık verebilecek tek performans ölçütü olarak öne çıkmaktadır.

Tez çalışmasının üzerinde durduğu temel problem, ulaşım talep modellerinin en kritik ve karmaşık aşamasını oluşturan ulaşım türü seçiminin, erişilebilirlik gibi

çoğunlukla arazi kullanımına dayanan bir performans ölçütünden etkilenip etkilenmediğidir. Prensip olarak, bir ulaştırma sistemi kullanıcısının, ihtiyaç duyduğu aktivitelere yakın çevresinde ve yüksek çaba sarfetmeden ulaşabiliyor olması, özel taşıt gibi yüksek maliyetli ulaşım türlerine yönelmeye gerek duymayacağı, ulaşamıyor ise sarfedeceği çabayı azaltmak için maliyeti ikinci plana atarak özel taşıtlı yolculuğa yöneleceği beklenmektedir. Bu durumda, özellikle bireysel tür seçiminde sıkça kullanılan genelleştirilmiş yolculuk maliyeti, ikincil etkiye sahip bir değişken haline dönüşebilecektir. Özel taşıt kullanmak bir birey için hiçbir zaman en düşük genelleştirilmiş maliyete sahip ulaşım türü olamayabilmekte, ancak ihtiyaç duyulan aktiviteye göre yüksek maliyetine rağmen tercih edilen bir tür haline gelebilmektedir. Yolculuğun bittiği bölgedeki erişilebilirlik de benzer şekilde tür seçimine yansıyabilecektir. Örneğin bir ulaştırma sistemi kullanıcısının iş amaçlı gittiği bir analiz bölgesinde, öğle yemeği, iş sonrası günlük alışveriş, çocuğun okuldan alınması vb. zincir yolculuklar gerektiren aktivitelere, iş yerinin bulunduğu analiz bölgesi çevresinde yüksek bir erişilebilirlik ile ulaşabiliyor ise düşük maliyetli bir ulaşım türünü tercih edebilme alternatifi olmakta, aksi halde bu ara aktiviteler için erişilebilirliğini yükseltecek daha yüksek maliyetli ulaşım türlerine yönelmek zorunda kalmaktadır. Bu yüzden çalışmanın dayandığı hipotez, erişilebilirliğin ulaşım türü seçimi üzerinde etkili olduğudur.

Tez çalışmasında, erişilebilirliğin şehirselleşim için modellenmesi ve ulaşım türü seçimi ile ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Erişilebilirlik ölçütünün toplulaştırılmış ve bireysel tür seçim gözlemleri ile doğrudan ilişkisi üzerinde durulmuş, tür seçim kestirimi model denemeleri sadece erişilebilirlik ölçütleri ile gerçekleştirilmiştir. Erişilebilirliğin alışlagelen tür seçimi yaklaşımlarında kullanılan değişkenlerle birlikte değerlendirilmesi, tez kapsamı dışında tutulmuştur.

“Önceki Çalışmalar” başlığı altında oluşturulan tezin 2. bölümünde öncelikle, erişilebilirlik ölçütünün diğer ulaştırma sistemi performans ölçütleri içindeki yeri, tanımı, bileşenleri ve yapısal türleri ele alınmıştır. Önceki çalışmalarda kullanılan erişilebilirlik türleri olumlu ve olumsuz yönleri ile karşılaştırılarak tezin amaç, kapsam ve temin edilebilir veri koşullarına uygun olacağı düşünülen yaklaşımlar

belirlenmiştir. Daha sonra, olarak tezde gerçekleştirilen bireysel seçim modeli ve parametrelerinin hesaplanması ile ilgili temel yöntemlerden bahsedilmiştir. Son olarak, arazi kullanımı ile tür seçimini ilişkilendiren diğer bir yaklaşım olan, birleştirilmiş ulaşım talep modelleri ile ilgili temel yaklaşımlar verilmiş ve tez çalışması ile örtüşen ve farklılaşan yönleri ele alınmıştır.

3. bölümde, analiz bölgesi ölçeğinde ele alınan iki farklı erişilebilirlik türü, İzmir kent merkezi örneği üzerinde modellenmiştir. Aktivite esaslı potansiyel ve fayda esaslı erişilebilirlik ölçütleri, toplulaştırılmış tür seçimi istatistikleri için incelenmiştir. İzmir ulaşım hane halkı anketi verileri (İBB, 2009) kullanılarak oluşturulan ulaşım tür seçimi istatistikleri, analiz bölgesi bazında özel taşıt ve toplu ulaşım türlerinin seçim oranları ve bu türlere ait büyütülmüş yolculuk sayılarının bölgelerden yaratılan ve çekilen yolculuklar için düzenlenmesi ile elde edilmiştir. Erişilebilirlik ölçütlerinin bir bileşeni olan ulaşım direncine duyarlılık parametreleri, tür seçim istatistikleri ile en büyük korelasyonu sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

Bulunan ölçütler bir sonraki aşamada, İzmir kent merkezi üzerindeki değişimleri ve konumsal dağılımları bakımından incelenmiştir. Fayda esaslı erişilebilirlik, altyapı esaslı potansiyel ölçütüyle kıyaslandığında, farklı tür seçimleri arasında daha ayırt edici sonuçlar verdiği için, iki ilave analize daha tabi tutulmuştur. İlk analizde, fayda esaslı erişilebilirliğin farklı arazi kullanım tiplerine ait değerleri ile tür seçim istatistikleri arasında tatmin edici doğrusal bir ilişkinin varlığı sınanmış, esneklik regresyonları oluşturularak her bir ölçüt tipindeki yüzdelik değişimin tür seçimine ne kadar yansıdığı incelenmiştir. İkinci analizde ise doğrusal olmayan bir ilişkinin varlığı sınanmıştır. Bu amaçla, yapay zekâ temelli bir modelleme yaklaşımı olan yapay sinir ağları yöntemi, “ileri beslemeli” ağ yapısı ve “geri yayımlı” öğrenme tekniği ile kullanılmıştır.

4. bölümde, fayda esaslı erişilebilirliğin bireysel tür seçiminde kullanımı incelenmiştir. Özel taşıt ve toplu ulaşım türleri için oluşturulan ikili lojit modeller, maksimum olasılık yöntemi ile hesaplanmıştır. Analiz bölgesi ölçeğinde hesaplanan ölçütler, her bir yolculuk gözleminin başlanıç ve bitiş bölgelerine

uyarlanarak yapay bireysel veriler elde edilmiştir. Erişilebilirlik ölçütleri, arazi kullanımının alansal ve oransal olarak dikkate alınması, bölge içi erişilebilirliğin dahil ve hariç tutulması, yolculuk başlangıç ve bitişindeki ölçütlerin gerçek ve göreceli olarak ele alınması yaklaşımları ile 8 farklı model tipi denenmiştir. Bu model tipleri iş, okul ve diğer (iş ve okul amaçlı olmayan) amaçlı yolculuklar için ayrı ayrı uygulandığı gibi, tüm yolculukları içerildiği durum için de denenmiştir. Model sonuçları logaritmik olabilirlik fonksiyonuna bağlı temel başarımlar istatistikleri yardımıyla karşılaştırılarak, kayda değer başarımları sağlayan model tipleri ve yolculuk amaçları tespit edilmiştir. Seçilen modellere ait değişken istatistikleri yorumlanmıştır. Tezin 5. bölümünde ise tezin genel değerlendirmesini içeren sonuç ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM İKİ

ERİŞİLEBİLİRLİK ve ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ

Tez çalışması literatürde yer alan üç temel modelleme yaklaşımı ile ilişkilidir. Bunlar erişilebilirlik ölçütleri, bireysel tür seçim modelleri ve birleştirilmiş ulaşım talep modelleridir. Bu bölümde öncelikle, erişilebilirlik ölçütünün diğer ulaştırma sistemi performans ölçütleri içindeki yeri, tanımı, bileşenleri ve yapısal türleri ele alınmıştır. Önceki çalışmalarda kullanılan erişilebilirlik türleri olumlu ve olumsuz yönleri ile karşılaştırılarak tezin amaç, kapsam ve temin edilebilir veri koşullarına uygun olacağı düşünülen yaklaşımlar belirlenmiştir. Daha sonra, olarak tezde gerçekleştirilen bireysel seçim modeli ve parametrelerinin hesaplanması ile ilgili temel yöntemlerden bahsedilmiştir. Son olarak, arazi kullanımı ile tür seçimini ilişkilendiren diğer bir yaklaşım olan, birleştirilmiş ulaşım talep modelleri ile ilgili temel yaklaşımlar verilmiş ve tez çalışması ile örtüşen ve farklılaşan yönleri ele alınmıştır.

2.1 Erişilebilirlik

İnsanların ve ticari aktivitelerin istenilen tesislere, ürünlere ve aktivitelere ulaşabilme kolaylığı olarak tanımlanan erişilebilirlik (Bhat ve diğ., 2001), bu bölümde diğer ulaştırma sistemi performans ölçütleri içindeki yeri, tanımı, bileşenleri ve yapısal türleri detaylı olarak ele alınmıştır. Önceki çalışmalarda kullanılan erişilebilirlik türleri olumlu ve olumsuz yönleri ile karşılaştırılarak tezin amaç, kapsam ve temin edilebilir veri koşullarına uygun olacağı düşünülen yaklaşımlar belirlenmiştir.

2.1.1 Ulaştırma Sistemi Performans Ölçütü Olarak Erişilebilirlik

Trafik sayımları, hizmet seviyesi, kişi başına düşen seyahat istatistikleri, genelleştirilmiş yolculuk maliyetleri, gecikmeler, kaza istatistikleri ve benzeri birçok

ulaştırma sistemi performans ölçütü, zaman içinde gerçekleşen yaklaşım değişimleri dikkate alınarak üç temel perspektif altında gruplandırılabilir (Litman, 2003) :

- Trafik Perspektifi
- Mobilite Perspektifi
- Erişilebilirlik Perspektifi

Trafik perspektifine göre ulaşım faaliyetlerinin temelini araçların hareketi oluşturmaktadır. Bu yaklaşıma göre ulaştırma sisteminin idealizasyonu, araç başına seyahat miktarının ve hızın artması ile mümkündür. Bu yaklaşımda, ulaştırma sistemi kullanıcısı öncelikli olarak motorlu araç sürücüleridir. Sürücü olmayan yolcular, yayalar ve ulaşım ağı çevresinde yaşayan fakat otomobil kullanıcısı olmayanlar, ulaştırma sistemi kullanıcısı olarak ilk planda dikkate alınmazlar. Ulaşım türü olarak otomobil seyahatleri ön plandadır. Yaya hareketleri daha çok, otomobil kullanıcılarının park etme olanaklarına ulaşım için kullandıkları ikincil bir tür olarak değerlendirilir. Bu yaklaşımda ulaşım problemleri; özellikle otomobil sürücülerine yansıyan maliyetler, sınırlamalar ve riskler çerçevesinde tanımlanır. Ulaşım problemlerine çözüm getirme yaklaşımı olarak; yol ve park kapasitelerinin artırılması, trafik hızının yükseltilmesi, sürücü olanaklarının geliştirilmesi ve otomobil sahipliğinin yaygınlaştırılması ön plandadır. Performans ölçütü olarak trafik sayımları ve istatistikleri ön plandadır. Trafik hacimleri, ortalama seyahat hızları, hizmet seviyeleri, tıkanıklıklardan kaynaklanan gecikmeler, park istatistikleri, araç sahibi olma ve işletme maliyetleri ile kaza istatistikleri bu yaklaşımda en çok başvurulan rakamsal ölçütlerdir (Litman, 2003).

Mobilite yaklaşımına göre ulaşım faaliyetlerinin esası insanların ve eşyanın hareketi olarak tanımlanmaktadır. Yolculuk, kişi-kilometre veya ton-kilometre olarak ifade edilmektedir. Bu yaklaşım için birim başına düşen seyahat miktarının yükselmesi esas faydadır. Bu perspektife göre de, trafik perspektifindekine benzer şekilde, ulaştırma sistemi kullanıcısı olarak motorlu araç sürücülerini ön plandadır. Çünkü seyahat olarak tanımlanan kişi-km ve ton-km unsurlarının büyük bir kısmı motorlu araçlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Fakat bu yaklaşımda kullanıcı tanımı için

esas olan, seyahati oluşturan türlerin kullanım yoğunluğudur. Benzer bir örnek vermek gerekirse, yaya ve bisikletli hareketleri de, kampüs, tatil yöresi gibi bölgelerde önemli ulaşım türleri ve bu türleri kullanan bireyler de ulaştırma sistemi kullanıcıları olarak dikkate alınabilmektedir. Bu yaklaşımda, yük taşımacılığı (ton-km) yolculuk faaliyetini oluşturan önemli bir unsur olduğundan, otomobil türü dışındaki tür ve kullanıcılar, trafik perspektifinin tersine, her durumda dikkate alınmak zorundadır. Mobilite perspektifi, ulaşım problemlerini fiziksel bir hareket çerçevesi içinde değerlendirdiğinden, motorlu araç hız ve kapasitelerinin yükseltilmesi, yol kapasitelerinin ve yol ağının geliştirilmesi, toplu taşıma olanaklarının arttırılması, hızlı tren ve hava ulaşımı gibi yüksek kapasiteli ve hızlı ulaşım modlarının sisteme dâhil edilmesi ve modlar arasında etkin bağlantılar kurulması bu yaklaşımla önerilebilecek çözüm alternatifleri olarak özetlenebilir.

Ulaşım sistemleri, insanların amaçları doğrultusundaki aktivitelere katılımına hizmet eden tesisler olmasına karşın, birçok ulaşım planlamasında ve performans değerlendirme analizlerinde, aktiviteye erişim ve bundan sağlanacak faydadan çok, ulaşım sistemlerinin çıktılarının arttırılması ve altyapıya ait hizmet seviyelerinin yükseltilmesi üzerinde durulmaktadır (Geurs ve Van Eck, 2001). Hâlbuki erişim, insan ve eşya hareketini içeren tüm ulaşım faaliyetleri için temel hedeftir. Bu perspektif, gelişen erişim olanaklarını toplumun genel faydası olarak görür ve mobilitenin gelişimi bu hedefe ulaşmak için bir yöntemdir. Trafik perspektifi, bu yaklaşıma göre mobilite yaklaşımının bir alt kümesidir ve mobilite perspektifi de erişilebilirliğin bir alt kümesidir. Dolayısıyla erişilebilirlik yaklaşımı, diğer yaklaşımları kapsar (Litman, 2003).

Erişilebilirlik perspektifine göre ulaştırma sistemi kullanıcısı, herhangi bir mal, hizmet ya da aktiviteye ulaşmak isteyen bütün bireyler ile ticari faaliyetlerdir ve insanların büyük bir kısmının, ulaştırma sistemindeki erişim seçeneklerinin bir kombinasyonunu kullandığı düşünülür. Bu perspektif, erişim seçeneği olarak potansiyel önemi olan, toplu taşıma, türler arası etkileşim, motorsuz araçla ulaşım gibi tüm türleri ulaşım türü olarak dikkate alır. Ayrıca telekomünikasyon ve gönderi servisleri gibi mobilite alt türleri de, bu perspektife göre ulaştırma sistemi türleridir.

Bu yaklaşımda, ulaşım ve arazi kullanımı karakterlerinin bütünleşmiş bir etkileşimi desteklenmektedir. Ulaşım türleri, kullanıcıları ihtiyaçlarına etkin bir nitelikte ulaştırabilme yeteneklerine göre değerlendirilir. Bu yüzden, daha uzun mesafe katedilmesini gerektiren ve daha hızlı ulaşım alternatifleri yerine, yavaş olmasına rağmen daha kısa mesafeli alternatifler, erişim açısından daha etkin olarak değerlendirilir. Bu yaklaşım, mobilite ve arazi kullanımı yönetimi stratejilerinin erişilebilirliği yükseltici yönde kullanımını içeren ve ulaşım imkânlarının en geniş şekliyle kullanımını esas alan perspektiftir. Ulaşılması istenen hedeflerin arazi üzerindeki dağılımı, arazi kullanımı kompozisyonu, ulaşım ağının bağlantı durumu ve yaya hareketi olanakları, ulaştırma sistemi performansını tümüyle etkilemektedir (Litman, 2003). Erişilebilirlik, istenen hedeflere ulaşılması için ihtiyaç duyulan zaman, para (genelleştirilmiş maliyetler), konfor ve risk ölçütlerine göre değerlendirilmektedir. Erişilebilirlik, diğer ölçütlere göre ölçülmesi zor bir performans ölçütüdür. Çünkü ulaştırma sistemi karakteri, ekonomi ve coğrafi faktörlerin tümünden etkilenen kriterlerin analizini gerektirir. Bu yüzden sayısal olarak ifadesi, diğer performans analizi yaklaşımlarına göre daha güçtür.

Üç farklı performans ölçütünün temel özellikleri, Tablo 2.1’de özet olarak karşılaştırılmıştır. Erişilebilirlik konusu, coğrafya ve şehir planlama ekonomisi disiplinleri için iyi tanımlanmış bir kavram olmasına karşın, birçok ulaşım planlaması uygulaması için yeni bir kavramdır. Son yıllarda, “Bureau of Transportation Statistics” Yıllık Raporu 2001 (BTS, 2002) başta olmak üzere, birçok profesyonel ulaşım planlaması etüdünde, ulaşım planlamasının, trafik ve mobilite performans kriterlerinden ziyade erişilebilirlik kriterine dayandırılmasına ilişkin çalışmalara başlanılmıştır. Ayrıca, erişilebilirlik ölçütünün genel kabul görür karakterlere sahip sayısal bir veri olarak ifade edilmesinin standardizasyonu da, ulaşım planlamasına yönelik başta gelen araştırma konularındandır (Özuysal ve diğ., 2003).

Tablo 2.1 Ulaştırma sistemi performans ölçütlerinin karşılaştırılması (Litman, 2003)

Özellik	Trafik Perspektifi	Mobilite Perspektifi	Erişilebilirlik Perspektifi
<i>Ulaştırmanın Tanımı</i>	Otomobil seyahatleri	İnsanların ve eşyanın hareketi	Malların, hizmetlerin ve aktivitelerin elde edilebilme kolaylığı
<i>Ulaşım Ölçü Birimi</i>	Araç-km ve araç-seyahat	Kişi-km, kişi-seyahat ve ton-km	Hedeflerin erişim kolaylığı
<i>Dikkate Alınan Ulaşım Türleri</i>	Otomobil	Otomobil, kamyon ve toplu taşıma	Telekomünikasyon gibi alt türleri de içeren tüm türler
<i>Genel Performans Ölçütleri</i>	Trafik hacmi ve hızı, hizmet seviyeleri, araç-km başına düşen maliyetler, park etme olanakları ve maliyetleri	Kişi-seyahat hacimleri ve hızları, yol ve toplu taşıma hizmet seviyeleri, kişi-seyahat başına maliyetler, seyahat edilebilme olanakları	Türler arası hizmet seviyeleri, arazi kullanımı karakteri, aktivitelere çeşitli alternatiflerle ulaşımın geliştirilmiş maliyetleri
<i>Kullanıcı Açısından Fayda Kabulleri</i>	Maksimum otomobil-km ve hız, yeterli park etme olanakları, düşük araç maliyetleri	Maksimum kişisel seyahat ve maksimum eşya hareketi	Maksimum ulaşım alternatifi, etkin arazi kullanımı, kabul edilebilir genel maliyetler
<i>Arazi Kullanımı Anlayışı</i>	Düşük yoğunluk, karayolu çevresinde dallanmış şehrsel verleşim	Toplu taşıma için elverişli, öbeklenmiş arazi kullanımı	Öbeklenmiş ve entegre arazi kullanımı, etkin ulaşım ağı bağlantıları
<i>Ulaşım Sistemini Geliştirme Anlayışı</i>	Yol ve park kapasitelerinin gelişmesi, yüksek hız ve erişim kontrolü	Yükselen ulaşım sistem kapasitesi, yüksek hız ve güvenlik	Ulaşım sistemi ve arazi kullanımının geliştirilmesine yönelik dengeli ilerleme
<i>Stratejileri</i>			Etkinlik ve güvenlik, alternatiflerin artırılması
<i>Seyahat Talep Yönetimi Açısından Uygulanabilirliği</i>	Tıkanıklığın çok yüksek olduğu bölgeler dışında, motorlu taşıt ulaşımının azaltılması istenilmez.	Yük ve yolcu mobilitasını geliştirmeye yönelik seyahat talep yönetimi stratejilerini destekler.	Kaynakların etkin kullanımı birinci planda geldiği sürece, seyahat talep yönetimi stratejilerini destekler.

2.1.2 Erişilebilirliğin Tanımı

Erişilebilirlik, ulaşım sistemi ve arazi kullanışı özelliklerini birleştiren bir performans ölçütüdür. Bu temel özelliği, erişilebilirliğin teorik temellerinin kurulmasında birçok araştırmacı tarafından hareket noktası olarak seçilmiştir (Weibull, 1980, Bach, 1981). Herhangi bir erişilebilirlik ölçütünün, bu iki elemandan birinde veya her ikisinde oluşan değişimleri yansıtması gerektiği kabul edilmektedir

(Handy ve Niemeier, 1997). Weibull (1980) erişilebilirlik ölçütlerinin temel yapısı için üç genel kabul önermiş ve ondan sonraki birçok araştırmacı bu kabulleri benimsemiştir (Miller, 1999, Tagore ve Sikdar, 1996). Bunlardan ilki, genellikle arazi kullanışı verileriyle ortaya konan ve “olanaklar” olarak isimlendirilen değişkenler arasında sıralamadan kaynaklanan bir öncelik olmamasıdır. Dolayısıyla erişilebilirlik ölçütü, olanak verilerinin sıralamasından bağımsızdır. İkinci kabul, erişilebilirliğin artan yolculuk maliyeti ile azalacağı, artan olanaklar ile ise yükseleceğidir. Dolayısıyla, erişilmek istenen olanaklar fayda yaratırken, bunlara yapılacak yolculuk faydasızlık yaratmaktadır. Üçüncü ve son kabul, sıfır değerine sahip olanakların erişilebilirlik ölçütüne katkı vermemesidir. Bu kabul, ölçüt formülasyonu oluşturulurken, olanakların nerede ve nasıl yer alacağını etkilemektedir.

Erişilebilirlik, farklı şekillerde ele alınıp uygulandığından literatürde çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Bu tanımlamalardan en yaygın kabul görenleri “etkileşim açısından olanakların potansiyeli” (Hansen, 1959), “belirli bir ulaştırma sistemi kullanılarak bir arazi kullanım aktivitesine ulaşabilme kolaylığı” (Dalvi ve Martin, 1976), “bireylerin farklı aktivitelere katılabilme özgürlüğü” (Burns, 1979), “ulaşım/arazi kullanım sisteminin sağladığı fayda” (Ben-Akiva ve Lerman, 1979) ve “insanların ve ticari unsurların istenilen tesislere, ürünlere ve aktivitelere ulaşabilme kolaylığı”dır (Bhat ve diğ., 2001). Ayrıca literatürdeki bazı çalışmalarda erişim ve erişilebilirlik terimleri, yolcuların istasyon ve benzeri ulaşım tesislerini kullanabilme kolaylığı olarak da ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında ele alınan erişilebilirlik kavramı bunun dışında olup ulaşım türü seçimindeki fayda fonksiyonunda, ulaşım/arazi kullanım sisteminin etkileşimli rolü üzerinde durulmaktadır. Dolayısıyla Ben-Akiva ve Lerman (1979) tarafından yapılan tanım, erişilebilirliğin tez çalışmasındaki kullanımına en yakın tanımdır.

Tamamı uygulanmakta olan tüm erişilebilirlik türleri tarafından içerilmemekle birlikte, erişilebilirlik ölçütleri 4 ana bileşenden oluşmaktadır: arazi kullanışı, ulaştırma sistemi, zamansal ve bireysel bileşenler. Bunlardan ilk ikisi genel geçerliliği olan ve hemen hemen tüm erişilebilirlik türlerinde yer alan bileşenler olup

zamansal ve bireysel bileşenler, son yıllarda geliştirilen yeni yaklaşımlarda yerini almaktadır (Geurs ve van Wee, 2004).

Çoğu erişilebilirlik yaklaşımında “olanaklar” olarak isimlendirilen arazi kullanışı, erişilebilirlik ölçütlerine üç farklı boyutuyla yansıtılabilmektedir:

- i. Bir yolculuk sonucu varılan bitiş noktasındaki baskın aktivite türünün miktarı, niteliği ve konumsal dağılımı,
- ii. Yolculuğun başlangıç noktasında bu olanaklara duyulan ihtiyaç,
- iii. Olanaklara ait arz ve talep dengesi.

Arz ve talep dengesi, istihdam gibi sınırlı kapasiteye sahip olanaklar için rekabet şartlarının dikkate alındığı ölçütlerde değerlendirilmektedir.

Ulaştırma sistemi bileşeni, yolcuların başlangıç noktasından bitiş noktasına belirli bir ulaşım türü ile giderken karşılaştığı faydasızlığı zaman (yolculuk, bekleme, park etme vb.) ve efor (güvenilirlik, konfor, güvenlik vb.) cinsinden ölçüte yansıtan bileşendir. Bu faydasızlık ulaştırma sisteminin arz ve talebinden doğmakta, ulaşım altyapısının konum ve karakteristiklerinden (maksimum seyahat hızı, şerit sayısı, toplu ulaşım zaman çizelgeleri, yolculuk maliyeti vb.) arz boyutunda etkilenmektedir (Geurs ve van Wee, 2004).

Erişilebilirliğin zamansal bileşeni, zamanla ilgili sınır koşullarını ölçüte yansıtmak amacıyla kullanılmakta olup olanakların günün belirli bir dilimindeki kullanılabilirliği, bireylerin belirli bir aktiviteye katılmak için ayırabileceği zaman gibi çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir. Erişilebilirlik ölçütlerinin bireysel bileşeni ise bireylerin yaş, gelir, eğitim düzeyi gibi özelliklerine bağlı ihtiyaçları, fiziksel imkân ve ulaşım türlerine ulaşılabilirlik gibi yeterlikleri ve yine gelir, ulaşım bütçesi gibi karakteristiklerinden kaynaklanan imkânlarından oluşmaktadır. Cervero v.d. (1997) ve Shen (1998) tarafından gerçekleştirilen ve erişilebilirliğin bireysel boyutu üzerinde duran çalışmalarda, iş erişilebilirliğinin kişisel niteliklere büyük ölçüde bağımlı olduğu sonucuna varılmıştır.

2.1.3 Erişilebilirlik Ölçütlerinin Sınıflandırılması

Günümüze değin geliştirilen erişilebilirlik ölçütlerinin sınıflandırılmasında, ortak yönleri olmakla birlikte, literatürde dört farklı sınıflandırma türü ortaya çıkmaktadır. Bu bölümde mevcut üç sınıflandırmadan kısaca bahsedilecek, tez çalışmasında kullanılan erişilebilirlik sınıflandırmasına en yakın olan Geurs ve van Eck'e (2001) ait yapısal sınıflandırma üzerinde ayrıntılı olarak durulacaktır.

Handy ve Niemeier (1997) erişilebilirlik ölçütlerini üç türe ayırmaktadır: izokronal, çekim esaslı ve fayda esaslı. İzokronal ölçütler aynı zamanda “kümülatif olanaklar” olarak da isimlendirilmekte, belirli bir yolculuk süresi, mesafesi veya genelleştirilmiş maliyeti ile ulaşılabilecek toplam olanağı ifade etmektedir:

$$A_i = \sum_j W_j a_j \quad (2.1)$$

Burada “ a_j ” bir “ j ” analiz bölgesindeki arazi kullanım cinsinden olanakları göstermektedir. “ W_j ”, “ j ” bölgesinin belirlenen “ c_{ij} ” yolculuk maliyeti sınırı ile ulaşılabilir olması durumunda “1”, aksi halde “0” değerini almaktadır. Örneğin 30 dakikalık bir toplu ulaşım yolculuğu ile ulaşılabilir iş olanakları, izokronal bir erişilebilirlik ölçütüdür.

Çekim esaslı ölçütler, yerçekimi modelinin paydasından türetildiği için bu adı almıştır. İlk olarak Hansen (1959) tarafından türetilen çekim esaslı ölçütlerin genel formu aşağıdaki gibidir:

$$A_i = \sum_j a_j f(c_{ij}) \quad (2.2)$$

Burada “ $f(c_{ij})$ ”, “ i ” analiz bölgesinden “ j ” bölgesine yapılan yolculuk için direnç fonksiyonudur. Bu durumda izokronal ölçüt çekim esaslı ölçütün, direnç fonksiyonunun belirlenen bir yolculuk maliyetine “1” ve “0” değerlerini aldığı özel

bir formudur. Bu ölçüt, arazi kullanışı ve ulaştırma sistemi özelliklerinin etkileşimli olarak kullanıldığı ilk örnektir.

Fayda esaslı ölçütler ise rastlantısal fayda teorisine dayanmaktadır. İlerleyen bölümlerde detaylı olarak ele alınan rastlantısal fayda teorisi, kişilerin en yüksek faydaya sahip alternatifi seçtiği ve bu faydanın ölçülebilen ve ölçülemeyen (rastlantısal) olmak üzere iki bileşenden oluştuğu kabulü üzerine kuruludur. Rastlantısal bileşenin özdeş ve birbirinden bağımsız olarak Gumbel (veya Tip I Ekstrem Değer) dağılımına sahip olduğunu kabul eden Çoklu Lojit Model için bir bireyin bir seçenekler kümesinden elde edebileceği maksimum faydanın beklenen değeri, “ μ ” ölçek parametresi ile aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$E(\max_{i \in C_n} U_{in}) = \frac{1}{\mu} \ln \sum_{i \in C_n} \exp(\mu V_{in}) \quad (2.3)$$

Burada “ V_{in} ”, “ U_{in} ” faydasının ölçülebilen (sistemik) bölümünü, “ i ” “ n ” bireyine ait “ C_n ” talep seçim alternatifleri kümesinin bir elemanını ifade etmektedir. Fayda esaslı ölçüt, bu maksimum faydanın beklenen değerini erişilebilirlik ölçütü olarak kullanmaktadır. Fayda esaslı yaklaşımın avantajı, erişilebilirliği bireysel düzeyde ele alabilmesidir. Ben-Akiva ve Bowman (1998) ve daha sonra Dong v.d. (2006) bu yaklaşıma bireylerin günlük aktivite planları ve birbirini takip eden zincir yolculuklardan elde edilebilecek fayda üzerinde durarak aktivite esaslı erişilebilirliği türetmiştir.

Bhat v.d. (2001) tarafından yapılan sınıflandırma şekli arazi kullanım verilerinden elde edilen olanakların ne şekilde ele alındığı ile ilgili olup 5 sınıf önermektedir. Bunlar konumsal ayrıştırma, kümülatif olanaklar, çekim, fayda ve konum-zaman ölçütleridir. Konumsal ayrıştırma ölçütü, bir analiz bölgesinin diğer tüm analiz bölgelerine olan uzaklıklarını erişilebilirlik olarak dikkate almakta olup, sadece temel arazi yerleşimi ile ilgilenen, ulaştırma sistemi altyapısını dikkate almayan en basit ölçüt türüdür. Kümülatif olanaklar, Handy ve Niemeier (1997)’in sınıflandırmasında olduğu gibi, bir yolculuğun çekiciliğini dikkate almakta, bir analiz bölgesinden

belirlenmiş bir yolculuk süresi veya uzaklığı içinde yapılabilecek bir yolculukta elde edilebilecek olanaklar toplamını ifade etmektedir. Çekim ölçütleri sürekli bir yapıya sahip olup bir analiz bölgesinden ulaşılabilir olanakların tamamını analiz bölgesinden zaman veya uzaklıklarına göre azaltarak toplamaktadır. Fayda ölçütleri de Handy ve Niemeier (1997)'in sınıflandırmasıyla örtüşmekte, bireyler tarafından farklı ulaşım alternatifleri için algılanan faydadan hareketle, ulaşım alternatiflerinden elde edilmesi beklenen toplam faydanın doğal logaritması ile ifade edilmektedir. Konum-zaman ölçütleri ise, erişilebilirlik konseptine üçüncü bir boyut katmakta, bireylerin yolculuk seçiminde dikkate aldığı yolculuğun gün içindeki yeri gibi zamansal bileşenlerini de ölçütte etkin hale getirmektedir (Bhat ve diğ., 2001).

Van Wee v.d. (2001) ise erişilebilirlik ölçütlerini üç ana yapısal sınıfa ayırmıştır: altyapıya ilişkin, aktiviteye ilişkin ve karma ölçütler. Altyapıya ilişkin ölçütler, ulaşım altyapısının karakteristikleri ve kullanımı üzerine kuruludur. Karayollarındaki hız, yolculuk süreleri, karayollarının veya demiryollarının toplam uzunluğu, yol ağının bir analiz bölgesindeki yoğunluğu (km^2 'ye düşen km yol şeridi miktarı vb.) gibi altyapıya dayalı göstergeler, altyapı esaslı erişilebilirliğe örnek olarak verilebilmektedir. Bu ölçüt, daha önce değinilen arazi kullanışını kapsayan hesaplamalara benzememekle birlikte, geniş ölçekli araştırmalar için etkin bir performans göstergesi sağlamaktadır. Van Wee v.d. (2001), aktiviteye ilişkin ölçütleri, yaşama, çalışma, alışveriş ve rekreasyon gibi aktiviteleri içeren ölçütler olarak genel bir kalemde tanımlamakta, 45 dakika içinde ulaşılabilir iş olanaklarını bu tür yaklaşıma örnek olarak vermektedir. Bu tanım, Handy ve Niemeier (1997)'in izokronal erişilebilirlik tanımıyla örtüşmektedir. Karma ölçütler ise altyapı ve aktiviteyi birlikte içeren ölçütler olarak tanımlanmakta, konutsal veya üretimsel alanların toplu ulaşım istasyonlarına olan uzaklıkları gibi göstergeleri, karma ölçütlere örnek olarak vermektedir. Van Wee v.d.'ne ait sınıflama, erişilebilirliğin teorik ve yapısal boyutundan çok temel kullanım amacına yöneliktir.

2.1.4 Yapısal Türlerine Göre Erişilebilirlik Ölçütleri

Erişilebilirlik ölçütlerinin teorik yapısı ve kullanım amaçlarına göre literatürdeki en kapsamlı sınıflandırması Geurs ve Van Eck (2001) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre erişilebilirlik üç ana türden ve bunlara ait alt türlerden oluşmaktadır:

1. Altyapı esaslı erişilebilirlik
2. Aktivite esaslı erişilebilirlik
 - a. Mesafe ölçütleri
 - b. İzokronal ölçütler
 - c. Potansiyel erişilebilirlik
 - d. Ters dengeleme faktörleri
 - e. Konum-zaman etkili ölçütler
3. Fayda esaslı erişilebilirlik

Tez çalışması bu sınıflandırmanın üç ana türünden de uygulamalar içerdiğinden Geurs ve van Eck'e ait sınıflandırma aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

2.1.4.1 Altyapı Esaslı Erişilebilirlik

Yolculuk süresi, trafik tıkanıklığı maliyeti, işletme hızları gibi altyapı esaslı erişilebilirlik ölçütleri, halen birçok erişilebilirliğe ilişkin ulaşım politikasında önemli bir rol almaktadır. Özellikle uzun vadeli ve geniş ölçekli stratejik planlarda altyapısal ölçütler tercih edilmektedir. Birçok Avrupa ülkesindeki ulaşım politikalarının şekillendirilmesinde, altyapısal erişilebilirliğin gelişmesi, ekonomik gelişme açısından önemli kabul edilmekte, bir bölgenin veya nüfusun belirli bir kesiminin ekonomik gelişimden yoksun kalmasını önlemede altyapısal erişilebilirliğin başta gelen bir kriter olduğu düşünülmektedir (Geurs ve van Eck, 2001). Örneğin İngiltere'nin 2010 ulaşım politikası planlarında toplam yolculuk süreleri ve tıkanıklık ana erişilebilirlik ölçütleri olarak dikkate alınmıştır (DETR, 2000). Hollanda'ya ait ulusal trafik ve ulaşım planında ise belirli arterlerdeki tıkanıklık olasılıklarının %2 ila

%5 olması, toplu ulaşım ile özel taşıt arasındaki yolculuk süresi oranının 1,5 olması, geciken toplam tren seferi sayısının belirli sınırlar içinde kalması, ana arterlerde zirve saat seyahat hızının 60 km/saat'in altına düşmemesi gibi temel altyapısal ölçütler kabul edilmiştir (NVVP, 2001). Ayrıca bölgeler veya ülkeler arasındaki karşılaştırmalı çalışmalarda da karayollarının toplam uzunluğu, demiryolu istasyonu sayısı gibi temel altyapısal erişilebilirlik ölçütleri kullanılmaktadır (V&W, 1999).

Altyapı esaslı erişilebilirlik, ulaştırma sistemi ve arazi kullanımını birlikte kullanan aktivite ve fayda esaslı ölçütlerle kıyaslandığında çok farklı sonuçlar verebilmektedir. Örneğin Linneker ve Spence (1992) tarafından İngiltere genelinde yeni bir otoyolun etkilerini analiz etmek amacıyla yapılan bir çalışmada iş olanaklarına erişilebilirlik, km başına işletme maliyeti ve yolculuk süresi gibi altyapısal ölçütler kullanıldığında, Londra'da en yüksek, İskoçya'da en düşük değerleri alırken, potansiyel erişilebilirlik kullanıldığında tam tersi bulunmuştur. Bu yüzden altyapısal ölçütlerin hangi amaçla kullanıldığı büyük önem taşımakta, iş olanakları gibi arazi kullanımının doğrudan etkili olduğu araştırmalarda altyapısal ölçütlerden daha çok, aktivite ve fayda esaslı türlere yönelmek gerekmektedir.

Ulaşım planlaması literatüründe, geleneksel altyapı esaslı ölçütlerden aktivite esaslı ölçütlere yönelimin gerekliliğini vurgulayan birçok çalışma bulunmaktadır (Ewing, 1993, Cervero ve diğ. 1997). Çünkü altyapısal ölçütler, bir bölgede ulaşım altyapısının sağladığı hizmet düzeyi hakkında oldukça yararlı bir gösterge oluşturmakta, ancak ulaşılma ihtiyacı duyulan arazi kullanım olanaklarının, analiz bölgesinden çok daha uzak bir konumda yer alması durumunu tanımlamada ve erişilebilirliğe yansıtmada yetersiz kalmaktadır. Ayrıca ulaşım altyapısının hizmet düzeyindeki artışının arazi kullanımına etkisini yansıtamamaktadır. Örneğin, bir kentte yolculuk sürelerinin kısalması, arazi kullanımının merkezden dağılmasına ve merkez kent etrafındaki yapılanmanın artmasına neden olacak, ancak yalnızca altyapısal değişimin dikkate alındığı ölçütlerde yeni yapılaşmanın erişilebilirliği ne yönde etkilediği tespit edilemeyecektir (Ewing, 1993, Geurs ve van Eck, 2001).

2.1.4.1.1 Türkiye’de Karayolu Trafiği için bir Altyapısal Erişilebilirlik Uygulaması: Özuysal ve Tanyel (2008) tarafından, altyapı esaslı erişilebilirliğe ilişkin yapılan bir çalışmada, toplam karayolu uzunluğunun özel ve ticari taşıt kullanımındaki etkisi, dolayısıyla altyapısal erişilebilirliğin kısıktırılmış karayolu talebine sebep olup olmadığı araştırılmıştır. Altyapısal ölçüt, geniş çaplı stratejik plan belirlemeye yönelik araştırmalarda kullanıldığından, analiz bölgesi olarak Türkiye’nin 43 kentini kapsayan bir alanda şehirlerarası yolculuklar dikkate alınmış, tür seçiminden ziyade belirli bir ulaşım türünün kullanım miktarı üzerinde durulmuştur.

Tez çalışmasının hareket noktasını oluşturan analizde ulaşım altyapısı ve talebine ilişkin dört ana veri kullanılmıştır. Bunlar, karayolu ulaşımının arz ve talep göstergeleri olarak kullanılan toplam karayolu şerit-km (TKŞKM), toplam araç-km (TAKM), taşıt başına araç-km (TBAKM) ve taşıt sayısı (TS) oluşturmaktadır. Her bir şehirde yıllara göre değişimi elde edilen TKŞKM, ana veriler içinde tüm modellerde bağımsız değişken olarak yer alan altyapısal erişilebilirlik ölçütüdür. Bu veri T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından her yıl yayınlanan “Yıllık Trafik ve Ulaşım Verileri” raporlarından elde edilmiştir (TCK, 1990–2004). Altyapısal erişilebilirliğin geliştirilmesi bakımından, en belirgin kalem olan sadece otoyol ve çevre yolu gibi geniş kapsamlı karayolu yatırımları dikkate alınmıştır. Düzenli yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) sayımları sadece devlet yolları üzerinde yapıldığından, toplam araç-km (TAKM) verilerinin sağlıklı elde edilebilmesi için analizde sadece devlet yolları dikkate alınmış, il yolları ve kentiçi yollar, dolayısıyla kentiçi yolculuklar dikkate alınmamıştır.

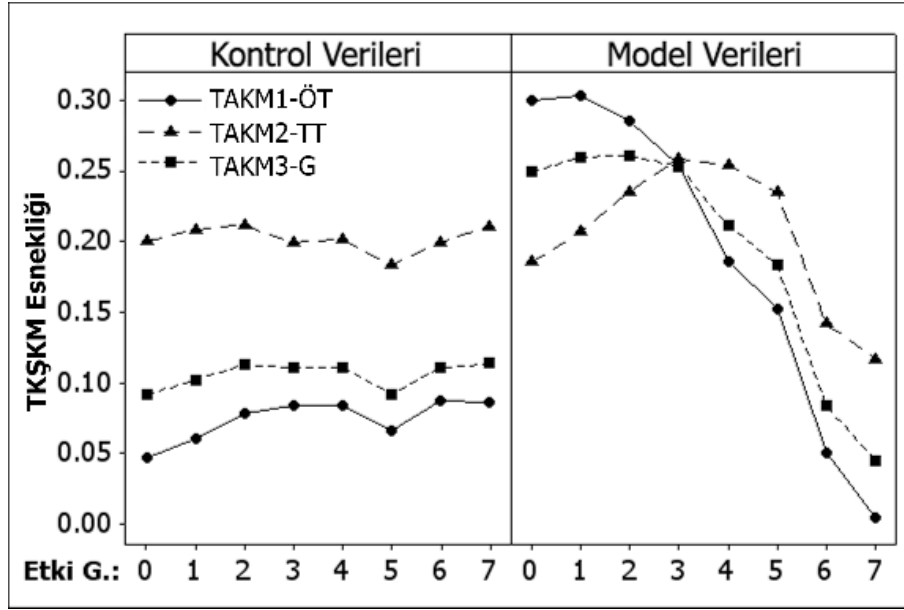
TAKM, ülkemiz karayollarında toplamın %91,9’u (TCK, 2005) düzeyinde olan yük taşımacılığının etkisini de incelemek amacıyla, üç farklı türde ele alınmıştır: özel taşıtlar (TAKM1-ÖT), ticari taşıtlar (TAKM2-TT) ve genel (TAKM3-G). Toplam yolculuk uzunluklarının her bir şehre ait ilgili taşıt sayılarına bölünmesi ile elde edilen taşıt başına günlük araç-km (TBAKM) değerleri de aynı şekilde sınıflandırılmıştır.

Altyapısal erişilebilirliğin uzun vadedeki etkisini incelemek üzere dikkate alınan taşıt sayıları Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK, 1990-2004) yıllık yayınlarından elde edilmiştir. Taşıt sayıları, kullanım amacının etkisini incelemek amacıyla farklı modellerde 5 değişik taşıt sayısı kullanılmıştır: özel otomobil sayısı (TS1-ÖÖ), toplam otomobil sayısı (TS2-TO), tüm cinsleri için özel taşıt sayısı (TS3-TCÖT), ticari taşıt sayısı (TS4-TT) ve tüm cinsleri için toplam taşıt sayısı (TS5-TCT).

Analiz temel olarak TAKM, TBAKM ve TS'nin bağımlı değişken, TKŞKM ve diğer sosyo-ekonomik değişkenlerin bağımsız değişken olarak kullanıldığı esneklik regresyonlarının oluşturulması ve 0~7 yıl arasında değişen etki gecikmeleri altında TKŞKM esnekliklerinin izlediği eğilimin ortaya konmasından oluşmaktadır.

TKŞKM'nin esneklik eğilimleri, kontrol ve model verileri karşılaştırıldığında, etki gecikmelerine göre değişim ve aralık olarak birbirinden oldukça farklıdır. Bu durum, çalışmanın kısıktırılmış talep hipotezini doğrulamaktadır. Şekil 2.1'de TAKM'nin bağımlı değişken olduğu regresyonlardaki TKŞKM esnekliklerinin 0~7 yıl arasında değişen etki gecikmeleri için değişim görülmektedir. Kontrol verilerine ait esneklikler hemen hemen yatay ve TAKM2-TT haricinde düşük düzeylerde seyretmektedir. Ticari taşıt yolculukları için altyapısal erişilebilirliğin düzeyi, herhangi bir geliştirme çalışması olmaması durumunda bile, özel taşıt yolculuklarına kıyasla yaklaşık 2 kat daha önemlidir. Model verilerine ait özel taşıt TAKM regresyonlarındaki TKŞKM esnekliği, kontrol verilerine göre, 5 yıla kadar olan etki gecikmeleri için oldukça yüksektir. Etki gecikmesiz ve 1 yıl etki gecikmeli durum için kontrol regresyonlarının yaklaşık 5 katı esnekliğe sahiptir. 6 ve 7 yıllık etki gecikmeleri için ise kontrol verilerine ait esnekliğin altına düşmektedir. Bu durumdan altyapısal erişilebilirlikteki gelişimin, ilk beş yıl boyunca TAKM açısından talebi kısıktırıldığı, beş yıldan sonra ise talep üzerindeki etkisini yitirdiği anlaşılmaktadır.

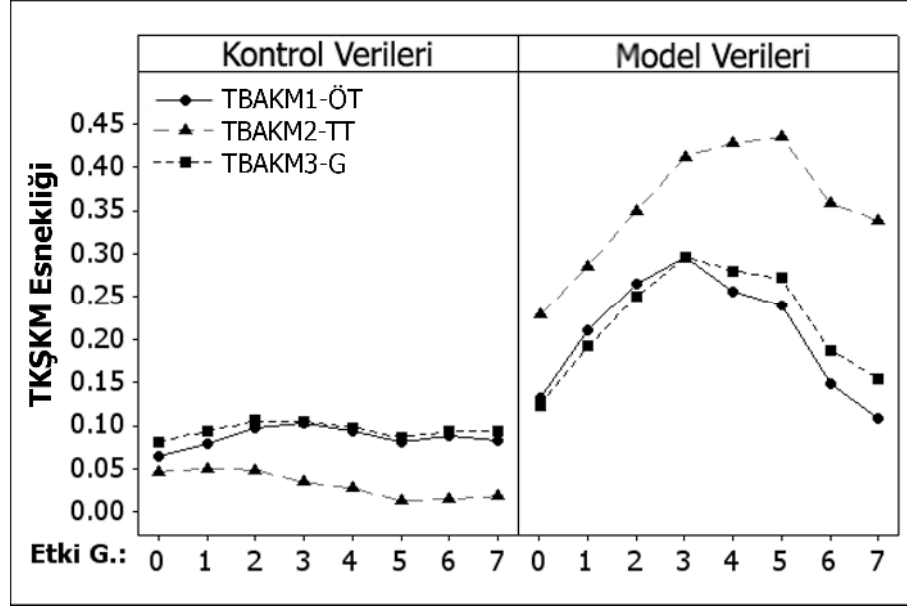
Ekonomik aktiviteye ait karayolu araç-km için TKŞKM esneklikleri, diğer iki türe kıyasla yeni karayolu yatırımına daha yavaş ve düşük düzeyde reaksiyon



Şekil 2.1 TAKM talep değişkeni için TKŞKM esneklik eğilimleri

verildiğini göstermektedir. Ancak özel taşıt TAKM'ye ait eğilimde olduğu gibi, TAKM2-TT için de son iki etki gecikmesi kontrol verilerinin altına inerek sonuçlanmaktadır.

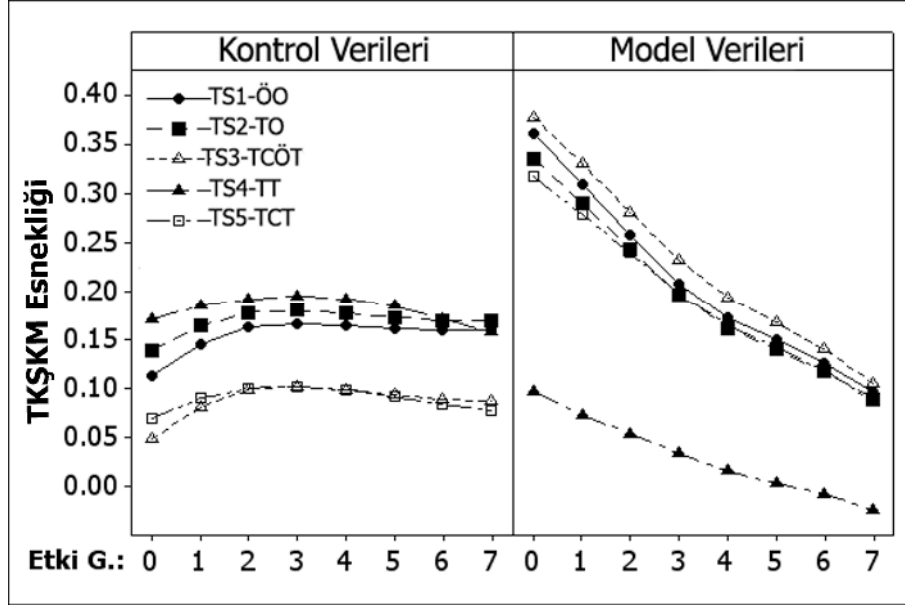
TKŞKM'nin bağımlı değişken TBAKM olduğunda ortaya çıkan esneklik eğilimleri Şekil 2.2'de görülmektedir. Kontrol verileri için esneklik değerleri 0-0.1 aralığında hemen hemen yatay bir trend izlerken, model verileri için 3 ve 4 yıllık etki gecikmelerine kadar belirgin bir şekilde yükselmekte ve daha sonra tekrar başlangıç değerlerine dönmektedir. Özellikle ticari taşıtlara ait TKŞKM esneklikleri, kontrol verilerine ait değerlerin yaklaşık 8 katına çıkmakta ve başlangıç değerinin iki katı kadar bir esneklikte sonuçlanmaktadır. Bu durum, TBAKM2-TT için altyapısal erişilebilirliğe bağımlılığın çok daha yüksek ve kalıcı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Taşıt başına yolculukların özel taşıt (TBAKM1-ÖT) ve tüm türler (TBAKM3-G) için başlangıçtaki esneklik değerine dönüyor olması, karayolu altyapısındaki yükselmenin yarattığı talep artışının zamanla sönümlendiği anlamına gelmektedir.



Şekil 2.2 TBAKM talep değişkeni için TKŞKM esneklik eğilimleri

TKŞKM esneklik eğilimlerinin taşıt sayısına (TS) göre esneklikleri incelendiğinde (Şekil 2.3), ticari taşıt sayısı (TS4-TT) hariç tüm eğrilerin model verileri için birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Küçük etki gecikmeleri için kontrol verilerine göre yaklaşık iki kat daha büyük olan esneklik değerleri, 7 yıllık etki gecikmesi sonunda yaklaşık olarak kontrol verilerine ait düzeye ulaşmaktadır. Taşıt sayısına ait esnekliklerin, altyapısal erişilebilirliğin geliştirilmesiyle birlikte kısa vadede bu kadar büyük farklılıklar göstermesi bir miktar şaşırtıcı ve güvenilirliği şüphe uyandıran bir sonuçtur. Ancak kontrol ve model verileri açık bir trend farkına sahiptir. Bu durum, altyapısal erişilebilirliğin taşıt sayısını etkilediğini göstermekte, ancak esneklik analizi türü bir yaklaşımın, talebin ikincil bir etkisi olan taşıt sayısı üzerinde uygulanmasının güvenilir sonuçlar veremeyeceği izlenimi uyandırmaktadır. Ticari taşıtlarda TAKM ve TBAKM için görülen eğilimin TS için (TS4-TT) azalan nitelikte çıkması da bu izlenimi desteklemektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen TKŞKM esnekliklerinin, kontrol ve model verileri için açık bir şekilde farklı eğilimler göstermesi, altyapısal erişilebilirlikteki değişimin karayolu ulaşım talebini tetiklediğini, dolayısıyla kısırlanmış talebe sebep olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.3 TS talep değişkeni için TKŞKM esneklik eğilimleri

Taşıt başına seyahat uzunluğuna ait esneklikler, toplam araç-km ve taşıt sayısı esneklikleri ile kıyaslandığında, kısırtılmış talebi en net ve tutarlı şekilde ortaya koyan talep değişkeninin TBAKM olduğu sonucuna varılmaktadır. Çünkü kontrol verileri için “0”a yakın ve hemen hemen sabit seyreden esneklikler, model verileri için 3 farklı TBAKM türü için de belirli bir etki gecikmesine kadar pik yaparak ardından azalma göstermiştir.

TBAKM için maksimum esneklik, özel taşıtlarda 3, ticari taşıtlarda 5 yıllık etki gecikmesi ile elde edilmiştir. Dolayısıyla taşıt başına araç-km’deki yeni karayolu yatırımı ile artma eğiliminin, ekonomik aktivitelerde daha uzun süre etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Analiz kapsamında esneklik regresyonları için yapılan parametre stabilite testleri birçok regresyon için, şehir ve zaman bazında bölümlenmede iyi sonuçlar verirken, karayolu şeridi alansal yoğunluğuna göre yapılan bölümlenmede tatmin edici sonuçlar vermemiştir. Dolayısıyla altyapısal erişilebilirliği geliştirilen bölgelerde, yeni yatırımlar öncesi karayolu örgünlüğünün de önemli bir etken olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç mevcut ulaşım olanaklarının, arazi kullanışı, ihtiyaç duyulan ulaşım aktivitesi, ulaşım faaliyetinden beklenen fayda gibi, diğer kapsamlı

erişilebilirlik ölçütleri ile talep tahmin sürecine yansıtılması gerekliliğini ortaya koymuş ve tez çalışmasında altyapısal ölçütler yerine, daha gelişmiş erişilebilirlik yapısal türleri üzerinde durulmuştur.

2.1.4.2 Aktivite Esaslı Erişilebilirlik

Aktivite esaslı erişilebilirlik, ulaşmak istenen arazi kullanım olanaklarının, tür, nitelik ve miktarlarına bağlı olan, dolayısıyla ulaşım faaliyetiyle elde edilmesi mümkün olan aktivite fırsatlarını dikkate alan erişilebilirlik ölçütüdür. Literatürde karşılaşılan birçok türü kapsayan aktivite esaslı ölçütleri 5 alt sınıfta incelemek mümkündür:

1. Mesafe ölçütleri
2. İzokronal ölçütler
3. Potansiyel ölçütler
4. Ters dengeleme faktörleri
5. Konum-zaman etkili ölçütler

2.1.4.2.1 Mesafe Ölçütleri: Literatürde uygulanan en basit mesafe ölçütü Ingram'ın (1971) kullandığı “göreceli erişilebilirlik”tir. Çalışma alanı üzerindeki iki nokta arasındaki bağlantı derecesi olarak ifade edilen göreceli erişilebilirlik, en basit haliyle iki nokta arasındaki düz çizginin uzunluğu olarak ele alınabildiği gibi, ulaşım altyapısı esaslı, iki nokta arasındaki ortalama seyahat süresi ve/veya ortalama hıza dayanan bir ölçüt olarak da uygulanabilmektedir.

Mesafe ölçütleri, daha çok arazi kullanımı politikalarının belirlenmesinde ve belirli bir bölgeye veya ulaşım altyapısına maksimum ulaşım zamanı veya mesafenin standartlaştırılmasına yönelik coğrafi analizlerde kullanılmaktadır. Örneğin, bir yerleşimde yaşayanların 30 dakikalık bir yolculuk süresiyle bir hastaneye ulaşması veya evinden 500 m uzaklık içinde mutlaka bir toplu taşıma istasyonu bulunması şartlarının kontrol ve analizi, göreceli erişilebilirlik uygulamalarındandır.

Mesafe ölçütü, ulaştırma sistemi aktivitesi ile konumu ilişkilendiren en basit ve uygulanması en kolay erişilebilirlik ölçütü olmasına karşın, yalnızca yolculuk bitiş noktasının bilindiği durumlarda kullanılabilmektedir. İki ve daha fazla yolculuk bitiş noktası için erişilebilirlik analiz edilecek ise izokronal erişilebilirlik kullanılmalıdır.

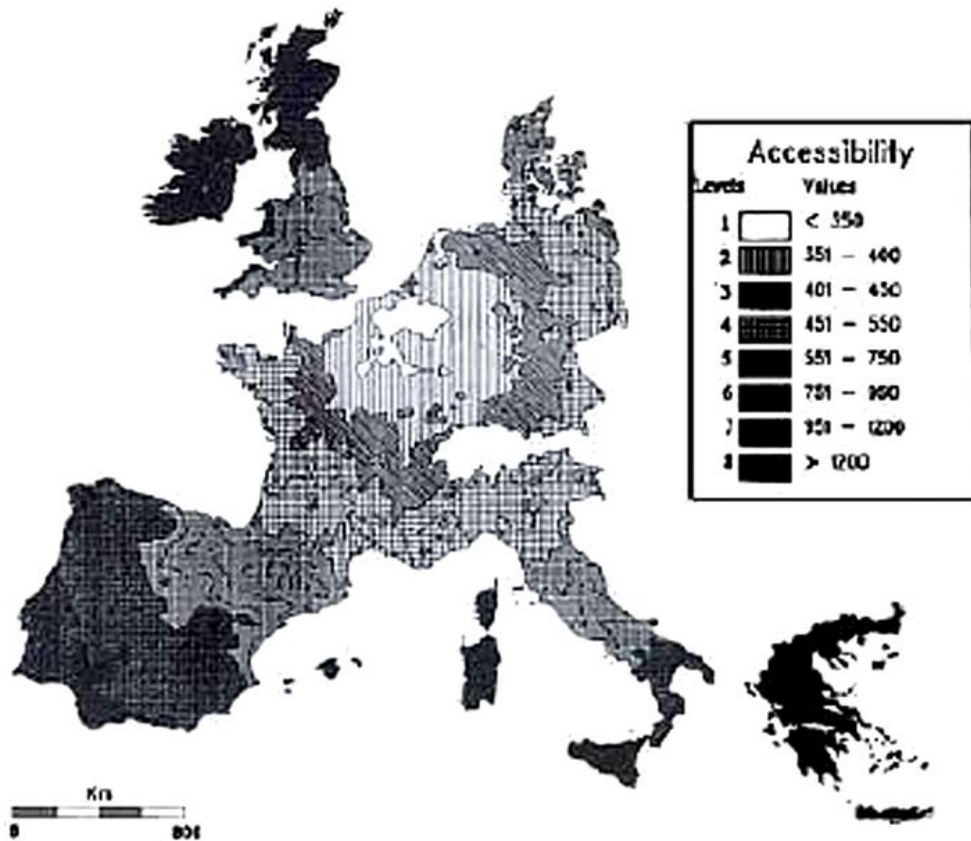
2.1.4.2.2 İzokronal Erişilebilirlik: Aynı zamanda integral, kontursal, kümülatif olanaklar, yakınlık ölçütü gibi isimlerle de anılan izokronal ölçüt, şehir planlamada ve coğrafi çalışmalarda geniş uygulama alanı bulmaktadır. Belirli bir yolculuk zamanı veya uzunluğu içinde ulaşılabilecek olanakların miktarını ifade etmektedir. Belirli bir zaman veya mesafe içindeki olanak miktarı arttıkça erişilebilirliğin arttığını göstermektedir ve bu artış bitiş noktalarına ulaşımdaki kolaylığın ve/veya arazi kullanımının değişiminden kaynaklanmaktadır. İzokronal ölçüt, olanakları mesafesine göre düşürmemektedir ve sonuç olarak, başlangıç noktası için seçilen zaman veya uzaklık büyüdükçe, o nokta için erişilebilirlik artmaktadır. Breheny (1978) üç değişik izokronal ölçüt tanımlamaktadır:

- a) Sabit maliyet: Belli bir ulaşım maliyeti içindeki erişilebilir olanak miktarı
- b) Sabit olanak: Belli bir olanak sayısına ulaşmak için gerekli maliyet veya zaman
- c) Sabit nüfus: Sabit ulaşım maliyetleri içinde ulaşılabılır olanakların nüfusa göre ortalaması

İzokormal erişilebilirlik, istihdam olanakları, yerleşim alanları, perakende servisleri, kamu hizmetleri, sağlık, eğitim ve eğlence hizmetleri gibi birçok olanak tanımını üzerinde uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca, bir işadamının gün boyunca kentte belirli yerlerde bağlantılar yürüterek yine başlangıç noktasına dönmesi örneğinde olduğu gibi “günlük erişilebilirlik” esasını ele alan yaklaşımlar da mevcuttur (Törnqvist, 1970). Bunun yanısıra, belirli sayıda yolculuk bitiş noktasına ulaşımın maliyetini ya da zamanını (sabit olanak) kestirmeye yönelik çalışmalar da mevcuttur.

Gutiérrez ve Urbano (1996), Avrupa Birliği'nin Trans-European karayolu ağının erişilebilirlik üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, 4000 düğüm noktasından oluşan karayolu ve demiryolu ağı içinde, çoklu ulaşım türü olarak Avrupa'daki nüfusu 300,000'den büyük yerleşimler arasındaki ulaşım sürelerini, Paris merkezi etrafında oluşturdukları izokronlar yardımıyla incelemiştir. Şekil 2.4'de bu çalışmanın sonuçlarından bir örnek görülmektedir.

İzokronal ölçüt, ulaştırma sistemi ve arazi kullanım yapısını kullanıcı gözüyle tanımlamayı hedeflemektedir. Ulaşım bileşeni (yolculuk süresi, maliyeti, uzunluğu) ile arazi kullanımı bileşenini (tesislerin konumları) dikkate almakta, ancak bu ikisinin bileşik etkisini veya kullanıcıların bir erişilebilirlik opsiyonuna verdiği bireysel önemi dikkate almamaktadır. En büyük avantajı, bireylerin ulaşım, arazi kullanımı ve bunların kombinasyonu hakkındaki algılamaları ile ilgili kompleks kabuller



Şekil 2.4 Avrupa genelinde ekonomik merkezleri ulaşım süresi cinsinden erişilebilirlik (Gutiérrez ve Urbano, 1996)

gerektirmemesidir. Ayrıca bu ölçüt için gerekli veri, nispeten hazır ve ulaşılabilir ve farklı sosyal grupların çeşitli aktiviteler için farklı ulaşım türleri ile erişimlerinin, ilave birkaç veri gereksinimi ile kestirilmesine olanak vermektedir (Jones, 1981). Başlıca olumsuz yönleri ise aşağıdaki gibi maddelenebilir (Geurs ve van Eck, 2001):

- Bütün olanaklar (örneğin bütün istihdam olanakları) ulaşım için harcanan zaman veya olanak türü dikkate alınmaksızın eşit derecede cazip olarak ele alınmaktadır (Vickerman, 1974).
- İzokronlar ve aralıkları, araştırmacının kabulüne göre rastgele seçilmektedir.
- Seçilen orijne bitişik ve takip eden izokron çizgisi üzerinde kalan olanaklar arasında herhangi bir ayrım bulunmamaktadır (Ben-Akiva ve Lerman, 1979).

Seçilen maksimum yolculuk süresine (veya yolculuk maliyetine) bağlı olarak oluşturulan izokronlar, ulaşım altyapısında yapılan iyileştirmelerin dikkate alınmamasına sebep olabilmektedir. Örneğin izokron aralığı 60 dk. olarak seçildiyse, seyahat süresini 50 dk.'dan 20 dk.'ya düşüren bir raylı sistem, erişilebilirlik üzerinde herhangi bir etki yaratmamış gibi algılanabilmekte, ancak aralığın 30 dk. seçilmesi durumunda izokronlardaki değişim görülebilmektedir. Dolayısıyla sonuç, analizcinin kabullerine son derece bağımlıdır. Bu yüzden bazı araştırmacılar, yolculuk bitiş noktasına varış süresine bağlı olarak dereceli değişen “potansiyel erişilebilirlik” ölçütünün geliştirilmesine yön vermiştir.

2.1.4.2.3 Potansiyel Erişilebilirlik: Potansiyellik kavramı ilk olarak, ekonomide pazar potansiyellerinin konumsal analiz ile belirlenmesinde kullanılmıştır (Harris, 1954). Hansen (1959) ilk defa bu yaklaşımı erişilebilirlik üzerinde “olanakların etkileşim potansiyeli” şeklinde uygulamıştır. Ölçütün matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$A_i = \sum_j D_j d_{ij}^{-\alpha} \quad (2.4)$$

Burada “ A_i ”, “ i ” zonundan “ j ” deki tüm “ D ” olanaklarına erişilebilme ölçütünü, “ d_{ij} ”, “ i ” ve “ j ” zonları arasındaki mesafeyi, “ α ” ise mesafeye duyarlılık parametresini göstermektedir. Böylece Hansen’in tanımladığı ölçüte göre, “ i ” zonundan diğer tüm zonlara olan erişilebilirlik, olanakların “ i ” zonuna olan uzaklığına göre azalan bir etkiye sahiptir.

Potansiyel erişilebilirlik, izokronal ölçüt ile benzer kullanım alanları bulmuştur. Perakende servisleri, sağlık ve kamu hizmetleri gibi olanaklara erişilebilirliğin yanı sıra, gelirin veya GSMH’nın bitiş noktasındaki aktivite olarak seçildiği yaklaşımlar da mevcuttur. Örneğin Keeble v.d. (1988), Avrupa’daki ekonomik merkezlerin çekiciliğini, GSMH’nın aktivite olarak kullanıldığı bir potansiyel ölçüt olarak ele almıştır. Benzer diğer bir uygulama da Capineri (1996) tarafından gerçekleştirilmiş, nüfusla ağırlıklandırılmış kişi başı gelir değerleri, raylı sistemlere erişilebilirliğin değerlendirilmesinde bitiş noktası aktivitesi olarak seçilmiştir.

Bu tür uygulamaların yanı sıra, potansiyel erişilebilirliğe bazı yeni adaptasyonlar ilave edilerek farklı uygulamalar da gerçekleştirilmiştir. Bu adaptasyonları dört grupta incelemek mümkündür (Geurs ve van Eck, 2001):

1-) Mesafenin azaltıcı faktörünün ele alınmasında farklı alternatifler geliştirilmiştir. Hansen’in kullandığı ve temeli Newton’un çekim teorisine dayanan üssel fonksiyon yerine, negatif eksponansiyel, Gauss, ve lojistik fonksiyon gibi alternatif yaklaşımlar uygulanmıştır.

$$A_i = \sum_j D_j F(c_{ij}) \quad (2.5)$$

Yukarıdaki ifadede “ c_{ij} ”, “ i ” ve “ j ” arasındaki genelleştirilmiş maliyeti “ $F(c_{ij})$ ” ise genelleştirilmiş maliyete bağlı direnç fonksiyonunu göstermektedir. Bu ifade “temel potansiyel erişilebilirlik ölçütü” olarak anılmaktadır.

2-) Erişilebilirlik ölçütü normalize edilmiştir veya ağırlıklandırılmıştır. Örneğin bütün erişilebilirlik değerleri, orijindeki erişilebilirlik değeriyle, tüm çalışma alanında yaşayan insan sayısı ile veya tüm çalışma alanının ortalama erişilebilirliği ile ağırlıklandırılabilir (Handy, 1994).

3-) Potansiyel erişilebilirlik farklı ulaşım türleri veya farklı sosyo-ekonomik gruplar için hesaplanmıştır. Çoklu ulaşım türü erişilebilirlik, türler arasındaki erişilebilirliğin gruplanması ile de elde edilebilmektedir. Bunun için logaritmik toplam impedansı geliştirilmiştir. Bu yöntemle, yüksek maliyeti sebebiyle değerlendirilme dışı bırakılan bir ulaşım türü hataya sebep olmamaktadır. Aşağıdaki ifade, logaritmik toplam maliyeti göstermektedir:

$$\bar{c}_{ij} = -\frac{1}{\beta} \ln \sum_m e^{-\beta \cdot c_{ijm}} \quad (2.6)$$

burada “ c_{ijm} ”, “m” ulaşım türü ile “i” ve “j” arasındaki yolculuğun genelleştirilmiş maliyetini, “ β ” ise yolculuk maliyetine duyarlılık parametresini göstermektedir.

4-) Erişilebilirliğin zaman içindeki değişiminin incelendiği durumlarda, arazi kullanımı veya yolculuk direnci sabit tutulmuştur. Örneğin Rietveld ve Bruinsma (1998), iş olanaklarına potansiyel erişilebilirliği 1970-1990 periyodu için arazi kullanımı değişimini sabit tutarak incelemiştir.

Potansiyel erişilebilirlik, ulaştırma sistemi ve arazi kullanımının sunduğu “seçim menzili”ni ifade etmektedir (Koenig, 1980). Ancak yorumlanması izokronal ölçüte göre daha zordur çünkü olanaklar, orijine mesafelerine göre ağırlıklandırılmıştır. Veri ihtiyacı, tüm erişilebilirlik ölçütleri dikkate alındığında orta düzeydedir. Mevcut arazi kullanımı, ulaşım envanteri ve düşük düzeyli planlama modellerine ait veriler yeterli olabilmektedir.

Potansiyel erişilebilirliğin olumsuz yönlerinin başında, iç-potansiyel gelmektedir. Örneğin şehir bazında yapılan analizlerde, büyük bir kent için, kentin kendi

potansiyel erişilebilirliği, o kente erişilebilirliğe büyük bir katkı sağlıyor olabilir. Çalışma alanında zon sayısının artırılıp boyutlarının küçültülmesi bu problemin engellenmesini sağlayacaktır. Ayrıca Bröcker (1989) bu problem için, çalışma alanının ayırık noktasal zonlar yerine, arazi kullanım kütesine göre eşit olarak dağıtılmış sürekli alanlar olarak ele alınmasını önermiştir. Bu ölçüt, diğer tüm zonlardan bir zona erişilebilirliği göstermektedir. Bu yaklaşımda, zondaki tüm bireyler eşit düzeyde erişilebilirliğe sahip olarak ele alınmakta, bireysel karakteristikler dikkate alınmamaktadır. Halbuki zon içindeki farklı bireyler, bazı yolculuk bitiş noktalarını ve onlara ait yolculuk dirençlerini diğerlerinden tamamen farklı algılayabilmektedir (Ben-Akiva ve Lerman, 1979). Potansiyel erişilebilirlik, olanakların dağılımını gösteren bir ölçüttür (istihdam, perakende servisleri vb.) ancak bu olanaklara olan talebi dikkate almaz. Shen (1998) bir yerleşimdeki talebin homojen dağılmadığı durumda, potansiyel ölçütün hatalı ve yanıltıcı sonuç vereceğini belirtmektedir. Ayrıca sunulan olanakların kapasitesi hakkında da bir sınırlama getirilmemektedir. Kısacası, olanaklar içi rekabetçi bir durum söz konusu ise, potansiyel erişilebilirlik ölçütü başarılı olmayabilir. Uzaklığa bağlı azaltma fonksiyonu, potansiyel erişilebilirlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve bu yüzden fonksiyonun türü çok dikkatli seçilmeli, fonksiyonun parametrelerinin seçiminde de çalışma alanındaki konumsal ulaşım davranışını yansıtan mevcut ampirik veriler kullanılmalıdır.

2.1.4.2.4 Ters Dengeleme Faktörleri: Konumsal etkileşim seviyesini açıklamaya yönelik olan çekim modellerinin teorik gelişiminde ilk olarak Wilson'un (1971) çalışmaları önemli bir rol oynamıştır. Wilson dört tip konumsal etkileşim modeli ortaya koymuştur:

1. Yaratım kısıtlı model
2. Çekim kısıtlı model
3. Çift (yaratım ve çekim) kısıtlı model
4. Kısıtsız model

Çift kısıtlı dengeleme faktörü, diğer bir deyişle rekabet faktörü aynı zamanda bir erişilebilirlik ölçütü olarak ele alınabilmektedir (Kirby 1970, Wilson 1971). Çift kısıtlı konumsal etkileşim modeli aşağıdaki şekildedir:

$$T_{ij} = a_i b_j O_i D_j F(d_{ij}) \quad (2.7)$$

Burada,

T_{ij} : i ve j zonları arasındaki yolculuk miktarı

a_i ve b_j : aktivite birimini yolculuk birimine dönüştüren dengeleme faktörleri

O_i ve D_j : i ve j zonlarındaki aktivite sayısı

$F(d_{ij})$: i ve j zonlarını bağlayan ulaşım altyapısının oluşturduğu direnci gösteren azaltıcı bir fonksiyondur.

Dengeleme faktörleri aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$a_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n b_j D_j F(d_{ij})} \quad (2.8)$$

$$b_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^m a_i O_i F(d_{ij})} \quad (2.9)$$

“ a_i ” faktörü, “i” zonundan çıkan yolculukların, “i” zonundaki aktivitelere (örneğin “i” de yaşayan insan sayısı) eşit olması sağlarken, “ b_j ” faktörü “j” ye yönelen akımın “j” deki aktivitelere (örneğin “j” deki istihdam miktarı) eşit olmasını sağlamaktadır. Dengeleme faktörleri birbirine bağlı olduğundan, iteratif olarak hesaplanmaktadır.

Çift kısıtlı bir modelde “ a_i ” dengeleme faktörü, bir erişilebilirlik göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu faktör, “i” zonundan gidilebilecek her bir “j” zonunun, “i” orijininde yaşayanlar tarafından algılanan rekabet düzeyini göstermektedir. İyi erişime sahip olanaklar “1” den küçük bir çekicilik faktörüne (a_i) sahip olacaktır. Çünkü denklemlere göre çekilen yolculuk sayısı, olanak sayısına eşit olacak şekilde

küçültülmelidir. Bu yüzden bu ifadenin matematiksel tersi ($1/a_i$) erişilebilirlik ölçütü olarak kullanılmaya daha elverişlidir. Böylece ters dengeleme faktörü büyüdükçe, erişilebilirlik de artacaktır. Ayrıca bu ölçüt, iterasyonlar tamamlanıp eşitlikler sağlandıktan sonra, diğerinin genel ortalamasıyla çarpılarak potansiyel erişilebilirliğe de dönüştürülebilmektedir (Geurs ve van Eck, 2001).

Tek kısıtlı (yaratım kısıtlı) konumsal etkileşimde ise yolculukların orijini kısıtlı iken hedefi kısıtsızdır. Dolayısıyla erişilebilirlik açısından rekabet orijindedir. Örneğin, alışveriş merkezleri müşteri için rekabet ederken, müşteriler alışveriş merkezleri için rekabet etmez. Bu durumda tek kısıtlı dengeleme faktörü, aşağıdaki şekli almaktadır:

$$a_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n D_j F(d_{ij})} \quad (2.10)$$

Bu ifade, 2.5 numaralı denklemde verilen temel potansiyel erişilebilirlik ifadesinin tersine oldukça benzemektedir. Ancak amaçları ve bu yüzden elde edilişleri oldukça farklıdır. Örneğin uzaklığa bağlı azaltma faktörü, konumsal etkileşim açısından, ulaşım maliyetine bağlı seyahat miktarındaki azalma iken, potansiyel erişilebilirlik açısından, bir olanağa ulaşımındaki maliyet yükseldikçe, o olanağın çekiciliğinde birey tarafından algılanan azalma olarak ortaya çıkmaktadır. O yüzden bu denklemler ilişkili olmakla beraber farklı ifadelerdir (Jones, 1981).

Çift kısıtlı dengeleme faktörlerinin literatürde çok fazla uygulandığı söylenemez. Fotheringham'ın (1986) varış noktası seçimleri için önerdiği hiyerarşik model, çift kısıtlı uygulamaların kayda değer bir örneğidir. Tek kısıtlı uygulamalar ise erişilebilirlik ölçütü olarak alışveriş davranışları (Laksmanan ve Hansen, 1965), hastanelerin kullanımı ve yer seçiminin etkinliği (Morill ve Kelly, 1970), iş olanaklarına özel taşıt ve toplu ulaşım ile erişilebilirliğin karşılaştırılması (Dalvi ve Martin, 1976) gibi alanlarda kullanılmıştır. Daha yakın bir geçmişte de Matthes (1994) mobil iletişim akımı elemanlarının optimum yerleşimini araştırmada kullanmıştır.

Ters dengeleme faktörlerinin diğer ölçütlere kıyasla en kayda değer özelliği rekabet şartlarını dikkate almasıdır. Çift kısıtlı bir model, bir olanağın arz ve talep sınırlayıcılarını işleme dâhil etmektedir ve bu temel potansiyel erişilebilirlik ölçütünde olmayan bir özelliktir. Olumsuz yönü ise iteratif yapısından dolayı, teorik açıdan erişilebilirlik ölçütü olarak kolay açıklanamaz bir yapıda olmasıdır. Tek kısıtlı model ise temel potansiyel erişilebilirlik ölçütü ile benzer avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

2.1.4.2.5 Konum-Zaman Etkili Erişilebilirlik: Erişilebilirliğin zaman bileşeni, olanakların günün değişik zamanlarındaki ulaşılabilirliğini ve bireylerin belirli aktivitelere katılma zamanını kapsamaktadır. Konum-zaman yaklaşımında, erişilebilirliğin zaman ve arazi kullanımı bileşenleri eşit düzeyde önemli bileşenler olarak dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşımda erişilebilirlik, bireysel bakış açısına göre analiz edilmektedir. Konum-zaman yaklaşımı, gözlenen veya kabul edilen birey veya hane aktivite programlarının, verilen zaman sınırlaması içinde nasıl şekillendiğini veya zaman sınırlamasının aktivite programına şekil verip vermediğini inceler. Bu amaçla ulaşım ile ilgili davranışlar genellikle, önceden belirlenmiş zaman sınırlamaları dâhilinde potansiyel olanak alanlarını gösteren “konum-zaman prizması” ile ifade edilmektedir (Dijst ve Vidaković 1997). Bu yaklaşım aynı zamanda, Miller’in (1999) çalışmasında olduğu gibi, “rastlantısal fayda” kavramı ile ilişkilendirilebilmekte, olası bir grup aktivite programı setinden birini uygulayan yolcunun algılayacağı fayda kestirilmeye çalışılmaktadır.

Yolculuklar üzerindeki konum-zaman etkisini tahmin etmeye yönelik birçok model ortaya konulmuştur. Örneğin İsveç’in Lund kenti örneği üzerinde, “Program Evaluating the Set of Alternative Sample Paths” (PESASP) isimli bir yöntem geliştirilmiş, belirlenen iki zon arasında gerekli aktivitelerin yapılması için gerekli konum-zaman güzergâhları araştırılmıştır (Lenntorp, 1976). Daha yakın geçmişte, Dijst ve Vidaković (1997) “Model of Action Space in Time Intervals and Clusters” (MASTIC) isimli bir proje geliştirmiştir. Bu çalışmada, zamanın ve ulaşım politikalarının erişilebilirlik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Konum-zaman yaklaşımı, klasik yöntemlerle uygulanması oldukça güç bir yaklaşım olduğundan,

network esaslı GIS uygulamaları ile kolaylaştırılmaya ve görselleştirilmeye çalışılmıştır. Miller'in (1991) çalışması GIS uygulamalarının ilk örneklerinden olup konum-zaman yaklaşımının ulaştırma sistemi performansının değerlendirilmesinde kullanılabileceğini vurgulamaktadır. Kwan (1998) tarafından gerçekleştirilen bir diğer GIS uygulaması ile, konum-zaman yaklaşımı ile izokronal ölçüt, bireysel erişilebilirlik açısından karşılaştırılmakta ve konum-zaman etkili ölçütün ulaşımındaki bireysel farklılıkları başarılı bir şekilde ortaya koyduğu vurgulanmaktadır.

Konum-zaman esaslı erişilebilirliğin en olumsuz yönü, oldukça detaylı ve birey (veya hane halkı) bazında veriye ihtiyaç doğurmasıdır. Mevcut geleneksel talep modellemelerine ait veriler bu ölçüt için yeterli olmamaktadır. Bu yüzden çalışmaların büyük bir kısmı, küçük bölgeler veya nüfusun küçük bir alt kümesi için uygulanmaktadır. Diğer bir olumsuz yönü de ulaşım aktivitesinin yalnızca talep kısmı ile ilgilenmesidir. Dolayısıyla olanaklar üzerindeki rekabet etkisi dikkate alınmamaktadır. Bu durumda, konum-zaman esaslı erişilebilirlik, temel potansiyel erişilebilirlik ile benzer dezavantajlara sahiptir, çünkü talebin konumsal dağılımı dikkate alınmamaktadır (Geurs ve van Eck, 2001).

2.1.4.3 Fayda Esaslı Erişilebilirlik Ölçütleri

Fayda esaslı erişilebilirlik 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 ulaştırma sisteminin farklı kullanıcılara sağladığı faydaların modellenmesinde kullanılmaktadır (Greene ve Liu, 1988). Fayda esaslı erişilebilirlik yaklaşımı, erişilebilirliğin bireysel derecede ele alınması, ulaşım türü ve ulaşım altyapısı yanında, kullanıcı karakteristiklerinin de ele alınması zorunluluğunu getirmektedir (Banister ve Berechman, 2000).

Fayda esaslı yaklaşımın başlıca kabullerini Koenig (1980) 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 seti içindeki her bir “k” alternatifinin bir “ U_k ” toplam faydasına sahip olduğu ve birey tarafından toplam faydanın maksimize edileceği yaklaşımı ile, erişilebilirliğin en basit matematiksel tanımı Ben-Akiva ve Lerman (1979) tarafından aşağıdaki gibi ortaya konmuştur:

$$A_n = E (Max U_k) \quad (2.11)$$

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

$$U_{ij} = V_{ij} + \beta c_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2.12)$$

Burada,

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

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

β : maliyete duyarlılık parametresine,

ε_{ij} : rastgele değişkene (stokastik kısım) karşılık gelmektedir.

Bu fayda fonksiyonu, erişilebilirlik ölçütünde fayda teorisi temeline dayalı bir başlangıç noktası oluşturmuştur (Bröcker, 1989). Denklemin ulaşım türü 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 logit modelin paydası olarak tanımlanabilir ki bu aynı

zamanda “logaritmik toplam” olarak bilinir (McFadden, 1981, Ben-Akiva ve Lerman, 1985). Logaritmik toplam, bütün alternatifler kümesinin çekiciliğini özet olarak ifade eden bir ölçüt olarak görülmektedir (Small, 1992):

$$A_n = \ln \left(\sum_k e^{V_k} \right) \quad (2.13)$$

Burada “ A_n ” erişilebilirlik ölçütünü, “ V_k ” ise “ n ” bireyi için “ k ” alternatifine ait stokastik fayda içindeki deterministik faydayı, ulaşım türü ve yolculuk bitiş noktası kombinasyonuna bağlı olarak ifade etmektedir. Bu şekli ile ifade, rastgele değişkenin Gumbel dağılımına uyduğunu kabul etmektedir. Bu ifade aynı zamanda negatif eksponansiyel bir uzaklığa bağlı azaltma fonksiyonu kullanılarak potansiyel bir erişilebilirlik ölçütü şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla “ n ” bireyine ait erişilebilirlik (A_n), “ i ” alanında yaşayan bireyin, “ m ” ulaşım türünün “ c_{ijm} ” maliyeti ile ulaşabileceği, “ j ” noktasında bulunan “ D ” olanaklarından elde edebileceği fayda olarak yorumlanabilmektedir.:

$$A_n^m = \frac{1}{\beta} \ln \sum_j D_j e^{-\beta \cdot c_{ijm}} \quad (2.14)$$

Burada tüm ifade, yolculuk maliyetine duyarlılık parametresine bölüldüğü için erişilebilirlik, yolculuk maliyeti biriminden ifade edilmiştir.

Fayda esaslı erişilebilirlik kavramı üzerine birçok teorik çalışma yapılmasına rağmen, erişilebilirlik uygulamaları içinde pek fazla yer almamıştır. Az sayıda örneklerden bir tanesi Koenig (1980)’e ait olup logaritmik toplam değer şeklinde bir potansiyel erişilebilirlik ölçütü kullanmakta; Fransa’nın Le Mans kentindeki yol yatırım alternatiflerinin erişilebilirliğe olan etkisini incelemektedir. Bu çalışmada fayda, parasal değerlere dönüştürülmüştür. Daha yakın bir tarihte Borgia ve Cappelli (1994), İtalya’daki yerleşimler için, türel erişilebilirliğin net faydaların logaritmik toplamı olarak tanımladıkları çoklu-türel bir erişilebilirlik ölçütü tanımlamıştır. Sweet (1997) ise yine logaritmik toplamlara dayanan erişilebilirliği, Londra’da özel taşıt ve toplu taşıma ile iş erişilebilirliğini analiz etmek için kullanmıştır. Handy ve

Niemeier (1997)'in çalışması ise Sweet'in çalışmasını ilginç bir yöne çekmekte, insanların iş erişilebilirliğine biçtikleri değeri elde etmeye çalışmaktadır. Konuyla ilgili diğer bir örneği gerçekleştiren Levine (1998), ev-işyeri arasındaki seyahat sürelerinin konutsal yerleşim kararı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bunların yanı sıra, logit model esaslı ulaşım modelleri, logaritmik toplam erişilebilirliği türetmede kullanılabilmektedir. Örneğin Cascetta ve Biggiero (1997) İtalyan yolcu ulaşım modelinden yararlanarak logaritmik toplam esaslı bir erişilebilirlik ölçütü hesaplamışlardır.

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. Yani fayda esaslı ölçüt, bir yerleşimdeki bireylerin erişilebilirliğini temsil ederken potansiyel ölçüt, bütün bireyleri homojen kabul ederek bir yerleşimin erişilebilirliğini temsil eder. Ayrıca fayda esaslı erişilebilirlikte, bireylerin gruplandırılması durumunda da gerçekçi olmayan sonuçlara sebep olmadığı öne sürülmektedir (Geurs ve van Eck, 2001). Fayda esaslı ölçütün eleştirisi aldığı noktalardan biri, yorumlanmasının zor olduğu ve formülasyonun karmaşık teorilere dayandırılmadan açıklanamadığıdır (Koenig, 1980). Ayrıca farklı düzeydeki analizlerin karşılaştırılmasının güç olduğu da söylenmektedir (Handy ve Neimeier, 1997).

2.1.5 Erişilebilirlik Türlerinin Genel Değerlendirmesi

Literatürde, erişilebilirlik türlerinin çeşitli alanlardaki başarımını karşılaştırmaya yönelik bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin Kwan (1998), bireysel özelliklerin ölçütler tarafından ne kadar yansıtılabildiğini belirlemek amacıyla, 12 farklı çekim (aktivite esaslı potansiyel tür), 6 farklı kümülatif olanaklar (aktivite esaslı izokronal tür) ve 12 farklı konum-zaman (aktivite esaslı konum-zaman etkili tür) ölçütünü bir arada değerlendiren kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. GIS ortamında Columbus/Ohio örneği üzerinde yapılan analizde, izokronal ve konum-zaman etkili ölçütlerin, yolcular tarafından algılanan erişilebilirliği yeterli ölçüde yansıtabildiği,

konum-zaman etkili ölçütlerin yolcuların cinsiyetine oldukça bağımlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Song (1996) 9 farklı erişilebilirlik ölçütünü, nüfus dağılımını açıklamadaki başarımları açısından değerlendirmiş ve çekim ölçütlerinin en başarılı sonucu verdiğini ortaya koymuştur. En çok kullanılan, olanakların mesafenin tersiyle azaltılarak ağırlıklandırıldığı ölçüte ait başarımın, diğer daha karmaşık ölçütlerle istatistiksel olarak yakın olduğu, ayrıca kümülatif olanaklar ve merkezi iş alanına mesafe türü ölçütlerin bu amaç için en başarısız ölçütler olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Bhat v.d. (2001), A.B.D. ve Avrupa’da kullanılmakta olan birçok erişilebilirlik ölçütünü, teorik yapısı, toplulaştırma (zaman, konum, aktivite v.b. boyutları açısından) kolaylığı, veri gereksinimi, uygulanabilirlik gibi dört farklı açıdan karşılaştırmıştır. İnceledikleri erişilebilirlik uygulamalarının bir karşılaştırması Tablo 2.2’de verilmiştir. İncelenen uygulamaların büyük bir kısmının izokronal ve mesafe ölçütlerine dayalı olduğu görülmektedir. En çeşitli veri ihtiyacı fayda esaslı yaklaşımda ortaya çıkmaktadır. Bhat v.d., bu karşılaştırmadan hareketle, Dallas/Forth Worth Area için, 2 farklı yolculuk süresi için kümülatif olanaklar (aktivite esaslı izokronal) ve 4 farklı direnç fonksiyonu için çekim (aktivite esaslı potansiyel) ölçütü uygulamıştır. Bu uygulamalar sonucunda, kümülatif olanaklar türü ölçütlerin teori ve performans bakımından zayıf olduğu, kullandıkları analiz bölgesinde kırsal kesimlerdeki küçük yerleşimlere ait erişilebilirlik farklılıklarını temsil edemediği ve tüm aktivite türleri için uygun olmadığı bulunmuştur. Yolculuk uzunlukları için Gauss yaklaşımı direnç faktörünün kullanıldığı çekim ölçütünün, izokronal ölçütlerden bir miktar daha iyi başarımla göstermekle birlikte diğer üç çekim ölçütüyle karşılaştırıldığında başarısız olduğu vurgulanmıştır. Taşıt içindeki seyahat süresi, yolculuk uzunluğu ve kompozit (otomobil yolculuğu için taşıt içindeki süre, taşıt dışındaki süre ve park etme maliyeti) bir direnç fonksiyonu içeren çekim ölçütlerinin yüksek ve birbirine yakın başarımla gösterdiği, ancak kompozit direnç fonksiyonlu ölçütün, farklı ulaşım türlerini modele ilave etmede kolaylık sağladığı için daha kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, çoğu bir diğ erinin olumsuz yönlerini gidermeye yönelik geliştirilmiş ölçütler olmasına karş ın, mevcut türler arasında bir üstünlük sıralaması yapmak mümkün değildir. Çünkü uygulama amacı, analiz düzeyi ve temin edilebilir veri çeş itliliğ i, kullanılacak eriş ilebilirlik türünün belirlenmesinde büyük önem taş ımaktadır. Uygulama amacı açısından aş ağı daki soruların cevaplandırılması gerekmektedir:

- Analiz kent, alt zon, hanehalkı ve birey düzeylerinden hangisi için gerekli?
- Bireysel düzeyde eriş ilebilirlik gerekli mi?
- Aktiviteleri oluşturan arz ve talep bileş enlerinin kendi içinde rekabeti mevcut mu ve modellenmesi gerekecek düzeyde önemli mi?
- Yolculuğ un gün içindeki yeri yani aktivite programı dikkate alınmalı mı?

Bu soruları, üzerinde çalış ılan konunun özelliğ ine göre daha da çeş itlendirmek mümkündür. Örneğ in iş olanaklarına eriş im gibi sosyo-ekonomik yönü ağır basan analizlerde kullanılacak eriş ilebilirlik yaklaş ıma ait teorinin, ekonometrik yaklaş ıma uygunluğ u tartış ma konusu olabilecektir.

Ulaş ılabilen veri çeş itliliğ i ise seç ilcek ölçüt türü için sınırlayıcı bir etken olmaktadır. Veri çeş itliliğ i temel olarak üç düzeyde ele alınabilir: i) arazi kullanımı ve temel sosyo-ekonomik değ iş kenler, ii) geleneksel talep modelleri doğ rultusunda elde edilen veriler, iii) aktivite programlarını da kapsayan bireysel detay iç eren veriler. Tez çalış masında kullanılan veriler ikinci dü zeye girmekte ve dolayısıyla konum-zaman etkili bir ölçüt üzerinde çalış mak mümkün olmamaktadır.

Tezin amacı, eriş ilebilirlik ölçütünün ulaş ım türü seç imindeki etkisini araş tırmak olduğ undan, bireysel tür seç iminde kullanılan rastlantısal fayda teorisine dayanan fayda esaslı eriş ilebilirlik, amaca en uygun ölçüt türü olmaktadır. Ayrıca yukarıda değ inilen eriş ilebilirlik türlerinin karşı laş tırılmasına ilişkin çalış malar incelendiğ inde, çekim ölçütü gibi aktivite esaslı potansiyel ölçütlerin birçok uygulamada, basit olmasına karş ın etkin sonuçlar verdiğ i görülmektedir. Bu yüzden tez çalış masında fayda esaslı eriş ilebilirliğ in yanında, daha basit bir yaklaş ımın başarım ını karşı laş tırmak amacıyla, aktivite esaslı potansiyel eriş ilebilirlik de uygulanmış tır.

Tablo 2.2 Avrupa ve A.B.D’deki bazı erişilebilirlik uygulamaları (Bhat ve diğ., 2001)

Yapıldığı Yer	Kullanım Amacı	Ölçüt Formu	Gerekli Veri	Açıklama
Hollanda	- Mod seçimi - İş dışı aktivite payının belirlenmesi - Ekonomik büyüme koşullarının karakterize edilmesi	- Ulaşım ağı mesafeleri - Alt zonlu yaklaşım	- Toplu taşıma hizmetlerine uzaklık - Toplu taşıma servis aralıkları - Ana arterlere uzaklık - Otoyol erişim noktalarına uzaklık	Hedef, arazi kullanımında iş merkezleri ve hedef kitlenin erişilebilirlik profili yardımıyla uyumlu konumlandırılmasıdır.
İngiltere	- Toplu taşıma hizmetlerine erişilebilirliğin artırılmasıyla, ulaşımında sürdürülebilirliğin sağlanması	- Alt zonlu yaklaşım	- Duraklara yürüme süresi - Ortalama servis bekleme süresi - Toplu taşıma ile zondan zona yolculuk süresi - Bitiş noktasına yürüme süresi	- Toplu taşıma ile lokal erişilebilirlik - Hastane, sosyal tesisler v.b. özel hizmetlere erişim kolaylığı
Oregon	- Ulaşım sistemi performansının ölçülmesi	- Beklenen maksimum faydanın logaritmik toplamı	- Araç içinde geçen yolculuk süresi - Araç dışında geçen yolculuk süresi - Yolculuk ücreti - Park etme ücreti - Araç işletme ücreti - Yolculuk mesafesi	Logaritmik toplam, araç içinde geçen seyahat süresine ait katsayıya bölünerek eşdeğerli karşılaştırma sağlanmaktadır.
Albany, New York	Trafik tıkanıklığı yönetim sisteminin değerlendirilmesi	- Ulaşım ağı mesafeleri	- Seçilen zonlar arasındaki yolculuk süresi (pik ve non-pik periyotlarda en hızlı ulaşım modu ile)	
Albuquerque, NM	Merkezi istihdam bölgelerindeki trafik tıkanıklığının takip edilmesi	- Yolculuk süresi kontur haritaları	- Pik periyot yolculuk süreleri	
Florida	Koridorlar için mobilite ölçütü	- Ulaşım ağı mesafeleri	- Konutsal merkezlerin devlet karayolu sistemine uzaklıkları	
Southern California	İstihdam olanaklarına erişimin incelenmesi	Kümülatif fırsatlar	- Zonlardaki istihdam sayısı - Yolculuk süresi	

2.2 Bireysel Tür Seçim Modelleri

Bireysel seçim modelleri, seçimi gerçekleştirecek bireylerin faydasını maksimize etme kabulüne dayanmaktadır. İlk olarak Thurstone (1927) tarafından, bireylerin psikolojik uyarıcıların şiddetini ayırt edebilme davranışını modellemek amacıyla seçim modeli kavramı ortaya konulmuş ve bu çalışma ikili probit modelin oluşturulmasına öncülük etmiştir. Daha sonra Marshack (1960) uyarıcı bileşeni yerine “fayda” kavramını kullanmış ve fayda maksimizasyonu yaklaşımıyla ilk kez “rastlantısal fayda modeli”ni geliştirmiştir.

Bireysel seçim modelleri, karar vericinin seçenekler arasında yaptığı seçmini tanımlamaya yönelik olup dört ana unsurun tanımlanmasından oluşmaktadır (Ben-Akiva ve Bierlaire, 2002):

- i. Karar verici: Ulaşım türü seçiminde karar veren birimin ve özelliklerinin tanımlanması,
- ii. Seçenekler: Karar vericinin imkanları dahilinde bulunan, arasından seçim yapacağı alternatiflerin belirlenmesi,
- iii. Nitelikler: Karar vericinin aralarından seçim yapacağı alternatiflerin, karar verici açısından fayda ve maliyetlerinin tespit edilmesi,
- iv. Karar mekanizması: Karar verici tarafından kullanıldığı düşünülen karar mekanizmasının tanımlanması.

Bireysel yaklaşımlar karar vericiyi “birey” olarak kabul etmektedir. Karar verme birimi, farklı araştırmalarda bir hane veya organizasyon gibi ortak özelliklere sahip bireyler topluluğu olarak da ele alınabilmektedir. Bu durumda, grup içindeki etkileşim dikkate alınmamakta ve grubun kararı bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Bir tür seçim modelinde karar verici özellikleri arasındaki farklılıkların ortaya çıkarılabilmesi için her bir karar vericinin yaş, cinsiyet, eğitim ve gelir gibi sosyo-ekonomik karakteristiklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bir bireyin karar verme mekanizmasının ortaya konulabilmesi için, sadece seçilen alternatiflerinin değil, seçilmeyen alternatiflerinin de ortaya konulması

gerekmektedir. Bu yüzden seçeneklerle ilgili kabuller, bir bireyin seçim süreci boyunca dikkate alacağı tüm seçeneklere göre yapılmalıdır. Sonlu sayıda elemandan oluşması gereken bu alternatifler topluluğuna seçim kümesi adı verilmektedir. Seçim kümesi üç ana özelliği sağlamak zorundadır (Train, 2009):

i. Ayrışıklık: Karar verici birey açısından, seçeneklerden birinin seçimi diğerlerinin seçilmemesi anlamına gelmelidir. Birey yaptığı tercihle sadece bir alternatifi seçmelidir.

ii. Eksiksizlik: Seçim kümesi, seçilmesi muhtemel olan tüm alternatifleri içermelidir. Öyle ki alternatiflerin seçilme olasılıkları toplamı “1” olmalıdır.

iii. Sonluluk: Seçenekler sonlu sayıda olmalıdır.

İlk iki prensip, seçim modelinin yapısında gerçekleştirilecek küçük çaplı düzenlemelerle, kolaylıkla sağlanabilmektedir. Örneğin ayrışıklık, ulaşım türleri arasındaki aktarmalardan dolayı sağlanamıyor ise ikili veya üçlü tür kombinasyonları, ayrı birer tür seçimi olarak modele dâhil edilebilmektedir. Dikkate alınan türlerden herhangi birinin seçilmeme durumu söz konusu olduğunda da “hiçbiri” şeklinde nitelendirilecek yeni bir tür, eksiksizlik prensibini sağlamakta yeterli olabilmektedir. Sonluluk ilkesi, toplulaştırılmış regresyon modeli ile davranışsal model arasındaki temel farkı oluşturmaktadır. Regresyon modelinde bir grup ulaştırma sistemi kullanıcısının “ne kadar”ının bir ulaşım türünü seçeceği kestirilirken, davranışsal modelde her bir bireyin “hangi” ulaşım türünü seçeceği kestirilmektedir. Regresyon modelinde kestirim sonucu sonsuz sayıda sonuç alabilirken, davranışsal model sonlu sayıda seçenek arasından bireysel tercihi ortaya koymalıdır (Train, 2009).

Seçim kümesindeki tüm alternatifler bir takım nitelikler yardımıyla karakterize edilmektedir. Bunlar her bir alternatif için geçerli nitelikler olabileceği gibi alternatife özel nitelikler de olabilir. Bu nitelikler, değişkenlerin doğrudan gözlemlenen hali olmak zorunda değildir. Örneğin, seyahat zamanının kendisi yerine logaritmik dönüşüme tabi tutulmuş hali kullanılabilir veya parasal olarak ifade

edilebilen maliyetler, doğrudan değerleri yerine, karar vericilerin gelir durumuna oranlanmış haliyle modele dâhil edilebilmektedir (Hall, 2002).

Karar verme kuralı, karar vericinin sahip olduğu seçim grubu içindeki alternatifleri değerlendirmede ve sonuç olarak seçeceği alternatifi belirlemede kullandığı yöntemdir. Yolculuk davranışı uygulamalarında kullanılan birçok model “fayda teorisi” üzerine kuruludur. Buna göre karar vericinin bir alternatif için tercihi, “fayda” adı verilen sayısal bir değerle ifade edilir ve karar verici seçim grubu içindeki alternatiflerden en yüksek faydaya sahip olanı seçer. Bu uygulama, mikro-ekonomideki tüketici teorisine dayanmaktadır ancak uygulama açısından azımsanamayacak sınırlamalara sahiptir. Çünkü insan davranışının kompleks yapısı, “fayda teorisi” nin kabullerini büyük ölçüde karşılamamakta ve tercih mekanizmasına olasılık boyutunun katılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bazı yaklaşımlar karar verme mekanizmasının tamamıyla olasılıksal olduğunu savunmaktadır; öyle ki bütün alternatifler mükemmel olarak analiz edilmiş ve bütün koşullar biliniyor olsa bile, bu belirsizlik ortadan kaldırılamaz. Diğer bazı yaklaşımlar ise bireylerin karar mekanizmalarının deterministik olduğunu ileri sürmektedir ve karar vermedeki belirsizliğin, seçim işleminin bütün yönleriyle ele alınıp analiz edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu yaklaşımlar, farklı model ailelerinin gelişmesine sebep olmuştur. Örneğin, Luce (1959) ve Tversky (1972) tarafından geliştirilen modeller, deterministik fayda ve olasılıksal karar mekanizmasını kabul eder. Ekonometride ve ulaşım davranışı analizinde ise daha çok olasılıksal fayda ve deterministik karar mekanizması yaklaşımı kabul görmektedir. Bireysel seçim yönteminin temelini oluşturan “Rastlantısal Fayda Teorisi” de bu türden bir yaklaşıma sahiptir (Hall, 2002).

2.2.1 Rastlantısal Fayda Teorisi

Rastlantısal Fayda Teorisi, karar vericinin mükemmel bir ayırım yeteneğine sahip olduğunu, fakat analizi yapan kişinin eksik bilgiye sahip olduğunu kabul eder ve bu sebeple bir belirsizlik faktörü dikkate alır. Manski (1977) dört farklı belirsizlik

kaynağı tanımlamıştır: a) seçeneklerin dikkate alınmamış nitelikleri, b) karar verici bireylerin dikkate alınmamış karakteristikleri, c) ölçme hataları ve d) yardımcı (ikincil) değişkenler. Bu yaklaşımdan hareketle bir alternatifin faydası, deterministik ve rastlantısal iki terimin toplamı şeklinde ifade edilmektedir. İkili tür seçimi için “i” alternatifi, “n” ise seçimi gerçekleştirecek bireyi göstermek üzere:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (2.15)$$

olarak ifade edilmektedir.

Rastlantısal fayda teorisinin operasyonel hale getirilmesi, toplam faydanın deterministik ve rastlantısal kısımlara ayrıştırılması, deterministik bileşenin tanımlanması ve ardından rastlantısal bileşenin tanımlanması şeklinde üç adımda incelenebilmektedir.

Deterministik fayda fonksiyonunun tanımlanması, yukarıda değinilen nitelikler ile gerekli ve yeterli bir hipotez kurulmasını sağlayan bir kombinasyonun oluşturulmasından ibarettir. Deterministik bileşen (V_n) vektörel bir özellikler topluluğundan oluşmaktadır. Herhangi bir “n” bireyi için, herhangi bir “i” alternatifi, “ z_{in} ” şeklindeki bir özellikler vektörü ile ifade edilmektedir. Karar vericinin özellikleri de başka bir “ S_n ” vektörü ile tanımlanmaktadır. Genel bir ifadeyle, z_{in} ve S_n ‘nin alt kümesi olan bir x_{in} vektörü tanımlanır:

$$x_{in} = h(z_{in}, S_n) \quad (2.16)$$

Böylece, katsayılarda lineer olan “K” satırlı “x” vektörünün fonksiyonu olan V_{in} elde edilmektedir:

$$V_{in} = \beta_1 \cdot x_{in1} + \beta_2 \cdot x_{in2} + \beta_3 \cdot x_{in3} + \dots + \beta_K \cdot x_{inK} \quad (2.17)$$

Deterministik bileşen kurulduktan sonraki aşama, rastlantısal bileşen için (ε) uygun bir dağılım fonksiyonu belirlenmesidir. Bu dağılımın ne olduğu, bireysel seçim

modelinin türünü etkilemektedir. “i” ve “j” gibi iki ulaşım türü için “n” bireyi tarafından “i” türünün seçilme olasılığı, “n” bireyi tarafından “i” türü için algılanan toplam faydanın “j” türü için algılanan toplam faydadan büyük olma olasılığına eşittir:

$$\begin{aligned} P_n(i) &= Pr(U_{in} \geq U_{jn}) \\ &= Pr(V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Bu olasılık yoğunluk fonksiyonunun türüne ilişkin en yaygın kabul gören ve uygulamada diğerlerine göre birçok kolaylık sağlayan yaklaşım lojit modelidir.

2.2.2 Lojit Model

Lojit formül, Luce (1959) tarafından, seçim olasılıklarının “ilgisiz seçeneklerden bağımsızlık” (independence from irrelevant alternatives (IIA)) kabulü üzerinden türetilmiştir. Marschack (1960) bu formülasyonu fayda maksimizasyonuna uyarlamış, Luce ve Suppes (1965) ise gözlemlenemeyen fayda ile ilişkisini kurmuştur. McFadden (1974) ise lojit formülasyonun seçim modelindeki uyarlamasında, gözlemlenemeyen faydanın ekstrem değer dağılımına sebep olduğunu ispat ederek lojit model kuramını tamamlamıştır. McFadden, 2001 yılında gerçekleştirdiği lojit modelin ekonomi bilimde bireysel seçim davranışı için geliştirilmesine yönelik çalışması ile Nobel ödülü kazanmıştır.

Lojit model, “ $U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad \forall j$ ” toplam faydasındaki gözlemlenemeyen fayda bileşenlerinin (ε_{nj}) birbirinden bağımsız ve özdeş olarak “ekstrem değer” dağılımına sahip olduğunu kabul etmektedir. Bu dağılım Gumbel veya Tip-I Ekstrem Değer dağılımı olarak da anılmaktadır. Her bir gözlemlenemeyen fayda bileşeni için olasılık yoğunluk fonksiyonu ve bunun kümülatif formu aşağıdaki gibidir:

$$f(\varepsilon_{nj}) = e^{-\varepsilon_{nj}} e^{-e^{-\varepsilon_{nj}}} \quad (2.19)$$

$$F(\varepsilon_{nj}) = e^{-e^{-\varepsilon_{nj}}} \quad (2.20)$$

Bu dağılımın varyansı “ $\pi^2/6$ ” olmakta ve böylece bu faydanın ölçeğinin normalize edilmiş olduğu kabul edilmektedir. Dağılımın ortalaması “0” değildir, ancak aynı ortalama değere sahip olduğu kabul edilen “ V_{nj} ” ve “ ε_{nj} ” ler arasındaki farklar dikkate alındığından ortalamanın değeri önemsizdir (Train, 2009). İki ekstrem değer dağılımlı değişken arasındaki fark ise lojistik dağılıma sahiptir. Dolayısıyla, ikili tür seçimi için “ $\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} = \varepsilon_n$ ” şeklinde gözlemlenemeyen fayda bileşenleri farkı olasılık yoğunluk fonksiyonu ve bunun kümülatif formu aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$f(\varepsilon_n) = \frac{\mu e^{-\mu\varepsilon_n}}{(1 + e^{-\mu\varepsilon_n})^2} \quad (2.21)$$

$$F(\varepsilon_n) = \frac{1}{1 + e^{-\mu\varepsilon_n}}, \quad \mu > 0, -\infty < \varepsilon_n < \infty \quad (2.22)$$

Burada “ μ ” pozitif ölçek parametresidir. ε_n ‘nin lojistik olarak dağıldığı kabulü, ε_{ni} ve ε_{nj} ‘nin bağımsız ve Gumbel (veya Tip I Ekstrem Değer) dağılımına sahip olduğu kabulünü beraberinde getirmektedir. Bu kabullerden hareketle “i” alternatifinin seçilme olasılığı;

$$P_n(i) = \Pr(U_{ni} \geq U_{nj})$$

$$P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_{in} - V_{jn})}} = \frac{e^{\mu V_{in}}}{e^{\mu V_{in}} + e^{\mu V_{jn}}} \quad (2.23)$$

olmaktadır. V_{ni} ve V_{nj} ‘nin parametrelerde doğrusal olduğu hatırlanırsa, “n” bireyinin “i” türünü seçme olasılığı aşağıdaki formunu alır:

$$P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-\mu\beta'(x_{in} - x_{jn})}} = \frac{e^{\mu\beta'x_{in}}}{e^{\mu\beta'x_{in}} + e^{\mu\beta'x_{jn}}} \quad (2.24)$$

2.2.3 Maksimum Olabilirlik Yöntemi

Bireysel tür seçiminin fayda fonksiyonuna ait değişken katsayılarının belirlenmesinde en çok “Maksimum Olabilirlik Fonksiyonu” kullanılmaktadır. N adet gözlemlili ikili bir tür seçim modelinin, değişken katsayılarını belirlemeye yönelik bir olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki formu almaktadır:

$$L^*(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K) = \prod_{n=1}^N P_n(i)^{y_{ni}} P_n(j)^{y_{nj}} \quad (2.25)$$

K : açıklayıcı değişken sayısı

$P_n(i)$: n bireyinin i seçeneğini seçme olasılığı ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K$ 'ya bağlı bir fonksiyon)

$P_n(j)$: n bireyinin j seçeneğini seçme olasılığı ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K$ 'ya bağlı bir fonksiyon)

$$y_{in} = \begin{cases} 1 & \text{n bireyi i seçeneğini seçer ise} \\ 0 & \text{n bireyi j seçeneğini seçer ise} \end{cases}$$

$$y_{jn} = \begin{cases} 1 & \text{n bireyi j seçeneğini seçer ise} \\ 0 & \text{n bireyi i seçeneğini seçer ise} \end{cases}$$

Genellikle olabilirlik fonksiyonunun logaritmik formu kullanılır:

$$L(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K) = \sum_{n=1}^N [y_{ni} \cdot \log P_n(i) + y_{nj} \cdot \log P_n(j)] \quad (2.26)$$

İkili model için “ $y_{nj}=1-y_{ni}$ ” ve “ $P_n(j)=1-P_n(i)$ ” eşitlikleri dikkate alınırsa,

$$L(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K) = \sum_{n=1}^N [y_{ni} \cdot \log P_n(i) + (1 - y_{ni}) \cdot \log [1 - P_n(i)]] \quad (2.27)$$

elde edilir. Logaritmik olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmesi, β katsayıları için en iyi tahmini vermektedir. Bu amaçla logaritmik olabilirlik fonksiyonunun türevi “0” a eşitlenir:

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_k} = \sum_{n=1}^N \left\{ y_{ni} \frac{\partial P_n(i) / \partial \beta_k}{P_n(i)} + y_{nj} \frac{\partial P_n(j) / \partial \beta_k}{P_n(j)} \right\} = 0 \quad (2.28)$$

Maksimum olabilirlik fonksiyonu genel olarak içbükey bir şekle sahiptir ve kestirimleri tutarlı ve asimptotik olarak normal dağılmaktadır. Bu yüzden kestirimlerin varyans-kovaryans matrisi “ $-\varepsilon[\nabla^2 L]^{-1}$ ” olarak elde edilmektedir. Burada “ $\nabla^2 L$ ” olabilirlik fonksiyonunun ikinci kısmi türevini ifade etmekte olup, parametrelerin gerçek değerleri bilinmediğinden, varyans-kovaryans matrisinin beklenen değeri ile ifade edilmektedir:

$$E \left[\frac{\partial^2 L}{\partial \beta_k \partial \beta_l} \right] \cong \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial^2 [y_{in} \log P_n(i) + y_{jn} \log P_n(j)]}{\partial \beta_k \partial \beta_l} \right]_{\beta=\hat{\beta}} \quad (2.29)$$

Değişken katsayılarının bulunmasında, olabilirlik fonksiyonunun maksimizasyonu, Newton-Raphson iterasyonu ile elde edilmektedir. İterasyonun adımlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

Adım 0 : $\hat{\beta}_0 = [\beta_{01}, \beta_{02}, \dots, \beta_{0K}]$ başlangıç değişken katsayıları seçilir. Genellikle başlangıç katsayılarının hepsi “0” seçilir. İterasyon sayacı $\omega=0$ alınır. Yaklaşım kriterleri e_1 ve e_2 küçük pozitif değerler olarak belirlenir. Genellikle $e_1=10^{-4}$ ve $e_2=10^{-2}$ alınır.

Adım 1 : Olabilirlik fonksiyonun türevi $\hat{\beta}_\omega$ etrafında doğrusallaştırılır :

$$\nabla L(\hat{\beta}_\omega) + \nabla^2 L(\hat{\beta}_\omega)(\hat{\beta} - \hat{\beta}_\omega) = 0 \quad (2.30)$$

Adım 2 : Doğrusallaştırılmış form, bir sonraki adımın katsayılarını belirlemek üzere çözülür:

$$\hat{\beta}_{\omega+1} = \hat{\beta}_{\omega} - [\nabla^2 L(\hat{\beta}_{\omega})]^{-1} \cdot \nabla L(\hat{\beta}_{\omega}) \quad (2.31)$$

Adım 3 : $\hat{\beta}_{\omega+1}$ ile $\hat{\beta}_{\omega}$ arasındaki farkın yeterince küçük olup olmadığı sınanır.

$$\left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\hat{\beta}_{\omega+1,k} - \hat{\beta}_{\omega k})^2 \right]^{1/2} < e_1 \quad \text{ve/veya} \quad \left| \frac{\hat{\beta}_{\omega+1,k} - \hat{\beta}_{\omega k}}{\hat{\beta}_{\omega k}} \right| < e_2 \quad (2.32)$$

Bu şartlar sağlanıyor ise $\hat{\beta}_{\omega+1}$ çözümdür. Aksi halde $\omega=\omega+1$ ile bir sonraki iterasyon adımına geçilir ve Adım 1’den itibaren işlemler tekrarlanır (Ben-Akiva ve Lerman, 1985).

Maksimum olabilirlik yönteminin model sonuçlarının değerlendirilmesinde birkaç değişik yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler genellikle, logaritmik olabilirlik fonksiyonunun iterasyonlar sonundaki yakınsama derecesinden hareketle geliştirilmiştir. Ayrıca, aynı nitelikte ancak sadece sabit terim içeren bir model de eş zamanlı çözülerek, bu modeldeki yakınsama, değişkenlerin etkinliğinin sınanmasında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, olabilirlik fonksiyonunun genel yakınsama başarımının sınanmasında 3 farklı olabilirlik değeri kullanılmaktadır:

- 1- LLF(0) : Değişkenleri içeren logaritmik olabilirlik fonksiyonunun “0.” iterasyon değeri
- 2- LLF(c) : Sadece sabit terim içeren fonksiyonun son iterasyon değeri,
- 3- LLF(β) : Değişkenleri içeren fonksiyonun son iterasyon değeri.

Bu değerlerden hareketle Chi-kare dağılımına uyduğu kabul edilen “K-1” serbestlik dereceli (K: değişken sayısı) iki farklı istatistiksel başarımlar ölçütü ortaya çıkmaktadır:

$$A1 = -2 [LLF(0) - LLF(\beta)] \quad (2.33)$$

$$A2 = -2 [LLF(c) - LLF(\beta)] \quad (2.34)$$

Bunlardan ilki değişkenli olabilirlik fonksiyonunun yeteri kadar yakınsayıp yakınsamadığını gösterirken, ikincisi değişkenleri içeren fonksiyonun, değişkenlerin hiçbirini içermeyen, sadece sabit terime sahip olan fonksiyona göre ne kadar yakınsadığını göstermektedir. Bu ölçütlerin Chi-kare istatistiğinin 0,05'ten küçük çıkması, modelin genel başarımının yüksek olduğunu işaret etmektedir.

Bunların yanı sıra, yine verilen üç olabilirlik fonksiyonu değerinden hareketle, 2 farklı informal ölçüt daha bulunmaktadır. “ ρ^2 ” ve “ ρ_d^2 ” ile ifade edilen bu ölçütler, doğrusal regresyondaki regresyon katsayısı ile benzeşim kurmak amacıyla oluşturulmuştur. Ancak tam olarak regresyon katsayısı ile benzer bir nitelik yansıtmadığı ve bu yüzden dikkatli kullanılmaları gerektiği, çeşitli kaynaklarca ifade edilmektedir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985):

$$\rho^2 = 1 - \frac{LLF(\beta)}{LLF(c)} \quad (2.35)$$

$$\rho_d^2 = 1 - \frac{LLF(\beta) - K}{LLF(0)} \quad (2.36)$$

İlk ölçüt değişkenlerin sabit terimli fonksiyona kıyasla başarımını, diğeri ise değişkenli fonksiyonun yakınsama başarımını göstermektedir. Bu istatistiklerin F dağılımına uyduğu ve “K-1, K” serbestlik derecesine sahip olduğu kabulü yapılarak F testi ile başarımların durumu sınanmaktadır. Bu ölçütlerin “1” e yakın değerler alması beklenmekte ve F testine çoğu zaman ihtiyaç duyulmamaktadır.

Elde edilen değişken katsayılarının “0” hipotezi testleri ise bulunan katsayıların standart sapmaları ve bunlara ait t istatistikleri yardımıyla sınanmaktadır. Bu prosedürün doğrusal regresyon modellerindeki uygulamadan tek farkı, standart sapmalar hesaplanırken asimptotik varyans-kovaryans matrisinin kullanılmasıdır.

2.3 Birleştirilmiş Ulaşım Talep Modelleri

Literatürde arazi kullanımı ve ulaştırma altyapısı özelliklerinin birlikte değerlendirildiği birçok birleştirilmiş talep modeli bulunmaktadır. Temeli 1950’li yıllara dayanan ve klasik dört aşamalı ulaşım talep modelinin iki veya üç aşamasını birlikte modellemeye yönelik olan bu arz-talep dengesi modelleri, başlangıçta karmaşık ve özgün çözüme ulaşılması oldukça güç yaklaşımlar iken, son 20 yılda bilgisayarlı iteratif çözüm alternatiflerinin uyarlanması ile uygulamada kabul gören yaklaşımlar haline gelmiştir.

Ulaşım talebini bir optimizasyon problemi olarak ele alan ilk yaklaşım Beckmann v.d.’ne (1956) aittir. Ayrıştırılabilir talep ve maliyet fonksiyonlarının tek kullanıcı türü ve esnek talep için optimize edildiği yaklaşımı, yolculuk dağıtımı ve atama aşamalarını birleştiren birçok farklı türevi takip etmiştir. Örneğin Evans (1976), yolculuk dağıtımında kullanılan zon 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.

Son yıllarda performans-talep dengesine yönelik birçok çalışma olmasına rağmen, bunların çok az bir bölümü hiyerarşik yapıyla birleştirilmiş talep seçimlerini modellemeye yöneliktir. Boyce v.d. (1983) entropi kısıtları ve birinci dereceden koşullar ile ayrıştırılabilir bir amaç fonksiyonu olan bir maliyet minimizasyon problemi tanımlamıştır. Birkaç yıl sonra Brice (1989), entropilerinin ayrıştırılabilirliğine dayanan, yolculuk dağıtımı ve tür seçimini birleştiren doğrusal olmayan bir en iyileme programı formüle etmiştir. Brice amaç fonksiyonundaki entropi terimlerini yolculuk matrisindeki değişkenlik ile tür payı – yolculuk sıklığı çarpımının toplamı şeklinde tanımlamıştır.

Hiyerarşik yapılı ulaşım ağı dengesi modellerinin gelişimi ise son on yılda gerçekleşmiştir. Boyce v.d.’nin (1988) çalışması o döneme değin ağ dengesi

konusundaki birleştirilmiş yaklaşımların ayrıntılı bir özetini sunmaktadır. Öncelikle literatürdeki birleştirilmiş dağıtım-atama modelleri üzerinde durulan çalışmada, dağıtım-tür seçimi ve atama aşamalarının birleştirildiği bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin amaç fonksiyonu Beckmann'ın (1956) klasik ayrıştırılabilir maliyet fonksiyonlarından türetilmiş olup entropi, sınır koşulları yardımıyla yansıtılmıştır. Ulaşım ağı dengesinde hiyerarşik lojit model kullanan ilk yaklaşım Fernandez v.d.'ne (1994) ait olup çalışmada “park et ve bin” uygulaması için en uygun istasyonun seçimi talep fonksiyonunun bir alt düzeyinde ele alınmıştır (Florian ve diğ., 1999). De Cea v.d. (2001, 2005) 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. Fernandez v.d. de (2003) şehirlerarası yük taşımacılığını modellemek için talebi hiyerarşik lojit yapıda ele alan çoklu ulaşım türlü bir arz-talep modeli geliştirmiştir.

Birleştirilmiş modellerin birçoğu “konveks optimizasyon” yaklaşımına dayalı olup bu yaklaşımların teorik olarak birleştirildiği ve formülasyonlarının tek bir temele dayandırıldığı tek çalışma De Cea v.d.'ne (2008) aittir. Birleştirilmiş talep ve performans-talep modelleri için genelleştirilmiş bir formülasyon öneren çalışma, çok amaçlı optimizasyon yöntemini arz odaklı yaklaşım yerine performans odaklı yaklaşıma uyarlamaktadır. De Cea v.d. tarafından geliştirilen yaklaşımın temel prensipleri aşağıdaki gibidir:

- Yolculuk bitiş noktası, ulaşım türü, yolculuğun başlangıç zamanı, güzergâh gibi talep seçimleri, “entropi”nin maksimize edildiği hiyerarşik bir yapıya sahiptir ve her bir seçim düzeyindeki sınır koşulları sağlanmalıdır. Bu seçimleri kapsayan birleştirilmiş bir talep modeli “çok amaçlı programlama” problemi olarak formüle edilebilir ve bu “temsil problemi” olarak isimlendirilen tek bir optimizasyon problemine dönüştürülebilir.
- Ulaşım ağı dengesi bakımından bütün sistem kullanıcıları Wardrop'un birinci ilkesine göre, dolayısıyla deterministik yaklaşıma göre davranırlar. Ulaşım ağına ait link maliyet fonksiyonları konveks ve ayrıştırılabilir.

- Birleştirilmiş performans-talep dengesi modelleri, aynı zamanda çok amaçlı programlama problemi olarak formüle edilir. Birleştirilmiş talep modellerinde olduğu gibi, performans-talep dengesi modelleri de eşdeğer tek bir optimizasyon problemi ile ifade edilebilir.
- Ağ maliyet fonksiyonunun asimetric olması durumunda konveks bir optimizasyon problemi oluşturulamaz. Böyle bir durumda problem değişken eşitsizliklerle tanımlanır.

Entropi kavramı ilk olarak fizikte, kapalı termodinamik sistemlerde moleküler bir oluşumun meydana gelme olasılığını belirlemede kullanılmıştır. Yolculuk dağıtımında ise entropi, $T=\{T_w\}$ şeklinde bir yolculuk matrisinde birçok bireyin yolculuk kararları ile şekillenen “w” başlangıç-bitiş çiftleri için gözlemlenen yolculuk sayısına (T_w) benzeştirilmektedir. Genel yolculuk matrisi “T”den meydana gelebilecek olası durumlar sayısı $E(T)$ ile gösterilirse entropi ifadesi (De Cea ve diğ., 2008):

$$E(T) = \frac{T!}{\prod_w T_w!} \quad (2.37)$$

olmaktadır. Başlangıç bitiş çifti durumlarının yanında ulaşım türlerine ait yolculuk matrisleri de dikkate alınırsa, “m” ulaşım türünü göstermek üzere:

$$E(T_w^m) = \prod_w \left(\frac{T_w!}{\prod_m T_w^m!} \right) = \frac{\prod_w T_w!}{\prod_w \prod_m T_w^m!} \quad (2.38)$$

halini almaktadır. Entropi ifadesinin doğal logaritması alınarak faktoriyelli ifadeler Stirling yaklaşımına ($\ln x! = x(\ln x - 1)$) göre dönüştürülürse:

$$\ln E(T) = \ln T! - \sum_w \ln T_w! \quad (2.39)$$

$$\ln E(T_m) = \sum_w \ln T_w! - \sum_w \sum_m \ln T_w^m! \quad (2.40)$$

$$E'(T) = T(\ln T - 1) - \sum_w T_w(\ln T_w - 1) \quad (2.41)$$

$$E'(T_m) = \sum_w T_w(\ln T_w - 1) - \sum_w \sum_m T_w^m(\ln T_w^m - 1) \quad (2.42)$$

Yolculuk bitiş noktası ve ulaşım türü dışındaki yolculuk seçim unsurları da benzer bir yaklaşımla entropi denklemine ilave edilebilmektedir. Yolculuk seçimleri hiyerarşik olarak modellenmektedir. Dolayısıyla bir başlangıç-bitiş çifti için beklenen yolculuk sayısı, o çiftin bir alt düzeyinde tür seçim modeline tabi tutulmakta ve her iki talep seçimi tek bir entropi maksimizasyon kriteri ile modellenebilmektedir. De Cea v.d.'nin (2008) çalışması, genel hiyerarşik yapıyı çoklu amaçlı programlama yaklaşımı ile tek bir probleme dönüştürmeye odaklanmaktadır. Yolculuk bitiş noktası ve tür seçimini birleştiren çoklu amaçlı temel problem aşağıdaki gibidir:

$$\min_{\{T_w, T_w^m\}} \sum_m \sum_w T_w^m c_w^m \quad (2.43)$$

$$\max_{\{T_w, T_w^m\}} E(T) = \frac{T!}{\prod_w T_w!} \quad (2.44)$$

$$\max_{\{T_w, T_w^m\}} E(T_m) = \frac{\prod_w T_w!}{\prod_w \prod_m T_w^m!} \quad (2.45)$$

“ C_w^m ”, “w” (w=(i,j)) başlangıç-bitiş çifti arasında “m” ulaşım türü ile yolculuğun maliyetidir. Temel problem aşağıdaki sınır koşullarını sağlamalıdır:

$$\sum_j T_w = O_i, \quad \forall i \quad (\mu_i) \quad (2.46)$$

$$\sum_i T_w = D_j, \quad \forall j \quad (\gamma_j) \quad (2.47)$$

$$\sum_m T_w^m = T_w, \quad \forall w \quad (u_w) \quad (2.48)$$

“O_i” ve “D_j” analiz bölgelerine ait yaratım ve çekim toplamlarıdır. Eşitlik 2.37’ye uygulandığı gibi, 2.44 ve 2.45’e doğal logaritma ve Stirling dönüşümü uygulandığında amaç fonksiyonları aşağıdaki şekli almaktadır:

$$\min_{\{T_w, T_w^m\}} \sum_m \sum_w T_w^m c_w^m \quad (2.49)$$

$$\min_{\{T_w, T_w^m\}} \sum_w T_w (\ln T_w - 1) \quad (2.50)$$

$$\min_{\{T_w, T_w^m\}} \sum_w \sum_m T_w^m (\ln T_w^m - 1) - \sum_w T_w (\ln T_w - 1) \quad (2.51)$$

Bu amaç fonksiyonları, kalibre edilebilen amaç parametreleri $(\hat{\theta}_2, \hat{\theta}_3)$ kullanılarak tek bir optimizasyon problemine dönüştürülebilmektedir:

$$\min_{\{T_w, T_w^m\}} \sum_m \sum_w T_w^m c_w^m + \hat{\theta}_2 \sum_w T_w (\ln T_w - 1) + \hat{\theta}_3 \left[\sum_w \sum_m T_w^m (\ln T_w^m - 1) - \sum_w T_w (\ln T_w - 1) \right] \quad (2.52)$$

2.46-2.48’de verilen sınır koşulları birleştirilmiş optimizasyon problemi için de geçerlidir. Sınır koşulları Lagrange fonksiyonu formunda optimizasyon problemine ilave edildiğinde aşağıdaki fonksiyon elde edilmektedir:

$$\begin{aligned} L = & \sum_m \sum_w T_w^m c_w^m + \hat{\theta}_2 \sum_w T_w (\ln T_w - 1) + \hat{\theta}_3 \left[\sum_w \sum_m T_w^m (\ln T_w^m - 1) - \sum_w T_w (\ln T_w - 1) \right] \\ & - u_w \left(T_w - \sum_m T_w^m \right) - \mu_i \left(O_i - \sum_j T_w \right) - \gamma_j \left(D_j - \sum_i T_w \right) \end{aligned} \quad (2.53)$$

Gerekli optimum koşullar, Lagrange fonksiyonunun “T_w” ve “T_w^m” değişkenlerine göre türev alınması yardımıyla elde edilmektedir. “ $\hat{\theta}_2$ ” ve “ $\hat{\theta}_3$ ”, ulaşım

modellerinde alışlagelen notasyonlarla uyumlu hale getirilmek üzere, “ $1/\beta$ ” ve “ $1/\lambda$ ” şeklinde yeniden tanımlanırsa, problemin tür seçimi unsuru 2.54, dağıtım ise 2.55’teki formuna dönüşmektedir:

$$P_w^m = \frac{e^{-\lambda c_w^m}}{\sum_m e^{-\lambda c_w^m}} \quad (2.54)$$

$$T_w = A_i O_i B_j D_j e^{-\beta L_w} \quad (2.55)$$

$$L_w = \frac{1}{\lambda} \ln \sum_m e^{-\lambda c_w^m}, \quad A_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j e^{-\beta L_w}}, \quad B_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_i e^{-\beta L_w}} \quad (2.56)$$

“ L_w ” ifadesi, literatürdeki fayda esaslı erişilebilirliğin temel denklemi ile yapı bakımından örtüşürken, “ A_i ” ve “ B_j ” dengeleme faktörleri ise aktivite esaslı ölçütlerin bir türevi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Birleştirilmiş amaç fonksiyonunun tek çözümü, “ $\hat{\theta}_2$ ” ve “ $\hat{\theta}_3$ ” kalibrasyon parametrelerinin pozitif değerli ve “ $\hat{\theta}_2 - \hat{\theta}_3 \geq 0$ ” olması koşulu ile elde edilmektedir. Dönüştürülen “ β ” ve “ λ ” parametrelerine göre ise “ $\beta \leq \lambda$ ” koşulu haline gelmektedir. Benzer koşullar, De Cea v.d. (2008) tarafından türetilen bu genelleştirilmiş optimizasyon probleminin özel bir formu olan EVA (Erzeugung: yolculuk yaratımı, Verteilung: yolculuk dağıtımı, Aufteilung: türel dağılım) modelinde de (Lohse ve diğ., 1997) bulunmaktadır. İlk olarak Vritic v.d. (2007) tarafından İngilizce literatüre kazandırılan EVA modeli, yolculuk yaratım, dağıtım ve atama aşamalarını, De Cea v.d. (2008) tarafından geliştirilen genel yaklaşımla birçok ortak özelliği olan bir prosedürle birleştirmektedir.

EVA yaklaşımını, De Cea v.d. 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 (Vritic ve diğ., 2007). 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. EVA modeli yolculuk dağıtımı için iki farklı yaklaşım kullanılmasına izin vermektedir. Yolculuk dağıtımı, diğer etkenlerden bağımsız olarak sadece analiz bölgesi karakteristiklerinden hareketle modellenebiliyor ise “sabit kısıtlar” kullanılmakta, analiz bölgesi karakteristikleri yanında ulaştırma sistemindeki arz ve analiz bölgeleri arasında aktivite olanağı bakımından rekabet koşullarına da bağlı olan bir yolculuk dağıtımı söz konusu ise “elastik kısıtlar” kullanılmaktadır.

EVA yaklaşımı yolculuk çekim ve yaratımını, deterministik ve detaylandırılmış yolculuk oranlarını kullanarak çapraz sınıflama yöntemi ile elde etmektedir. Klasik çapraz sınıflama yöntemindeki hanelerin sosyo-ekonomik özelliklerine göre sınıflandırılmasından ziyade, hanelerden üretilen yolculukların amaçlarına göre ev uçuşu iş, ev uçuşu okul vb. sınıflama gerçekleştirilmektedir.

EVA modeli yolculuk bitiş noktası ve tür seçimini birleştirilmiş bir yaklaşımla modellerken, yolculuk yaratımındaki kullanıcı grubu – aktivite amacı çiftleri ile ilişkilendirmektedir. Bir “i” analiz bölgesi tarafından yaratılan “Q_i” yolculuk sayısı ve “j” bölgesi tarafından çekilen sabit kısıtlı “Z_j” veya elastik kısıtlı “Z_{maxj}” yolculuk sayılarının biliniyor olduğu kabul edilir. “k” ulaşım türü ile “i” ve “j” bölgeleri arasında yapılan yolculukların payı, yolculuk genelleştirilmiş maliyetinin bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Bu koşullu olasılığın genel formu aşağıdaki gibidir (Vritic ve diğ., 2007):

$$BW_{ijk} = P(W / (A_i \cap E_j \cap M_k)) \quad (2.57)$$

Burada:

A_i : “i” nin başlangıç bölgesi olarak seçilme olasılığı,

E_j : “j” nin bitiş bölgesi olarak seçilme olasılığı,

M_k : “k” nın ulaşım türü olarak seçilme olasılığı,
 W : genelleştirilmiş maliyete göre “i” den “j” ye “k” türünü kullanarak giden yolculuk sayısıdır.

Genelleştirilmiş maliyete bağlı olarak elde edilen bu olasılık için seçilen form tahmin başarımını büyük ölçüde etkilemektedir. Lohse v.d. (2004) EVA modelinde bu olasılık fonksiyonu için “E, F ve G” gibi üç kalibrasyon parametresi içeren bir ifade önermiştir:

$$BW = f(w) = \left[1 + \left(\frac{w}{F} \right)^G \right]^{-\frac{E}{G}} \quad (2.58)$$

Temel model “V” tüm yolculuklarını, “BW” olasılık fonksiyonundan yararlanarak “ v_{ijk} ” yolculuk sayılarına dönüştürmektedir:

$$\begin{aligned} v_{ijk} &= \frac{P(W / (A_i \cap E_j \cap M_k))}{\sum_{i'} \sum_{j'} \sum_{k'} P(W / (A_{i'} \cap E_{j'} \cap M_{k'}))} \cdot V \\ &= \frac{P(A_i) \cdot P(E_j) \cdot P(M_k) \cdot P(W / (A_i \cap E_j \cap M_k))}{\sum_{i'} \sum_{j'} \sum_{k'} P(A_{i'}) \cdot P(E_{j'}) \cdot P(M_{k'}) \cdot P(W / (A_{i'} \cap E_{j'} \cap M_{k'}))} \cdot V \end{aligned} \quad (2.59)$$

Bu ifadedeki olasılıkların hesaplanması için lojit model gibi herhangi bir form seçilebilmektedir. Sabit kısıtlar için koşullu olasılıklar aşağıdaki gibidir:

$$P(A_i / W) = \frac{Q_i}{V}, \quad P(E_j / W) = \frac{Z_j}{V}, \quad P(M_k / W) = \frac{M_k}{V} \quad (2.60)$$

Koşullu ve koşulsuz olasılıkların oranları, bilinmeyen dengeleme faktörlerinin başlangıç değerlerini belirlemede kullanılmaktadır:

$$q_i = \frac{P(A_i)}{P(A_i/W)}, \quad z_j = \frac{P(E_j)}{P(E_j/W)}, \quad a_k = \frac{P(M_k)}{P(M_k/W)} \quad (2.61)$$

Temel model koşullu olasılıklar ve dengeleme faktörler cinsinden yazılırsa aşağıdaki formunu almaktadır:

$$v_{ijk} = \frac{P(A_i/W).q_i.P(E_j/W).z_j.P(M_k/W).a_k.P(W/(A_i \cap E_j \cap M_k))}{\sum_{i'} \sum_{j'} \sum_{k'} P(A_{i'}/W).q_{i'}.P(E_{j'}/W).z_{j'}.P(M_{k'}/W).a_{k'}.P(W/(A_{i'} \cap E_{j'} \cap M_{k'}))} \cdot V \quad (2.62)$$

Koşullu olasılıklar yerine konursa aşağıdaki sadeleşmiş form elde edilmektedir:

$$v_{ijk} = BW_{ijk} \cdot \frac{Q_i}{V} \cdot q_i \cdot \frac{Z_j}{V} \cdot z_j \cdot \frac{M_k}{V} \cdot a_k \cdot f = BW_{ijk} \cdot f q_i \cdot f z_j \cdot f a_k \quad (2.63)$$

Sınır koşulları:

$$Q_i = \sum_j \sum_k v_{ijk}, \quad Z_j = \sum_i \sum_k v_{ijk}, \quad M_k = \sum_i \sum_j v_{ijk} \quad (2.64)$$

De Cea v.d.'nin (2008) seri çarpım ve faktöriyelli genel optimizasyon problemini Stirling yaklaşımı ile doğal logaritmali forma çevirmesi, EVA yaklaşımı ile kullanılan Schürger'e (1998) ait "bilgi kazanımının maksimizasyonu" yaklaşımının temel EVA modelinde verdiği sonuçla oldukça paralel niteliktedir:

$$\sum_i \sum_j \sum_k \left[v_{ijk} \cdot \ln \left(\frac{v_{ijk}}{BW_{ijk}} \right) - v_{ijk} \right] \rightarrow \text{minimum} \quad (2.65)$$

Satır toplamı koşulu ile Lagrange çarpanı yöntemi uygulandığında, Lagrange fonksiyonu aşağıdaki gibi türetilmektedir:

$$\begin{aligned}
\Phi = & \sum_i \sum_j \sum_k \left[v_{ijk} \cdot \ln \left(\frac{v_{ijk}}{BW_{ijk}} \right) - v_{ijk} \right] + \sum_i \lambda_i \left(\sum_j \sum_k v_{ijk} - Q_i \right) \\
& + \sum_j \mu_j \left(\sum_i \sum_k v_{ijk} - Z_j \right) + \sum_k \eta_k \left(\sum_i \sum_j v_{ijk} - M_k \right)
\end{aligned} \tag{2.66}$$

Bu Lagrange fonksiyonunun De Cea v.d. (2008) tarafından türetilen genelleştirilmiş Lagrange fonksiyonundan (Eşitlik 2.53) yapısal olarak tek farkı, tür seçimi ve başlangıç-bitiş noktası seçimi bileşenlerinin tek olasılık teriminde toplanmasıdır. Onun dışında, dengeleme faktörleri ve sınır koşullarına ait son üç bileşen benzer niteliktedir. Ayrıca EVA fonksiyonu kısmi türev uygulamaya daha uygundur. Lagrange fonksiyonunun “i”den “j”ye “k” türü ile yolculuk sayılarına, dolayısıyla birleşik talep seçimine (v_{ijk}) göre kısmi türevini “0”a eşitleyen sonuç, tek optimum sonuçtur:

$$\begin{aligned}
v_{ijk} &= BW_{ijk} \cdot e^{-\lambda_i} \cdot e^{-\mu_j} \cdot e^{-\eta_k} \\
v_{ijk} &= BW_{ijk} \cdot fq_i \cdot fz_j \cdot fa_k
\end{aligned} \tag{2.67}$$

Arazi kullanım bileşenlerinin tür seçimine ortak dengeleme faktörleri ile yansıtılması, EVA modelinin elastik kısıtlı yaklaşımı ile en belirgin formunda ortaya konmaktadır. Arazi kullanımından doğan aktivite olanaklarının analiz bölgeleri arasında rekabet oluşturmaları ve ulaştırma altyapısının doygunluğunu dikkate alan bu yaklaşım, bu iki unsurun genelleştirilmiş 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 genelleştirilmiş 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.

Tez çalışmasında kullanılan erişilebilirlik ölçütleri, matematiksel olarak, klasik talep modelindeki yolculuk dağıtım yaklaşımlarından türetilmiştir. Erişilebilirliğin “olanaklar” olarak tanımlanan arazi kullanım bileşenlerini de içermesi, yolculuk yaratım ve dağıtımını unsurlarının ikisini de barındırdığını göstermektedir. Tezdeki tür seçim yaklaşımlarında ise erişilebilirlik bileşenleri tür seçimini kestirmede destek bağımsız değişkenler olarak sınanmaktadır. Dolayısıyla tez çalışmasının, klasik talep modellerinin ilk üç aşamasını harmanladığı söylenebilir. Ancak bu üç aşama arasında ortak dengeleme faktörleri yardımıyla birbirini eniyileyen bir bağ, bu çalışma kapsamında uygulanmamıştır. Yukarıda değinilen talep model aşamalarını birleştirmeye yönelik yaklaşımlar ise çoğunlukla klasik modelin son üç aşamasını (yolculuk dağıtım, türel dağılım ve trafik atama) birleştirmeye müsaittir. De Cea v.d. (2008) 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, tez çalışmasının analitik bölümlerinde kapsam dışında tutulmuştur.

BÖLÜM ÜÇ

AKTİVİTE VE FAYDA ESASLI ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTLERİNİN ULAŞIM TÜRÜ SEÇİMİ İLE İLİŞKİSİ

Tezin bu bölümünde, 2. Bölüm’de açıklanan erişilebilirlik ölçütlerine ait yapısal sınıflamanın potansiyel ve fayda esaslı erişilebilirlik sınıflarından seçilen birer ölçüt türü, İzmir kent merkezi üzerinde modellenmiştir. Potansiyel ölçütlerden, teorik yapısı gravite teorisine dayanan, kullanımı kolay ve yaygın bir tür olan aktivite esaslı potansiyel erişilebilirlik (AEPE) tercih edilmiştir.

AEPE ve fayda esaslı erişilebilirlik (FEE) ölçütlerinin kullanımındaki en önemli unsur, literatürde üzerinde çok durulmamasına rağmen, ulaşım faaliyetinin yarattığı direnç duyarlılık parametrelerinin belirlenmesidir. Çünkü düşük duyarlılık parametreleri, erişilebilirlik ölçütlerinin arazi kullanım bileşenini, yüksek duyarlılık parametreleri ise ulaşım altyapısı bileşenini ön plana çıkarmaktadır. Bu yüzden bu bölümde ilk olarak her iki ölçüt türü için, amaca uygun duyarlılık parametrelerinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla toplulaştırılmış tür seçimi istatistikleri ile en iyi ilişkiyi veren duyarlılık parametrelerini, belirlenmiş bir aralık için deneme-yanılma yolu ile tespit eden bir algoritma oluşturulmuş, böylece duyarlılık parametresinden bir kalibrasyon aracı olarak yararlanılmıştır. Daha sonra bulunan optimum parametreler için erişilebilirlik ölçütlerinin İzmir kent merkezi örneği üzerinde ne gibi bir dağılım sergilediği irdelenmiştir.

FEE ölçütünün, teorik yapısının rastlantısal fayda teorisine dayanması ve farklı ulaşım türleri için genelleştirilmiş ulaşım maliyetlerine göre ayrı ayrı modellenenebilmesi bakımından tür seçimi ile daha yakın bir yapısal bağı olduğundan, AEPE ölçütünden daha çok üzerinde durulmuştur. Toplulaştırılmış tür seçimi ile olan ilişkisi, esneklik regresyonları yardımıyla doğrusal açıdan, yapay sinir ağları modeli ile ise doğrusal olmayan açıdan sınanmıştır.

Modellenen her iki ölçüt türünde iki ana veriye ihtiyaç duyulmaktadır: arazi kullanışı ve yolculuğun oluşturduğu direnç. Arazi kullanışı erişilebilirlik ölçütlerinde, yapılan bir yolculuk ile sağlanabilecek olanakları temsil ederken yolculuğun oluşturduğu direnç fonksiyonu, bu olanaklara ulaşım için gerekli eforu temsil eden paydadaki bileşeni oluşturmaktadır. Aktivite esaslı erişilebilirlikte bu direnç fonksiyonu genellikle yolculuğun uzunluğu olmakta, fayda esaslı ölçütte ise yolculuğun genelleştirilmiş maliyeti dikkate alınmaktadır. Olanakların bu direnç fonksiyonundan ne kadar etkilendiği, bir duyarlılık parametresi yardımıyla belirlenmekte, bu parametrenin alacağı değer erişilebilirlik ölçütünün kullanım amacına göre kalibre edilebilmektedir. Duyarlılık parametresinin büyük değerler alması erişilebilirlik ölçütünün arazi kullanımından aldığı payı azaltmakta, küçük değerler alması ise arazi kullanımının, dolayısıyla olanakların, incelenen amaç için payının yüksek olduğunu göstermektedir. Yüksek duyarlılık parametreleri, erişilebilirlik ölçütlerinin küçük değerler almasına ve dar bir aralıkta değişmesine sebep olmaktadır. Çalışmada erişilebilirliğin temel bileşeni olan olanakların tür seçimi üzerindeki etkisi incelendiğinden, tür seçimi ile yüksek korelasyonun, hangi duyarlılık parametresi ile elde edildiği önem taşımaktadır. Bu analizin hipotezi, düşük bir duyarlılık parametresi kullanıldığında tür seçimi ile kayda değer bir ilişki elde edilmesinin, ilgili erişilebilirlik türünün ulaşım türü seçimi üzerinde etkili olduğudur. Çünkü yüksek duyarlılık parametreleri, olanaklardan ziyade yolculuk direncine dayalı ölçüt sonuçları verecek ve olanaklar etkisiz kılınacaktır.

Alansal arazi kullanım verileri İzmir Ulaşım Ana Planı Raporu'nda (İBB, 2009) yolculuk yaratımı aşamasında kullanılmak üzere düzenlenen formuyla ele alınmıştır (Tablo 3.1). 15 farklı türde arazi kullanım verisi dikkate alınmış, benzerliklerine ve temel aktivite yapısına göre, ulaşım faaliyetinde etkin olduğu düşünülen 6 ana grupta değerlendirilmiştir:

- i. Konut [KON] (1)
- ii. Üretim dışı ekonomik faaliyetler [EKO] (3, 4, 11, 12)
- iii. Üretim [ÜRT] (2)
- iv. Eğitim ve sağlık kullanışları [ES] (5, 6, 7)

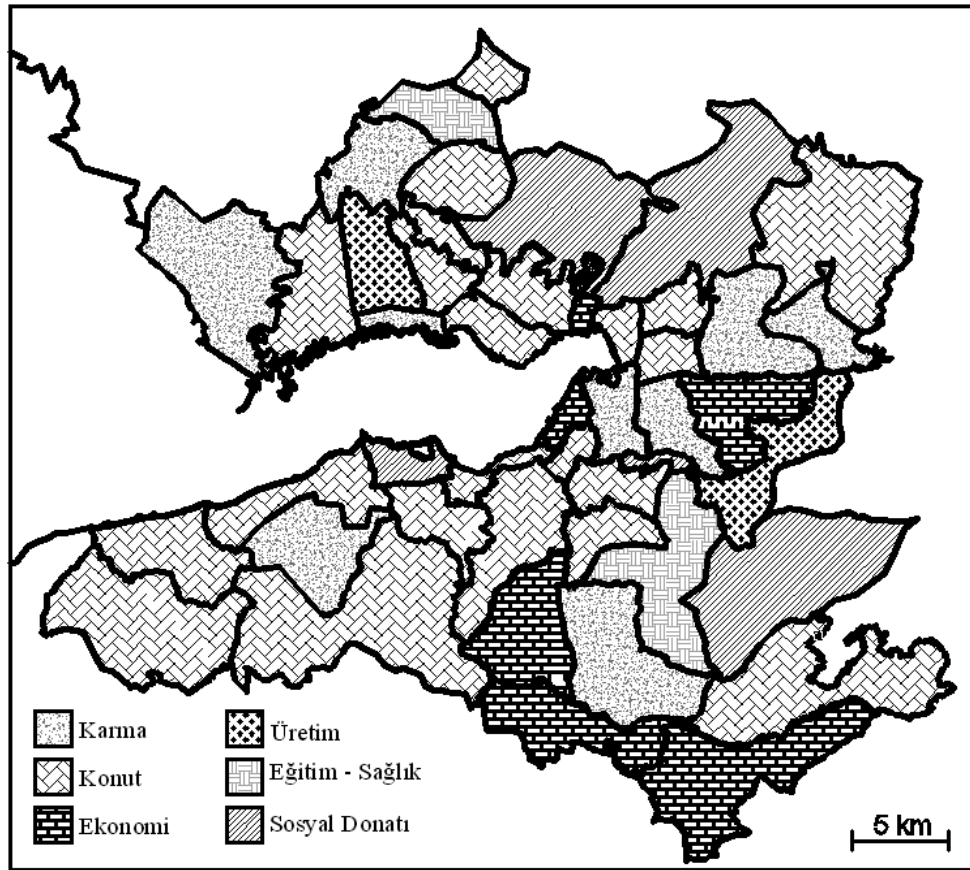
- v. Sosyo-kültürel kullanışlar [SK] (8, 9, 13, 14)
- vi. Toplam arazi kullanışı [TOP] (15)

Tablo 3.1’de verilen arazi kullanım türlerinin 47 analiz bölgesi ortalamaları ile değişim aralıkları karşılaştırıldığında, çoğu tür için ortalamanın 10 katının üzerinde bir aralık olduğu dikkati çekmektedir. Dolayısıyla analiz bölgelerinin arazi kullanım karakteristiklerinin birbirinden oldukça farklı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3.1 Kullanılan arazi kullanım verileri

Arazi Kullanış Türü	Ortalama (ha)	Değişim Aralığı (ha)
1 Meskun Konut	238.86	1,535.51
2 Toplam Sanayi	39.48	625.33
3 Depolama	10.72	213.47
4 Konut Dışı Kentsel Çalışma / Turizm / Kamu	41.98	431.27
5 Eğitim	4.88	47.66
6 Üniversite	22.75	423.86
7 Sağlık	3.24	20.52
8 Sosyo-Kültürel	2.40	23.67
9 Rekreasyon	33.14	705.86
10 Yeşil Alanlar	29.42	239.34
11 Merkezi İş Alanları	9.91	229.27
12 2. ve 3. Derece Merkezler	30.80	326.90
13 Fuar	5.35	101.90
14 Kentsel ve Bölgesel Spor Alanları	4.02	46.72
15 Toplam Arazi Kullanışı	447.52	1,760.14

Bu beş ana arazi kullanım türünden bir tanesini, toplam arazi kullanımının %50’sinden fazla miktarda barındıran İzmir kent merkezi analiz bölgeleri Şekil 3.2’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. Üretimin ve eğitim-sağlık faaliyetinin ağırlıklı olduğu sadece ikişer bölge bulunmuştur. Sosyal donatı yoğunluğu ise yeşil alan gelişiminin yüksek olduğu bölgelerde gözlemlenmektedir.



Şekil 3.2 İzmir kent merkezi analiz bölgelerindeki ağırlıklı arazi kullanımları

Ele alınan 6 sınıf arazi kullanışı, erişilebilirlik ölçütlerinin modellenmesinde, hektar cinsinden gerçek değerlerinin yanısıra, analiz bölgesinin toplam alanındaki payı şeklinde de dikkate alınmış, böylece bir kullanım türünün yüzdesel ağırlığının “olanak” tanımındaki yeri de incelenmiştir. Tablo 3.2’de arazi kullanışlarının hektar cinsinden değerleri ile toplam bölge alanları, Tablo 3.3’te ise bu alanların toplam alan içindeki yüzdeleri verilmiştir. Toplam alanlara göre yüzdeler hesaplandığında, gerçek hektar değerlerine ait tanımlayıcı istatistiklerin büyük ölçüde değiştiği anlaşılmaktadır. Standart sapmaların ortalamaya oranları, yüzdeler için genellikle daha düşüktür. Basıklık ve çarpıklık değerlerine bakıldığında, yüzdeler için dağılımın normale daha yaklaştığı anlaşılmaktadır. Yüzdelerin gerçek değerlere göre ne denli farklı bir davranış verebildiğini birkaç değeri karşılaştırarak görmek mümkündür. Örneğin 36 ve 40 numaralı analiz bölgelerinde konutsal arazi kullanışı 270 ha mertebesinde iken, toplam alana oranları sırasıyla %60,9 ve %19,2’dir. Dolayısıyla miktar açısından aynı olan bir kullanım türü, toplam kullanılan alana oranlandığında 3 kat farklı çıkabilmektedir.

Tablo 3.2 Erişilebilirlik ölçütlerinde kullanılan arazi kullanış türlerinin hektar cinsinden değerleri

Analiz Bölgesi	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam	Bölge Toplam Alanı
1	48.13	107.98	88.46	6.44	4.69	255.7	4,246
2	21.82	0	0	0	0	21.82	2,754
3	0	17.43	56.46	16.86	73.75	164.50	541
4	0	2.46	625.33	0	0	627.79	1,754
5	66.87	114.01	62.42	13.90	0	257.20	1,971
6	33.83	60.72	96.41	246.80	42.56	480.32	1,455
7	152.04	0	35.27	10.26	25.02	222.59	747
8	76.72	11.95	0	0	0	88.67	1,731
9	357.50	0	0	6.31	68.76	432.57	721
10	399.71	236.64	74.60	11.05	18.95	740.95	1,037
11	698.89	73.40	0	0.96	8.12	781.37	1,120
12	797.05	34.29	29.23	31.16	40.24	931.97	1,448
13	30.65	22.73	2.44	15.34	236.46	307.62	4,289
14	25.37	1.46	0	0	4.76	31.59	151
15	0	8.49	0	0	0	8.49	223
16	338.3	103.43	0	0	0	441.73	581
17	70.60	66.70	0	0	705.86	843.16	5,379
18	33.69	0	0	0	0	33.69	5,384
19	705.63	0	0	0	63.63	769.26	853
20	262.71	219.82	19.57	84	62.66	648.76	752
21	504.57	273.37	85.08	317.21	79.44	1259.67	2,393
22	43.96	28.85	0	0	19.86	92.67	1,356
23	312.02	326.90	4.94	0	24.91	668.77	1,352
24	159.22	590.22	335.68	0	10.51	1095.63	2,089
25	18.54	5.75	38.47	0	0	62.76	2,389
26	0	18.79	0	15.83	23.67	58.29	274
27	830.86	7.47	4.90	62.25	59.21	964.69	1,127
28	776.86	120.00	24.24	15.40	53.87	990.37	1,196
29	3.47	45.00	34.87	429.95	4.22	517.51	3,458
30	40.10	14.91	0	0	105.53	160.54	5,330
31	54.21	0	0	0	0	54.21	4,614
32	68.19	93.68	143.85	11.68	0	317.40	3,622
33	371.28	472.50	0	2.92	50.99	897.69	2,595
34	55.92	0	0	0	0	55.92	6,769
35	1535.51	204.33	0	20.30	0	1760.14	2,776
36	272.55	25.94	0	3.53	68.00	370.02	447
37	402.46	311.32	25.32	36.33	88.82	864.25	1,156
38	46.02	234.75	0	11.75	47.08	339.6	451
39	443.06	7.9	0	11.61	3.93	466.5	630
40	279.01	56.57	2.97	11.99	3.50	354.04	1,456
41	0	53.61	0	43.82	90.44	187.87	778
42	400.93	21.94	1.88	0	12.45	437.20	2,051
43	0	0	0	0	0	0	2,420
44	321.52	28.62	0	13.40	5.91	369.45	2,382
45	122.68	3.05	2.55	0	0	128.28	4,585
46	13.02	234.78	60.58	0	2.79	311.17	2,453
47	30.92	128.34	0	0	0	159.26	4,028
Toplam:	11,226.39	4,390.10	1,855.52	1,451.05	2,110.59	21,033.65	101,313.04
Ortalama:	238.86	93.41	39.48	30.87	44.91	447.52	2155.60
Medyan:	70.60	28.85	0.00	3.53	10.51	354.04	1730.94
Std. Sapma:	310.35	131.77	104.08	83.33	107.68	389.23	1643.47
Std. Sapma/Ort.:	1.30	1.41	2.64	2.70	2.40	0.87	0.76
Basıklık:	5.56	4.25	23.33	14.41	32.23	1.39	0.21
Çarpıklık:	2.07	2.01	4.57	3.79	5.35	1.14	0.99
Aralık:	1535.51	590.22	625.33	429.95	705.86	1760.14	6618.22

Tablo 3.3 Arazi kullanım türlerinin toplam bölge alanlarındaki yüzdeleri

Analiz Bölgesi	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
1	1,13	2,54	2,08	0,15	0,11	6,02
2	0,79	-	-	-	-	0,79
3	-	3,22	10,44	3,12	13,64	30,43
4	-	0,14	35,65	-	-	35,79
5	3,39	5,79	3,17	0,71	-	13,05
6	2,33	4,17	6,63	16,97	2,93	33,02
7	20,35	-	4,72	1,37	3,35	29,80
8	4,43	0,69	-	-	-	5,12
9	49,59	-	-	0,88	9,54	60,00
10	38,54	22,82	7,19	1,07	1,83	71,45
11	62,41	6,55	-	0,09	0,73	69,77
12	55,04	2,37	2,02	2,15	2,78	64,36
13	0,71	0,53	0,06	0,36	5,51	7,17
14	16,81	0,97	-	-	3,15	20,94
15	-	3,80	-	-	-	3,80
16	58,21	17,80	-	-	-	76,00
17	1,31	1,24	-	-	13,12	15,68
18	0,63	-	-	-	-	0,63
19	82,76	-	-	-	7,46	90,23
20	34,94	29,24	2,60	11,17	8,33	86,29
21	21,09	11,42	3,56	13,26	3,32	52,64
22	3,24	2,13	-	-	1,46	6,84
23	23,08	24,18	0,37	-	1,84	49,47
24	7,62	28,25	16,07	-	0,50	52,45
25	0,78	0,24	1,61	-	-	2,63
26	-	6,85	-	5,77	8,63	21,25
27	73,71	0,66	0,43	5,52	5,25	85,58
28	64,97	10,04	2,03	1,29	4,51	82,83
29	0,10	1,30	1,01	12,43	0,12	14,97
30	0,75	0,28	-	-	1,98	3,01
31	1,17	-	-	-	-	1,17
32	1,88	2,59	3,97	0,32	-	8,76
33	14,31	18,21	-	0,11	1,96	34,59
34	0,83	-	-	-	-	0,83
35	55,32	7,36	-	0,73	-	63,41
36	60,91	5,80	-	0,79	15,20	82,70
37	34,81	26,93	2,19	3,14	7,68	74,75
38	10,21	52,10	-	2,61	10,45	75,37
39	70,28	1,25	-	1,84	0,62	73,99
40	19,16	3,88	0,20	0,82	0,24	24,31
41	-	6,89	-	5,63	11,62	24,14
42	19,55	1,07	0,09	-	0,61	21,32
43	-	-	-	-	-	-
44	13,50	1,20	-	0,56	0,25	15,51
45	2,68	0,07	0,06	-	-	2,80
46	0,53	9,57	2,47	-	0,11	12,68
47	0,77	3,19	-	-	-	3,95
Ortalama:	19,89	6,96	2,31	1,98	3,17	34,30
Medyan:	4,43	2,54	0,00	0,15	0,73	24,14
Std. Sapma:	25,26	10,68	5,86	3,90	4,32	30,49
Std. Sapma/Ort.:	1,27	1,53	2,53	1,97	1,36	0,89
Basıklık:	-0,16	6,28	23,69	6,13	0,86	-1,30
Çarpıklık:	1,11	2,35	4,53	2,56	1,39	0,51
Aralık:	82,76	52,10	35,65	16,97	15,20	90,23

3.1.2 Ulaşım Faaliyetinin Oluşturduğu Direnç

Kullanılan erişilebilirlik modellerinde ulaşım faaliyetinin oluşturduğu direnç (faydasızlık) iki farklı şekilde ele alınmaktadır: aktivite esaslı potansiyel erişilebilirlik için yolculuk uzunluğu ve fayda esaslı erişilebilirlik için yolculuk genelleştirilmiş maliyeti. Aktivite esaslı ölçüt için gerekli olan analiz bölgeleri arasındaki mesafeler İzmir Ulaşım Ana Planı'nda kullanılan ulaşım ağı veri tabanına "Floyd-Warshall" en kısa yol algoritması kullanılarak elde edilmiştir (Floyd, 1962). Floyd-Warshall Tüm Çiftler algoritması, tüm başlağıç-bitiş çiftlerini içeren bir maliyet (yolculuk uzunluğu) ve "önceki düğüm" matrisi kullanmaktadır. Algoritma, her bir "ij" çifti için "j" noktasına ulaşmadan önce başka bir "k" düğüm noktasından geçildiğinde maliyetin azaltılıp azaltılmadığını kontrol etmekte, azaltılıyor ise önceki düğüm matrisine "i"den "j" ye giderken "j"den önce geçilecek düğüm olarak "k"yı işlemektedir. Maliyet matrisine de "ij" maliyeti yerine "ik+kj" maliyetini atamaktadır. Bu iteratif atamalar, maliyet matrisinin genel toplamında herhangi bir değişiklik elde edildiği sürece devam etmektedir. Algoritmanın temel iteratif tanımı aşağıdaki gibidir (Rosen, 2003):

$$d_{ij}^{(k)} = \begin{cases} w_{ij}; k=0 \\ \min(d_{ij}^{(k-1)}, d_{ik}^{(k-1)} + d_{kj}^{(k-1)}); k > 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Burada "k"nın "0" olması "ij" çifti arasında doğrudan bir bağlantı olması durumunu, "w_{ij}" bu bağlantının uzunluğunu (veya yolculuk maliyetini), "d_{ij}^(k)" iterasyon sonucunda bulunan "ij" çifti arasındaki en kısa güzergâhın uzunluğunu göstermektedir.

Fayda esaslı ölçüt, her bir analiz bölgesi arasındaki yolculukların genelleştirilmiş maliyetlerini gerektirmektedir. Genelleştirilmiş 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, genelleştirilmiş maliyetin elde edilmesindeki en kritik nokta, rasyonel yolculuk sürelerinin elde edilmesi ve zamanın maliyetidir.

Çalışmada kullanılan yolculuk süreleri İzmir Ulaşım Ana Planı kapsamında gerçekleştirilen özel taşıt ve toplu ulaşım atamalarından elde edilmiştir. 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 (1991) tarafından önerilen fonksiyona göre elde edilmiştir:

$$t = t_0 + J_A x / [Q (1 - x)] = t_0 [1 + J_A x / (Q t_0 (1 - x))] \quad (3.2)$$

$$t = t_0 + 0.25 T_f [z + (z^2 + 8 J_A x / (Q T_f))^{0.5}] \quad (3.3)$$

$$t = t_0 \{1 + 0.25 r_F [z + (z^2 + 8 J_A x / (Q t_0 r_F))^{0.5}]\} \quad (3.4)$$

Burada,

t : birim mesafede geçen süre,

t_0 : birim mesafede geçen minimum süre,

J_A : gecikme parametresi,

$x = q/Q$: doyunluk derecesi ($z = x-1$),

$r_F = T_f/t_0$: akım periyodunun minimum yolculuk süresine oranı,

q : talep (taşıt/saat),

Q : kapasite (taşıt/saat)'dir.

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 (Davidson, 1978) “1” doyunluk 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 yatkındır (Akçelik, 1991).

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 (Tablo 3.4). Zamanın değeri birçok çalışmada saatlik gelirin bir esnekliği şeklinde elde edilmektedir (örn.

Jiang ve Morikawa, 2004, Waters, 1992, VTPI, 2010). Tez çalışmasında zamanın değeri, kategorik veri yapısında olan erişilebilirlik ölçütü içinde kullanılacağından, saatlik gelirin herhangi bir sabit esneklik değeri ile çarpılması, hesaplanacak ölçüt değerlerinin analiz bölgelerine dağılımını değiştirmeyecektir.

Hane halkı anketinde aylık gelir doğrudan sorulmadığından, geliri belirten otomobil, konut sahipliği vb. verilere dayalı tahmini gelirler elde edilmiştir. Yolculukların doğrudan ücretleri toplu ulaşımında indirimli ve normal kart geçişlerinin ortalamasına göre belirlenmiş ve 90 dk. içinde aktarmaların ücretsiz olduğu mevcut uygulama dikkate alınmıştır. Tablo 3.5'te hanehalkı anketindeki tüm ulaşım türü sınıfları, seçim oranları ve bu türler için belirlenen doğrudan maliyetler verilmiştir. Özel taşıt kullanımı için otopark doğrudan maliyeti, yolculuk bitiş noktası merkezi iş alanı olan bölgelerde, ücretsiz parklanmaya izin verilmediğinden yüksek seçilmiş (ortalama 5 TL), Karşıyaka merkezi gibi yoğun konutsal yerleşimlerde sonuçlanan yolculuklar için daha düşük değerler alınmış (ortalama 3 TL), yol kenarı vb. ücretsiz parklanmaya izin verilen diğer analiz bölgelerinde biten yolculuklar için ise otopark ücreti alınmadığı kabul edilmiştir.

Tablo 3.4 Hane halkı anketi verilerine göre analiz bölgelerinin ortalama gelir düzeyleri (2009)

Analiz Bölgesi	Anket Yapılan Kişi Sayısı	Çalışan Kişi Başına Ortalama Aylık Gelir (TL)	Tahmini Saatlik Gelir (TL)	Analiz Bölgesi	Anket Yapılan Kişi Sayısı	Çalışan Kişi Başına Ortalama Aylık Gelir (TL)	Tahmini Saatlik Gelir (TL)
1	48	683	0.95	27	3,806	1,580	2.19
2	14	1,286	1.79	28	3,864	1,296	1.80
5	353	954	1.32	30	104	1,146	1.59
6	91	1,092	1.52	31	212	1,008	1.40
7	188	991	1.38	32	750	1,156	1.61
8	136	1,188	1.65	33	1,337	1,472	2.04
9	1,116	1,252	1.74	34	30	1,187	1.65
10	1,361	1,256	1.75	35	9,203	1,456	2.02
11	5,779	2,161	3.00	36	2,457	1,154	1.60
12	2,927	1,242	1.72	37	3,230	1,025	1.42
14	45	1,098	1.52	38	2,637	1,904	2.64
16	2,606	1,353	1.88	39	5,953	2,131	2.96
17	179	1,217	1.69	40	1,188	2,086	2.90
18	360	1,238	1.72	41	63	1,867	2.59
19	2,291	1,424	1.98	42	689	1,871	2.60
20	1,976	2,021	2.81	44	375	1,506	2.09
21	1,742	1,577	2.19	45	175	1,189	1.65
22	139	888	1.23	46	234	1,397	1.94
23	2,988	1,130	1.57	47	196	1,057	1.47
24	753	1,306	1.81	Ortalama:	Σ : 61,653	1,360	1.89
25	58	1,538	2.14	Minimum:		683	0.95
				Maksimum:		2,161	3.00

3.1.3 Ulaşım Tür Seçimi İstatistikleri

Çalışmanın diğer boyutu olan ulaşım türü seçimleri, bu bölümde toplulaştırılmış ölçekte dikkate alınmıştır. İzmir ulaşım hane halkı anketinden analiz bölgesi bazında elde edilen tür seçimi istatistiklerinden yararlanılmıştır. Bir analiz bölgesinden başlayan (yaratılan) yolculukların tür seçim oranları ile analiz bölgesinde biten (çekilen) yolculukların tür seçim oranları ayrı ayrı ele alınmıştır. Sadece özel taşıt ve toplu ulaşım olarak iki temel ulaşım türü dikkate alınmıştır. Tür seçimi bu dört sınıf için 3 farklı şekilde hesaplanmıştır:

- i. Taşıtlı ulaşım türleri içindeki seçim oranı (TUTSO)
- ii. Bütün ulaşım türleri içindeki seçim oranı (BUTSO)
- iii. Türlerle ait büyütülmüş yolculuk sayısı (TBYS)

Tablo 3.5 Hane halkı anketi verilerine göre ulaşım türü tercihleri ve doğrudan maliyet için dikkate alınan ücretler

No	Ulaşım Türü	Maliyet Cinsi*	Maliyet (0:TL) (1:TL/km)	Toplam Tercih	Tercih Oranı (%)
1	Yaya, yürüyerek	0	0	17,043	27.85
2	Bisiklet	0	0	278	0.45
3	Motorsiklet	1	0.09	178	0.29
4	Özel otoda yalnız sürüş	1	0.35	5,844	9.55
5	Özel otoda paylaşılan sürüş	1	0.15	3,180	5.20
6	Taksi	1	1.5	542	0.89
7	Ücretli servis aracı	0	2	2,835	4.63
8	Ücretsiz servis aracı	0	0	4,973	8.13
9	Taksi dolmuş	0	1.5	157	0.26
10	Minibüs/dolmuş	0	1.75	3,753	6.13
11	Resmi taşıt	0	0	76	0.12
12	Belediye otobüsü	0	1.2	20,533	33.55
13	Metro	0	1.2	1,168	1.91
14	Banliyö (Tren)	0	1.2	16	0.03
15	Vapur	0	1	504	0.82
16	Arabalı vapurda yolcu	0	1	25	0.04
17	Arabalı vapurda özel oto	0	25	7	0.01
18	Arabalı vapurda servis	0	2	9	0.01
19	Deniz motoru	0	2	21	0.03
20	Şehirlerarası otobüs firmaları	1	0.065	61	0.10
TOPLAM:				61,203	100.00

* 1: birim maliyet, 0: toplam maliyet.

Büyütülmüş yolculuk sayıları, boyutsuz oranların yanında, belirli bir ulaşım türü kullanıcı sayısının tercihte rolü olup olmadığını görmek amacıyla kullanılmıştır. TBYS, bir analiz bölgesinde hane halkı anketi ile gözlemlenen belirli bir türe ait yolculuk sayısının ankette örneklenen nüfusa oranının, analiz bölgesinin gerçek nüfusu ile çarpılması yoluyla elde edilmiştir. Kullanılan tür seçimi istatistikleri Tablo 3.6’da verilmiştir. Görüldüğü gibi, 3, 13, 15, 26, 34 ve 43 no’lu analiz bölgelerine ait ulaşım türü istatistikleri mevcut değildir, çünkü o bölgelerde örneklemeye değer ölçüde yaşayan bulunmadığından, hane halkı anketi gerçekleştirilmemiştir.

Tablo 3.6 İzmir kent merkezi ulaşım tür seçimi istatistikleri

Analiz Bölgesi	ÖZEL TAŞIT SEÇİMİ İSTATİSTİKLERİ						TOPLU ULAŞIM SEÇİMİ İSTATİSTİKLERİ					
	Yaratılan Yolculuklar			Çekilen Yolculuklar			Yaratılan Yolculuklar			Çekilen Yolculuklar		
	TUTSO	BUTSO	TBYS	TUTSO	BUTSO	TBYS	TUTSO	BUTSO	TBYS	TUTSO	BUTSO	TBYS
1	0.116	0.085	1,833	0.111	0.082	1,773	0.884	0.644	13,928	0.889	0.656	14,180
2	0.143	0.143	564	0.143	0.143	564	0.857	0.857	3,382	0.857	0.857	3,382
4	0.238	0.230	107	0.224	0.216	101	0.762	0.736	343	0.776	0.750	349
5	0.164	0.112	3,274	0.156	0.112	3,271	0.836	0.569	16,653	0.844	0.607	17,755
6	0.189	0.115	3,184	0.250	0.143	3,963	0.811	0.492	13,644	0.750	0.429	11,890
7	0.204	0.081	2,597	0.184	0.072	2,300	0.796	0.319	10,153	0.816	0.320	10,188
8	0.123	0.083	2,727	0.152	0.079	2,601	0.877	0.595	19,480	0.848	0.444	14,521
9	0.123	0.093	6,317	0.126	0.092	6,263	0.877	0.661	45,095	0.874	0.638	43,523
10	0.198	0.159	12,860	0.198	0.161	13,009	0.802	0.643	52,058	0.802	0.650	52,620
11	0.247	0.184	27,190	0.241	0.178	26,232	0.753	0.561	82,684	0.759	0.559	82,425
12	0.151	0.097	18,294	0.154	0.100	18,720	0.849	0.546	102,525	0.846	0.546	102,451
14	0.130	0.120	285	0.136	0.125	297	0.870	0.800	1,902	0.864	0.792	1,882
16	0.172	0.115	11,315	0.167	0.111	10,904	0.828	0.552	54,363	0.833	0.551	54,252
17	0.395	0.195	1,377	0.381	0.184	1,296	0.605	0.299	2,105	0.619	0.299	2,105
18	0.317	0.195	1,632	0.333	0.216	1,805	0.683	0.421	3,516	0.667	0.432	3,611
19	0.223	0.155	17,395	0.218	0.151	16,934	0.777	0.541	60,606	0.782	0.540	60,570
20	0.250	0.199	15,375	0.249	0.198	15,314	0.750	0.597	46,125	0.751	0.598	46,247
21	0.248	0.181	16,429	0.244	0.180	16,322	0.752	0.550	49,745	0.756	0.559	50,556
22	0.204	0.118	925	0.208	0.120	935	0.796	0.462	3,617	0.792	0.457	3,571
23	0.223	0.115	13,435	0.228	0.115	13,465	0.777	0.400	46,876	0.772	0.390	45,699
24	0.231	0.187	7,158	0.237	0.194	7,408	0.769	0.624	23,844	0.763	0.623	23,807
25	0.500	0.267	435	0.467	0.233	380	0.500	0.267	435	0.533	0.267	435
27	0.216	0.157	28,871	0.215	0.158	28,929	0.784	0.573	105,014	0.785	0.575	105,418
28	0.196	0.113	18,456	0.186	0.106	17,290	0.804	0.464	75,662	0.814	0.464	75,685
29	0.138	0.118	29	0.133	0.114	29	0.862	0.735	184	0.867	0.743	186
30	0.359	0.242	2,223	0.455	0.417	3,825	0.641	0.432	3,962	0.545	0.500	4,590
31	0.135	0.067	632	0.137	0.068	636	0.865	0.430	4,043	0.863	0.426	4,007
32	0.207	0.142	4,949	0.190	0.129	4,486	0.793	0.544	18,954	0.810	0.548	19,118
33	0.218	0.171	11,915	0.217	0.157	10,945	0.782	0.613	42,627	0.783	0.569	39,550
35	0.243	0.152	53,474	0.246	0.158	55,580	0.757	0.473	166,405	0.754	0.483	170,016
36	0.173	0.091	8,815	0.164	0.087	8,451	0.827	0.434	42,117	0.836	0.443	43,020
37	0.223	0.154	19,057	0.222	0.154	18,978	0.777	0.538	66,435	0.778	0.540	66,633
38	0.187	0.152	5,852	0.191	0.157	6,019	0.813	0.665	25,505	0.809	0.664	25,484
39	0.212	0.165	25,821	0.214	0.165	25,884	0.788	0.613	96,023	0.786	0.606	94,853
40	0.304	0.243	16,951	0.283	0.224	15,609	0.696	0.558	38,897	0.717	0.567	39,546
41	0.262	0.213	731	0.266	0.219	753	0.738	0.600	2,061	0.734	0.606	2,083
42	0.275	0.220	15,707	0.264	0.208	14,861	0.725	0.579	41,335	0.736	0.580	41,373
44	0.304	0.227	9,105	0.283	0.208	8,336	0.696	0.519	20,824	0.717	0.527	21,146
45	0.395	0.179	5,875	0.421	0.190	6,266	0.605	0.274	9,008	0.579	0.262	8,616
46	0.209	0.164	1,575	0.209	0.157	1,503	0.791	0.622	5,961	0.791	0.593	5,682
47	0.241	0.174	1,466	0.258	0.195	1,641	0.759	0.550	4,627	0.742	0.560	4,713
Top.:			396,208			393,880			1,422,720			1,417,738
Ort.:	0.227	0.156	9,664	0.228	0.158	9,607	0.773	0.545	34,700	0.772	0.542	34,579

3.2 Aktivite Esaslı Potansiyel Erişilebilirlik (AEPE)

Potansiyellik konsepti ilk olarak, ekonomide pazar potansiyellerinin konumsal analiz ile belirlenmesinde kullanılmıştır (Haris, 1954). Hansen (1959) ilk defa bu yaklaşımı erişilebilirlik üzerinde “olanakların etkileşim potansiyeli” şeklinde uygulamıştır. Temel olarak, bir ulaştırma sistemi kullanıcısının bulunduğu noktadan gidebileceği tüm varış noktalarından elde edebileceği aktivite potansiyelini ifade etmektedir. Bir bölge, temel aktivite alanlarına ne kadar yakın ise AEPE değeri o kadar yüksek çıkmaktadır. Çalışmanın amacı bu potansiyelin ulaşım türü seçiminde etkili olup olmadığını incelemek, dolayısıyla yüksek potansiyele sahip bir bölgeden yaratılan veya çekilen yolculuklarda toplu taşıma gibi daha düşük maliyetli bir türün tercihinin daha yüksek olup olmadığını araştırmaktır. AEPE ölçütünün temel matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$A_i = \sum_j D_j d_{ij}^{-\alpha} \quad (3.5)$$

Burada “ A_i ”, “ i ” zonundan “ j ” deki tüm “ D ” fırsatlarına erişilebilme ölçütünü, “ d_{ij} ”, “ i ” ve “ j ” zonları arasındaki mesafeyi, “ α ” ise mesafeye duyarlılık parametresini göstermektedir. Böylece Hansen’in tanımladığı ölçüte göre, “ i ” zonundan diğer tüm zonlara olan erişilebilirlik, olanakların “ i ” zonuna olan uzaklığına göre azalan bir etkiye sahiptir. AEPE, 2. bölümde değinildiği gibi Hansen’den sonra gerçekleştirilen çalışmalarda çeşitli modifikasyonlara tabi tutulduysa da, temel yaklaşım geçerliliğini korumuş ve günümüze değin birçok çalışmada kabul görmüştür. Yapılan modifikasyonlar, olanakların nasıl dikkate alındığını değil, mesafenin ölçüte etkisinin nasıl bir fonksiyonla formülasyona dâhil edildiği yönündedir. Mesafenin etkisi, duyarlılık parametresinden yararlanılarak da düzenlenebilmektedir. Bu yüzden çalışmada formülasyon türünden çok, duyarlılık parametresinin kalibrasyonu üzerinde durulmuştur.

3.2.1 Yolculuk Uzunluğuna Duyarlılık Parametresinin (α) Belirlenmesi

AEPE ölçütünün yolculuk uzunluğuna duyarlılık parametresinin belirlenmesi için farklı duyarlılık parametreleri kullanıldığında, erişilebilirlik ile tür seçimi arasındaki korelasyonun ne şekilde değiştiği incelenmiştir. Bu amaçla, parametreyi 0,1-2,0 aralığında 0,1'lik yükselmelerle değiştirerek AEPE ölçütünü hesaplayan ve ardından her bir adımda tür seçimi istatistikleri ile korelasyon katsayılarını ve korelasyon güvenilirlik olasılıklarını belirleyen bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program AEPE ölçütü ve korelasyonlarını hesapladıktan sonra, her bir ölçüt türü ve tür seçim istatistiği için en iyi korelasyon güvenilirlik olasılığını veren duyarlılık parametresini belirlemektedir. En iyi duyarlılık parametresinin 0,1 veya 2,0 bulunması, korelasyonun 0,1-2,0 aralığında herhangi bir maksimum değer yakalayamadığını göstermektedir. 1,0 ve daha küçük parametreler, ölçütlerdeki yolculuk uzunluğu etkisinin normal düzeyde olduğunu göstermekte, daha büyük duyarlılık parametreleri ise ölçütte mesafenin, etki bakımından, olanakların önüne geçtiği anlamına gelmektedir.

Tablo 3.7'de özel taşıtlı yolculuklar ile alansal arazi kullanışına bağlı AEPE ölçütleri için en iyi korelasyonlar verilmektedir. Genel olarak çekilen yolculuklara ait korelasyonların yaratılan yolculuklardan bir miktar daha iyi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bir analiz bölgesine gelen yolculukların hangi ulaşım türü ile yapıldığı, o bölgenin erişilebilirliği ile, giden yolculuklara göre, daha yüksek ilişkilidir. Bu durum, alansal arazi kullanışına bağlı erişilebilirliğin, hareket edilen noktadan çok, ulaşılacak nokta açısından daha önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu korelasyon farkı 0,05 güvenilirliği sağlayacak düzeyde değildir. Dolayısıyla yaratılan yolculuklar için yeterli güvenilirliği vermeyen korelasyonların tamamı, çekilen yolculuklar için de geçerlidir. Yaratılan ve çekilen yolculuklar için, taşıtlı ulaşım türleri (TUTSO) ve bütün ulaşım türleri (BUTSO) içindeki özel taşıt seçim oranı en çok üretimsel arazi kullanışına dayalı AEPE ölçütü için güvenilir korelasyonlu bulunmuştur. Negatif işaretli olan korelasyon, üretim sektörüne erişilebilirliği yüksek olan analiz bölgelerinde, özel taşıt seçim oranının düşük olacağını göstermektedir. Bu durum, üretim sektörüne erişim ihtiyacı olan ulaştırma sistemi kullanıcılarının, iş gücüne dayalı çalışan, orta ve düşük gelir düzeyine sahip ve dolayısıyla özel taşıt

kullanmayı daha az tercih eden kullanıcılar olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer negatif işaretli korelasyonlar, özel taşıt TUTSO için sosyo-kültürel AEPE’de de elde edilmiştir. İzmir’de, özel taşıt kullanımının çoğunlukla, hafta içindeki zorunlu ve düzenli yolculuklardan ziyade, hafta sonunda yapılan sosyal aktivitelerde tercih ediliyor olması, sosyal ve kültürel aktivitelere erişilebilirliği yüksek kesimlerde özel taşıt seçim oranını azaltmakta, erişilebilirliği düşük kesimlerde ise arttırmaktadır.

Tablo 3.7 Özel taşıt seçimi ile alansal arazi kullanımına bağlı AEPE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk mesafesine duyarlılık parametreleri (α)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	AEPE Türleri					Toplam
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	α :	2.0	2.0	0.6	0.1	0.1	2.0
		KK:	-0.162	-0.145	-0.420	0.111	-0.377	-0.191
		GO:	0.317	0.371	0.007	0.495	0.016	0.238
	BUTSO	α :	0.1	2.0	0.3	0.1	0.1	2.0
		KK:	0.114	-0.090	-0.393	0.086	-0.136	-0.082
		GO:	0.486	0.580	0.012	0.599	0.403	0.614
	TBYS	α :	1.3	0.5	0.2	0.5	1.0	1.0
		KK:	0.477	0.474	0.312	0.361	0.507	0.482
		GO:	0.002	0.002	0.050	0.022	0.001	0.002
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	α :	2.0	2.0	0.6	2.0	0.1	1.9
		KK:	-0.192	-0.165	-0.402	0.203	-0.379	-0.203
		GO:	0.236	0.308	0.010	0.209	0.016	0.209
	BUTSO	α :	0.1	2.0	0.4	2.0	0.1	1.9
		KK:	0.126	-0.108	-0.327	0.322	-0.148	-0.077
		GO:	0.440	0.507	0.040	0.043	0.363	0.639
	TBYS	α :	1.3	0.5	0.2	0.5	1.0	1.1
		KK:	0.482	0.480	0.318	0.371	0.513	0.490
		GO:	0.002	0.002	0.045	0.018	0.001	0.001

α : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

Özel taşıtlı büyütülmüş yolculuk sayıları (TBYS), bütün AEPE türleri için 0,05 ve altında güvenilirlik olasılığına sahip korelasyon değerleri vermektedir. Özellikle konut, ekonomi, sosyo-kültürel ve toplam arazi kullanışı için 0,50 mertebesinde korelasyonlara ulaşılmaktadır. Özel taşıt kullanım oranları analiz bölgesi nüfuslarıyla genişletildiğinde, korelasyon başarımının belirgin düzeyde yükselmesi, analiz bölgelerinde özel taşıt kullanımının nüfusla paralel bir davranışa sahip olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla merkezi iş alanına yakın, erişilebilirliği yüksek kesimlerde özel taşıt tercih oranı düşük olmasına rağmen, daha düşük nüfus yoğunluğuna sahip merkezden daha uzak kesimlerden daha çok özel taşıt trafiği oluşturabilmektedir. AEP erişilebilirliğinin her türü, bir analiz bölgesinden yaratılan ve çekilen yolculuklara ait özel taşıt trafiğini arttırmaktadır.

Toplu ulaşım seçimi ile alansal arazi kullanışlı AEPE ölçütleri arasındaki korelasyonlar incelendiğinde, yaratılan ve çekilen yolculuklara ait TUTSO korelasyonlarının, özel taşıt korelasyonlarının ters işaretlisi olduğu dikkati çekmektedir (Tablo 3.8). Taşıtlı yolculuk seçim oranlarında özel taşıt ve toplu ulaşım oranları birbirini “1” e tamamlamakta ve dolayısıyla başarımı aynı olan ters yönlü korelasyonlar elde edilmektedir. Toplu ulaşımın bütün yolculuklar içindeki seçim oranı (BUTSO), yaratılan yolculuklar için üretim ve sosyo-kültürel AEPE ölçütlerinde kayda değer korelasyonlar verirken, çekilen yolculuklar için sadece sosyo-kültürel AEPE ile güvenilirliği yüksek korelasyon vermektedir. Ancak sosyo-kültürel AEPE korelasyonları için seçilen duyarlılık parametresinin 0,1 olması, uygulanan 0,1-2,0 aralığında korelasyonda herhangi bir yükselme yaşanmadığını, dolayısıyla 0,1’den küçük “ α ” değerleri için daha yüksek korelasyonlar elde edilebileceğini göstermektedir. Toplu ulaşım tercihine ait sosyo-kültürel erişilebilirliğin, yolculuk mesafesinden bu denli az etkileniyor olması muhtemelen, sosyal aktivitelerin ağırlıklı kullanıcısı olan ve otomobil sahipliği nispeten düşük olan öğrencilerin tercihlerinden kaynaklanmaktadır. Toplu ulaşımli büyütülmüş yolculuk sayıları (TBYS), özel taşıtlı yolculuklarda olduğu gibi, tüm erişilebilirlik türleri ile etkin korelasyon göstermiştir. Üretim ve eğitim-sağlık dışındaki AEPE türleri için 0,50’nin üzerinde korelasyon katsayıları 0,001 ve daha küçük olasılık etkinliğine sahip ilişkiler bulunmuştur. Dolayısıyla AEPE ölçütü hem özel taşıt türünün, hem de toplu ulaşım türünün kullanımını arttırmakta, toplam hareketliliği yükseltmektedir.

Tablo 3.9’da oransal arazi kullanışına göre düzenlenen AEPE ölçütleri ile özel taşıt seçimi istatistikleri arasındaki korelasyonlar verilmiştir. TUTSO ve BUTSO istatistikleri için tek etkin korelasyonlu erişilebilirlik türü üretimsel arazi kullanımı içeren ölçüttür. Alansal arazi kullanımlı ölçütlerde olduğu gibi negatif korelasyon katsayısına sahip olan ölçüt, oransal arazi kullanımlı ile güvenilirliği bir miktar daha yüksek sonuçlar vermiştir. Sosyo-kültürel AEPE, alansal kullanışlı ölçütlerin

Tablo 3.8 Toplu ulaşım seçimi ile alansal arazi kullanımına bağlı AEPE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk mesafesine duyarlılık parametreleri (α)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	AEPE Türleri					Toplam
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	α :	2.0	2.0	0.6	0.1	0.1	2.0
		KK:	0.162	0.145	0.420	-0.111	0.377	0.191
		GO:	0.317	0.371	0.007	0.495	0.016	0.238
	BUTSO	α :	0.1	0.4	0.8	2.0	0.1	0.1
		KK:	0.266	0.108	0.322	-0.238	0.398	0.235
		GO:	0.097	0.508	0.043	0.140	0.011	0.145
	TBYS	α :	1.4	0.4	0.2	0.5	0.8	1.0
		KK:	0.511	0.515	0.422	0.412	0.553	0.531
		GO:	0.001	0.001	0.007	0.008	0.000	0.000
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	α :	2.0	2.0	0.6	2.0	0.1	1.9
		KK:	0.192	0.165	0.402	-0.203	0.379	0.203
		GO:	0.236	0.308	0.010	0.209	0.016	0.209
	BUTSO	α :	0.1	0.4	0.9	2.0	0.1	0.2
		KK:	0.287	0.136	0.279	-0.171	0.391	0.253
		GO:	0.073	0.404	0.082	0.291	0.013	0.116
	TBYS	α :	1.4	0.4	0.2	0.5	0.8	1.0
		KK:	0.515	0.520	0.416	0.415	0.556	0.534
		GO:	0.001	0.001	0.008	0.008	0.000	0.000

α : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

TUTSO ile ilişkilendirilmesinde etkin korelasyonlu iken, oransal kullanışlı ölçütlerde etkin sonuçlar vermemiştir. Bu durum sosyo-kültürel kullanımın, bölgelerin toplam arazi kullanımındaki payının genellikle çok düşük olmasından kaynaklanıyor olabilir. TBYS ise, üretim dışındaki tüm AEPE türleri için etkin ve alansal ölçütlere göre daha başarılı korelasyonlar sergilemektedir. Büyütülmüş yolculuk sayısının çekilen yolculuklardaki başarımı, yaratılan yolculuklara göre daha yüksektir. AEP erişilebilirliği (üretimsel arazi kullanımı dışında) yüksek olan bölgelere özel taşıt kullanarak gelen yolculuk sayısının, giden yolculuk sayısından daha yüksek oranda erişilebilirlikten etkilendiği anlaşılmaktadır. Tablo 3.7 ve 3.9 karşılaştırıldığında güvenilirliği yüksek korelasyonların oransal arazi kullanımındaki duyarlılık parametrelerinin, alansal kullanımlı parametrelere göre bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, oransal yaklaşımın aktivite esaslı erişilebilirlikteki arazi kullanım bileşeninin etkisini yükselttiğini göstermektedir.

Tablo 3.10'da verilen toplu ulaşım seçiminin oransal arazi kullanışı içeren AEPE ile ilişkileri incelendiğinde, BUTSO için alansal kullanım içeren yaklaşımda olduğu gibi, üretim ve sosyo-kültürel ölçütlerin etkin sonuçlar verdiği görülmektedir. Tablo 3.8'deki BUTSO sonuçları ile karşılaştırıldığında, oransal yaklaşımın üretimsel

AEPE'nin korelasyonlarını yükselttiği, sosyo-kültürel AEPE'nin korelasyonlarını ise düşürdüğü anlaşılmaktadır. Üretim faaliyeti ile ilişkili yolculukların zorunlu yolculuklar, sosyo-kültürel faaliyete ilişkin yolculukların ise zorunlu olmayan yolculuklar olduğu düşünülürse arazi kullanış oranlarının, aktivite esaslı potansiyel erişilebilirliğin zorunlu yolculuklardaki tür seçimi etkisini yansıtmakta daha başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

Tablo 3.9 Özel taşıt seçimi ile oransal arazi kullanımına bağlı AEPE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk mesafesine duyarlılık parametreleri (α)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	AEPE Türleri					
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	Toplam
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	α :	1.8	2.0	0.5	0.7	0.2	1.8
		KK:	-0.145	-0.141	-0.456	-0.106	-0.187	-0.179
		GO:	0.373	0.385	0.003	0.514	0.247	0.270
	BUTSO	α :	0.1	2.0	0.2	2.0	2.0	0.1
		KK:	0.199	-0.076	-0.431	-0.145	-0.070	0.085
		GO:	0.219	0.640	0.005	0.371	0.670	0.601
	TBYS	α :	1.3	0.4	0.2	0.7	1.0	1.0
		KK:	0.464	0.531	0.274	0.426	0.582	0.491
		GO:	0.003	0.000	0.088	0.006	0.000	0.001
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	α :	1.8	1.8	0.5	0.5	0.2	1.6
		KK:	-0.170	-0.166	-0.438	-0.124	-0.211	-0.200
		GO:	0.294	0.307	0.005	0.447	0.191	0.215
	BUTSO	α :	0.1	2.0	0.3	0.7	2.0	0.1
		KK:	0.196	-0.102	-0.362	-0.027	-0.098	0.093
		GO:	0.225	0.531	0.022	0.868	0.548	0.570
	TBYS	α :	1.3	0.4	0.2	0.7	1.0	1.1
		KK:	0.471	0.537	0.280	0.433	0.590	0.499
		GO:	0.002	0.000	0.080	0.005	0.000	0.001

α : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

TBYS, aktivite esaslı erişilebilirliğin tüm türleri için güvenilirliği yüksek korelasyonlar sergilemiştir. Özellikle sosyo-kültürel AEPE 0,62 korelasyon katsayısı ile, AEPE-tür seçimi korelasyonları içindeki en yüksek ilişkiyi vermiştir. Sosyo-kültürel AEPE'yi ekonomi ve toplam arazi kullanışlı AEPE ölçütleri izlemektedir. Dolayısıyla, özellikle sosyo-kültürel ve ekonomik faaliyetlere erişilebilirliğin oransal olarak yüksek olduğu bölgelerin toplu ulaşımly büyütölmüş yolculuk sayıları da yüksek olmaktadır. Bu durum, alışveriş ve sosyo-kültürel aktivitelerden yararlanmak üzere “müşteri” olarak giden yolcuların toplu ulaşımı tercihte erişilebilirlikten oldukça etkilendiğini göstermektedir.

Tablo 3.10 Toplu ulaşım seçimi ile oransal arazi kullanımına bağlı AEPE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk mesafesine duyarlılık parametreleri (α)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	AEPE Türleri					Toplam
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	α :	1.8	2.0	0.5	0.7	0.2	1.8
		KK:	0.145	0.141	0.456	0.106	0.187	0.179
		GO:	0.373	0.385	0.003	0.514	0.247	0.270
	BUTSO	α :	0.2	0.4	0.8	2.0	0.1	0.1
		KK:	0.267	0.118	0.356	-0.161	0.335	0.250
		GO:	0.096	0.470	0.024	0.320	0.035	0.119
	TBYS	α :	1.3	0.4	0.2	0.6	0.9	1.0
		KK:	0.498	0.571	0.401	0.485	0.616	0.537
		GO:	0.001	0.000	0.010	0.002	0.000	0.000
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	α :	1.8	1.8	0.5	0.5	0.2	1.6
		KK:	0.170	0.166	0.438	0.124	0.211	0.200
		GO:	0.294	0.307	0.005	0.447	0.191	0.215
	BUTSO	α :	0.2	0.4	0.8	2.0	0.1	0.1
		KK:	0.286	0.142	0.308	-0.125	0.340	0.267
		GO:	0.074	0.380	0.053	0.443	0.032	0.096
	TBYS	α :	1.3	0.4	0.2	0.6	0.9	1.0
		KK:	0.503	0.575	0.394	0.487	0.620	0.541
		GO:	0.001	0.000	0.012	0.001	0.000	0.000

α : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

3.2.2 İzmir Kent Merkezi için AEPE Ölçütlerinin Değerlendirilmesi

Tablo 3.11 ila 3.14'te farklı arazi kullanım sınıfları için tür seçim istatistikleri ile en iyi korelasyonu veren aktivite esaslı potansiyel ölçüt değerleri verilmiştir. AEPE türlerinin en iyi korelasyonu çoğunlukla çekilen büyütülmüş yolculuk sayıları ile (ÇY/TBYS) sağladığı görülmektedir. " α " parametresi yükseldikçe, erişilebilirlik değerleri "0"ya yaklaşmakta ve dar bir aralıkta değişim göstermektedir. Arazi kullanışlarının oran olarak dikkate alınması, AEPE'nin sayısal büyüklüğünü azaltmaktadır. Ancak, erişilebilirlik bir indeks değeri olduğundan sayısal büyüklüğünden çok, analiz bölgeleri arasında göreceli olarak ne şekilde değiştiği ile ilgilenilmektedir. Temel tanımlayıcı istatistikler karşılaştırıldığında oransal yaklaşımın, alansal yaklaşıma göre normal dağılıma daha yakın değerler sağladığı anlaşılmaktadır. Normal dağılımın bir popülasyonu temsilde uygun olduğu düşünülen bir dağılım olduğu gözönüne alınırsa, oransal yaklaşımın AEPE ölçütü tahminlerinde daha etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 3.3 ve 3.4'te standardize edilmiş AEPE değerlerinin bölgelere göre değişimi görülmektedir. Ölçüt türlerinin rakamsal mertebeleri farklı olduğundan, eşit bir düzlemde karşılaştırmak amacıyla, her bir değerin ortalamadan farkının standart

sapmaya bölümü ile ortalaması “0”, standart sapması “1” olan standardize değerleri elde edilmiştir. Şeklin lejantında AEPE türü kısa isimlerinin yanında parantez içinde belirtilen sayılar, AEPE türünün en iyi korelasyonu veren hangi duyarlılık parametresi için hesaplandığını göstermektedir. Şekil 3.3’teki AEPE türlerinin “ α ” duyarlılık parametreleri, özel taşıt ve toplu ulaşım için karşılaştırıldığında, en çok üretim ve sosyo-kültürel türler için farklılık göstermektedir. Bu yüzden grafiklerde dikkati çeken en büyük farklılık bu iki AEPE türü için gerçekleşmektedir. Kent merkezinin kuzey kesiminde yeralan 1-20 numaralı analiz bölgelerinde, farklı AEPE türleri için erişilebilirlik ölçütlerinin değişimi heterojen bir yapı gösterirken, merkezi iş alanına daha yakın olan güney kesimdeki 25-30, 35-40 numaralı analiz bölgelerinde AEP erişilebilirliğin farklı türler için paralel eğilimler izlediği görülmektedir. Özellikle Konak ve Çankaya semtlerini kapsayan 36, 37 ve 38 numaralı bölgelerde (üretim hariç) çoğu AEPE türü maksimum değerlerine ulaşmaktadır. Dolayısıyla güney kesimde farklı aktivite türlerinin tamamına erişilebilirliğin daha yüksek olduğu söylenebilir.

En düşük erişilebilirlik değerleri, tahmin edilebileceği üzere, kentin kuzeybatı (1), kuzeydoğu (17 ve 18), güneybatı (44 ve 45) ve güneydoğu (31 ve 47) uçlarında gözlemlenmektedir. Dolayısıyla aktivite esaslı potansiyel ölçütün, geometrik merkezden çevreye doğru azalan genel bir eğilim sergilediği söylenebilir. Bunun muhtemel sebebi, yolculuğun oluşturduğu direncin sadece yolculuk mesafesi olarak dikkate alınmasıdır.

Şekil 3.4’teki oransal arazi kullanışlı AEPE ölçütleri incelenecek olursa, özel taşıt ve toplu ulaşım göre “ α ” parametresinin değişimi alansal yaklaşımdan daha düşük olduğundan, şeklin a ve b bölümlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Oransal yaklaşım, AEP erişilebilirliğin yolculuk mesafesine tür seçimi açısından bağımlılığını azaltmaktadır. Şekil 3.3 ile karşılaştırıldığında, AEPE türlerinin genel eğilimlerinin alansal ve oransal arazi kullanışları için açık bir şekilde değişmediği, ancak çoğu AEPE türü için, oransal yaklaşımdaki pik bölgelerinin bir miktar daha sivri olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, arazi kullanımının aktivite esaslı potansiyel erişilebilirlikteki yansıması bir miktar daha güçlü olmaktadır.

Tablo 3.11 Özel taşıtlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren alansal arazi kullanımlı AEPE ölçütleri

AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	YY/TUTSO	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS
$\alpha :$	1.3	0.5	0.6	0.5	1.0	1.1
1	0.023	26.107	5.467	8.870	0.085	0.329
2	0.033	30.660	7.978	9.880	0.109	0.484
3	0.045	32.316	6.534	10.267	0.116	0.528
4	0.055	34.227	4.134	10.860	0.135	0.594
5	0.032	28.467	6.119	10.871	0.107	0.435
6	0.030	27.502	5.421	7.411	0.096	0.379
7	0.022	26.955	5.399	11.528	0.093	0.369
8	0.036	31.283	7.062	11.432	0.119	0.504
9	0.043	33.105	7.533	10.667	0.115	0.550
10	0.051	30.967	9.652	11.314	0.154	0.667
11	0.042	33.127	6.492	11.020	0.146	0.530
12	0.047	35.738	6.412	11.278	0.177	0.591
13	0.045	31.522	5.633	10.488	0.105	0.499
14	0.045	34.581	5.616	11.152	0.140	0.539
15	0.083	42.624	6.612	13.284	0.204	0.867
16	0.078	44.173	6.574	14.265	0.232	0.893
17	0.046	33.809	5.026	11.255	0.092	0.514
18	0.031	32.199	4.662	10.653	0.120	0.423
19	0.054	41.541	6.020	13.598	0.279	0.742
20	0.083	43.445	6.391	13.292	0.218	0.904
21	0.056	38.375	5.664	9.255	0.185	0.665
22	0.042	36.895	5.501	12.546	0.140	0.565
23	0.073	44.969	7.375	14.111	0.200	0.917
24	0.066	37.288	4.255	13.649	0.185	0.741
25	0.034	34.717	4.803	12.360	0.122	0.474
26	0.083	43.982	5.990	14.779	0.182	0.880
27	0.078	43.696	5.723	14.249	0.172	0.834
28	0.070	39.582	5.248	13.991	0.153	0.735
29	0.058	37.222	4.896	8.059	0.163	0.622
30	0.040	34.301	4.760	15.443	0.104	0.544
31	0.014	24.693	3.230	7.930	0.055	0.215
32	0.041	35.796	3.943	10.348	0.101	0.501
33	0.046	31.423	4.959	11.217	0.101	0.516
34	0.028	28.449	3.728	9.048	0.081	0.341
35	0.050	37.388	5.051	11.793	0.141	0.586
36	0.080	44.352	5.696	13.345	0.175	0.852
37	0.085	44.433	6.198	13.704	0.202	0.928
38	0.094	43.145	5.949	13.520	0.198	0.940
39	0.058	39.131	4.985	11.798	0.150	0.650
40	0.052	34.128	4.420	10.863	0.127	0.554
41	0.052	32.828	4.295	9.948	0.098	0.521
42	0.035	30.748	3.985	9.911	0.101	0.412
43	0.035	29.063	3.779	9.258	0.089	0.388
44	0.018	24.121	3.214	7.715	0.061	0.239
45	0.014	21.401	2.810	6.937	0.047	0.186
46	0.033	30.964	4.244	9.817	0.087	0.413
47	0.021	27.662	3.879	9.660	0.076	0.303
Ortalama	0.049	34.577	5.390	11.248	0.135	0.572
St. Sapma	0.021	6.149	1.339	2.093	0.050	0.201
Basıklık	-0.584	-0.731	1.066	-0.640	0.120	-0.621
Çarpıklık	0.435	0.090	0.598	-0.015	0.621	0.263
Aralık	0.080	23.569	6.842	8.507	0.232	0.754
Minimum	0.014	21.401	2.810	6.937	0.047	0.186
Maksimum	0.094	44.969	9.652	15.443	0.279	0.940

YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar

Tablo 3.12 Toplu ulaşımlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren alansal arazi kullanımlı AEPE ölçütleri

AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	YY/TBYS	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS
$\alpha :$	1.4	0.4	0.2	0.5	0.8	1.0
1	0.008	72.186	253.588	8.870	0.637	0.889
2	0.013	82.166	292.940	9.880	0.768	1.247
3	0.018	85.804	272.656	10.267	0.809	1.360
4	0.023	89.316	179.909	10.860	0.905	1.483
5	0.012	77.162	265.721	10.871	0.760	1.135
6	0.012	75.267	251.877	7.411	0.687	0.998
7	0.008	74.182	256.178	11.528	0.663	0.966
8	0.014	83.327	283.891	11.432	0.820	1.294
9	0.017	87.199	289.723	10.667	0.802	1.394
10	0.021	82.179	300.315	11.314	1.001	1.650
11	0.017	87.444	279.138	11.020	0.978	1.367
12	0.019	93.026	275.768	11.278	1.125	1.507
13	0.018	84.270	266.897	10.488	0.733	1.293
14	0.017	90.851	267.562	11.152	0.956	1.399
15	0.034	107.049	282.172	13.284	1.283	2.141
16	0.032	109.515	280.880	14.265	1.413	2.194
17	0.018	88.878	257.173	11.255	0.617	1.323
18	0.012	85.776	250.801	10.653	0.842	1.121
19	0.021	104.748	271.692	13.598	1.600	1.842
20	0.034	107.426	275.204	13.292	1.340	2.211
21	0.022	97.038	257.269	9.255	1.171	1.668
22	0.016	95.165	262.246	12.546	0.942	1.446
23	0.030	109.392	284.719	14.111	1.247	2.229
24	0.027	93.065	212.250	13.649	1.177	1.837
25	0.013	91.129	249.249	12.360	0.851	1.244
26	0.034	109.748	270.925	14.779	1.149	2.164
27	0.032	109.279	266.581	14.249	1.090	2.049
28	0.029	100.586	257.853	13.991	0.995	1.826
29	0.023	96.164	251.205	8.059	1.037	1.576
30	0.015	90.197	251.195	15.443	0.740	1.392
31	0.005	69.429	222.294	7.930	0.454	0.609
32	0.016	92.449	223.870	10.348	0.723	1.294
33	0.018	82.077	253.182	11.217	0.728	1.330
34	0.010	77.790	233.671	9.048	0.614	0.923
35	0.020	95.696	257.285	11.793	0.946	1.492
36	0.033	110.346	267.576	13.345	1.110	2.101
37	0.035	108.812	272.012	13.704	1.240	2.264
38	0.039	106.770	271.227	13.520	1.222	2.292
39	0.023	100.063	256.756	11.798	0.990	1.649
40	0.021	89.609	246.723	10.863	0.861	1.422
41	0.021	86.893	244.643	9.948	0.707	1.344
42	0.013	82.610	238.645	9.911	0.721	1.089
43	0.014	79.083	234.668	9.258	0.655	1.030
44	0.007	68.136	222.525	7.715	0.488	0.668
45	0.005	61.991	212.729	6.937	0.402	0.531
46	0.012	81.998	235.133	9.817	0.646	1.089
47	0.008	75.617	235.678	9.660	0.582	0.830
Ortalama	0.019	89.977	256.302	11.248	0.898	1.451
St. Sapma	0.009	12.614	23.715	2.093	0.266	0.464
Basıklık	-0.586	-0.694	1.172	-0.640	-0.211	-0.589
Çarpıklık	0.478	0.015	-0.811	-0.015	0.440	0.210
Aralık	0.034	48.355	120.406	8.507	1.198	1.761
Minimum	0.005	61.991	179.909	6.937	0.402	0.531
Maksimum	0.039	110.346	300.315	15.443	1.600	2.292

YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar

Tablo 3.13 Özel taşıtlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren oransal arazi kullanımlı AEPE ölçütleri

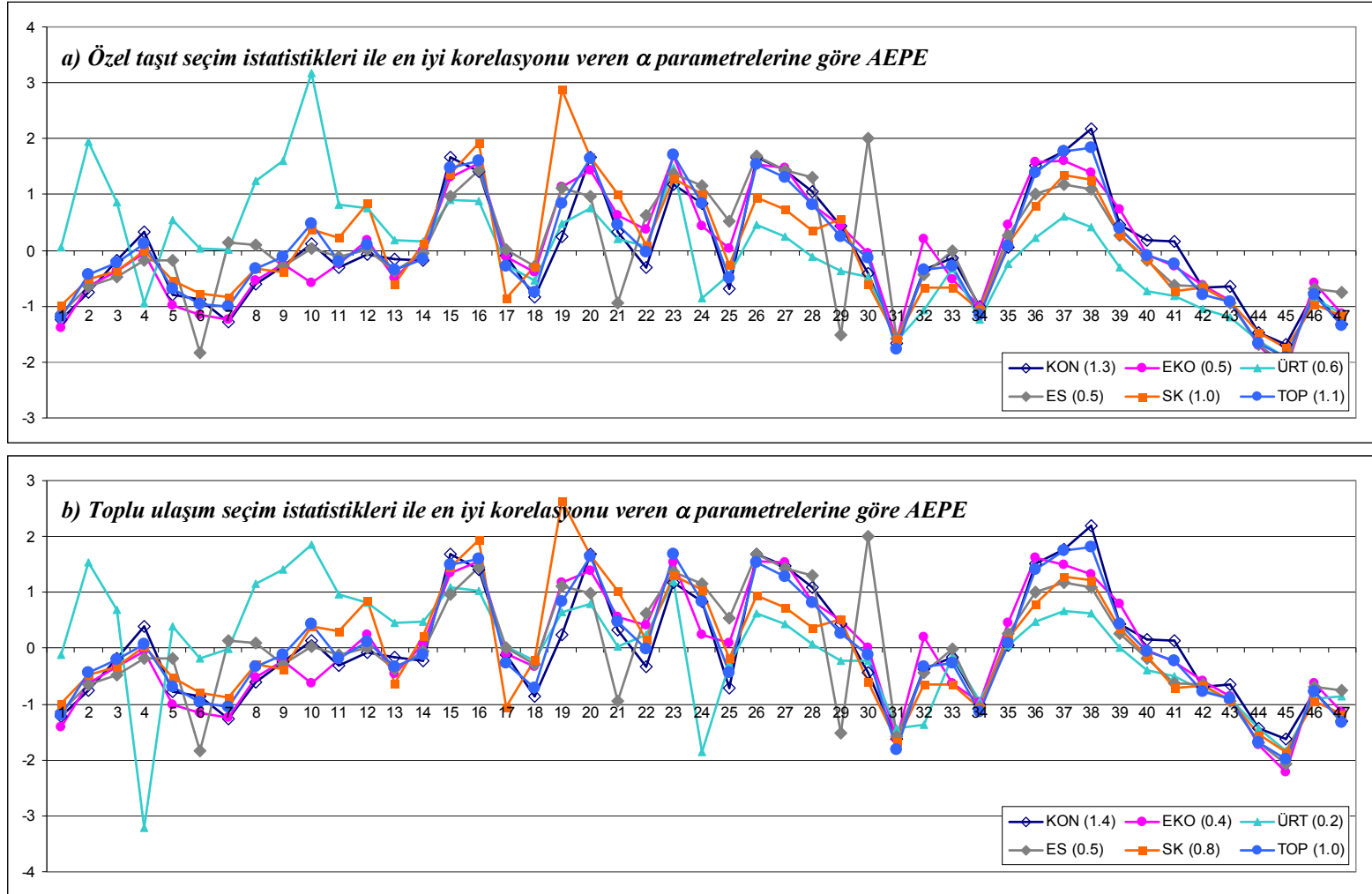
AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	YY/TUTSO	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS
$\alpha :$	1.3	0.4	0.5	0.7	1.0	1.1
1	0.002	5.675	0.893	0.079	0.007	0.027
2	0.003	6.298	1.177	0.093	0.009	0.039
3	0.004	6.641	0.935	0.094	0.008	0.043
4	0.005	6.989	0.703	0.107	0.011	0.052
5	0.003	6.027	0.972	0.109	0.008	0.036
6	0.003	5.771	0.876	0.067	0.008	0.032
7	0.002	5.660	0.840	0.123	0.007	0.029
8	0.003	6.413	1.088	0.116	0.009	0.041
9	0.004	6.815	1.155	0.103	0.009	0.045
10	0.005	6.271	1.335	0.113	0.013	0.055
11	0.004	6.864	1.032	0.108	0.011	0.045
12	0.005	7.376	1.002	0.110	0.012	0.051
13	0.004	6.609	0.901	0.100	0.009	0.042
14	0.004	7.156	0.887	0.107	0.010	0.045
15	0.009	8.626	1.016	0.141	0.016	0.080
16	0.007	8.599	1.000	0.162	0.018	0.077
17	0.004	6.973	0.784	0.105	0.009	0.045
18	0.003	6.581	0.733	0.096	0.008	0.034
19	0.005	8.166	0.906	0.140	0.014	0.056
20	0.008	8.224	0.929	0.125	0.015	0.077
21	0.005	7.817	0.863	0.106	0.013	0.058
22	0.004	7.157	0.820	0.117	0.009	0.042
23	0.007	8.560	1.032	0.152	0.016	0.075
24	0.006	7.749	0.688	0.139	0.014	0.062
25	0.003	6.857	0.740	0.108	0.008	0.036
26	0.007	8.442	0.891	0.141	0.014	0.072
27	0.007	8.541	0.851	0.143	0.016	0.068
28	0.006	7.669	0.779	0.139	0.013	0.059
29	0.005	7.307	0.754	0.100	0.012	0.049
30	0.003	6.780	0.719	0.134	0.009	0.040
31	0.001	5.037	0.526	0.060	0.004	0.016
32	0.003	6.703	0.644	0.090	0.008	0.035
33	0.003	6.442	0.723	0.099	0.008	0.038
34	0.002	5.967	0.608	0.080	0.007	0.027
35	0.005	7.587	0.766	0.117	0.012	0.051
36	0.007	8.806	0.866	0.141	0.014	0.070
37	0.009	9.069	0.913	0.155	0.021	0.089
38	0.009	7.510	0.901	0.145	0.017	0.080
39	0.005	8.066	0.775	0.119	0.014	0.054
40	0.004	7.002	0.697	0.109	0.011	0.046
41	0.004	6.662	0.682	0.089	0.008	0.041
42	0.003	6.395	0.642	0.094	0.009	0.034
43	0.003	6.071	0.614	0.084	0.007	0.030
44	0.001	5.201	0.538	0.063	0.005	0.019
45	0.001	4.688	0.482	0.053	0.004	0.014
46	0.002	6.083	0.637	0.083	0.007	0.029
47	0.002	5.637	0.606	0.077	0.005	0.022
Ortalama	0.004	6.969	0.828	0.109	0.011	0.047
St. Sapma	0.002	1.064	0.180	0.026	0.004	0.018
Basıklık	-0.294	-0.582	0.257	-0.537	-0.322	-0.404
Çarpıklık	0.585	0.089	0.420	-0.029	0.432	0.431
Aralık	0.008	4.381	0.853	0.108	0.017	0.075
Minimum	0.001	4.688	0.482	0.053	0.004	0.014
Maksimum	0.009	9.069	1.335	0.162	0.021	0.089

YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar

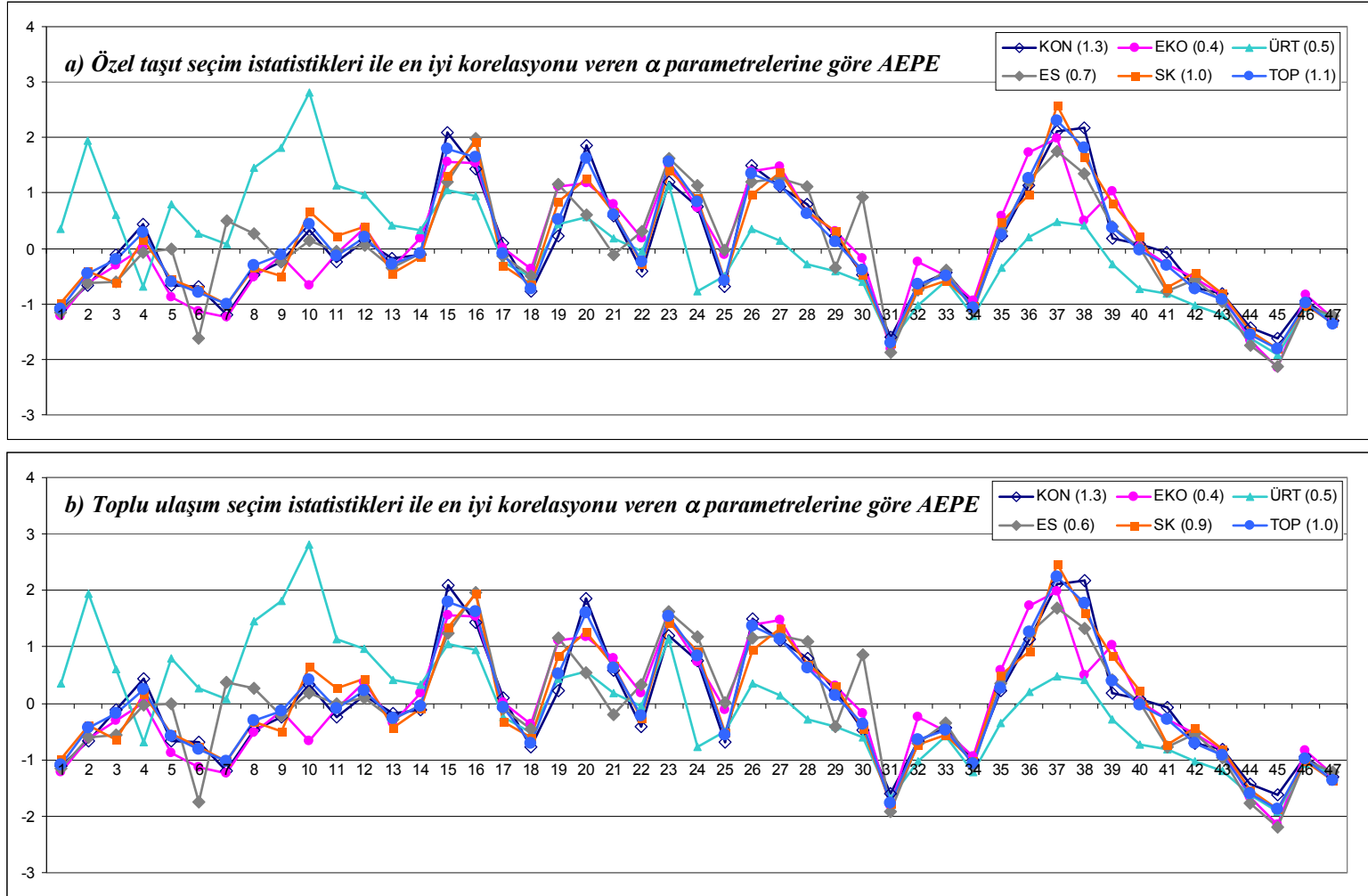
Tablo 3.14 Toplu ulaşımlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren oransal arazi kullanımlı AEPE ölçütleri

AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	YY/TUTSO	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS
$\alpha :$	1.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0
1	0.002	5.675	0.893	0.216	0.018	0.073
2	0.003	6.298	1.177	0.247	0.023	0.100
3	0.004	6.641	0.935	0.249	0.021	0.111
4	0.005	6.989	0.703	0.280	0.028	0.129
5	0.003	6.027	0.972	0.281	0.022	0.094
6	0.003	5.771	0.876	0.181	0.020	0.084
7	0.002	5.660	0.840	0.304	0.018	0.075
8	0.003	6.413	1.088	0.297	0.024	0.106
9	0.004	6.815	1.155	0.270	0.023	0.113
10	0.005	6.271	1.335	0.293	0.033	0.136
11	0.004	6.864	1.032	0.282	0.029	0.114
12	0.005	7.376	1.002	0.287	0.031	0.128
13	0.004	6.609	0.901	0.265	0.023	0.107
14	0.004	7.156	0.887	0.281	0.026	0.116
15	0.009	8.626	1.016	0.354	0.039	0.193
16	0.007	8.599	1.000	0.396	0.044	0.186
17	0.004	6.973	0.784	0.276	0.024	0.115
18	0.003	6.581	0.733	0.255	0.021	0.089
19	0.005	8.166	0.906	0.349	0.034	0.140
20	0.008	8.224	0.929	0.313	0.038	0.185
21	0.005	7.817	0.863	0.270	0.033	0.145
22	0.004	7.157	0.820	0.301	0.025	0.109
23	0.007	8.560	1.032	0.376	0.039	0.183
24	0.006	7.749	0.688	0.350	0.035	0.154
25	0.003	6.857	0.740	0.283	0.022	0.096
26	0.007	8.442	0.891	0.349	0.035	0.175
27	0.007	8.541	0.851	0.351	0.039	0.166
28	0.006	7.669	0.779	0.345	0.033	0.145
29	0.005	7.307	0.754	0.258	0.030	0.125
30	0.003	6.780	0.719	0.332	0.023	0.103
31	0.001	5.037	0.526	0.171	0.011	0.045
32	0.003	6.703	0.644	0.240	0.020	0.092
33	0.003	6.442	0.723	0.261	0.022	0.099
34	0.002	5.967	0.608	0.218	0.018	0.073
35	0.005	7.587	0.766	0.302	0.031	0.130
36	0.007	8.806	0.866	0.353	0.035	0.171
37	0.009	9.069	0.913	0.380	0.049	0.212
38	0.009	7.510	0.901	0.359	0.041	0.193
39	0.005	8.066	0.775	0.306	0.034	0.135
40	0.004	7.002	0.697	0.283	0.029	0.118
41	0.004	6.662	0.682	0.237	0.021	0.106
42	0.003	6.395	0.642	0.250	0.023	0.089
43	0.003	6.071	0.614	0.227	0.020	0.080
44	0.001	5.201	0.538	0.179	0.013	0.052
45	0.001	4.688	0.482	0.155	0.010	0.040
46	0.002	6.083	0.637	0.224	0.018	0.078
47	0.002	5.637	0.606	0.212	0.015	0.061
Ortalama	0.004	6.969	0.828	0.282	0.027	0.118
St. Sapma	0.002	1.064	0.180	0.058	0.009	0.042
Basıklık	-0.294	-0.582	0.257	-0.439	-0.418	-0.418
Çarpıklık	0.585	0.089	0.420	-0.108	0.342	0.358
Aralık	0.008	4.381	0.853	0.241	0.038	0.172
Minimum	0.001	4.688	0.482	0.155	0.010	0.040
Maksimum	0.009	9.069	1.335	0.396	0.049	0.212

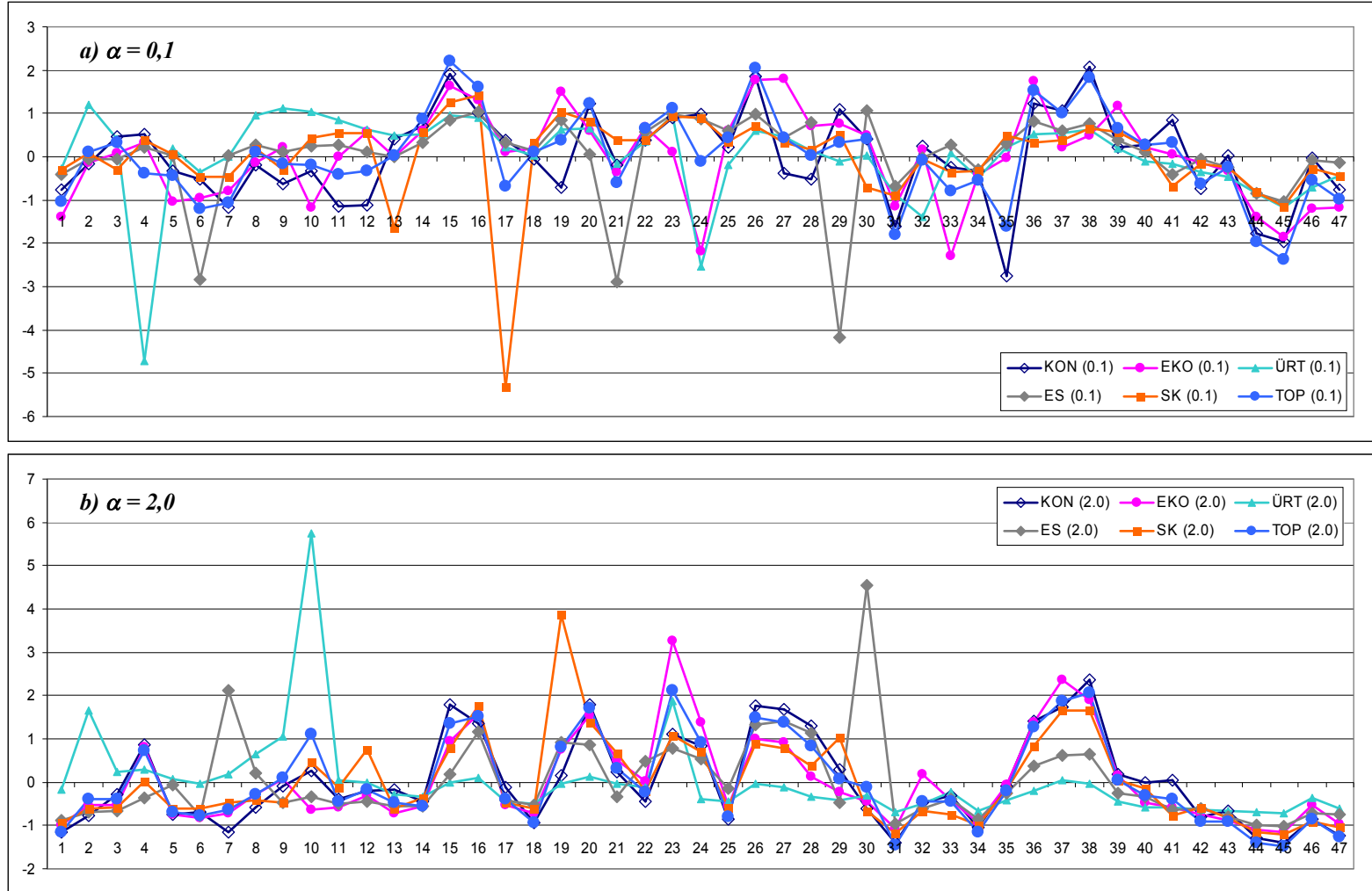
YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar



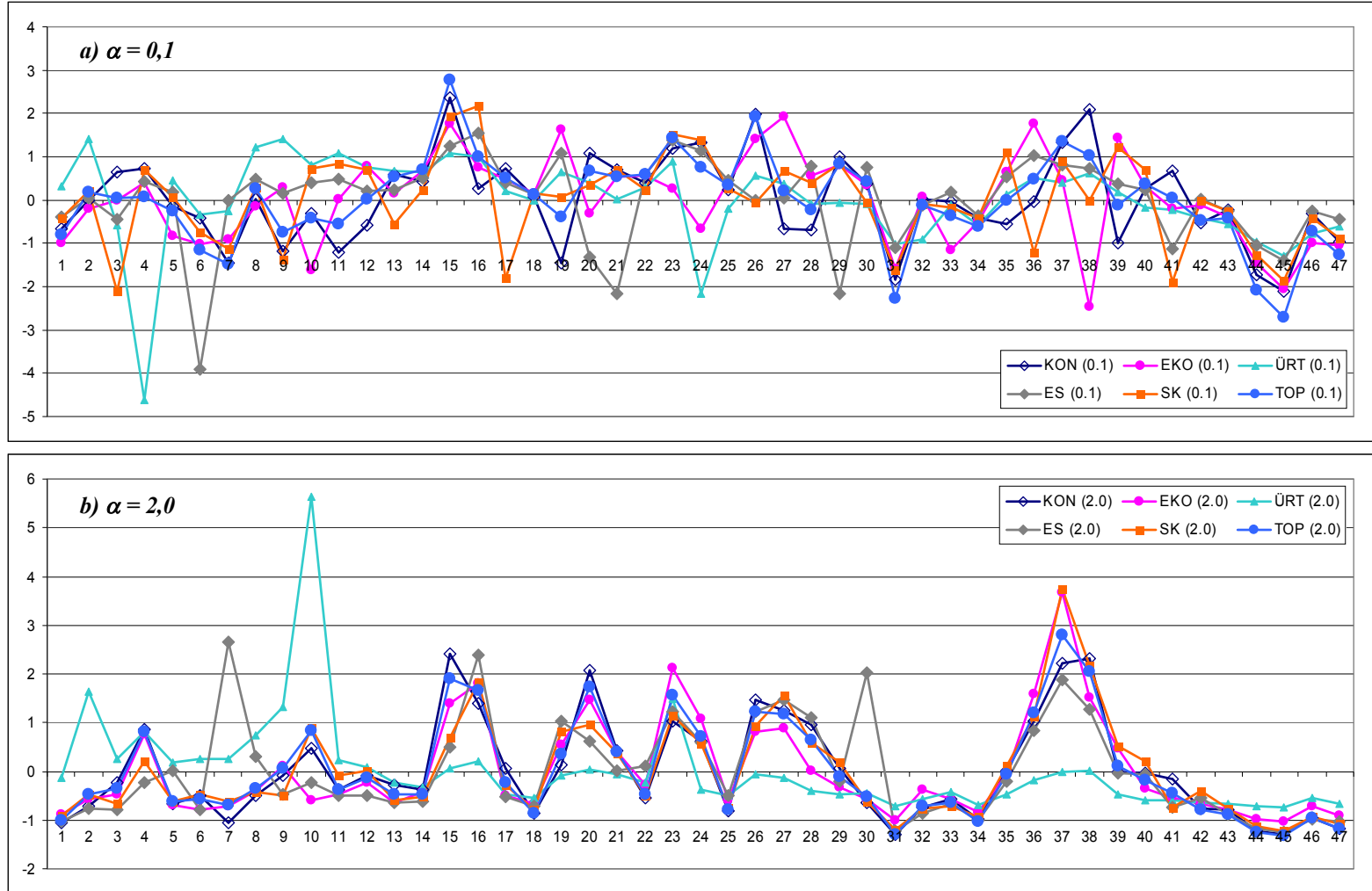
Şekil 3.3 Alansal arazi kullanımına dayalı standardize edilmiş, iyi korelasyon sağlayan AEPE değerlerinin analiz bölgelerine göre değişimi



Şekil 3.4 Oransal arazi kullanımına dayalı standardize edilmiş, iyi korelasyon sağlayan AEPE değerlerinin analiz bölgelerine göre değişimi



Şekil 3.5 $\alpha=0,1$ ve $\alpha=2,0$ için AEPE'nin standardize değerlerinde alansal arazi kullanışlarının etkisi



Şekil 3.6 $\alpha=0,1$ ve $\alpha=2,0$ için AEPE'nin standardize değerlerinde oransal arazi kullanışlarının etkisi

Özellikle kentin geometrik açıdan merkezinde yer alan 16-24 numaralı analiz bölgelerinde, Şekil 3.3'teki AEPE değişimi heterojen bir yapıda iken, Şekil 3.4'te birbirini paralel ve yakın takip eden bir eğilim gözlemlenmektedir. Bu bölgelerde arazi kullanım türleri alansal büyüklük açısından farklılık göstermekte, ancak tüm alana oranlandığında daha homojen hale gelmektedir. Dolayısıyla oransal yaklaşımın, erişilebilirliğin arazi kullanışı bileşenini daha dengeli hale getirdiği söylenebilir.

Yolculuk uzunluğuna duyarlılık parameteresinin AEPE ölçütleri üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla, analizde kullanılan minimum ve maksimum değerler olan 0,1 ve 2,0 için alansal ve oransal arazi kullanımına ait AEPE değişimleri Şekil 3.5 ve 3.6'da verilmiştir. " $\alpha=0,1$ " arazi kullanımının, " $\alpha=2,0$ " ise yolculuk uzunluğunun ön plana çıktığı durumu temsil etmektedir. Alansal arazi kullanımının (Şekil 3.5) özellikle üretim, eğitim-sağlık ve sosyo-kültürel kullanışlara ait eğilimin " $\alpha=0,1$ " ve " $\alpha=2,0$ " için oldukça farklı eğilimler gösterdiği görülmektedir. Bu üç kullanım türünün, kentin belirli bölgelerinde ağırlıklanmış olması, diğerlerinin ise hemen hemen tüm analiz bölgelerinde az ya da çok miktarda bulunuyor olması, ÜRT, ES ve SK'nın uzaklığa duyarlılığını yükseltmektedir. Seçilen optimum parametreler için Şekil 3.3a ve 3.4a'da sivrilen bölgeler, özellikle " $\alpha=0,1$ " için ortadan kalkmakta, " $\alpha=2,0$ " için ise belirginliğini daha fazla korumaktadır. Dolayısıyla seçilen optimum " α " parametrelerinin tür seçimi korelasyonlarında önemli bir etkiye sahip olduğu açıktır. Öte yandan, seçilen parametrelerin genel trendinin " $\alpha=2,0$ " grafiğine daha çok benzemesi, AEPE'nin arazi kullanışı boyutunun tür seçimi korelasyonları için bir miktar sönümlendiği ve yolculuk uzunluğuna daha bağımlı hale geldiği söylenebilir.

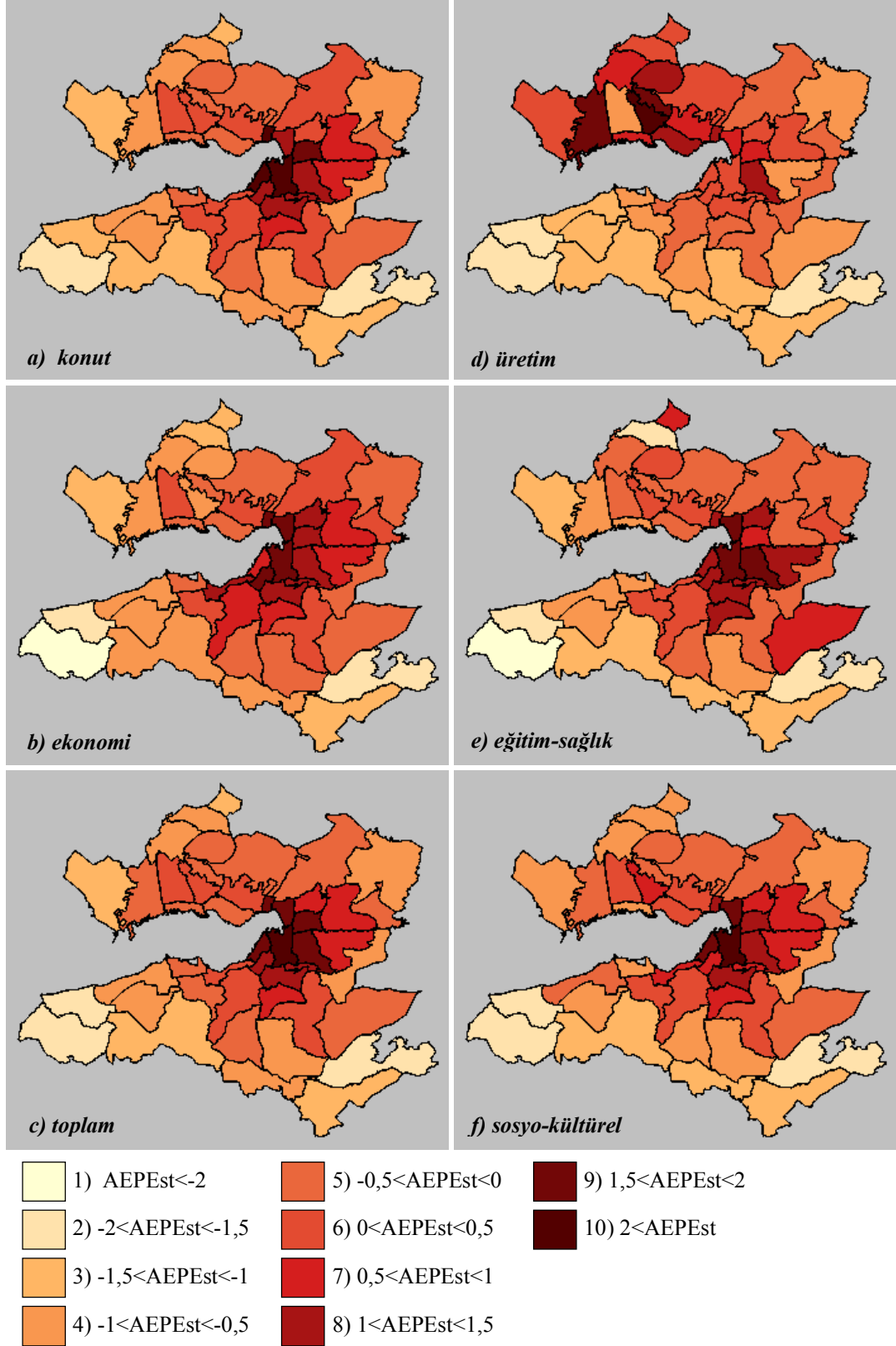
Şekil 3.6a'daki AEPE eğilimleri, 3.5a'daki eğilimden daha fazla heterojendir. Bu durum oransal yaklaşımın, arazi kullanışlarında daha büyük farklılıklar ortaya koyduğunu göstermektedir. Şekil 3.6b ise 3.5b'ye göre, farklı AEPE türleri için birbirine daha yakın eğilimler izlemektedir. Oransal yaklaşımda yüksek duyarlılık parametreleri, arazi kullanım karakteristiklerini daha fazla sönümlemekte, dolayısıyla oransal yaklaşımın, alansal yaklaşıma göre " α " parametresine daha duyarlı olduğu anlaşılmaktadır.

Standardize edilmiş AEPE değerlerinin (AEPEst) İzmir kent merkezindeki dağılımı, bir GIS yazılımından yararlanılarak da incelenmiştir. Öncelikle, standardize edilmiş değerler, açık sarıdan bordoya kadar yükseldikçe koyulaşan bir renk skalası kullanılarak aşağıdaki 10 sınıf ile temsil edilmiştir.

Özel taşıt ve toplu ulaşımın sınıflandırılması sonucunda aralarında kayda değer bir fark görülmediğinden Şekil 3.7’de, iki ulaşım türü için ortak kabul edilebilecek olan sadece özel taşıta ait “ α ” değerleri için grafikler oluşturulmuştur.

Erişilebilirlik ölçütünün analiz bölgesi içindeki aktivite potansiyelini dikkate almaması, bazı bölgelerde beklenmedik sonuçlara sebep olmaktadır. Örneğin üretimsel AEPE (Şekil 3.7d) ele alınacak olursa, körfezin kuzey kıyısı yakınındaki zayıf düzeyde AEPE’ye sahip sarı renkli 4 numaralı analiz bölgesi, Çiğli Atatürk Organize Sanayi Bölgesi’ni (AOSB) kapsamakta ve üretim sektörü açısından İzmir’in önemli bir merkezini oluşturmaktadır. Buna rağmen bölgenin zayıf AEPE sınıfına girip sadece çevresindeki AEPE sınıflarını yükseltmesi, erişilebilirliğin analiz bölgesi içindeki aktivite talebini dikkate almamasından kaynaklanmaktadır. Benzer bir durum eğitim-sağlık grafiğinde, Gediz Üniversitesi’ni kapsayan kuzeydeki 6 numaralı analiz bölgesi için de geçerlidir.

Şeklin sol bölümünde a, b ve c olarak isimlendirilen konut, ekonomi ve toplam arazi kullanım türleri, genel olarak tüm analiz bölgelerinde kayda değer ölçüde yer alan, farklı analiz bölgeleri arasında oransal olarak büyük varyasyonlar göstermeyen arazi kullanışlarıdır. Bu yüzden yapılan sınıflama için, benzer karakterlere sahip oldukları görülmektedir. Her üçünde de kentin geometrik merkezinde maksimum düzeye ulaşan ve merkezden uzaklaştıkça azalan bir eğilim söz konusudur. Konutsal AEPE’nin yüksek düzeye sahip olduğu analiz bölgeleri, merkezde diğer iki arazi kullanımına göre daha az yer bulmakta, ekonomik AEPE ise merkez etrafında daha yüksek erişilebilirlik düzeyleri ile daha geniş bir alana yayılmaktadır.

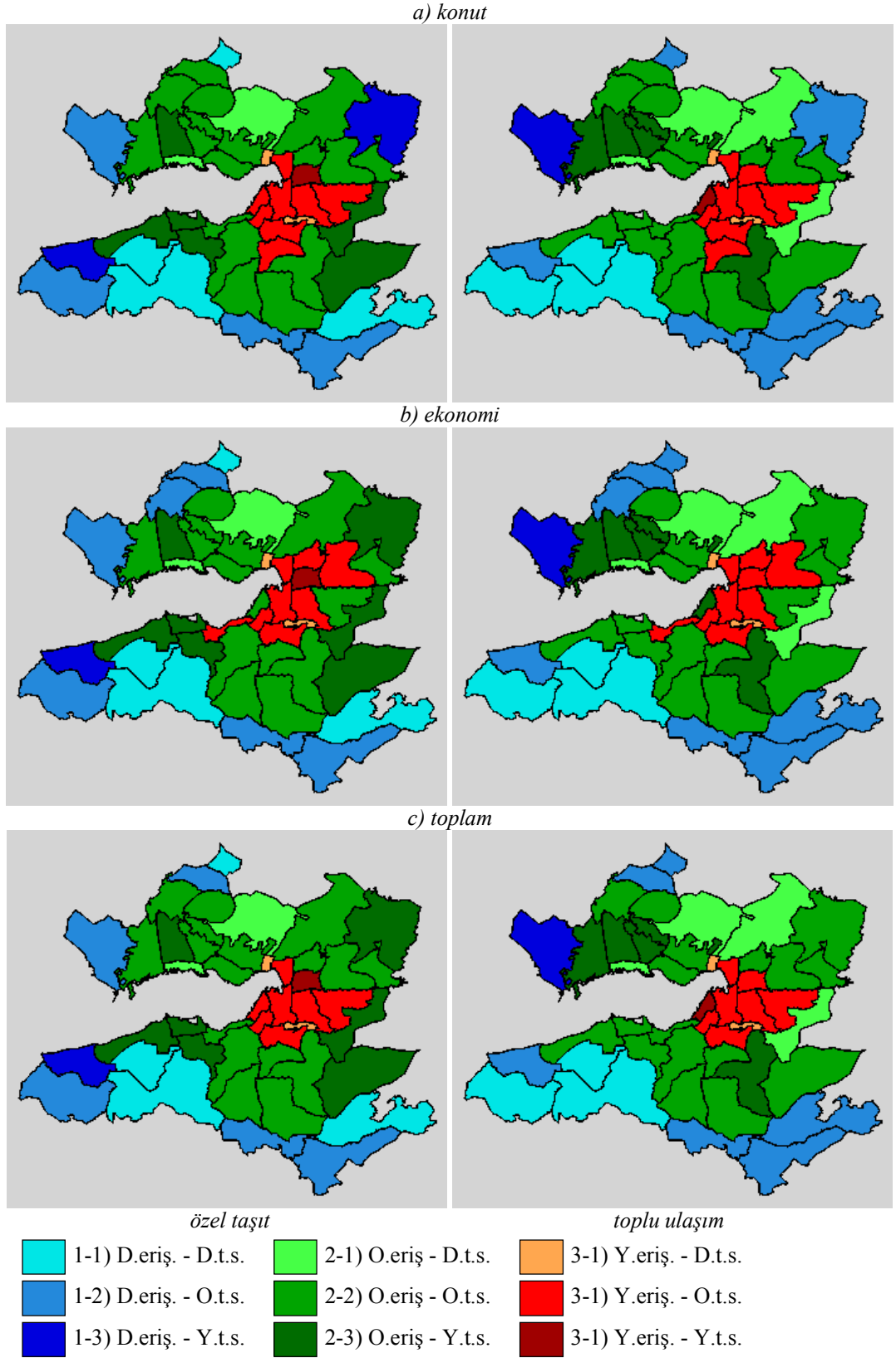


Şekil 3.7 Oransal arazi kullanışı içeren AEPE ölçütlerinin İzmir kent merkezindeki dağılımı

Şeklin sağ bölümündeki d, e ve f olarak adlandırılan üretim, eğitim-sağlık ve sosyo-kültürel arazi kullanışları ise kent merkezinde dağılım açısından, diğer üç kullanım türüne göre, çok daha heterojen bir yapıya sahip olduğundan, yoğunlaştıkları bölgeler de kayda değer ölçüde farklılık göstermiştir. Üretimsel AEPE en çok Çiğli AOSB çevresinde maksimum düzeylerine ulaşmakta, otomobil vb. birkaç sektörde yoğunlaşan sanayi sitelerini içeren Bornova'daki 24 numaralı analiz bölgesi etrafında da bir miktar artış göstermektedir. Eğitim-sağlık türü AEPE, daha çok üniversite kampüslerini içine alan Çiğli (6), Bornova (21) ve Buca (29) çevresinde yüksek düzeylere ulaşmaktadır. Sosyo-kültürel AEPE, a, b ve c'deki AEPE dağılımlarına benzemekle birlikte, körfezin güneydoğu kıyısında yoğunlaşan bir yapıya sahiptir.

AEPE ile tür seçimi arasındaki ilişkinin görsel olarak incelenebilmesi için GIS ortamında çapraz sınıflama yapılmıştır (Şekil 3.8). Bu incelemede öncelikle, erişilebilirlik ve tür seçimi değerlerinin standardize formları, düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır. Standardize değerlerin -0,75 - 0,75 aralığında kaldığı erişilebilirlik ve tür seçimi istatistikleri orta sınıfta kabul edilmiştir.

Oransal AEPE ile bütün ulaşım türleri içindeki seçim oranı (BUTSO) arasındaki çapraz sınıflar, bu üç sınıfın kombinasyonları şeklinde elde edilmiştir. Şekil 3.8'de görülen mavi tonlar, erişilebilirliğin düşük olduğu, yeşil tonlar orta düzeyde olduğu, kırmızı tonlar ise yüksek düzeyde olduğu analiz bölgelerini ifade etmektedir. Bu ana renklerin kendi içindeki üç farklı tonu ise açıktan koyuya doğru tür seçiminin düşük, orta ve yüksek düzeyde olduğu bölgeleri göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi standardize AEPE değerlerinin sınıflandırılması ile özel taşıt ve toplu ulaşım türleri arasında kayda değer bir fark elde edilememiştir. Dolayısıyla özel taşıt ve toplu ulaşım türlerine ait çapraz sınıfların yan yana verildiği figürde, yanındakine göre tonu açılan veya koyulaşan bölgeler, tür tercihinde bir değişim oluştuğunu göstermektedir.

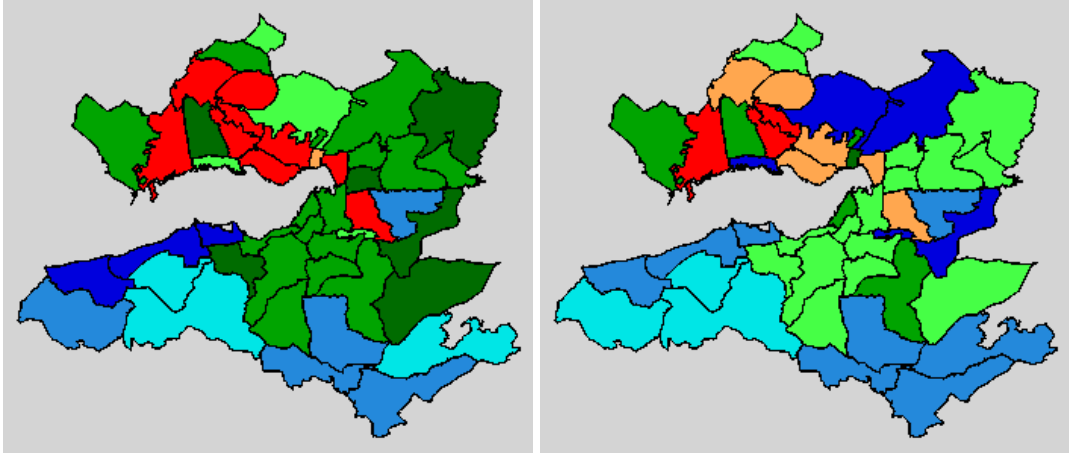


D: düşük düzey (<-0.75), O: orta düzey (-0.75~0.75), Y: yüksek düzey (>0.75)

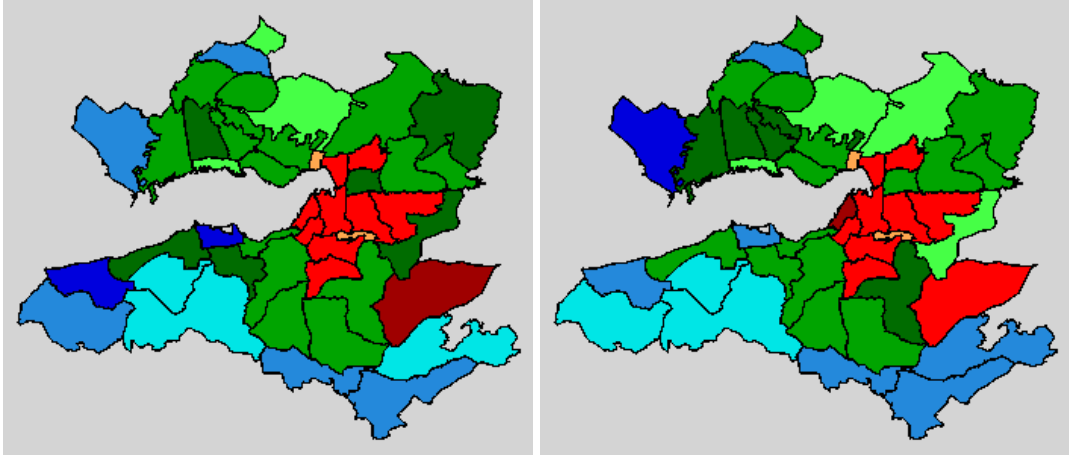
eriş.: erişilebilirlik, t.s.: tür seçimi

Şekil 3.8 AEPE ölçütleri ile tür seçim oranlarının (BUTSO) çapraz sınıfları

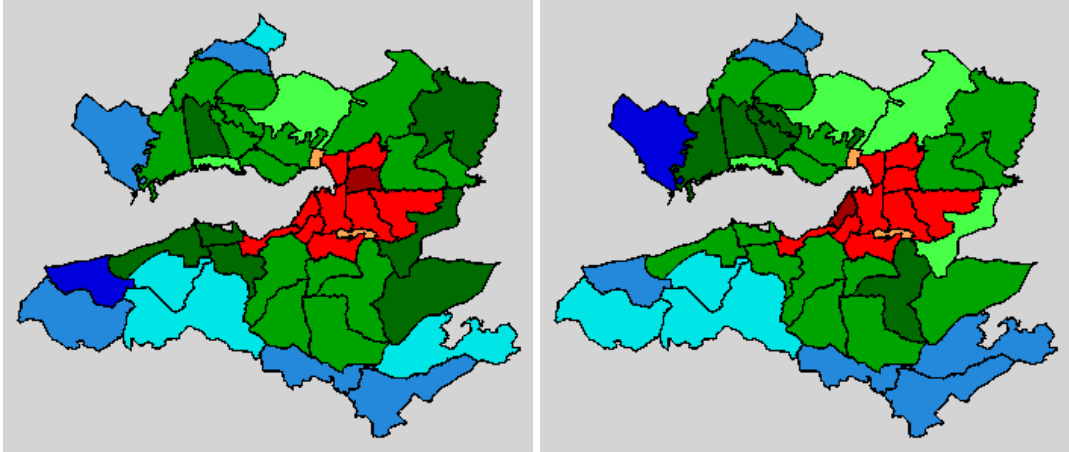
d) üretim



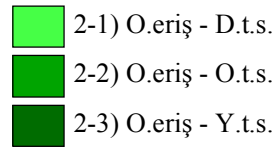
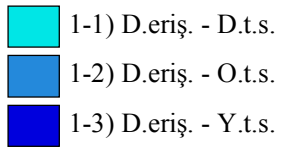
e) eğitim ve sağlık



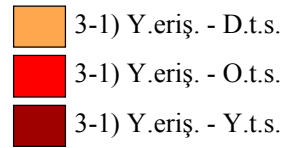
f) sosyo-kültürel



özel taşıt



toplu ulaşım



D: düşük düzey (<-0.75), O: orta düzey (-0.75~0.75), Y: yüksek düzey (>0.75)

eriş.: erişilebilirlik, t.s.: tür seçimi

Şekil 3.8 (devamı) AEPE ölçütleri ile tür seçim oranlarının (BUTSO) çapraz sınıfları

Şekil 3.8a, b ve c’de görüldüğü gibi, kent merkezinin genelinde, yeşil tonlarla ifade edilen orta düzeyde erişilebilirlik hâkimdir. Konut, ekonomi ve toplam arazi kullanım türlerinin her üçü için, toplu ulaşım tercihinin özel taşıta kıyasla, kentin kuzeybatı kesiminde yükselirken, güneybatı, kuzeydoğu ve doğu kesimlerinde düşük sınıfa indiği görülmektedir. Güneybatı ve doğu kesimlerde özel taşıt tercihinin daha yüksek olmasının muhtemel sebebi bu bölgelerdeki çevre yolu bağlantılarıdır. Erişilebilirliğin yüksek olduğu kırmızı tonlara sahip merkezde ise genellikle, her iki tür tercihinin de orta düzeyde olduğu görülmektedir.

Şekil 3.8d’deki üretimsel AEPE-tür seçim ilişkisi incelendiğinde, yüksek erişilebilirliğin kentin kuzeydoğu bölgesinde yoğunlaştığı, bu bölgede özel taşıt seçimi orta düzeyde iken toplu ulaşım tercihinin genellikle düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Üretim faaliyetine erişilebilirliğin orta düzeyde olduğu doğu ve güneydoğu kesimlerde özel taşıt tercihi yüksek iken toplu ulaşım tercihi düşüktür. Yüksek üretimsel erişilebilirlik sadece yakın çevresinde toplu ulaşım tercihlerini arttırırken, şehrin genelinde üretim faaliyetine erişim özel taşıt eğilimlidir. Eğitim-sağlık ve sosyo-kültürel arazi kullanımına dayalı erişilebilirlik figürleri (Şekil 3.8e ve f), özel taşıt ve toplu ulaşım farklılıkları karşılaştırıldığında benzer özellikler gözlenmektedir. Her ikisi için de özel taşıt türü kentin güney körfez kıyısı ile doğu kesimlerinde yüksek iken bu aktivite olanaklarına toplu ulaşım ile erişim kuzey körfez kıyılarında yükselmektedir. Bu değişimi gösteren güney kıyı bölgelerinin çevresinde bu erişilebilirlik türlerinin özel taşıt için düşük düzeyde, kuzey kıyı bölgelerinin çevresinde ise erişilebilirliğin orta düzeyde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bir analiz bölgesini çevreleyen kesimlerde erişilebilirlik düşük ise özel taşıt eğilimi o bölgede daha yüksek olmakta, çevre bölgelerde erişilebilirlik kabul edilebilir düzeyde olduğunda ise toplu ulaşım tercihi yükselmektedir.

Sonuç olarak AEPE ölçütlerinin, ulaşım türü seçimlerindeki farklılığı ortaya koyabilme yeteneği açısından, sadece üretim ve sosyo-kültürel arazi kullanım türleri ile BUTSO istatistiği için davranış farkı yarattığı görülmüştür. “ α ” parametresinin özel taşıt ve toplu ulaşım türleri arasında kayda değer bir değişim göstermediği, dolayısıyla AEPE yardımıyla iki türün tercihi arasında belirgin bir fark elde

edilmesinin mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak TBYS istatistiklerinde AEPE'nin tüm arazi kullanım türleri için pozitif işaretli ve güvenilirliği yüksek korelasyonlar vermesi, AEPE'nin tür seçim farklılığını ortaya koymaktan ziyade, genel hareketliliği tahminde daha başarılı olabileceği sonucuna götürmektedir.

3.3 Fayda Esaslı Erişilebilirlik (FEE)

Tezin bu bölümde ilk olarak, AEPE analizinde olduğu gibi, İzmir kent merkezi örneği üzerinde, özel taşıt ve toplu ulaşım olmak üzere iki ana ulaşım türü için fayda esaslı erişilebilirlik ölçütleri modellenmiş ve amaca uygun genelleştirilmiş maliyete duyarlılık parametreleri belirlenmiştir. İkinci aşamada, tür seçimlerinin toplulaştırılmış ölçekte yaratılan ve çekilen yolculuklar için gözlemlenen oranları ile elde edilen erişilebilirlik ölçütleri arasında esneklik regresyonları oluşturularak, erişilebilirlik ölçütlerindeki değişimlerin tür seçimine ne kadar yansıdığı incelenmiştir. Ayrıca, erişilebilirlik bir indeks değeri 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 tahminlenebilme yeteneği araştırılmıştır.

Fayda esaslı erişilebilirlik (FEE) ölçütü, erişilebilirliği bir grup ulaşım alternatifinin çıktısı olarak kestirme temeline dayanmaktadır. FEE yaklaşımı, erişilebilirliğin kullanıcıya sağladığı imkan yönünü, ulaşım türü ve ulaşım altyapısının yanında, kullanıcı karakteristiklerini de dikkate alabilmektedir (Banister ve Berechman, 2000).

FEE yaklaşımının başlangıç noktası, bireysel tür seçimi modellerinde sıkça kullanılan fayda fonksiyonudur (Bröcker, 1989). FEE çoklu logit modeldeki deterministik fayda oranının paydası olarak tanımlanmakta ve bu aynı zamanda “logaritmik toplam” olarak bilinmektedir (McFadden, 1981, Ben-Akiva ve Lerman, 1985). Logaritmik toplam, bütün alternatifler kümesinin çekiciliğini özet olarak ifade eden bir ölçüt olarak görülmektedir (Small, 1992):

$$A_n = \ln \left(\sum_k e^{V_k} \right) \quad (3.6)$$

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

$$A_n^m = \frac{1}{\beta_m} \ln \sum_j D_j e^{-\beta_m \cdot c_{ijm}} \quad (3.7)$$

Burada tüm ifade, yolculuk maliyetine duyarlılık parametresine bölüldüğü için erişilebilirlik, yolculuk maliyeti biriminden ifade edilmiştir. “ m ” indisi ulaşım türünü ifade etmekte, dolayısıyla her bir ulaşım türü için ayrı erişilebilirlik değeri hesaplanabilmektedir. Yolculuk maliyetine duyarlılık parametresi “ β_m ” de, her bir ulaşım türü (m) için ayrı ayrı belirlenebilmektedir.

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 çalışmada kapsamında analiz bölgesi bazında incelenmiştir.

3.3.1 Yolculuk Maliyetine Duyarlılık Parametresinin (β) Belirlenmesi

Yolculuk maliyetine duyarlılık parametrelerinin ilgili tür seçimi istatistiği ile olan korelasyona göre belirlenmesinde, Bölüm 3.2.1’de kullanılan yöntem uygulanmıştır. Eşitlik 3.7’de belirtilen FEE modeli, AEPE hesaplamalarında kullanılan tür seçim istatistikleri ve arazi kullanım sınıfları ile aynı kategoriler için İzmir kent merkezi örneği üzerinde modellenmiştir.

Tablo 3.15'te en iyi korelasyonu sağlayan maliyete duyarlılık parametreleri (β) için özel taşıt seçimi ve alansal arazi kullanışlı FEE arasındaki korelasyonlar verilmiştir. Yaratılan yolculukların TUTSO istatistikleri için en iyi korelasyonu üretimsel FEE sağlamıştır. Onu sosyo-kültürel ve ekonomik FEE takip etmektedir. Negatif işarete sahip bu korelasyonlar, ekonomi, üretim ve sosyo-kültürel aktiviteye erişilebilirliği yüksek olan ulaştırma sistemi kullanıcılarının, bulundukları analiz bölgesinden çıkan yolculuklarında özel taşıt kullanmayı daha az tercih ettiklerini göstermektedir. Özellikle üretim ve ekonomi gibi istihdama yönelik düzenli yolculuklarda FEE'nin özel taşıt seçimi ile ters yönlü ilişkili çıkması, FEE'nin tür seçiminde etkili olduğunu yansıtmaktadır. BUTSO ile korelasyonlar incelendiğinde ise sadece üretimsel FEE'nin yine negatif işaretli olarak etkin olduğu görülmektedir. TBYS'de ise konutsal ve toplam arazi kullanışlarını içeren FEE pozitif yönlü iyi sonuç vermektedir. Özel taşıtlı büyütülmüş yolculuk sayısının, konutsal fayda esaslı erişilebilirlik ile paralel davranış göstermesi, İzmir'deki konut ağırlıklı bölgelerinin (Mavişehir, Evka siteleri vb.) genellikle şehir merkezinden uzak olması ve dolayısıyla toplu ulaşım imkânlarının daha zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Tablo 3.15'teki çekilen yolculuklara ait tür seçim istatistikleri, yaratılan yolculuklar ile paralel, ancak güvenilirlik olasılığı bir miktar daha düşük korelasyonlar vermiştir. Erişilebilirliğin daha çok bir analiz bölgesinden diğer bölgelere yolculuklardaki potansiyel ve faydayı yansıttığı düşünülürse bu beklenen bir sonuçtur.

Tablo 3.16'daki toplu ulaşım istatistiklerinin oransal arazi kullanışı içeren FEE ölçütleri ile olan ilişkileri incelendiğinde TUTSO için, bekleneceği üzere özel taşıt korelasyonlarının tersine, üretim ve sosyo-kültürel FEE'de pozitif etkin korelasyonlar elde edilmiştir. FEE'de özel taşıt ve toplu ulaşım türleri için farklı yolculuk maliyetleri kullanıldığından TUTSO için AEPE'deki gibi aynı korelasyonların ters işaretli çiftlerini elde etmek mümkün değildir. Buna rağmen üretimsel ve sosyo-ekonomik FEE'nin, AEPE'de olduğu gibi, TUTSO için özel taşıt ve toplu ulaşım türlerinde birbirini tamamlayan sonuçlar vermesi, TUTSO'nun erişilebilirlik açısından tür seçimini tutarlı şekilde yansıtan bir tür seçimi istatistiği olduğunu göstermektedir. BUTSO'da ise sadece sosyo-kültürel FEE ile güvenilirliği

Tablo 3.15 Özel taşıt seçimi ile alansal arazi kullanımına bağlı FEE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk maliyetine duyarlılık parametreleri (β)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	FEE Türleri					Toplam
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	β :	2.0	1.9	0.8	1.0	1.0	1.1
		KK:	-0.169	-0.311	-0.521	0.062	-0.329	-0.223
		GO:	0.292	0.048	0.000	0.700	0.036	0.161
	BUTSO	β :	0.6	1.5	0.5	0.6	0.6	0.9
		KK:	0.252	-0.212	-0.462	-0.025	-0.162	-0.097
		GO:	0.113	0.184	0.002	0.879	0.312	0.546
	TBYS	β :	0.4	0.4	0.1	0.1	0.8	0.5
		KK:	0.377	0.244	0.067	0.247	0.293	0.327
		GO:	0.015	0.124	0.676	0.120	0.063	0.037
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	β :	0.7	1.9	0.7	1.1	1.0	1.0
		KK:	0.158	-0.271	-0.481	0.100	-0.353	-0.194
		GO:	0.323	0.087	0.001	0.534	0.023	0.223
	BUTSO	β :	0.6	1.5	0.5	1.4	0.7	0.2
		KK:	0.251	-0.117	-0.340	0.153	-0.179	0.016
		GO:	0.114	0.465	0.030	0.340	0.263	0.922
	TBYS	β :	0.4	0.4	0.1	0.1	0.8	0.5
		KK:	0.376	0.250	0.075	0.248	0.285	0.330
		GO:	0.015	0.115	0.641	0.119	0.071	0.035

β : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

Tablo 3.16 Toplu ulaşım seçimi ile alansal arazi kullanımına bağlı FEE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk maliyetine duyarlılık parametreleri (β)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	FEE Türleri					Toplam
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	β :	1.2	2.0	0.6	0.1	0.1	2.0
		KK:	0.202	0.224	0.438	-0.052	0.467	0.267
		GO:	0.205	0.160	0.004	0.749	0.002	0.092
	BUTSO	β :	2.0	0.1	2.0	0.1	0.1	2.0
		KK:	0.151	-0.168	0.214	-0.187	0.311	0.136
		GO:	0.346	0.295	0.179	0.241	0.047	0.396
	TBYS	β :	0.1	0.4	0.1	0.2	2.0	0.1
		KK:	-0.444	0.085	0.148	0.092	0.110	-0.194
		GO:	0.004	0.596	0.356	0.566	0.495	0.224
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	β :	1.1	2.0	0.6	0.1	0.1	1.9
		KK:	0.188	0.215	0.398	-0.034	0.453	0.245
		GO:	0.239	0.177	0.010	0.831	0.003	0.122
	BUTSO	β :	2.0	0.1	2.0	0.1	0.1	2.0
		KK:	0.159	-0.119	0.172	-0.155	0.301	0.134
		GO:	0.320	0.460	0.281	0.334	0.056	0.405
	TBYS	β :	0.1	0.4	0.1	0.2	2.0	0.1
		KK:	-0.441	0.091	0.143	0.095	0.110	-0.191
		GO:	0.004	0.573	0.374	0.556	0.494	0.231

β : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

sınırdaki bir korelasyon bulunmuştur. TBYS istatistiği de TUTSO'ya benzer şekilde, konutsal erişilebilir ölçütüyle bu kez ters işaretli olarak ilişki göstermiştir. Bu durum TBYS'nin de TUTSO gibi, iki farklı türün ayrımını yansıtmada tutarlı bir gösterge olduğunu ortaya koymaktadır. Çekilen yolculukların alansal arazi kullanışlı erişilebilirlik korelasyonları, özel taşıtta olduğu gibi, yaratılan yolculuklardaki FEE ve tür seçim sınıfları ile örtüşmekte, ancak güvenilirlik olasılığı bir miktar daha düşük sonuçlar vermektedir.

Oransal arazi kullanışı içeren FEE ölçütleri (Tablo 3.17 ve 3.18) TUTSO ve BUTSO için alansal FEE korelasyonları ile örtüşmekte, aynı FEE türleri için aynı işaretli etkin korelasyonlar vermektedir. Ancak büyütülmüş yolculuk sayılarının (TBYS) korelasyon davranışı, alansal yaklaşımdan bir miktar farklıdır. Oransal yaklaşımda, alansalda olduğu gibi, konutsal FEE etkin ilişki gösterirken, yaratılan özel taşıtlı yolculuklar için ekonomik ve sosyo-kültürel FEE de güvenilir korelasyonlu çıkmaktadır. Pozitif işaretli bu korelasyonlar, toplu ulaşımli büyütülmüş yolculuk sayılarının bu üç arazi kullanım tipine ait erişilebilirlik arttıkça yükseldiğini göstermektedir. Bu farklılık toplu ulaşım TBYS istatistiği için geçerli olmadığından, bu üç kullanım tipinin özel taşıtlı yolculukları arttırırken toplu ulaşımli yolculukları etkilemediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla ekonomik ve sosyo-kültürel aktiviteye erişim kolaylığı, bu aktiviteyi kullanacak nüfus dikkate alındığında (TBYS yaklaşımı ile) ulaşımde özel taşıt kullananların sayısını arttırmaktadır. Konut, ekonomi ve sosyo-kültürel arazi kullanışı üçlüsü düşünülürse, bu artışın muhtemelen alışveriş ve sosyal aktivitelere “müşteri” olarak ihtiyaç duyan yüksek nüfuslu konutsal yerleşimlerden kaynaklandığı söylenebilir.

AEPE korelasyonları (Tablo 3.7-3.10) ile FEE korelasyonları (Tablo 3.15-3.18) karşılaştırılırsa, tür seçim oranı istatistikleri için (TUTSO ve BUTSO) etkili korelasyon veren arazi kullanışlarının hemen hemen aynı olduğu dikkati çekmektedir. Ancak örtüşen korelasyonların FEE tablolarındaki korelasyon katsayıları büyük bir kısmı için daha yüksek, güvenilirliği de daha tatmin edicidir. Bu durum AEPE ve FEE'nin tür seçimini yansıtmada benzer davranış gösterdiğini,

Tablo 3.17 Özel taşıt seçimi ile oransal arazi kullanımına bağlı FEE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk maliyetine duyarlılık parametreleri (β)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	FEE Türleri					Toplam
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	β :	2.0	1.8	0.9	0.3	1.0	0.8
		KK:	-0.124	-0.302	-0.533	-0.110	-0.316	-0.252
		GO:	0.440	0.055	0.000	0.493	0.044	0.112
	BUTSO	β :	0.7	2.0	0.6	0.3	0.4	0.7
		KK:	0.161	-0.150	-0.452	-0.086	-0.083	-0.092
		GO:	0.315	0.351	0.003	0.591	0.605	0.567
	TBYS	β :	0.4	0.5	2.0	0.2	0.4	0.4
		KK:	0.358	0.330	-0.068	0.262	0.336	0.322
		GO:	0.021	0.035	0.670	0.097	0.032	0.040
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	β :	0.9	1.6	0.8	0.2	0.9	0.8
		KK:	0.110	-0.282	-0.495	-0.140	-0.347	-0.239
		GO:	0.495	0.074	0.001	0.384	0.026	0.133
	BUTSO	β :	0.8	1.8	0.5	1.6	0.6	0.6
		KK:	0.184	-0.095	-0.345	0.147	-0.120	-0.039
		GO:	0.249	0.556	0.027	0.359	0.454	0.807
	TBYS	β :	0.4	0.4	2.0	0.2	0.3	0.4
		KK:	0.360	0.332	-0.064	0.263	0.332	0.324
		GO:	0.021	0.034	0.691	0.097	0.034	0.039

β : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

Tablo 3.18 Toplu ulaşım seçimi ile oransal arazi kullanımına bağlı FEE ölçütleri arasındaki en iyi korelasyon değerleri ve yolculuk maliyetine duyarlılık parametreleri (β)

Yolculuk Türü	Tür Seçim İstatistiği	En İyi Korelasyon*	FEE Türleri					Toplam
			Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim-Sağlık	Sosyo-kültürel	
Yaratılan Yolculuklar	TUTSO	β :	0.5	2.0	0.4	0.4	0.2	1.1
		KK:	0.247	0.236	0.454	0.153	0.324	0.276
		GO:	0.120	0.138	0.003	0.341	0.039	0.080
	BUTSO	β :	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0	2.0
		KK:	0.191	-0.147	0.246	-0.067	0.215	0.189
		GO:	0.232	0.359	0.121	0.679	0.177	0.236
	TBYS	β :	0.1	0.6	0.1	0.4	2.0	0.1
		KK:	-0.360	0.170	0.111	0.089	0.225	-0.165
		GO:	0.021	0.289	0.488	0.580	0.157	0.302
Çekilen Yolculuklar	TUTSO	β :	0.6	2.0	0.4	0.3	0.2	1.0
		KK:	0.236	0.238	0.418	0.164	0.316	0.264
		GO:	0.137	0.134	0.007	0.305	0.044	0.095
	BUTSO	β :	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
		KK:	0.191	0.118	0.204	-0.040	0.215	0.185
		GO:	0.231	0.461	0.201	0.805	0.178	0.246
	TBYS	β :	0.1	0.6	0.1	0.4	2.0	0.1
		KK:	-0.355	0.174	0.105	0.091	0.226	-0.161
		GO:	0.023	0.276	0.512	0.570	0.156	0.313

β : en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi,

KK: korelasyon katsayısı, GO: korelasyonun güvenilirlik olasılığı

ancak FEE'nin bir miktar daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Büyütülmüş yolculuk sayıları (TBYS) ise AEPE tablolarında hemen hemen tüm arazi kullanım türleri için pozitif etkin korelasyonlu iken, FEE tablolarında belirgin olarak sadece konutsal arazi kullanışı için özel taşıtta pozitif, toplu ulaşımda negatif etkili olmuştur. TBYS, AEPE ölçütü için genel ulaşım hareketliliğini yansıtırken, FEE için daha tutarlı ve türel ayrımı kestirebilen bir tür seçimi istatistiği haline gelmiştir.

3.3.2 İzmir Kent Merkezi için FEE Ölçütlerinin Değerlendirilmesi

Dikkate alınan 6 farklı arazi kullanım türünde tür seçimi istatistikleri ile en iyi ilişkiyi veren “ β ” parametreleri için her bir analiz bölgesindeki fayda esaslı erişilebilirlik ölçütleri Tablo 3.19 ile 3.21’de verilmiştir. Bu tablolardaki ölçüt değerlerinin tamamı güvenilirliği 0,05’in altında olan parametreler için olmayıp, en düşük yüzdeyi sağlayan parametrelere göre düzenlenmiştir. Örneğin, alansal FEE ile özel taşıt korelasyonu eğitim-sağlık türü için herhangi bir tür seçim istatistiği ile güvenilirlik testi 0,05’in altında olan bir ilişki verememiştir. Ancak çekilen yolculukların özel taşıtlı büyütülmüş yolculuk sayıları ile (ÇY/TBYS) güvenilirlik testi 0,119 olan en iyi ilişkiyi verdiğinden, Tablo 3.19’da ÇY/TBYS için sonuçlar gösterilmiştir. “ β ” parametresinin seçilen 0,1 ve 2,0 sınırlarından birinde kalmış olması da ilgili erişilebilirlik ölçütünde etkili bir korelasyon elde edilemediğini göstermektedir. İlgili AEPE tablolarındaki (Tablo 3.11-3.14) basıklık ve çarpıklık değerleri FEE tablolarıyla karşılaştırıldığında, FEE ölçütlerinin normal dağılımdan AEPE’ye göre bir miktar daha uzak olduğu dikkati çekmektedir. AEPE’nin genel olarak kentin geometrik merkezinden dış sınırlarına doğru azalan bir yapı göstermesi, fayda esaslı yaklaşımda ise, ilerde bahsedileceği üzere, daha heterojen bir dağılım ortaya çıkması, bu farklılığın muhtemel sebebidir.

Şekil 3.9 ve 3.10’da FEE ölçütlerinin standardize edilmiş değerlerinin analiz bölgelerindeki eğilimleri görülmektedir. Alansal arazi kullanımına ait eğilimler (Şekil 3.9) AEPE’ye ait eğilimlerle (Şekil 3.3) karşılaştırıldığında, FEE ölçütlerinin birbirlerinden çok daha farklı aralık ve piklere sahip olduğu dikkati çekmektedir.

Tablo 3.19 Özel taşıtlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren alansal arazi kullanımlı FEE ölçütleri

AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	YY/TBYS	YY/TUTSO	YY/TUTSO	ÇY/TBYS	ÇY/TUTSO	ÇY/TBYS
$\beta :$	0.4	1.9	0.8	0.1	1.0	0.5
1	12.799	-0.732	5.066	62.724	2.120	11.710
2	13.558	1.507	6.270	63.449	3.024	12.885
3	14.761	0.186	6.993	64.511	2.197	13.478
4	15.015	0.477	4.679	65.069	3.570	12.921
5	14.838	1.072	5.669	65.397	3.218	13.364
6	14.479	1.305	5.664	60.428	3.019	12.852
7	13.343	1.554	5.683	64.322	3.490	13.084
8	14.171	1.241	4.871	63.151	3.334	12.763
9	14.820	0.509	6.604	64.991	2.676	13.460
10	15.872	0.987	7.635	65.914	4.036	14.431
11	15.421	0.226	6.081	65.425	3.845	13.511
12	16.320	1.117	5.357	65.996	4.971	14.027
13	16.222	-0.558	5.090	65.523	1.935	13.407
14	15.996	-0.552	4.284	66.340	3.761	13.507
15	17.681	0.346	5.054	67.346	4.655	14.869
16	17.356	0.294	3.871	67.589	4.744	14.637
17	15.609	-2.069	2.538	65.606	1.104	12.520
18	15.710	-0.985	3.252	66.622	2.833	13.244
19	15.817	1.305	3.370	66.437	5.663	14.117
20	17.475	0.159	4.195	66.625	4.324	14.620
21	16.241	0.094	4.043	64.632	3.417	13.832
22	15.447	-0.930	3.521	66.347	1.806	13.056
23	16.708	0.111	4.474	67.531	3.057	14.170
24	16.599	0.256	3.666	67.300	3.464	13.964
25	16.615	0.673	3.821	67.604	3.083	14.178
26	17.455	0.580	4.183	67.760	3.505	14.696
27	18.058	1.494	4.389	67.171	3.607	15.039
28	16.366	1.420	4.447	66.755	3.055	14.160
29	17.560	1.450	4.497	61.549	4.275	14.568
30	16.885	1.484	4.706	67.416	2.428	14.433
31	14.166	1.367	3.097	63.905	0.634	12.382
32	16.719	1.914	3.959	64.499	2.933	14.207
33	16.749	1.320	5.200	65.737	2.635	14.097
34	16.841	2.032	1.655	63.806	3.163	13.584
35	16.613	1.164	3.946	65.789	2.546	13.957
36	17.967	0.850	4.192	66.838	3.509	14.850
37	17.749	0.011	3.954	67.669	3.791	14.769
38	17.731	0.213	3.616	66.651	3.398	14.491
39	17.006	0.592	2.122	65.367	3.272	13.700
40	16.017	0.634	-0.057	63.341	3.040	12.740
41	16.590	0.809	0.802	62.806	1.529	13.011
42	15.695	1.012	0.158	63.233	3.254	12.614
43	17.066	1.590	1.306	63.594	3.645	13.750
44	14.512	-0.801	-0.237	60.542	0.943	11.245
45	14.130	-0.236	-3.084	57.835	0.229	10.911
46	16.028	1.365	4.699	63.551	2.216	13.539
47	15.107	-0.014	3.817	65.056	1.596	12.948
Ortalama	15.998	0.592	3.896	65.058	3.033	13.581
St. Sapma	1.299	0.873	2.014	2.155	1.108	0.932
Basıklık	-0.377	0.512	2.397	1.656	0.543	0.679
Çarpıklık	-0.503	-0.765	-1.212	-1.149	-0.363	-0.788
Aralık	5.259	4.101	10.720	9.925	5.434	4.129
Minimum	12.799	-2.069	-3.084	57.835	0.229	10.911
Maksimum	18.058	2.032	7.635	67.760	5.663	15.039

YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar

Tablo 3.20 Toplu ulaşımlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren alansal arazi kullanımlı FEE ölçütleri

AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	YY/TBYS	YY/TUTSO	YY/TUTSO	YY/BUTSO	YY/TUTSO	YY/TUTSO
$\beta :$	0.1	2.0	0.6	0.1	0.1	2.0
1	89.459	1.020	9.689	68.786	73.248	2.116
2	88.811	1.058	9.704	68.139	72.602	1.990
3	89.226	0.994	9.577	68.296	72.550	2.051
4	89.384	1.288	8.494	69.054	73.120	2.136
5	89.193	0.810	9.324	68.581	72.853	1.920
6	88.905	0.613	9.333	66.169	72.355	1.800
7	88.811	0.807	9.355	68.545	72.642	1.877
8	88.883	1.196	9.725	68.477	72.802	2.124
9	88.868	1.121	9.805	68.863	72.632	2.029
10	88.653	0.653	9.773	68.323	72.819	2.007
11	87.689	0.191	8.590	67.674	72.068	1.147
12	88.688	0.843	9.487	68.617	73.184	1.949
13	89.523	0.975	9.596	68.972	71.938	2.109
14	89.724	1.253	9.581	69.216	73.506	2.133
15	90.037	1.343	9.516	69.237	73.589	2.236
16	89.441	1.369	9.412	69.348	73.651	2.179
17	89.509	1.395	9.404	69.140	68.998	2.222
18	89.041	1.320	9.009	68.703	73.132	2.025
19	88.737	1.511	9.367	69.097	73.323	2.264
20	88.835	1.191	8.693	67.961	72.658	1.948
21	89.087	1.477	9.040	66.453	72.991	2.143
22	90.012	1.714	9.180	69.817	73.628	2.392
23	89.394	1.238	8.815	69.444	72.784	1.911
24	89.714	1.373	7.962	69.486	73.415	2.169
25	89.327	1.160	8.393	69.414	72.929	1.894
26	89.971	1.538	8.881	69.637	72.658	2.362
27	88.811	1.224	8.429	68.708	72.078	1.918
28	88.974	1.392	8.705	69.398	72.229	2.135
29	89.717	1.351	8.567	65.478	72.511	2.112
30	89.586	1.273	8.621	69.613	71.821	2.087
31	88.649	0.928	7.912	68.521	71.724	1.307
32	89.355	1.501	8.032	68.875	72.351	1.938
33	88.925	1.104	8.449	69.006	71.707	1.833
34	89.732	1.008	8.457	69.134	72.504	1.972
35	87.992	1.166	8.431	69.057	72.372	1.885
36	89.751	1.557	8.595	69.231	72.642	2.244
37	89.826	1.749	9.264	69.712	72.944	2.422
38	89.317	1.134	7.813	68.317	72.071	1.880
39	88.532	0.548	7.137	67.932	71.670	1.381
40	88.762	0.384	7.349	68.126	71.562	1.513
41	89.018	0.398	7.179	67.609	71.018	1.576
42	88.326	0.326	7.129	67.783	71.295	1.273
43	89.383	0.746	7.963	68.475	72.084	1.843
44	87.921	-0.271	6.495	67.172	70.736	0.917
45	88.130	-0.084	6.577	67.330	70.813	1.093
46	89.286	1.172	8.139	68.840	72.082	1.750
47	89.020	0.907	8.180	68.869	72.100	1.514
Ortalama	89.105	1.042	8.662	68.567	72.391	1.909
St. Sapma	0.553	0.444	0.870	0.923	0.876	0.346
Basıklık	0.040	1.027	-0.054	2.350	3.715	0.976
Çarpıklık	-0.500	-1.047	-0.752	-1.421	-1.407	-1.164
Aralık	2.348	2.020	3.309	4.338	4.653	1.505
Minimum	87.689	-0.271	6.495	65.478	68.998	0.917
Maksimum	90.037	1.749	9.805	69.817	73.651	2.422

YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar

Tablo 3.21 Özel taşıtlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren oransal arazi kullanımlı FEE ölçütleri

AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	ÇY/TBYS	ÇY/TBYS	YY/TUTSO	ÇY/TBYS	ÇY/TUTSO	ÇY/TBYS
$\beta :$	0.4	0.4	0.9	0.2	0.9	0.4
1	6.860	4.438	1.320	13.466	0.637	9.760
2	7.529	5.480	2.277	14.176	1.476	10.596
3	8.862	5.866	2.867	14.750	-0.663	11.112
4	9.215	6.560	1.664	15.678	1.920	11.287
5	9.045	5.999	1.786	16.313	0.892	11.334
6	8.778	5.322	1.978	11.921	1.065	10.710
7	7.178	5.584	1.850	15.806	0.917	10.487
8	8.380	5.452	0.985	14.412	0.432	10.466
9	8.826	6.498	2.574	15.341	0.726	11.355
10	10.027	7.072	3.609	16.182	1.875	12.378
11	9.440	6.891	2.271	15.575	1.756	11.693
12	10.385	7.646	1.332	15.985	1.790	12.140
13	10.271	7.166	1.123	15.921	0.314	11.871
14	9.760	7.188	0.233	16.020	0.539	11.534
15	11.616	8.901	0.967	17.156	1.704	13.138
16	11.172	8.623	-0.318	17.179	1.565	12.734
17	9.858	6.925	-1.610	15.331	-0.671	11.179
18	9.533	7.437	-1.002	15.996	-0.259	11.262
19	9.708	7.865	-0.777	16.164	2.075	11.672
20	11.176	8.554	-0.070	16.039	1.088	12.614
21	10.091	8.143	-0.197	15.554	0.385	11.804
22	8.997	7.314	-0.784	15.541	-1.216	10.822
23	10.482	8.425	0.177	16.872	0.244	12.168
24	10.401	8.126	-0.528	16.641	0.514	11.999
25	10.000	7.971	-0.539	16.481	-0.016	11.672
26	11.133	8.736	-0.161	16.764	0.600	12.597
27	11.527	9.101	0.325	16.726	1.167	12.930
28	9.673	8.102	-0.184	16.036	-0.082	11.449
29	10.848	8.396	0.277	14.256	1.041	12.127
30	10.219	7.877	0.292	16.345	-0.117	11.748
31	7.162	6.147	-1.518	12.824	-2.476	9.090
32	9.825	8.092	-0.155	13.964	0.087	11.282
33	10.110	7.337	0.681	14.937	0.007	11.416
34	10.035	6.558	-1.709	14.310	1.244	11.152
35	9.985	7.970	-0.658	15.467	-0.028	11.499
36	11.536	9.004	0.006	16.770	0.929	12.924
37	11.407	8.987	-0.348	17.210	0.926	12.885
38	11.455	8.523	-0.409	16.666	0.959	12.773
39	10.464	7.613	-1.723	15.669	1.347	11.858
40	8.977	5.691	-3.885	13.902	1.189	10.306
41	9.734	5.474	-2.726	12.661	-1.333	10.450
42	8.880	6.046	-3.294	13.923	1.455	10.339
43	10.027	6.454	-2.240	14.214	1.700	11.161
44	7.270	3.577	-4.292	11.256	-1.061	8.367
45	6.733	2.447	-6.605	9.580	-2.324	7.586
46	8.989	6.910	0.060	12.714	-0.674	10.368
47	8.120	6.500	-0.781	13.971	-1.573	9.896
Ortalama	9.611	7.042	-0.167	15.121	0.470	11.319
St. Sapma	1.295	1.457	1.941	1.662	1.103	1.160
Basıklık	-0.190	1.054	1.806	1.649	0.381	1.679
Çarpıklık	-0.553	-0.918	-0.879	-1.238	-0.868	-0.999
Aralık	4.883	6.654	10.214	7.630	4.551	5.552
Minimum	6.733	2.447	-6.605	9.580	-2.476	7.586
Maksimum	11.616	9.101	3.609	17.210	2.075	13.138

YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar

Tablo 3.22 Toplu ulaşımlı yolculuklarla en iyi korelasyonu veren oransal arazi kullanımlı FEE ölçütleri

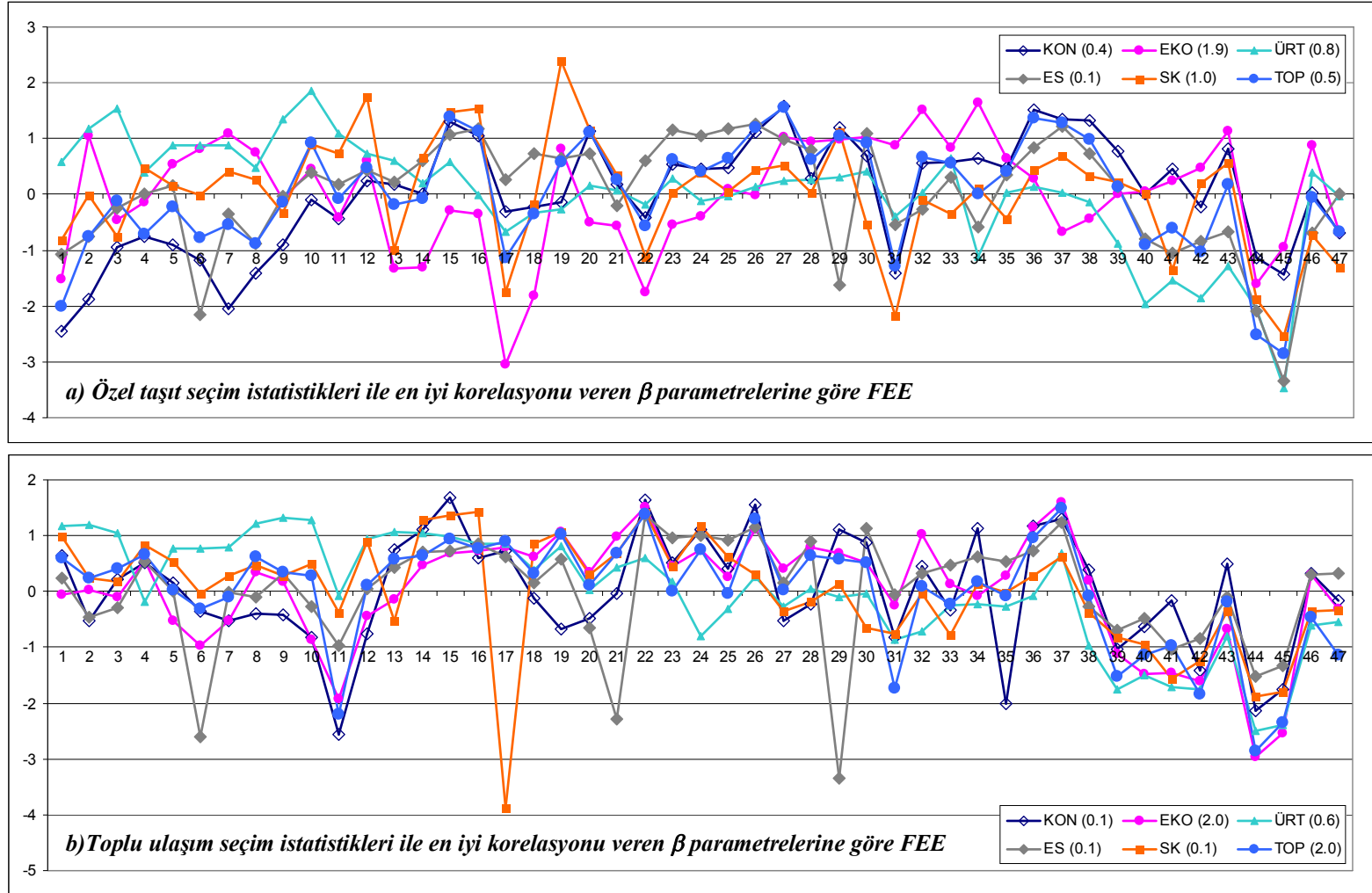
AEPE Türü:	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel	Toplam
Korelasyon:	YY/TBYS	ÇY/TUTSO	YY/TUTSO	ÇY/TUTSO	YY/TUTSO	YY/TUTSO
β :	0.1	2.0	0.4	0.3	0.2	1.1
1	64.828	-0.178	8.977	11.418	21.616	3.596
2	64.221	-0.250	8.874	10.847	21.055	3.304
3	64.594	-0.253	8.528	10.877	20.677	3.421
4	64.754	0.066	7.602	11.599	21.530	3.596
5	64.608	-0.401	8.575	11.306	21.269	3.432
6	64.286	-0.689	8.524	10.019	20.948	3.201
7	64.109	-0.486	8.492	11.286	20.988	3.226
8	64.357	-0.083	8.963	11.280	21.166	3.523
9	63.975	-0.133	9.051	11.419	20.941	3.428
10	64.022	-0.639	8.859	11.050	21.215	3.370
11	63.117	-0.906	7.893	10.403	20.542	2.629
12	64.241	-0.320	8.746	11.345	21.574	3.488
13	64.890	-0.232	8.857	11.580	21.334	3.622
14	64.893	0.037	8.783	11.678	21.632	3.707
15	65.418	0.260	8.730	11.739	22.114	3.944
16	64.438	0.046	8.548	11.784	21.844	3.680
17	64.943	0.141	8.545	11.622	21.117	3.748
18	64.405	0.011	7.964	11.168	21.158	3.420
19	63.808	0.219	8.493	11.602	21.366	3.578
20	64.058	-0.207	7.506	10.480	20.773	3.258
21	64.550	0.216	7.949	10.852	21.306	3.638
22	65.205	0.360	8.009	12.075	21.787	3.872
23	64.516	-0.077	7.733	11.673	21.350	3.411
24	64.958	0.139	6.826	11.802	21.589	3.682
25	64.426	-0.177	7.185	11.608	21.179	3.313
26	64.996	0.196	7.748	11.660	21.157	3.780
27	63.803	0.003	7.323	11.262	21.093	3.405
28	63.904	-0.068	7.484	11.612	21.047	3.402
29	64.684	-0.007	7.418	10.968	21.277	3.510
30	64.584	-0.115	7.433	11.710	21.095	3.424
31	63.668	-0.708	6.561	10.646	20.305	2.455
32	64.400	-0.023	6.950	11.171	20.981	3.181
33	64.076	-0.346	7.092	11.163	20.694	3.099
34	64.834	-0.249	7.561	11.493	21.349	3.443
35	63.980	0.053	7.250	11.477	21.346	3.488
36	64.388	0.456	7.631	11.682	21.122	3.732
37	64.958	0.611	8.139	12.134	21.875	4.041
38	64.446	-0.090	6.852	10.833	20.728	3.318
39	63.217	-0.466	6.291	10.544	20.743	2.793
40	63.860	-0.767	6.432	10.659	20.584	2.883
41	64.099	-0.896	6.338	10.165	19.947	2.842
42	63.577	-0.838	6.211	10.391	20.346	2.627
43	64.449	-0.492	7.061	10.994	20.985	3.156
44	63.069	-1.545	5.491	9.754	19.731	2.076
45	63.198	-1.499	5.605	9.786	19.724	2.074
46	64.284	-0.351	6.798	11.061	20.778	3.015
47	64.023	-0.565	6.820	11.039	20.668	2.825
Ortalama	64.300	-0.239	7.675	11.164	21.056	3.312
St. Sapma	0.543	0.446	0.946	0.572	0.515	0.437
Basıklık	0.013	1.390	-0.666	0.058	0.809	1.300
Çarpıklık	-0.430	-0.942	-0.373	-0.742	-0.635	-1.121
Aralık	2.349	2.156	3.560	2.380	2.391	1.967
Minimum	63.069	-1.545	5.491	9.754	19.724	2.074
Maksimum	65.418	0.611	9.051	12.134	22.114	4.041

YY: yaratılan yolculuklar, ÇY: çekilen yolculuklar

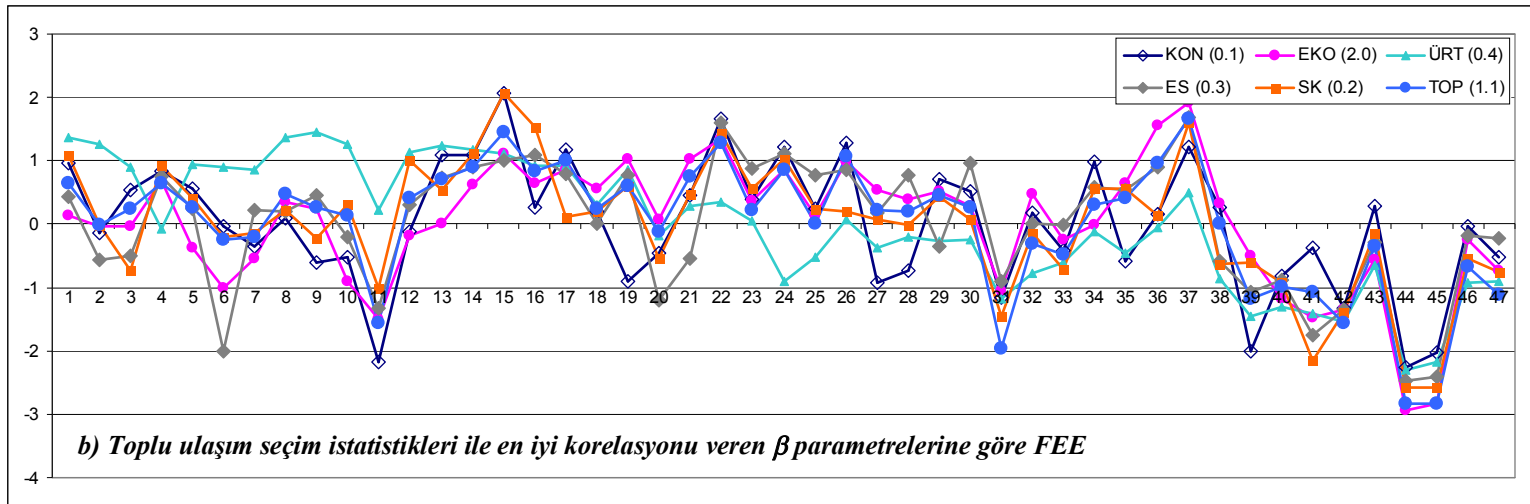
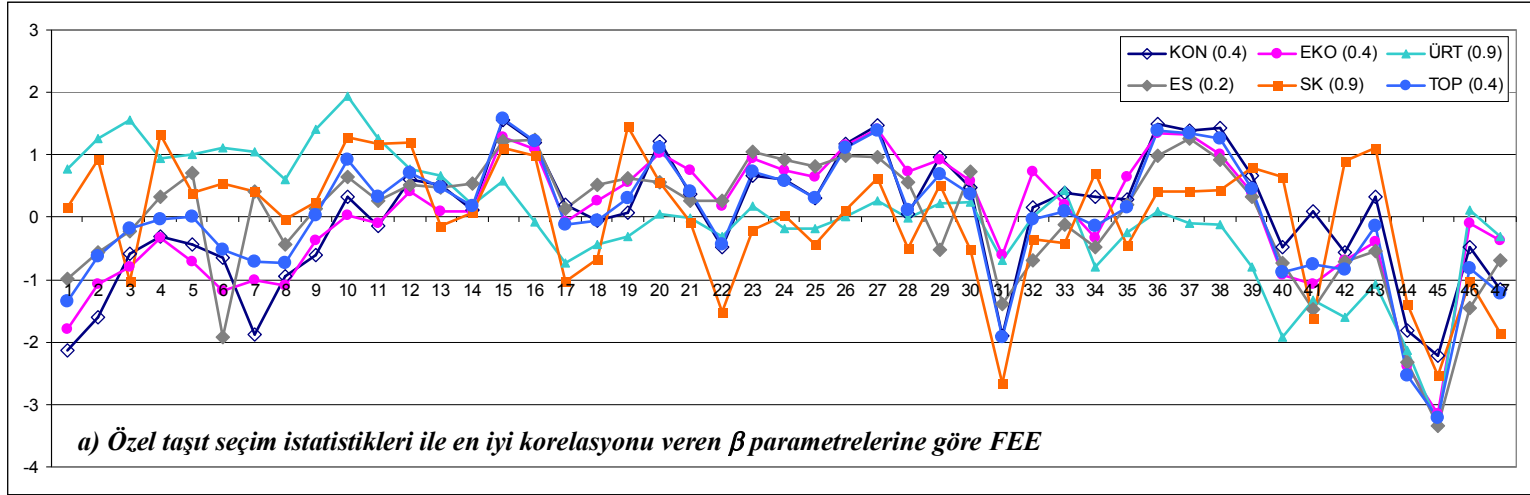
Bunun sebebi, AEPE ölçütlerinin genellikle ÇY/TBYS istatistiği ile en iyi korelasyonu vermesi ve dolayısıyla eğilimlerin büyük bir kısmının bu istatistiğe uygun olarak şekillenmesidir. FEE’de ise en etkin sonucu veren tür seçimi istatistikleri özellikle özel taşıtlar için birbirinden farklıdır. Bu durum, alansal FEE ölçütünün tüm istatistikler için bir fikir verebildiğini göstermektedir. Şekil 3.9b’deki toplu ulaşım eğiliminde ise çoğu arazi kullanım türü için YY/TBYS istatistiği uygun bulunduğundan, eğilimler birbirine daha yakın ve paraleldir. Tüm ölçütlerin en çok birbirine yakın olduğu bölgeler, kentin güneybatı ucunda en düşük erişilebilirliğe sahip olan 44 ve 45 numaralı analiz bölgeleridir.

Oransal arazi kullanışı içeren FEE ölçütlerine ait Şekil 3.10’un “a” ve “b” bölümlerinde, özel taşıt ve toplu ulaşım için birbirinden farklı olmakla birlikte, kendi aralarından birbirini paralel takip eden eğilimler görülmektedir. Bu durum özel taşıt için ÇY/TBYS, toplu ulaşım için ise YY/TUTSO istatistiklerinin ön plana çıkmasından kaynaklanmaktadır. İki grafik arasında iki belirgin fark dikkati çekmektedir. Körfezin kuzeybatı kıyısında yer alan Karşıyaka, Bostanlı, Mavişehir semtlerini içine alan 10, 11 ve 12 numaralı analiz bölgeleri ile, güney ve güneydoğu kıyısında yer alan Konak, Göztepe ve Üçkuyular semtlerini barındıran 38 ve 39 numaralı analiz bölgelerinde, özel taşıtlı FEE ölçütleri ortalamanın üzerinde iken, toplu ulaşım FEE ölçütlerinin ortalamaya yakın ve altında seyretmesidir. Bu analiz bölgelerinde toplu ulaşım tercihi ile elde edilecek faydanın özel taşıta göre oldukça düşük olduğu açıktır. Bu sonucun muhtemel sebebi, toplu ulaşım olanaklarındaki yetersizliğin yanında, bu bölgelerde yaşayan nüfusun gelir düzeyinin yüksek ve dolayısıyla birim zaman değerinin de ortalamanın üzerinde oluşudur.

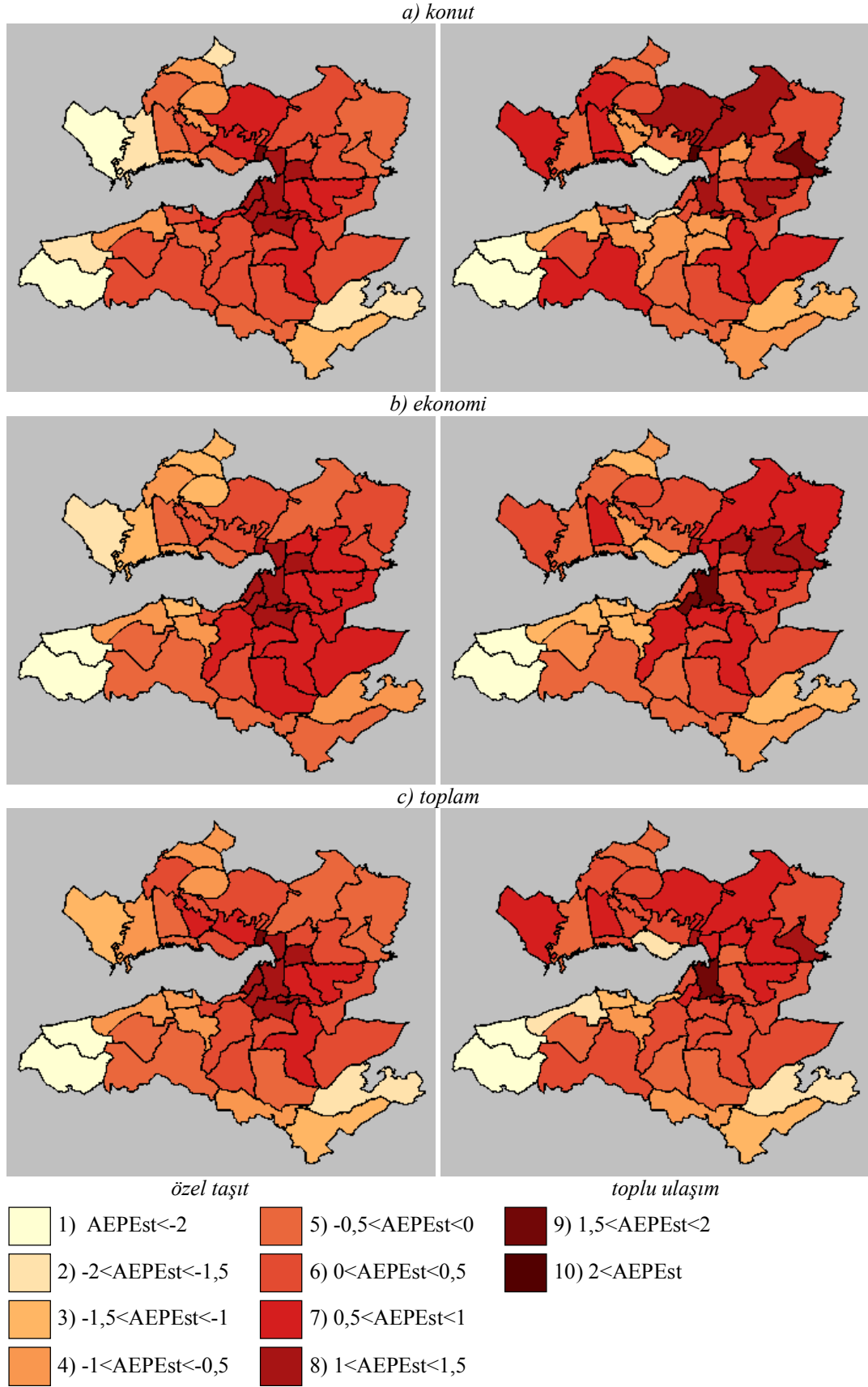
AEPE analizinde de kullanılan standardize değerlerin 10 sınıfına göre fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki konumsal dağılımı Şekil 3.11’de görülmektedir. Fayda esaslı ölçüt iki ulaşım türü arasında belirgin bir fark ortaya koymuştur. Şekil 3.11a, b ve c’de verilen konut, ekonomi ve toplam arazi kullanışlarına ait FEE dağılımları, özel taşıt türü için benzer davranışlar göstermekte, kentin geometrik merkezine doğru artan bir erişilebilirlik görülmektedir.



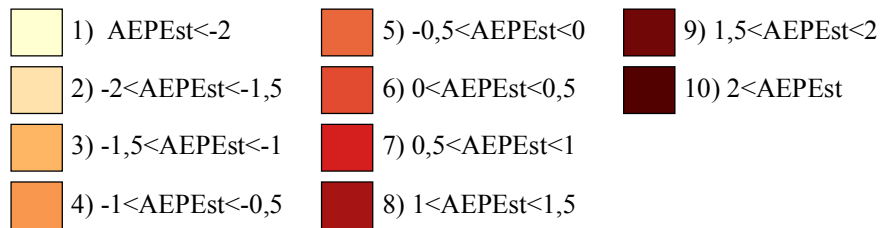
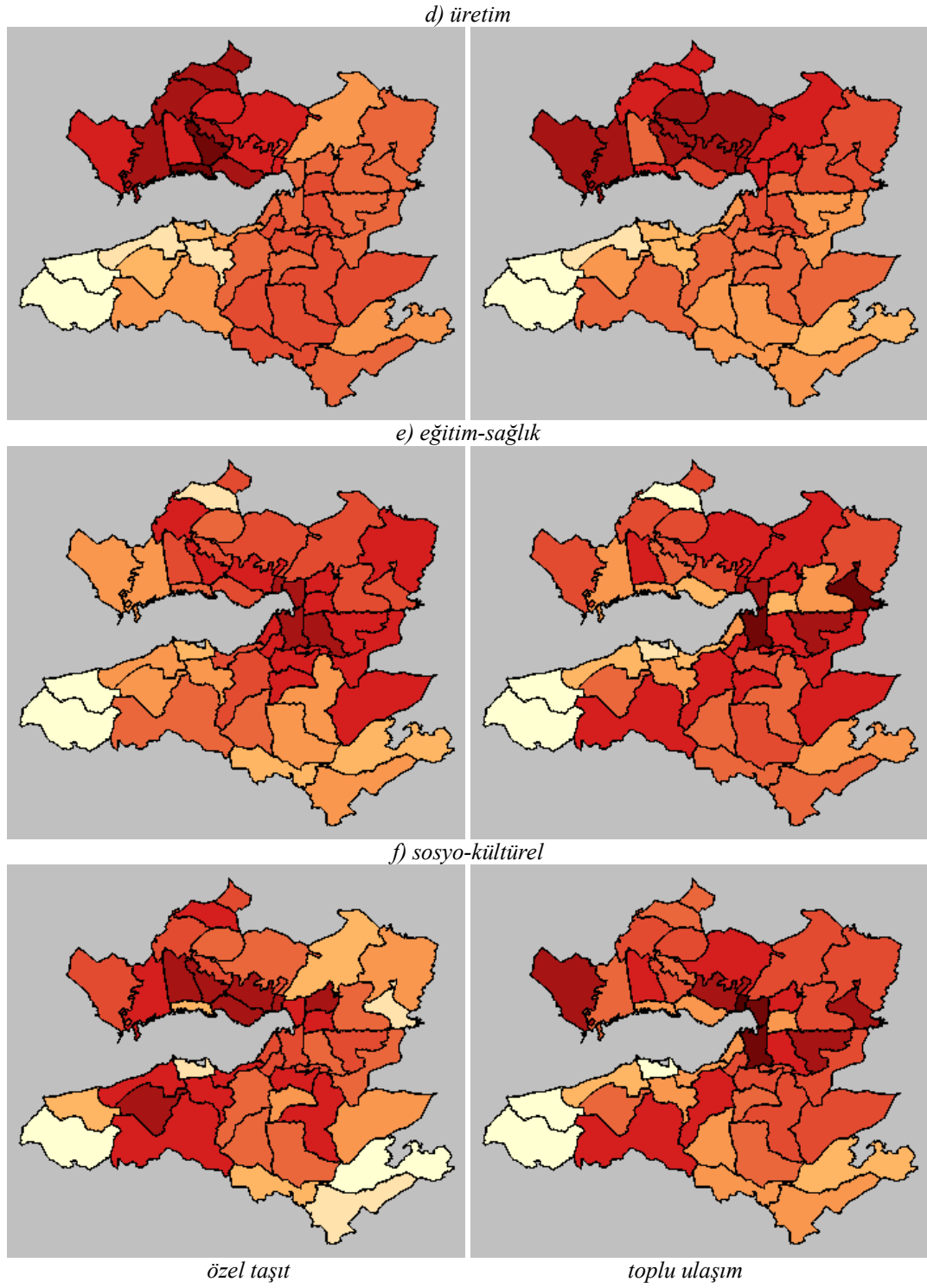
Şekil 3.9 Alansal arazi kullanımına dayalı standardize edilmiş, iyi korelasyon sağlayan FEE değerlerinin analiz bölgelerine göre değişimi



Şekil 3.10 Oransal arazi kullanımına dayalı standardize edilmiş, iyi korelasyon sağlayan FEE değerlerinin analiz bölgelerine göre değişimi



Şekil 3.11 Fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki dağılımı



Şekil 3.11 (devamı) Fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki dağılımı

Toplu ulaşım ise bu üç arazi kullanışı için körfez kıyısı kesimlerinde belirgin bir azalma göstermektedir. Özellikle toplam arazi kullanışı için kuzey kıyıda Altın Yol çevresi, güney kıyıda ise Mustafa Kemal Sahil Bulvarı çevresi toplu ulaşım açısından düşük erişilebilirliğe sahiptir. Bu bölgelerin yüksek yerleşim ve aktivite merkezleri olmasına rağmen henüz raylı sistem gibi yüksek kapasite ve hizmet düzeyine sahip toplu ulaşım yatırımlarına sahip olmaması bu durumun muhtemel sebebidir. Üretimsel FEE her iki ulaşım türü için kentin kuzey kesiminde yüksek olmakla birlikte, toplu ulaşım ile erişim kuzeyde bir miktar daha geniş bir alanda yüksek çıkmaktadır. Güney kesimde ise özellikle Bornova'da yeralan sanayi siteleri çevresinde toplu ulaşım ile erişilebilirlik, özel taşıta oranla daha yüksektir. Bu sanayi sitelerinin metro güzergahı üzerinde yer alması bu sonucun önemli bir etkenidir. Eğitim ve sağlık esaslı FEE iki ulaşım türü için hemen hemen paralel bir dağılıma sahip iken toplu ulaşım türü için daha değişken ve yüksek erişilebilirlik sınıflarının daha hakim olduğu bir yapı mevcuttur. Özellikle eğitim aktivitesinin, özel taşıt tercihi zayıf olan öğrenci kullanıcılara hitap etmesi toplu ulaşım türünü bir miktar daha ön plana çıkarmıştır. Sosyo-kültürel arazi kullanımına dayalı FEE ölçütünün kent merkezindeki dağılımı, diğer arazi kullanışlarının dağılımlarının tersi niteliktedir. Toplu ulaşım ile erişilebilirlik kentin özellikle doğu kısmında homojen ve yüksek yapıya sahip iken özel taşıtla erişilebilirlik daha değişken ve geometrik merkezde azalan bir yapıya sahiptir. Zorunlu ve düzenli olmayan yolculukların çekim merkezleri olan sosyo-kültürel aktivite olanakları, faydaya daha duyarlı bir eğilim sergilemektedir.

3.3.3 FEE ve Tür Seçimi Arasındaki Esnekliğin Analizi ve Sınıfsal Örtüşmeler

FEE 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 3.23’te görülmektedir. Tabloda elenen değişkenlere ait kısımlar boş bırakılmıştır. Görüldüğü gibi, erişilebilirlik ölçütlerinin çoklu davranışları korelasyon sonuçlarına göre oldukça farklıdır. Seçilen erişilebilirlik ölçütlerinin “t” testi 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.

Tablo 3.23 FEE ölçütlerinin tür seçimine göre esneklikleri

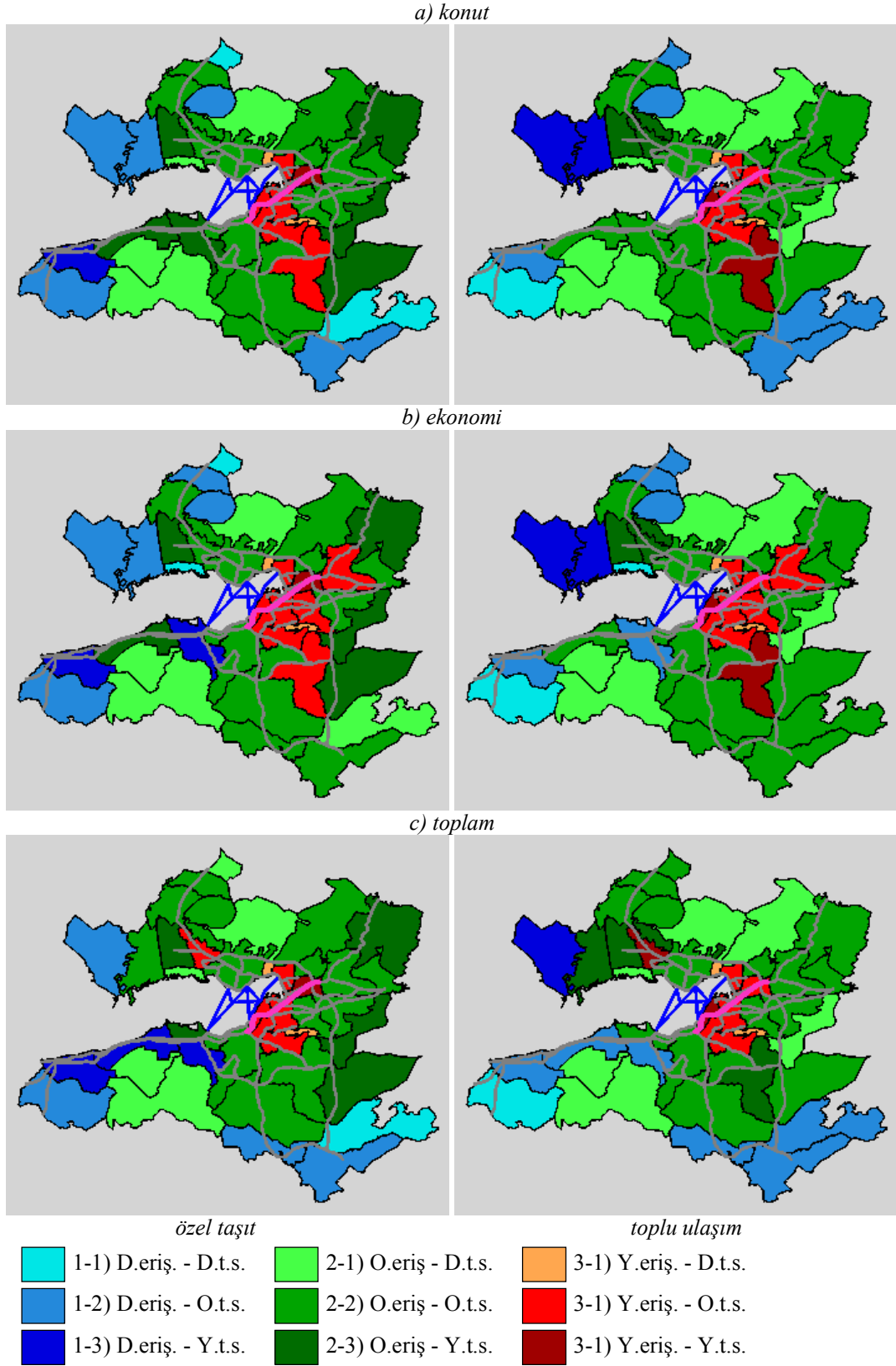
		R	F	Sabit Terim	Konut	Ekonomi	Üretim	Eğitim- Sağlık	Sosyo- kültürel
Özel Taşıt	TUTSO	0.639	9.323				-0.862 -4.655		0.634 3.682
	YY BUTSO	0.681	11.687				-1.281 -5.072		0.985 4.193
	TYYS	0.202	0.572					-2.980 -1.413	3.604 1.876
	TUTSO	0.538	5.512				-0.719 -3.666		0.501 2.748
	ÇY BUTSO	0.624	8.613				-1.195 -4.371		0.903 3.554
	TYYS	0.222	0.698					-3.161 -1.514	3.768 1.980
	TUTSO	0.500	9.683				0.463 302.885		
	YY BUTSO	0.463	3.827			-0.917 -1.866	1.420 2.656		
	TYYS	0.127	0.475		0.870 43.836				
	TUTSO	0.023	0.014			0.425 207.805			
Toplu Ulaşım	ÇY BUTSO	0.472	8.030	-10.653 -2.065			1.552 2.834		
	TYYS	0.236	1.650	-50.003 -1.072	5.257 1.285				

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 aktivitesine 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.

Toplu ulaşım türüne ait esneklik modelleri, özel taşıtın aksine, belirli değişkenlerin istikrarını göstermemektedir. En yüksek başarımlı 0.50 regresyon katsayısı ile yaratılan yolculukların motorlu yolculuk oranı ile ifadesinde elde edilmiştir. Çekilen yolculuklarda sabit terimin etkin bulunması, bu yolculuklarda erişilebilirliğe bağımlılığın çok daha az olduğunu göstermektedir.

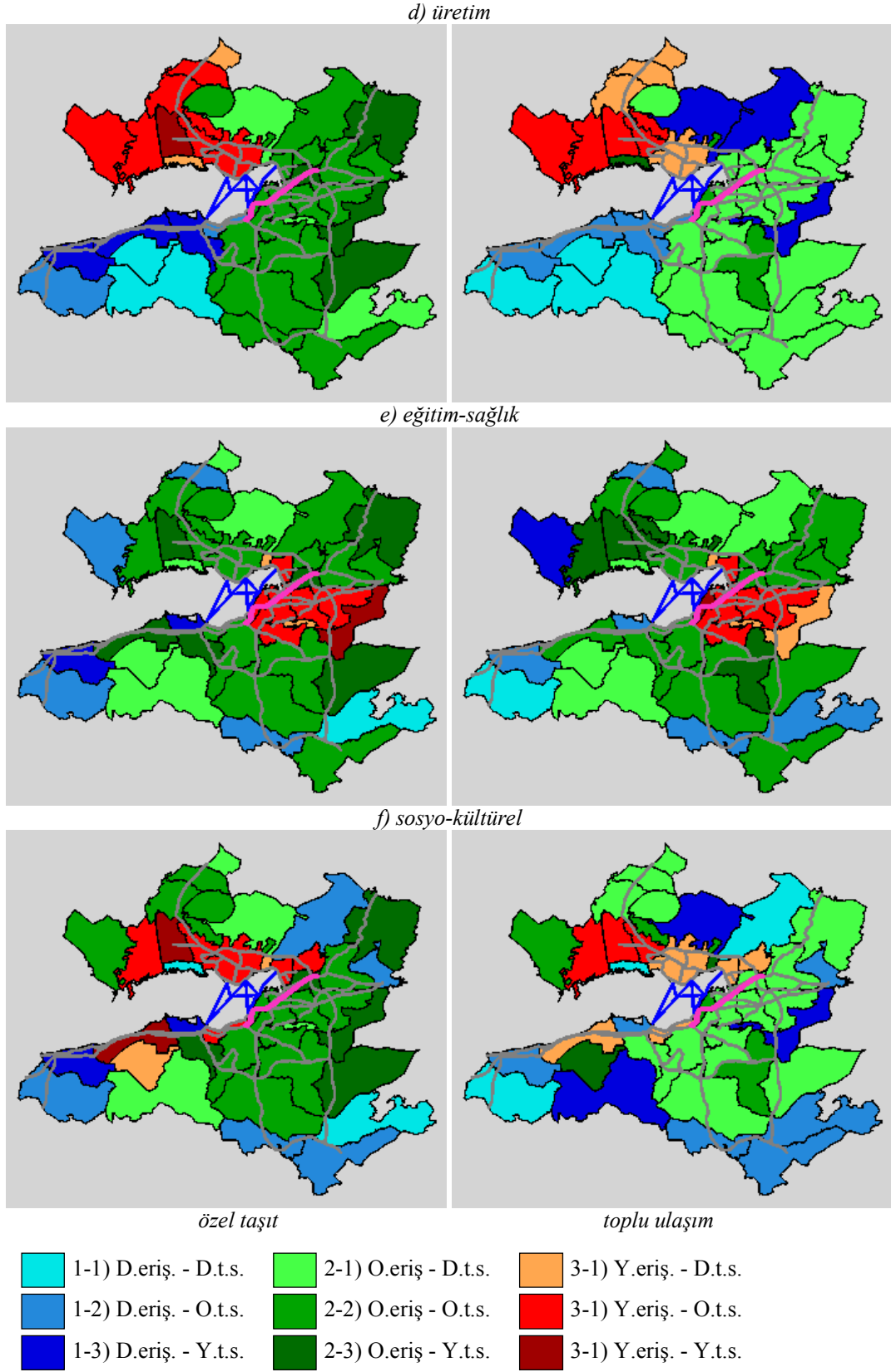
Erişilebilirlik türleri için kendi içinde standardize edilmiş değerlerine göre yapılan sınıflama, tür seçimi için de yapıldığında, ortaya çıkan sınıf örtüşmeleri, tür seçimi ile erişilebilirlik ölçütleri arasındaki ilişkiyi görsel yoldan ortaya koymaktadır. Şekil 3.12’de, özel taşıt ve toplu ulaşım türleri arasındaki sınıfsal örtüşme farklılıkları görülmektedir. Konut, ekonomi ve üretim arazi kullanışlarına ait FEE-tür seçimi örtüşmeleri, AEPE örtüşmeleri ile benzer davranış göstermektedir. Orta düzeyde erişilebilirliğin hakim olduğu kentin batı ve doğu uçlarında, çevre yolunun da etkisi ile, özel taşıtla erişilebilirlik yüksek sınıflara sahip iken, toplu ulaşım bu dış kesimlerin tür seçimi genellikle orta sınıfa düşmekte, yüksek toplu ulaşım tercihi, yüksek erişilebilirliğe sahip kent merkezinde ağırlık kazanmaktadır. İki ulaşım türü arasındaki en açık sınıfsal örtüşme farkını yine üretimsel FEE sağlamıştır. Üretime dayalı FEE ölçütü kentin kuzeybatı bölgesinde yüksek çıkmakta, orta ve yüksek düzeyli erişilebilirliğe sahip bölgelerin tamamında özel taşıt seçim oranı da yüksek olmaktadır. Ayrıca çevre yolu ve otoyol bağlantısının geçtiği körfezin güneybatı kıyısında, erişilebilirlik düşük, özel taşıt seçimi yüksek düzeydedir. Toplu ulaşım ise, üretimsel FEE’nin orta düzeyde olduğu hemen hemen tüm kesimlerde toplu ulaşım tercihinin düşük sınıfta yer aldığı görülmektedir. Eğitim-sağlık arazi kullanımına dayalı FEE ölçütü-tür seçimi ilişkisi, iki tür arasındaki en büyük farklılığı çevre yolu Buca ayrımı çevresinde ortaya koymaktadır. Bağlantının batı kesiminde, FEE orta ve yüksek düzeyde iken, özel taşıt tür seçimi de yüksek düzeyde, toplu ulaşım seçimi ise düşük düzeydedir. Çevre yolu gibi karayolu yatırımlarının kentin çeper bölgelerinde (fringe area) erişilebilirliğe ve özel taşıt tercihinin katkıda



D: düşük düzey (<-0.75), O: orta düzey (-0.75~0.75), Y: yüksek düzey (>0.75)

eriş.: erişilebilirlik, t.s.: tür seçimi

Şekil 3.12 Fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki dağılımı



D: düşük düzey (<-0.75), O: orta düzey ($-0.75 \sim -0.75$), Y: yüksek düzey (>0.75)

eriş.: erişilebilirlik, t.s.: tür seçimi

Şekil 3.12 (devamı) Fayda esaslı erişilebilirliğin İzmir kent merkezindeki dağılımı

bulunduğu açıktır. Eğitim-sağlık kullanımına dayalı FEE ölçütünün sınıfsal örtüşmeleri kentin diğer kesimlerinde, konutsal, ekonomik ve toplam FEE ölçütleri ile benzer davranışlar göstermektedir. Sosyo-kültürel FEE, üretimsel FEE’de olduğu gibi iki ulaşım türü için net farklılıklar sergilemektedir. Orta ve yüksek erişilebilirliğe sahip körfez kıyılarında özel taşıt seçimi yüksek iken, toplu ulaşım seçimi düşük düzeydedir. Sosyo-kültürel FEE’nin orta düzeyde olduğu kentin doğu çeperinde, özel taşıt seçimi yüksek düzeyde iken toplu ulaşım seçimi düşük düzeydedir. Fayda esaslı erişilebilirliğin zorunlu olmayan yolculuklarda etkin bir tür seçimi faktörü olabileceği anlaşılmaktadır.

3.3.4 Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli

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

YSA, bulanık mantık ve genetik algoritma gibi doğrusal olmayan tahminleme modelleri, ülkemizde son yıllarda ulaştırma mühendisliğinin birçok araştırma alanında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle trafik mühendisliğinde, sinyalizasyon kavşakların denetimi (Murat ve Gedizlioğlu, 2003) ve kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin modellenmesi (Murat, 2006) gibi konularda uygulamacılara destek veren doğrusal olmayan model uygulamaları bulunmaktadır. Ayrıca, trafik kazalarında etkili sürücü davranışlarının modellenmesi (Kalyoncuoğlu ve Tığdemir, 2001) ve trafik güvenliğinin modellenmesi (Bağırhan ve Karasahin, 2009) gibi ulaşım 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 (2005), talep modelinin ilk aşaması olan yolculuk yaratımının, şehirlerarası düzeyde genetik algoritma kullanılarak yüksek bir başarımla modellenebileceğini göstermiş, Murat ve Uludağ (2008) ise çalışmalarında, talep

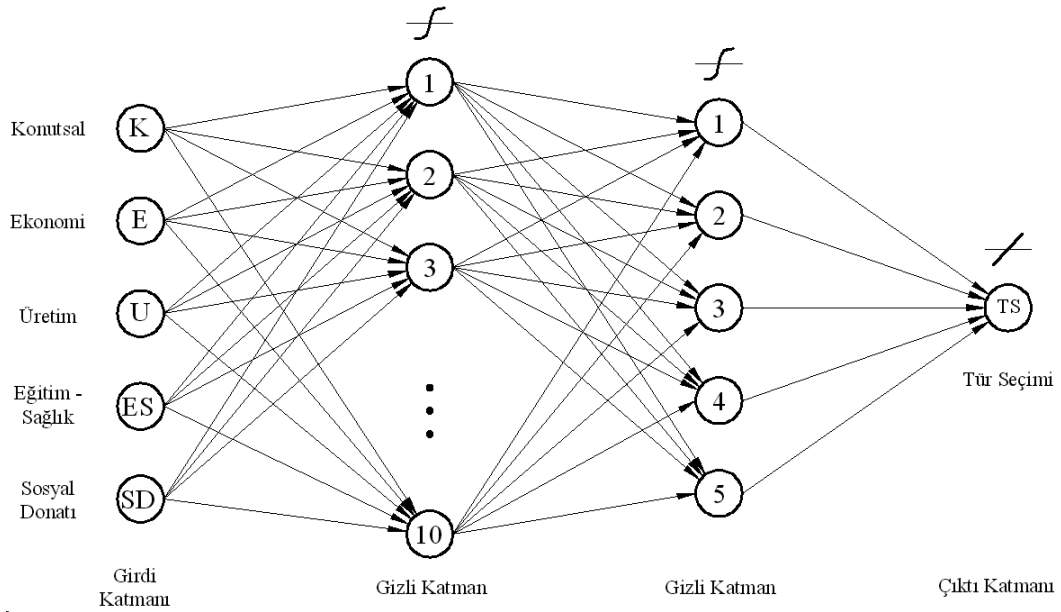
modelinin son aşaması olan trafik atamada, bulanık mantık ile geçki seçim davranışının modellenebileceğini göstermiştir.

YSA, belirli bir öğrenme prosedürüne göre bilgiyi işleyip cevap oluşturan, tekrarlanan öğrenmeler sonucu yeni bilgilere tepki geliştiren biyolojik benzeşimli bir modelleme yaklaşımıdır. YSA bir veya daha çok katmanında sinir hücreleri içerir. Bu hücreler kendinden önceki ve sonraki katmanlara tek yönlü olarak bağlıdır ve bağlantılar birer ağırlık içerir. Her bir sinir hücresi, kendine gelen veriye doğrusal olmayan bir dönüşüm uygular ve buna aktivasyon fonksiyonu adı verilir. Sinir ağı, bilinen çıktılar kullanılarak eğitilir ve ağırlıklar eğitimin her bir döngüsünde güncellenir (Elmas, 2003).

YSA ulaştırma mühendisliğinde daha çok trafik uzmanlığına yönelik çalışmalarda uygulama alanı bulmuştur. Özellikle taşıt gecikmelerinin ve yolculuk süresinin modellenmesinde kayda değer çalışmalar bulunmaktadır. Zheng v.d. (2006) Bayes ile kombinasyonlu bir YSA tekniği kullanarak otoyollardaki trafik akımı parametrelerini modellemiş, bir diğer çalışmada Van Lint (2006) YSA'yı, otoyollarda kısa dönem eş zamanlı yolculuk süresini, gözleme gerek duymaksızın tahminlemede kullanmıştır. Ayrıca Özuysal v.d. (2009) tek şeritli yuvarlak ada kavşakların kapasitelerinin belirlenmesinde, YSA'nın diğer geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Ulaşım planlaması alanında da YSA tekniğinden yararlanan dikkate değer çalışmalar mevcuttur. Créput ve Koukam (2007) kentiçi otobüs ağlarının tasarımı ve optimizasyonunda coğrafi bilgi sistemleri ile entegre çalışan bir YSA uygulaması gerçekleştirmiştir. Ayrıca, sunulan çalışmada olduğu gibi, ulaşımdaki seçim davranışı YSA ile modellemeye yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Hawas (2004), yolcular tarafından algılanan güzergah seçim faydasını modellemeye yönelik olarak sinir-bulanık teknikler kullanmıştır. Sunulan çalışmaya en yakın YSA uygulaması ise Demir ve Gerçek (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, geleneksel lojit 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 tahminleme başarımına 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 denemeyanılmalar sonucunda ilk gizli katmanda 10, ikinci gizli katmanda 5 sinir hücresi içeren ağ yapısı uygun bulunmuştur (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Kullanılan ağ yapısı

YSA modellerinin çıktı katmanında tür seçimi istatistiği olarak, korelasyon analizinde türler arasındaki davranış farklılığı en belirgin olan bütün ulaşım türleri içindeki seçim oranı (BUTSO) kullanılmıştır. 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:

$$x_{s,i} = (1.8 (x_{n,i} - x_{n,\min(i)}) / (x_{n,\max(i)} - x_{n,\min(i)})) - 0.9 \quad (3.8)$$

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; eğitimde kullanılmayan 5. kombinasyon yardımıyla da sonuçlar test edilmiştir.

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

$$OHKK = \left(\left(\sum_{i=1}^N (Y_i^G - Y_i^T)^2 \right) / N \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

$$EF = 1 - \left(\sum_{i=1}^N (Y_i^G - Y_i^T)^2 / \sum_{i=1}^N (Y_i^G - \bar{Y}_i)^2 \right) \quad (3.10)$$

$$FO = \log_{10} (Y_i^T / Y_i^G) \quad (3.11)$$

OHKK, 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 tahminleme yeteneğinin, gözlemler ortalamasından ne kadar farklı olduğunu göstermekte olup “-∞” ile “1” arasında değişmektedir. “EF=1”, modelin tahminle yeteneğinin mükemmel olduğunu göstermekte, “EF=0” tahminlemenin ancak gözlemlenen değerlerin ortalaması kadar başarılı olduğunu yansıtmaktadır. “0” dan küçük EF değerleri ise tahminlemenin ortalama değer altında olduğunu göstermektedir. FO her bir tahim-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 başarımlı ölçütlerinin yanısıra tahmin ve gözlem değerleri arasında regresyonlar yapılmıştır. Başarılı bir modelin

regresyonunda, regresyon 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 3.24'te verilmektedir. EF istatistiklerinin tüm modeller için 0,80'in üzerinde olduğu dikkate alınırsa, YSA modellerinin genel olarak başarılı olduğu söylenebilir. Ancak OHKK 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. Regresyonlar katsayıları her iki ulaşım türü için 1'e yakın bulunmuştur ancak, regresyonların eğim değerleri (b_1) özel taşıt seçim modelleri için 1'e yakın iken, toplu ulaşım seçimleri için 0,8-0,9 civarında kalmıştır.

Veri sayısı analiz bölgesi sayısı ile sınırlı kaldığından, elde edilen modellerin genelleme yeteneğinin sınanması gerekmektedir. Bunun için en etkili yöntem Duyarlılık Analizi'dir. 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.

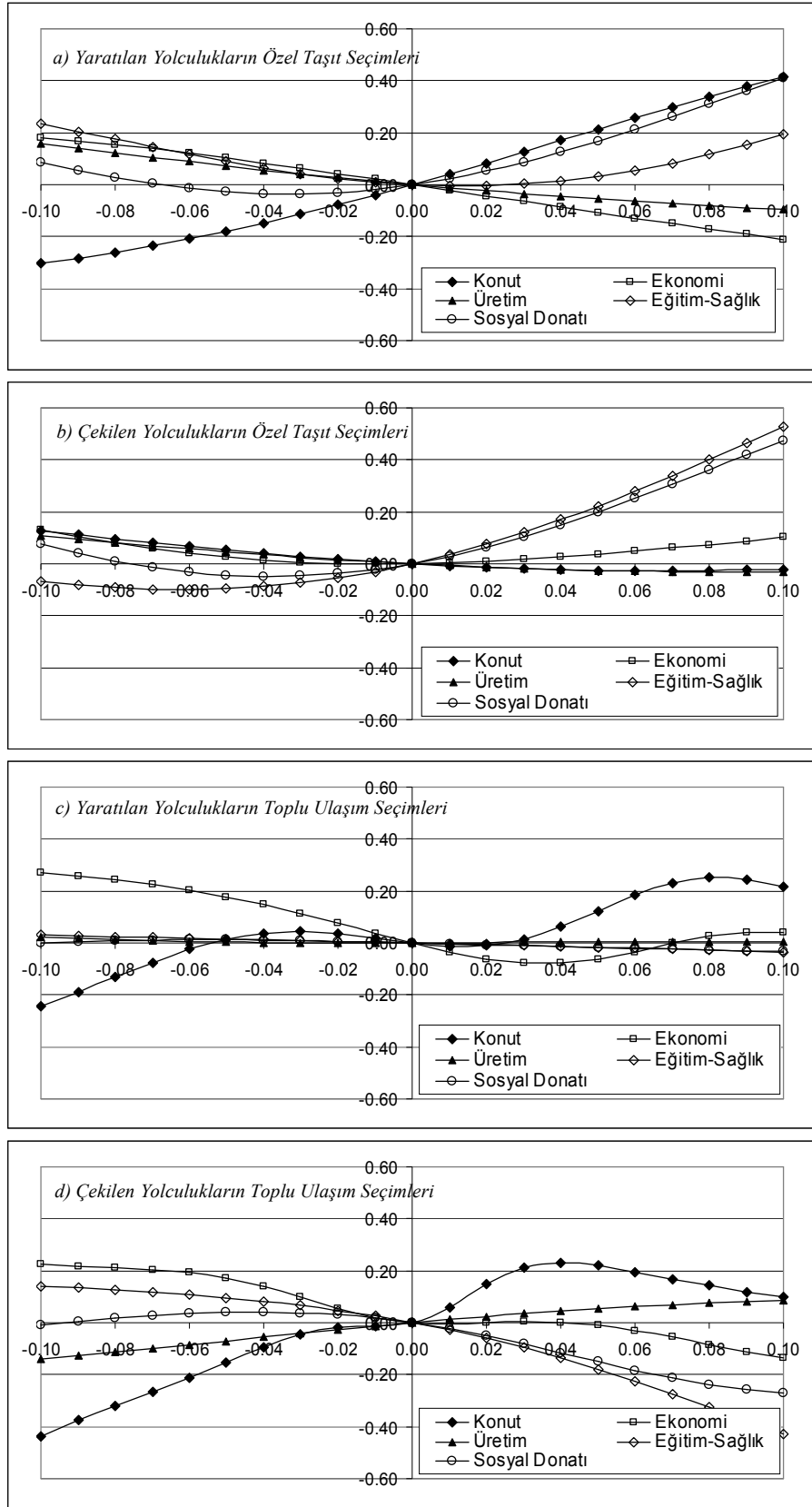
Şekil 3.14'te görüldüğü gibi, özel taşıt modelleri için doğrusala yakın duyarlılıklar elde edilmiş iken, toplu ulaşım modelleri için eğrisel duyarlılık değişimleri bulunmuştur. Özellikle özel taşıt seçim modelleri için, bazı erişilebilirlik ölçütlerine ait duyarlılıklar %40 ve üzerinde çıkmıştır. Duyarlılığın büyük olması, modelin eğitimde kullanılmayan yeni veriler karşısında başarısız tahminler verebileceğini,

Tablo 3.24 YSA modellerine ait başarımlar istatistikleri

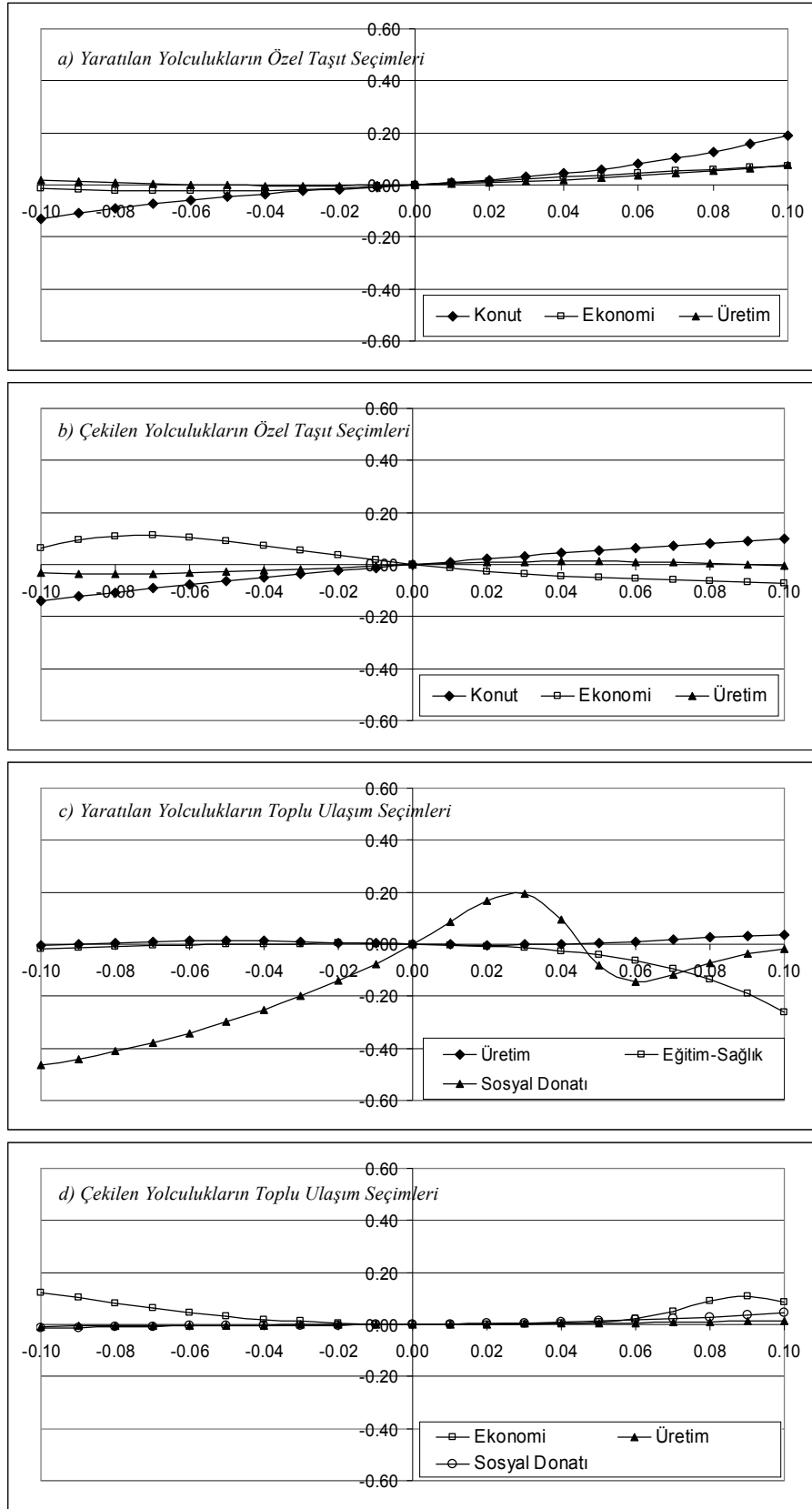
			Yaratılan Yolculuklar			Çekilen Yolculuklar		
			Eğitim	Test	Genel	Eğitim	Test	Genel
Özel Taşıt Seçimleri	Eğitim	Döngü	2,500			2,500		
		Performans	0.00538			0.02488		
	Genel başarımlar	OHKK	0.01392	0.01393	0.01261	0.02017	0.01906	0.01862
		EF	0.910	0.915	0.936	0.807	0.804	0.842
	Farklılık Oranı	YTY	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	Döngü	2,500			2,500		
		Performans	0.02042			0.02076		
	Genel başarımlar	OHKK	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

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 3.15). Eğitim-sağlık ve sosyo-kültürel 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,



Şekil 3.14 YSA modellerinin duyarlılık analizi sonuçları



Şekil 3.15 Eleme işleminden sonraki YSA modellerinin duyarlılıkları

çekilen yolculuklar için ise ekonomik erişilebilirliğin seçim türü üzerinde en etkin 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 verilenden daha aşağıya çekilememiştir. Şekilde en büyük dalgalanmayı veren sosyal donatı türünün elenmesi ise, tahminleme başarımında ciddi düşüklere sebep olmaktadır. Sonuç olarak özellikle yaratılan yolculuklardaki toplu ulaşım seçiminin YSA ile tahminlenmesinin, yüksek bir genelleme ile mümkün olamayacağı söylenebilir. Elemeden sonraki YSA başarım istatistikleri Tablo 3.25'te verilmiştir.

Tablo 3.25 Eleme sonrası YSA modellerinin başarım istatistikleri

			Yaratılan Yolculuklar			Çekilen Yolculuklar		
			Eğitim	Test	Genel	Eğitim	Test	Genel
Özel Taşıt Seçimleri	Eğitim	Döngü	2,500			2,500		
		Performans	0.01938			0.02335		
	Genel başarım	OHKK	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	Döngü	2,500			2,500		
		Performans	0.03346			0.05229		
Toplu Ulaşım Seçimleri	Genel başarım	OHKK	0.07119	0.06992	0.07000	0.08079	0.07321	0.07502
		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

Görüldüğü gibi özel taşıt seçim modellerinin UTY değerleri halen %70'in üzerindedir. Ancak DTY değerleri elemeden önceki duruma göre bir miktar daha fazladır. Bu durum yeni YSA modellerinin özel taşıt seçimini modellemeye 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 başarım istatistikleri, eleme öncesindeki modellere kıyasla kayda değer miktarda dūřuř göstermiştir. OHKK 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.

Çalışmanın bu bölümü sonucunda fayda esaslı erişilebilirliğin toplulaştırılmış tür seçimi üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu kanısına varılmıştır. Özellikle konut, üretim ve sosyo-kültürel arazi kullanışı içeren ölçütlerin tür seçimi ile doğrusal ilişkiye sahip olduğu, ancak bu ilişkilerin tür seçimi oranlarını tahminleyebilecek boyutta olmadığı grlmştir.

Doğrusal olmayan, yapay zeka temelli bir yaklaşım olan YSA modellerinin uygulanmasıyla, tür seçim oranlarının erişilebilirlik ltleri kullanılarak tahminlenmesinin mümkün olabileceği grlmştir. Ancak YSA modellerinin genelleme yeteneği geliştirildiğinde, özel taşıt seçimlerinin tahmin başarımı önemli ölçüde değişmezken, toplu ulaşım seçim modellerinin tahmin başarımı büyük ölçüde azalmıştır. Bu yüzden YSA yaklaşımının sadece özel taşıt seçimini tahminlemede etkin sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır. Taşıt sahibi olan, ulaşım alternatifi yüksek kullanıcıların seçim davranışının tahminlenebiliyor olması, çalışmanın önemli bir noktada hizmet edebileceği görüşünü uyandırmaktadır.

BÖLÜM DÖRT

FAYDA ESASLI ERİŞİLEBİLİRLİĞİN BİREYSEL TÜR SEÇİMİ MODELİNDE KULLANIMI

Bireysel tür seçiminde kullanılan fayda fonksiyonunda yer alacak verilerin hazırlanması, yolculuklara ait çok sayıda bireysel gözlem verisinin düzenlenmesini gerektirmektedir. Özellikle sıkça kullanılan ikili tür seçiminde, elde edilmesi mümkün otomobil sahipliği, çalışma durumu gibi fayda fonksiyonu verilerinin büyük bir kısmı bireye ait kukla değişkenler olarak ifade edilebilmektedir. Bu değişkenlerin kendi aralarında korelasyonlu olma riskinin büyük olmasının yanı sıra, ikili seçim modellerinde kullanılan türlere ait fayda fonksiyonları arasındaki farka da çoğunlukla yansıyamamaktadır. İki ulaşım türü için farkı alınabilecek ve kukla değişkenler gibi kesikli yapıya sahip olmayan yegâne değişkenler, yolculuğun genelleştirilmiş maliyetine ait yolculuk süresi, doğrudan maliyet gibi birkaç değişken ile sınırlı kalmaktadır. Tezin bu bölümünde, farklı ulaşım türlerinin fayda fonksiyonları arasında daha karakteristik bir fark elde etmek amacıyla, yapay bir yolculuk verisi olarak fayda esaslı erişilebilirliğin kullanımı incelenmiştir. FEE yolculuğun genelleştirilmiş maliyetini de içerdiğinden, sadece erişilebilirlik ölçütü kullanılarak bireysel tür seçimi davranışının ne kadar tahmin edilebileceği üzerinde durulmuş, dolayısıyla modellerde tamamen yapay bir fayda fonksiyonunun başarımı sınanmıştır. Diğer gözlemlenen bireysel verilerin fayda fonksiyonundaki yeri ve etkisi, bu analizin kapsamı dışında tutulmuştur.

İkinci bölümde açıklandığı gibi FEE'nin teorik temeli, rastlantısal fayda teorisine dayandığından, bireysel ulaşım türü seçimi modelleri açısından AEPE'ye göre daha etkili olacağı düşünülmüş ve bireysel seçim modellerinde sadece FEE ölçütü kullanılmıştır. Ayrıca ikinci bölümde bahsedilen erişilebilirlik ölçütünün temel formundaki analiz bölgesi içindeki arazi kullanım olanaklarının dikkate alınmamasından kaynaklanan eksikliği gidermek amacıyla, bölge içi erişilebilirliğin de dâhil edildiği ikinci bir FEE formu türetilmiştir. Bunun yanı sıra, yolculuğun

gerçekleştirdiği başlangıç ve bitiş analiz bölgelerindeki FEE farklarının, dolayısıyla göreceli erişilebilirliğin dikkate alındığı üçüncü bir türev sınanmıştır.

4.1 Verilerin Hazırlanması

Bireysel tür seçimi verileri için İzmir Ulaşım Ana Planı için düzenlenen hane halkı ulaşım anketinden yararlanılmıştır (İBB, 2009). Çalışmanın amacı sadece yapay veri kullanarak tür seçiminin tahmin edilebilirliğini incelemek olduğundan, sadece FEE ölçütünü uyarlamaya yönelik veriler kullanılmıştır. Anket verilerinden çekilen gözlemler üç ana bileşenden oluşmaktadır:

- i. Toplu ulaşım ve özel taşıt olmak üzere tür seçimi
- ii. Yolculuğun başlangıç ve bitişinin gerçekleştiği analiz bölgesi
- iii. İş, okul ve bunlar dışındaki (diğer) olmak üzere yolculuğun amacı

Bireysel seçim modelleri, yapay FEE değişkenlerinin farklı yolculuk amaçları için başarımını sınamak amacıyla, iş, okul ve diğer amaçlı yolculuklar için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu ayrımın yapılmadığı tüm yolculuklara ait modeller de elde edilmiştir. İkili lojit model uygulandığından, sadece özel taşıt ve toplu ulaşım türlerini seçen yolculuk verileri dikkate alınmıştır. Buna göre ankette gözlemlenen 61.203 yolculuktan bu iki türden birini seçen ve güvenilirliği doğrulanan 37.624 adedi modelde kullanılmıştır. Kullanılan yolculukların %53,3'ünü oluşturan iş amaçlı 20.052, %18,1'ini oluşturan 6.800 okul amaçlı ve %28,6'sını oluşturan 10.772 diğer yolculuk verisi dikkate alınmıştır. Tablo 4.1'de kullanılan yolculuk verilerine ait bazı temel istatistikler verilmiştir. Görüldüğü gibi, özellikle okul yolculukları için toplu ulaşım seçimi özel taşıta göre oldukça yüksektir. Bu durum, okul amaçlı yolculukların tahminlerindeki başarımın yanıltıcı olabileceği şüphesini doğurmaktadır. Özel taşıtın en yüksek tercih oranı %16 ile iş yolculuklarında görülmektedir. Analiz bölgesi içinde gerçekleşen yolculuklar yaklaşık %20 ile azımsanmayacak orandadır. Dolayısıyla, temel FEE yaklaşımının tersine, bölge içi erişilebilirliğin dikkate alınması, önemli bir fark yaratabilecektir.

Tablo 4.1 Bireysel seçim modellerinde kullanılan yolculuk verilerine ait bazı temel istatistikler

	İş Amaçlı		Okul Amaçlı		Diğer		Toplam	
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
Toplam veri	20,052	100.00	6,800	100.00	10,772	100.00	37,624	100.00
Toplu ulaşım tercihi (1)	16,844	84.00	6,529	96.01	9,415	87.40	32,788	87.15
Özel taşıt tercihi (0)	3,208	16.00	271	3.99	1,357	12.60	4,836	12.85
Bölge içi yolculuk	3,269	16.30	1,589	23.37	2,105	19.54	6,963	18.51

Erişilebilirlik verileri, bu amaç için düzenlenen bir bilgisayar programı yardımıyla oluşturulmuştur. FEE hesaplarında, ulaşım maliyetine duyarlılık parametrelerinin (β) farklı değerleri için her bir analiz bölgesi çifti arasındaki ortalama genelleştirilmiş yolculuk maliyetleri ve 3. Bölüm’de kullanılan arazi kullanım türleri dikkate alınmıştır. Yolculuk maliyetlerinin her bir FEE türü için bu tür bir hane halkı verisinden yararlanılarak bireysel düzeyde oluşturulması mümkün görünmemektedir. Çünkü kullanılan FEE ölçütü, bir analiz bölgesinden diğer tüm analiz bölgelerine yapılacak yolculukların genelleştirilmiş maliyetlerini gerektirmekte, dolayısıyla kullanılan FEE modelinin bireysel maliyetlere göre düzenlenmesi, her bir bireyin tüm analiz bölgelerine yaptığı yolculuklardaki maliyetlerin gözlemlenmesini gerektirmektedir. Bu yüzden her bir analiz bölgesi çifti arasındaki maliyetler, 3. Bölüm’de hesaplanan ortalama maliyetler cinsinden dikkate alınmış, böylece FEE’nin bireysel tür seçimi kestirimi üzerindeki başarımı kısıtlı veri koşulları altında sınanmıştır.

FEE ölçütleri 0,25 ila 1,50 arasında 0,25’lik aralıklarla değişen 6 farklı “ β ” parametresi için hesaplanmıştır. Konut, ekonomi, üretim, eğitim-sağlık, sosyo-kültürel ve toplam arazi kullanışları için özel taşıt ve toplu ulaşım maliyetleri olmak 12 farklı FEE türü için 6 değişik parametrelili şekilde toplam 72 FEE verisi türetilmiştir. Türetilen erişilebilirlik ölçütleri her bir yolculuk verisindeki yolculuğun başlangıç ve bitişinin gerçekleştiği analiz bölgelerine, toplu ulaşım ve özel taşıt FEE değerlerinin farkları şeklinde yansıtılmaktadır. Ancak yolculuk başlangıç ve bitiş bölgelerinin farklı olduğu yolculuklar için, gerçek FEE değerlerine göre düzenlenen modellerde 72 FEE verisi işleme alınmakta, göreceli FEE değerlerine göre

düzenlenen modellerde ise başlangıç-bitiş erişilebilirlik farkları olmak üzere 36 veri işleme alınmaktadır.

“ β ” parametresinin düşük olduğu FEE ölçütü arazi kullanımının, yüksek olduğu ölçüt ise yolculuk maliyetinin ağırlık kazandığı ölçütü temsil etmektedir. Dolayısıyla aynı FEE türü için farklı parametreler, tür seçim davranışının farklı boyutlarını temsil edebilmektedir. Ancak, özellikle ardışık “ β ” aralıkları için hesaplanan FEE ölçütlerinin korelasyonlu olması olasılığı yüksektir. Bu yüzden yazılan bilgisayar programı, tür seçim modellerinde oto-korelasyona izin verilmemesi için, türetilen erişilebilirlik verilerine kapsamlı bir eleme işlemi uygulamaktadır. Eleme işlemi öncelikle türetilen her FEE çifti arasında ikili korelasyonları hesaplamakta ve bulunan korelasyon katsayılarının 0,40’tan büyük olanlarını tespit etmektedir. Bir FEE ölçütü, toplam türetilen ölçüt sayısının %40’ından fazlası ile 0,40 ve üzerinde bir korelasyon katsayısına sahip ise elenmektedir. Bir lojıt modelin, tek bir arazi kullanımına ait FEE ölçütünün birçok “ β ” versiyonunu içermesini önlemek amacıyla, modellerde ikincil bir değişken eleme işlemi de uygulanmış, aynı arazi kullanımına ait 2’den fazla FEE ölçütü ilk aşamada modele dahil edildiğinde, bunlardan en düşük “ t ” istatistiğine sahip olanları modelden çıkarılmıştır. Bu ikinci eleme, üçüncü bir elemeyi de gerektirmektedir. Modelde kalan değişkenlerin başarımı birbirini etkilediğinden, ikinci aşamada kalan değişkenlerin başarımları, birinci aşamadaki kadar yüksek olmamakta, bir kısmının “ t ” istatistiği mutlak değerce kritik sayılan “2”nin altına inebilmektedir. Dolayısıyla üçüncü eleme aşamasında “ t ” istatistiğine göre başarımı “2”nin altına düşen değişkenler de elenmektedir.

4.2 Bireysel Tür Seçim Modeli Yapısı

Çalışmada, “maksimum olabilirlik” yöntemini kullanan bir ikili lojit model, bu amaç için geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla uygulanmıştır. Matlab proramlama dili ortamında hazırlanan programın aşamalarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

1. Tür seçimi, arazi kullanış ve ulaşım genelleştirilmiş maliyeti verilerinin okunması
2. Tür seçim verilerinin yolculuk amacına göre düzenlenmesi
3. FEE ölçütü için “ β ” parametrelerinin tanımlanması
4. Her bir parametre değeri için 47 analiz bölgesine ait FEE ölçütlerinin Eşitlik 2.14’e göre özel taşıt ve toplu ulaşım türleri için hesaplanması
5. Hesaplanan ölçütlerin yolculuk verilerindeki başlangıç ve bitiş bölgelerine göre düzenlenmesi
6. Düzenlenen değişkenlerin korelasyon analizi ile elenmesi
7. Elenen verilerin tamamı için maksimum olabilirlik yöntemine göre iterasyon yapan ikili lojit modelin uygulanması
 - a. Değişken parametrelerinin “0” olduğu durum için başlangıç logaritmik olabilirlik fonksiyonunun (LLF(0)) Eşitlik 2.26’ya göre hesaplanması
 - b. Logaritmik olabilirlik fonksiyonunun başlangıç parametrelerine göre kısmi birinci ve ikinci türevlerinin 2.28 ve 2.29’a göre hesaplanması
 - c. Eşitlik 2.31’e göre bir sonraki iterasyona ait model parametrelerinin hesaplanması
 - d. 2.32’ye göre iki iterasyon adımı arasında gerçekleşen parametre yaklaşmasının kontrol edilerek, parametreler arasındaki fark seçilen 1×10^{-4} sınırından küçük olana dek “b”, “c” ve “d” aşamalarının tekrarlanması
 - e. Sadece sabit terim içeren model için “a”, “b”, “c” ve “d” aşamaları uygulanarak sabit terim logaritmik olabilirlik fonksiyonunun (LLF(c)) maksimum değerinin elde edilmesi
8. Modelden tüm değişkenler için elde edilen parametrelere ait t testi istatistikleri ve güven olasılıkları hesaplanarak mutlak değerce en küçük t istatistiğine sahip değişkenin belirlenmesi
9. Belirlenen en küçük t istatistiğinin 2’den küçük olmamak kaydıyla seçilen kritik t değerinden küçük olması halinde, ait olduğu değişken elenerek 7. aşama başından itibaren tüm işlemlerin tekrarlanması

10. Kalan bütün değişkenlere ait t istatistikleri, kritik t değerinin üzerinde ise yukarıda değinilen ikinci eleme aşaması yardımıyla, çok sayıda tekrarlanan aynı arazi kullanışlı FEE değişkenlerinin –rastlanması halinde- elenmesi
11. İkinci eleme aşamasından sonra kalan değişkenlerde t istatistiklerinin 2'nin altına düşüp düşmediğinin kontrol edilmesi ve düşen kalmayana dek 7. aşamadaki gibi elenmesi
12. Son değişkenler için 2.33-2.36'da verilen başarımlar istatistiklerinin hesaplanması
13. Sonuçların düzenlenerek yazdırılması

Her bir arazi kullanımına ait değişkenin 2'den fazla tekrarlanmaması koşulu, model sonuçlarında elde edilecek değişken sayısının en fazla 12 adet olacağı sonucunu doğurmaktadır. Bu yüzden bütün model denemelerinde 12'den az değişken sayısı elde edilmiştir.

4.3 İkili Lojit Model Sonuçları

Arazi kullanımının alansal ve oransal şekilde dikkate alınması, bölge içi erişilebilirliğin, FEE hesaplarında hariç ve dahil tutulması, başlangıç ve bitiş bölgelerindeki erişilebilirlik ölçütlerinin doğrudan ve fark (göreceli) olarak ele alınması, erişilebilirlik ölçütlerine bağlı 8 farklı değişken yapısı ortaya çıkarmaktadır. Bunların her biri için yukarıda belirtilen model aşamaları iş amaçlı, okul amaçlı, iş ve okul dışı (diğer) amaçlı ve yolculuk amacı farklılığının dikkate alınmadığı toplam yolculuk istatistikleri için toplam 32 adet model denemesi yapılmıştır. Göreceli FEE değerleri için okul yolculuklarında, yukarıda değinilen 3 eleme aşaması ile değişkenlerin tamamı elenmiş ve kayda değer modeller elde edilememiştir.

Kullanılan model başarımları logaritmik olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilebilme yeteneğine bağlıdır. “p” istatistiklerinin bazı durumlarda yanıltıcı sonuçlar verdiği bilinmekle birlikte (Ben-Akiva ve Lerman, 1985), regresyon katsayısına benzer 0-1 aralığında bir başarımlar göstergesi sağlamaktadır. Ancak

güvenilirliği daha yüksek olan “A” istatistiklerinden özellikle “A2”, değişken parametrelerinin sadece sabit terim içeren bir modele göre kestirim başarımının ne kadar yüksek olduğunu gösterdiğinden, en ayırt edici ölçüttür.

Tablo 4.2’de iş amaçlı yolculuklara ait model denemelerinin başarımlar istatistikleri görülmektedir. A2 istatistikleri karşılaştırıldığında, gerçek FEE değerlerini içeren modellerin göreceli FEE modellerine göre çok daha başarılı olduğu görülmektedir. A2 istatistiğinin Chi-kare testlerinin tamamı 0,05’in altında olmasına rağmen, göreceli FEE modellerinde 0’dan daha uzaktadır. Gerçek FEE modellerinde bölge içi erişilebilirliğin dahil edilmesinin başarımları kayda değer miktarda yükselttiği görülmektedir. Arazi kullanışlarının oransal şekilde dikkate alınması ise başarımlar istatistiklerini düşürmektedir. Gerçek FEE değerlerinin kullanıldığı model denemeleri karşılaştırıldığında, değişken sayılarının birbirinden çok uzak olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla başarımlar farklılıklarının değişken sayısından kaynaklandığı söylenemez. Ayrıca “A1” ve “A2” istatistiklerinin Chi-kare dağılımına göre test edilmesinde, serbestlik derecesi olarak değişken sayısının 1 eksiği dikkate alındığından, bu istatistiklerin değişken sayısından kaynaklanabilecek yanlışlığı da ortadan kaldırdığı söylenebilir. Sonuç olarak iş amaçlı yolculuklarda en iyi başarımlar gerçek FEE ölçütlerinin kullanıldığı, bölge içi erişilebilirliğin dâhil edildiği alansal arazi kullanışı içeren ölçütlerde elde edilmiştir.

Tablo 4.2 İş amaçlı yolculuklara ait ikili lojit model denemelerinin başarımlar istatistikleri

Model İstatistikleri	Gerçek FEE Değerleri				Yolculuk İçin Göreceli FEE Değerleri			
	Bölge içi hariç		Bölge içi dahil		Bölge içi hariç		Bölge içi dahil	
	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>
Değişken sayısı	8	6	8	5	5	2	3	4
LLF(0)	-13,899.0	-13,899.0	-13,899.0	-13,899.0	-13,899.0	-13,899.0	-13,899.0	-13,899.0
LLF(c)	-8,815.7	-8,815.7	-8,815.7	-8,815.7	-8,815.7	-8,815.7	-8,815.7	-8,815.7
LLF(β)	-8,324.3	-8,462.5	-8,249.9	-8,389.9	-8,801.1	-8,807.0	-8,804.9	-8,806.4
A1	11,149.4	10,873.0	11,298.2	11,018.2	10,195.9	10,184.0	10,188.2	10,185.2
Chi2 (A1)	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	982.8	706.5	1,131.7	851.6	29.3	17.5	21.7	18.7
Chi2 (A2)	0	0	0	0	5.25E-05	5.64E-04	2.35E-04	2.22E-03
ρ^2	0.0557	0.0401	0.0642	0.0483	0.0017	0.0010	0.0012	0.0011
ρ^2_d	0.4004	0.3906	0.4058	0.3959	0.3664	0.3661	0.3662	0.3660

Tablo 4.3'teki okul amaçlı yolculuklara ait model denemeleri incelendiğinde, A2 istatistikleri bakımından herhangi bir modelin tatminkar olduğu söylenemez. LLF(β) değerleri LLF(c) değerlerine oldukça yakındır. Bu durum, kullanılan değişkenlerin, sabit terimle elde edilen kestirimlerden kayda değer bir farkla başarıyı arttırmadığını göstermektedir. Kullanılan hane halkı verilerinde okul yolculuklarındaki özel taşıt tercih oranının %4 civarında kalması, toplu ulaşım için tür sabitini temsil eden sabit terim vektörü ile, toplu ulaşım için "1" değerini alan tür seçim vektörünün birbirine çok yakın olmasını sağlamakta, bu yüzden modele dahil edilen herhangi bir açıklayıcı değişken, sabit terimin başarımının önüne geçememektedir. " ρ " istatistiklerinin yanıltıcı yönü bu denemelerde ortaya çıkmaktadır. Logaritmik olabilirlik fonksiyonlarının, başlangıç (LLF(0)) ve sabit terim (LLF(c)) için birbirinden oldukça farklı olması, " ρ^2_d " istatistiğinin "1"e oldukça yakın bir değer almasını sağlamıştır. Göreceli FEE değerlerine ait değişkenlerin tamamının model denemelerinde elenmiş olması, okul amaçlı yolculukların ayrıca ele alındığında tür seçiminin FEE ölçütü yardımıyla tahmin edilmesinin sağlıklı olmadığını gösteren diğer bir etkidir.

Tablo 4.3 Okul amaçlı yolculuklara ait ikili lojit model denemelerinin başarımlar istatistikleri

Model İstatistikleri	Gerçek FEE Değerleri			
	Bölge içi hariç		Bölge içi dahil	
	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>
Değişken sayısı	2	8	6	5
LLF(0)	-4,713.4	-4,713.4	-4,713.4	-4,713.4
LLF(c)	-1,138.8	-1,138.8	-1,138.8	-1,138.8
LLF(β)	-1,126.6	-1,110.5	-1,119.3	-1,116.1
A1	7,173.6	7,205.9	7,188.2	7,194.6
Chi2 (A1)	0	0	0	0
A2	24.5	56.8	39.1	45.5
Chi2 (A2)	2.01E-05	5.62E-09	1.85E-06	3.7E-08
ρ^2	0.0107	0.0249	0.0172	0.0200
ρ^2_d	0.7603	0.7625	0.7610	0.7619

Çoğunlukla düzenli olmayan yolculukları içeren iş ve okul amaçlı olmayan (diğer) yolculuklara ait model başarımlar istatistikleri (Tablo 4.4), iş yolculukları ile karşılaştırıldığında kayda değer miktarda daha yüksek başarımlar ortaya koymaktadır.

Özellikle gerçek FEE değerlerinin bölge içi erişilebilirliği içeren oransal arazi kullanışlı türevi için “ ρ^2 ” istatistiğinin 0,1’e, “ ρ^2_d ” istatistiğinin de 0,5’e yaklaşması, fayda esaslı erişilebilirliğin düzenli olmayan yolculuklara ait tür seçimini kestirmede etkin olabileceği kanısını doğurmaktadır. Göreceli FEE ölçütlerini içeren model denemeleri, iş amaçlı yolculuklara göre daha başarılı görünse de, gerçek FEE ölçütü modelleri ile karşılaştırıldığında özellikle A2 istatistiklerinin çok düşük olduğu dikkati çekmektedir. Aralarında yolculuk gerçekleşen iki analiz bölgesinin erişilebilirlik farkları, tür seçimini kestirmede istenen başarıyı sağlayamamaktadır.

Tablo 4.4 Diğer yolculuklara ait ikili lojit model denemelerinin başarımlar istatistikleri

Model İstatistikleri	Gerçek FEE Değerleri				Yolculuk İçin Göreceli FEE Değerleri			
	Bölge içi hariç		Bölge içi dahil		Bölge içi hariç		Bölge içi dahil	
	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>
Değişken sayısı	6	6	11	8	7	4	7	8
LLF(0)	-7,466.6	-7,466.6	-7,466.6	-7,466.6	-7,466.6	-7,466.6	-7,466.6	-7,466.6
LLF(c)	-4,079.0	-4,079.0	-4,079.0	-4,079.0	-4,079.0	-4,079.0	-4,079.0	-4,079.0
LLF(β)	-3,871.4	-3,876.5	-3,792.8	-3,727.8	-4,056.0	-4,064.2	-4,056.5	-4,062.5
A1	7,190.3	7,180.1	7,347.6	7,477.5	6,821.2	6,804.8	6,820.1	6,808.2
Chi2 (A1)	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	415.1	404.8	572.4	702.3	45.9	29.5	44.8	33.0
Chi2 (A2)	0	0	0	0	2.48E-07	1.84E-05	3.94E-07	1.34E-04
ρ^2	0.0509	0.0496	0.0702	0.0861	0.0056	0.0036	0.0055	0.0040
ρ^2_d	0.4806	0.4799	0.4904	0.4995	0.4557	0.4550	0.4556	0.4547

Yolculuk amacına göre herhangi bir ayırım yapılmadığında oluşturulan model denemeleri, gerçek FEE ölçütleri için, iş amaçlı yolculuklardan bir miktar daha yüksek, diğer yolculuklardan ise bir miktar daha düşük başarımlar sergilemektedir (Tablo 4.5). Diğer denemelere paralel şekilde, bölge içinin dahil edildiği ve oransal arazi kullanımının dikkate alındığı yaklaşımlar, tüm yolculuklar için de ön plana çıkmaktadır. Göreceli FEE ölçütü içeren modellerdeki başarımlar ise iş amaçlı ve diğer yolculuk modellerinin her ikisinin de altındadır. Sonuç olarak analiz bölgeleri arasındaki FEE ölçütü farklarının bireysel tür seçiminde etkili olmadığı söylenebilir.

Lojit model denemeleri sonucunda, okul amaçlı yolculuklar için kayda değer başarıma sahip bir model elde edilemezken, iş amaçlı, iş ve okul dışı amaçlı ve tüm yolculuklar için, oransal arazi kullanımına göre düzenlenmiş, bölge içi erişilebilirliği

de dikkate alan ve bölgelerin gerçek erişilebilirlik değerlerini içeren modeller için kabul edilebilir başarıma sahip sonuçlar bulunmuştur. “ ρ^2 ” katsayıları hiçbir model için “1”e yaklaşırsa da bireysel fayda fonksiyonunda sadece yapay erişilebilirlik verileri kullanıldığı düşünülürse, FEE ölçütünün bireysel tür seçimini kestiriminde yararlanılabilecek bir ulaşım sistemi performans kriteri olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4.5 Tüm yolculuklara ait ikili lojit model denemelerinin başarımlar istatistikleri

Model İstatistikleri	Gerçek FEE Değerleri				Yolculuk İçin Göreceli FEE Değerleri			
	Bölge içi hariç		Bölge içi dahil		Bölge içi hariç		Bölge içi dahil	
	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>	<i>Alansal</i>	<i>Oransal</i>
Değişken sayısı	8	7	7	8	6	1	2	3
LLF(0)	-26,079.0	-26,079.0	-26,079.0	-26,079.0	-26,079.0	-26,079.0	-26,079.0	-26,079.0
LLF(c)	-14,432.3	-14,432.3	-14,432.3	-14,432.3	-14,432.3	-14,432.3	-14,432.3	-14,432.3
LLF(β)	-13,850.3	-13,834.0	-13,715.8	-13,582.3	-14,421.3	-14,426.9	-14,424.7	-14,424.8
A1	24,457.4	24,490.0	24,726.4	24,993.4	23,315.3	23,304.1	23,308.4	23,308.4
Chi2 (A1)	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	1,164.0	1,196.6	1,433.0	1,700.0	21.9	10.7	15.1	15.0
Chi2 (A2)	0	0	0	0	2.66E-03	4.83E-03	1.77E-03	4.75E-03
ρ^2	0.0403	0.0415	0.0496	0.0589	0.0008	0.0004	0.0005	0.0005
ρ^2_d	0.4686	0.4692	0.4738	0.4788	0.4467	0.4467	0.4468	0.4467

Tablo 4.6’da iş amaçlı yolculuklar için en yüksek başarımları sağlayan lojit modele ait FEE değişkenleri ve anlamlılık istatistikleri verilmiştir. Değişkenlerin tamamının “t” istatistikleri mutlak değerce 5’ten büyük, anlamlılık düzeyleri ise 0’a oldukça yakındır. FEE değişkenlerinden başlangıç ve bitiş bölgelerindeki ekonomik arazi kullanımına dayalı erişilebilirlik, fayda fonksiyonunu pozitif yönde etkilerken üretimsel, konutsal ve toplam FEE ölçütleri negatif yönde etkilemektedir. İkili lojit modelde kurulan fayda fonksiyonları farkı, toplu ulaşım değişkenlerinin özel taşıt değişkenlerinden çıkarılması (TT-ÖT) üzerine kurulduğundan ve modelde toplu ulaşım tercihleri “1” ile ifade edildiğinden, fayda fonksiyonunun yükselmesi toplu ulaşım tercihinin yönelişi ifade etmektedir. Dolayısıyla modeldeki negatif işaretli değişkenler, bu FEE türlerinin, bireyleri özel taşıt tercihinin yönelttiği anlamına gelmektedir. Modeldeki negatif işaretli en büyük katsayıya ve “t” istatistiğine sahip olan bitiş bölgesindeki konutsal erişilebilirlik, konut ağırlıklı erişilebilirliğe sahip bir analiz bölgesine dönen iş yolculuklarında, diğer aktivite olanaklarının daha zayıf olması sebebiyle özel taşıt tercihinin eğilimin daha yüksek olacağı şeklinde

yorumlanabilir. Başlangıç noktasındaki toplam arazi kullanımının da negatif etkili sonuç vermesi, bu yorumun güvenilirliğini bir miktar zayıflatmakla birlikte, toplam arazi kullanışlarındaki en büyük payın konuta ait olduğu dikkate alınırsa (bkz. Tablo 4.3), konutsal ve toplam FEE ölçütlerinin paralel davranış göstermesi beklenen bir sonuçtur. Ekonomiye dayalı FEE ölçütünün, başlangıç ve bitiş noktalarının her ikisi için de pozitif etkin çıkması, iş yolculuklarında ekonomik sektöre erişilebilirliğin her iki uçta da yüksek olmasının, toplu ulaşım tercihinin güçlendirdiği sonucunu vermektedir.

Tablo 4.6 İş amaçlı yolculuklar için en yüksek başarıyı veren lojit modele ait değişkenler

Değişken no	Değişken adı	Değişken katsayısı	Standart sapma	t istatistiği	Anlamlılık
0	Türe Özel Sabit	2.083	0.147	14.148	0
3	BŞL-0.25-ÜRT	-0.198	0.017	-11.715	0
6	BŞL-0.25-TOP	-0.241	0.042	-5.678	1.38E-08
8	BŞL-0.50-EKO	0.381	0.051	7.419	1.22E-13
43	BTŞ-0.50-KON	-0.831	0.053	-15.703	0
44	BTŞ-0.50-EKO	0.820	0.072	11.414	0

Tablo 4.7’deki iş ve okul dışı yolculuklara ait değişkenler arasında, toplam arazi kullanışı dışındaki tüm FEE ölçütü türlerinden en az birer örnek yer almaktadır. Bu yolculukların alışveriş, sosyo-kültürel, sağlık vb. amaçlı birçok düzenli olmayan yolculukları içerdiği düşünülürse, etkin çıkan değişkenlerin bu çeşitliliği olağan bir sonuçtur. Yolculuğun başlangıç bölgesinin eğitim-sağlık ve ekonomi yönünden yüksek erişilebilirlikli olması diğer yolculuklardaki toplu ulaşım tercihinin güçlendirirken, bitiş noktasındaki sosyo-kültürel ve yine ekonomik FEE aynı etkiye sahip olmaktadır. Eğitim-sağlık türü FEE, başlangıç bölgesi için pozitif etkiye sahip iken bitiş bölgesi için negatif etkiye sahiptir. Yolculuğun bittiği bölge eğitim ve sağlık erişimi üzerine ağırlıklanmış ise diğer aktivitelere aynı bölgeden toplu ulaşım türü ile katılım olanağı azalmaktadır. Ekonomik faaliyetler, faaliyette çalışan ve faaliyeti alışveriş vb. amaçlı kullanan her iki kitleye de hitap ettiğinden, çekim ve yaratım yönlerinin her ikisi için de etkin çıkabilmektedir. Ayrıca ekonomik FEE ölçütü, toplu ulaşım olanaklarının yaygın olduğu merkezi iş alanlarında artış gösterdiğinden, toplu ulaşım tercihinin olumlu yansımaktadır. Üretimsel FEE’nin yolculuğun başlangıcı için farklı duyarlılık parametrelerinde (0,50 ve 0,75) hem

pozitif hem de negatif etkiyle etkin çıkması dikkat çekicidir. 1. eleme aşamasında bu iki değişkenden birinin elenmemiş olması, aralarında korelasyon olmadığını göstermektedir. Bu durum, üretimsel erişilebilirliğin 0,50 ve 0,75 duyarlılıklar arasında davranış değiştirdiğini, arazi kullanım ağırlıklı durumdan genelleştirilmiş maliyet ağırlıklı duruma geçtiğini işaret etmektedir. “ β ” parametresi büyüdükçe maliyete duyarlılık artmakta ve erişilebilirlik ölçütünün arazi kullanım boyutu ölçütte daha az yer almaktadır. Buradan hareketle, küçük parametrelili üretimsel FEE’nin negatif, büyük parametrelinin ise pozitif işaretli etkin çıkması, üretim faaliyetli bir bölgeden çıkan yolculuklarda, düşük maliyet duyarlılığında erişilebilirliğin faydasızlık yarattığı ve toplu ulaşım tercihinin eğilimin düştüğü, yüksek maliyet duyarlılığı için ise ulaşım faaliyetinden beklenen faydayı arttırdığı ve toplu ulaşım yönelişi yükselttiği şeklinde yorumlanabilir. Dolayısıyla yolculuğun başlangıç noktasındaki üretimsel erişilebilirlik, arazi kullanımına bağımlılık arttıkça kullanıcıların beklediği fayda azalmaktadır.

Tablo 4.7 Diğer yolculuklar için en yüksek başarıyı veren lojit modele ait değişkenler

Değişken no	Değişken adı	Değişken katsayısı	Standart sapma	t istatistiği	Anlamlılık
0	Türe Özel Sabit	1.996	0.274	7.294	3.23E-13
4	BŞL-0.25-ES	0.742	0.103	7.235	4.99E-13
7	BŞL-0.50-KON	-1.887	0.127	-14.894	0
8	BŞL-0.50-EKO	1.910	0.148	12.886	0
9	BŞL-0.50-ÜRT	-1.110	0.099	-11.181	0
15	BŞL-0.75-ÜRT	0.858	0.104	8.236	2.22E-16
40	BTŞ-0.25-ES	-0.808	0.127	-6.370	1.97E-10
41	BTŞ-0.25-SK	0.305	0.083	3.667	2.47E-04
62	BTŞ-1.25-EKO	0.250	0.046	5.490	4.11E-08

Yolculukların amaçlarına göre sınıflandırılmadığı durum için modelde yer alan değişkenlerin duyarlılık parametreleri genel olarak, iş ve diğer amaçlı yolculuklara göre daha yüksektir (Tablo 4.8). Bu durum belirli bir yolculuk amacı dikkate alındığında, aktivite olanaklarının yolculuk maliyetlerine göre bir adım daha önde olduğunu göstermektedir. Tüm yolculuklar modelindeki diğer bir dikkat çekici nokta da etkin çıkan bütün FEE ölçütlerinin yolculuğun başladığı analiz bölgesine ait olmasıdır. Dolayısıyla belirli bir yolculuk amacı için, varılan bölgenin erişilebilirliğinden de yararlanılmaktadır. Bitiş bölgesindeki erişilebilirliğin sadece

seçilen bir yolculuk amacıyla etkin olması, belirli yolculuk amaçlarında birbirini takip eden farklı amaçlı zincir yolculukların (iş çıkışı alışveriş, sosyal aktivite vb.) bir göstergesi olabilir.

Tablo 4.8 Tüm yolculuklar için en yüksek başarıyı veren lojit modele ait değişkenler

Değişken no	Değişken adı	Değişken katsayısı	Standart sapma	t istatistiği	Anlamlılık
0	Türe Özel Sabit	2.199	0.078	28.198	0
7	BŞL-0.50-KON	-0.201	0.038	-5.298	1.18E-07
10	BŞL-0.50-ES	3.264	0.169	19.348	0
15	BŞL-0.75-ÜRT	-2.079	0.112	-18.623	0
16	BŞL-0.75-ES	-2.956	0.159	-18.587	0
21	BŞL-1.00-ÜRT	2.147	0.125	17.117	0
23	BŞL-1.00-SK	-4.444	0.191	-23.290	0
29	BŞL-1.25-SK	4.487	0.193	23.195	0

Değişkenlere ait “t” istatistikleri, genel olarak diğer iki modelin değişkenlerinden daha yüksektir. Eğitim-sağlık, üretim ve sosyo-kültürel arazi kullanımına dayalı FEE ölçütlerinin her üçü de, diğer amaçlı yolculuklardaki üretim FEE değişkeninde olduğu gibi, küçük “ β ” parametresi için negatif, büyük “ β ” parametresi için pozitif etkiye sahiptir. Dolayısıyla bu erişilebilirlik türleri, ulaşım maliyetinin düşük düzeyde dikkate alındığı yolculuklarda, toplu ulaşım tercihinin azaltıcı, yüksek düzeyde dikkate alındığı yolculuklarda ise arttırıcı etkiye sahiptir. Bu üç FEE türü, konut, ekonomi ve toplama kıyasla daha karakteristik türler olduğundan, bunlara erişilebilirliğin ön planda olması ve düşük maliyet duyarlılıklarına göre hesaplanmaları, diğer temel arazi kullanışlarına erişimin geri planda kaldığını ve özel taşıt kullanım eğiliminin ön plana çıktığını göstermektedir. Ulaşım maliyetine daha duyarlı hale geldikleri formda ise toplu ulaşım çoğunlukla daha düşük maliyetli olduğundan, bu ulaşım türünün karakterini yansıtmaktadır.

Bireysel seçim modelleri genel olarak değerlendirildiğinde, diğer denemelere göre iyi performans veren modellerde değişken başarımlarının tatmin edici düzeyde olduğu, ancak özellikle “ p^2 ” gibi genel başarımların yeterince tatminkar olmadığı söylenebilir. Bu durum, FEE ölçütlerinin bireysel tür seçimini kestirimde gerekli ancak tek başına yetersiz olduğunu göstermektedir. Çalışmada bireysel

ulaşım davranışının, tamamen yapay FEE değişkenleri ile kestirildiği dikkate alınırsa, “ ρ^2_d ” istatistikleri 0,50’ye ulaşabilen bu modellerin, kısıtlı bireysel gözlem koşullarında kayda değer tahminler ortaya koyabileceği söylenebilir. İzleyen çalışmalarda, FEE ölçütlerinin bireysel seçim modellerinde tek başına kullanımı yerine, diğer gözlemlenen yolculuk verileri ile birlikte, bir destek verisi olarak başarılarının sınanması önerilmektedir.

Yolculuğun başladığı ve bittiği analiz bölgeleri arasındaki erişilebilirlik farkı (göreceli FEE) herhangi bir model denemesinde umulan başarıyı gösterememiştir. Yolculuk amaçlarına göre sınıflama yapılan modellerde yolculuğun bitiş noktasındaki erişilebilirliğin de etkin olması, bitiş noktasındaki aktivitelere erişim olanaklarının da dikkate alınması gerektiğinin bir göstergesidir. İzleyen çalışmalarda, başlangıç ve bitiş bölgeleri arasındaki erişilebilirlik değerlerinin aynı tür için farklarının alınması (başlangıçtaki üretim FEE’sinin bitişteki üretim FEE’sinden farkı vb.) yerine, çapraz fark veya toplamlarının (başlangıçtaki konut FEE’si ile bitişteki ekonomi FEE’si vb.) denenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Yolculuğun bittiği bölgedeki aktivitelerin de kullanılması, dolayısıyla zincir yolculukların ağırlıklı olduğu durumda, toplamlı yaklaşımın daha etkin sonuçlar vermesi muhtemeldir.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ

Tez çalışmasında, erişilebilirlik ölçütünün ulaşım türü seçimine etkisi çok yönlü olarak ele alınmış, literatürde örnekleri bulunan potansiyel ve fayda esaslı erişilebilirlik türleri, toplulaştırılmış ve bireysel tür seçimini kestirimde kullanılmıştır. Tez sonucunda varılan noktada birden çok genel kanıya varılmıştır.

Aktivite esaslı potansiyel erişilebilirlik (AEPE) ölçütlerinin, ulaşım türü seçimlerindeki farklılığı ortaya koyabilme yeteneği açısından, sadece üretim ve sosyo-kültürel arazi kullanım türleri ile bütün ulaşım türleri arasındaki seçim oranı için davranış farkı yarattığı görülmüştür. Seçilen AEPE türünde ulaşım faaliyetinin yarattığı direnç yolculuk uzunluğu olarak dikkate alındığından, tür seçimi davranışı için ölçütler arasında yaratılabilecek tek farkı duyarlılık parametresi sağlamaktadır. Yolculuk uzunluğuna duyarlılık parametresinin (α) özel taşıt ve toplu ulaşım türleri arasında kayda değer bir değişim göstermediği, dolayısıyla AEPE yardımıyla iki türün tercihi arasında belirgin bir fark elde edilmesinin mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Standardize edilmiş erişilebilirlik düzeylerinin özel taşıt ve toplu ulaşım türleri arasında kayda değer bir fark gözlemlenememesi de bu kanıyı doğrulamaktadır. Ancak türe ait büyütülmüş yolculuk sayılarında AEPE'nin tüm arazi kullanım türleri ve iki ulaşım türü için pozitif işaretli ve güvenilirliği yüksek korelasyonlar vermesi, AEPE'nin tür seçim farklılığını ortaya koymaktan ziyade, genel hareketliliği tahminde daha başarılı olabileceği sonucuna götürmekte, izleyen çalışmalarda aktivite esaslı potansiyel erişilebilirlikten mobilite analizlerinde yararlanılması önerilmektedir.

Fayda esaslı erişilebilirlik (FEE) kullanılarak yapılan analizler sonucunda ise FEE'nin toplulaştırılmış tür seçimi üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu kanısına varılmıştır. FEE'de ulaşımın yarattığı direnç olarak genelleştirilmiş maliyetin kullanılması ve iki ulaşım türü için farklı genelleştirilmiş maliyetlerin dikkate alınabilmesi, bu sonuca götüren önemli bir unsurdur. Özellikle konut, üretim ve

sosyo-kültürel arazi kullanışı içeren ölçütlerin tür seçimi ile doğrusal ilişkiye sahip olduğu, ancak bu ilişkilerin tür seçimi oranlarını tahminleyebilecek boyutta olmadığı görülmüştür.

Doğrusal olmayan, yapay zeka temelli bir yaklaşım olan YSA modellerinin tür seçimini FEE yardımıyla kestirimde denenmesi ile, tür seçim oranlarının erişilebilirlik ölçütleri kullanılarak tahminlenmesinin 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 muhtemel sebepleri olarak, 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 zaman değerinin genelleştirilmiş maliyetlerdeki etkisinin tez çalışması kapsamında çeşitli alternatiflerle denenememiş olması ve toplu ulaşım zorunlu kullanıcı olarak tanımlanan ve arazi kullanışı gibi ikincil faktörlerden seçim açısından etkilenmeyen kullancılar akla gelmektedir. Bu yüzden YSA yaklaşımının sadece özel taşıt seçimini tahminlemede etkin sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır.

Taşıt sahibi olan, ulaşım alternatifi yüksek kullanıcıların seçim davranışının YSA yaklaşımı ile tahminlenebiliyor olması, metropol kentlerimizin temel problemlerinden biri olan trafik tıkanıklıklarının erişilebilirliğe dayalı olarak analizine imkan verecek, problemlerin çözümü için büyük bütçe gerektiren karayolu altyapısı geliştirme çalışmaları yerine, erişilebilirliğin yönetimine dayalı “tıkanıklık fiyatlandırma” gibi ulaşım politikalarının analiz edilerek uygulanabilmesine olanak verecektir. Son yıllarda Londra gibi büyük dünya metropollerinde başarı ile uygulanan bu politikalar, kamu kurumlarının özel taşıt kullanımı üzerinden gelir elde etmesini sağlamakla birlikte, toplu ulaşım talebi de arttırmakta, böylece kamu gelirlerinde iki yönlü bir artış sağlamaktadır. Ayrıca özel taşıt kullanımından kaynaklanan emisyon, gürültü kirliliği ve benzeri çevresel etkilerin azalmasının yanı sıra, kentlerin taşıtlar için değil insanlar için şekillendirilmesine olanak vermektedir.

Bireysel seçim modellerine ait sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, iyi başarımlı gösteren modellerde değişken anlamlılıklarının tatmin edici düzeyde olduğu, ancak özellikle “ p^2 ” gibi genel başarımlı istatistiklerinin yeterince tatminkâr olmadığı sonucuna varılmaktadır. Bu durum, FEE ölçütlerinin bireysel tür seçimini kestirimde gerekli ancak tek başına yetersiz olduğunu göstermektedir. Çalışmada bireysel ulaşım davranışının, tamamen yapay FEE değişkenleri ile kestirildiği dikkate alınırsa, “ p_d^2 ” istatistikleri 0,50’ye ulaşabilen bu modellerin, kısıtlı bireysel gözlem koşullarında kayda değer tahminler ortaya koyabileceği söylenebilir. İzleyen çalışmalarda, FEE ölçütlerinin bireysel seçim modellerinde tek başına kullanımı yerine, diğer gözlemlenen yolculuk verileri ile birlikte, bir destek verisi olarak başarımlının sınanması önerilmektedir.

Bireysel seçim modellerinde, yolculuğun başladığı ve bittiği analiz bölgeleri arasındaki erişilebilirlik farkı (göreceli FEE) herhangi bir model denemesinde umulan başarımlı gösterememiştir. Yolculuk amaçlarına göre sınıflama yapılan modellerde yolculuğun bitiş noktasındaki erişilebilirliğin de etkin olması, bitiş noktasındaki aktivitelere erişim olanaklarının da dikkate alınması gerektiğinin bir göstergesidir. İzleyen çalışmalarda, başlangıç ve bitiş bölgeleri arasındaki erişilebilirlik değerlerinin aynı tür için farklarının alınması (başlangıçtaki üretimsel FEE’nin bitişteki üretim FEE’den farkı vb.) yerine, çapraz fark veya toplamalarının (başlangıçtaki konutsal FEE ile bitişteki ekonomik FEE vb.) denenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Yolculuğun bittiği bölgedeki çeşitli aktivitelerin de kullanılıyor olması, dolayısıyla zincir yolculukların ağırlıklı olması durumunda, toplamalı yaklaşımın daha etkin sonuçlar vermesi muhtemeldir.

Tez çalışmasında ortaya konan, toplulaştırılmış ve bireysel tür seçimi gibi farklı analiz düzeylerinin tümü için, erişilebilirliğin tür seçiminde kayda değer etkisi olan bir ulaşım sistemi performans ölçütü olduğu söylenebilmektedir. Ancak ulaşım talep modellerinde kullanıma yönelik bir tür seçim modeli için sadece erişilebilirlik verilerinden yararlanılmasının çeşitli problemlere yol açacağı, analizler sonucunda ortaya konmuştur. Bu yüzden tür seçimi kestirimi için sadece erişilebilirlik

verilerinden yararlanılmasının, ancak gerekli tahmin netliğinin orta düzeyde olduğu stratejik plan türü ve geniş ölçekli çalışmalarda doğru olacağı açıktır. Geniş ölçekli çalışmalarda erişilebilirlik ölçütleri ile tür seçiminin kestirilmesi, ulaşım hane halkı anketi gibi geniş bütçe ve ağır iş yükü gerektiren çalışmalara olan gerekliliği azaltacak ve bu çalışmaları yapmakla yükümlü olan kamu kurum ve kuruluşları için kayda değer bir bütçe,zaman ve iş gücü tasarrufu sağlayacaktır. Ancak yüksek düzeyde tahmin güvenilirliği gerektiren ulaşım ana planı ve operasyonel planlarda, tür seçimindeki etkisi kayda değer ancak modellemede tek başına yetersiz kalan erişilebilirliğin, bir model destek verisi olarak kullanılması gerekmektedir.

Arazi kullanımının getirdiği olanaklar ve ulaşım faaliyetinin yarattığı direnci bir arada yansıtan erişilebilirlik ölçütü, tür seçimi gibi kestirimi oldukça karmaşık olan bir talep modeli aşamasında yadsınamaz bir destek verisi işlevi görebilmektedir. İzleyen çalışmalarda, talep tahmin modellerinin yolculuk yaratımı ve çekimi, hareketlilik analizi gibi diğer aşamalarında da kullanılabilirliğinin incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akçelik, R. (1991). 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.
- Bach, L. (1981). The problem of aggregation and distance for analyses of accessibility and access opportunity in location-allocation models. *Environment and Planning A*, 13, 955–978.
- Bağırhan, N. ve Karaşahin, M. (2009). Bulanık mantık ile trafik güvenliği modellenmesi. *Teknik Dergi*, 20 (2), 4635-4651.
- Banister, D., & Berechman, J. (2000). *Transport investment and economic development*. London: University College London Press.
- Beckmann, M. J., McGuire, C. B. & Winsten, C. B. (1956). *Studies in the Economics of Transportation*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Ben-Akiva, M., & Bierlaire, M. (2002). Discrete choice models with applications to departure time and route choice. In *Handbook of transportation science (2nd ed.)*, New Jersey: Kluwer Academic Publishers.
- Ben-Akiva, M., & Bowman, J. L. (1998). Integration of an activity-based model system and a residential location model. *Urban Studies*, 35 (7), 1131–1153.
- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1979). Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. In *Behavioural travel modelling (Hensher, D. A. & Sopher, P. R. (Eds.))* (654-679). Andover: Croom Helm.
- Ben-Akiva, M., & Lerman S. R. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. Massachusetts: M.I.T. Press.

- Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Srour, I., & Weston, L. (2001). *Assessment of accessibility measure (Research Report No. 7-4938)*. Texas: Texas Department of Transportation, Texas, U.S.A.
- Borgia, E., & A. Cappelli (1994). *Il ruolo dei trasporti nella prgrammazioni del mezzogiorno*. Milano: Franco Angeli.
- Boyce, D. E., Leblanc, L. J. and Chon, K. S. (1988). Network equilibrium models of urban location and travel choices: a retrospective survey. *Journal of Regional Science*, 28, 159–183.
- Boyce, D. E., Leblanc, L. J., Chon, K. S., Lee, Y. J. & Lin, K. T. (1983). Implementation and computational issues for combined models of location, destination, mode and route choice. *Environment and Planning*, 15A, 1219-1230.
- Breheny, M. J. (1978). The measurement of spatial opportunity in strategic planning. *Regional Studies*, 12, 463-479.
- Brice, S. (1989). Derivation of nested transport models within a mathematical programming framework. *Transportation Research B*, 23 (1), 19–28.
- Bröcker, J. (1989) How to eliminate certain defects of the potential formula. *Environment and Planning Part A*, 21, 817-830.
- Bureau of Transportation Statistics (2002). *Transportation statistics annual report 2001 (BTS02-07)*. Washington D.C.: U.S. Departmant of Transportation.
- Burns, L. D. (1979). *Transportation, temporal and spatial components of accessibility*. Toronto: Lexington Boks.

- Capineri, C. (1996). From networks to regional development: representations of Italian regional disparities. *Nectar Euroconference*, 24-28 September, Mons, Belgium.
- Cascetta, E., & Biggiero, L. (1997). *Integrated models for simulating the Italian passengers transport system*. China: IFAC.
- Cervero, R., Rood, T., & Appleyard, B. (1997). *Job accessibility as a performance indicator: An analysis of trends and their social policy implications in the San Francisco Bay Area (Working Paper 692)*. Berkeley: University of California.
- Ceylan, H. ve Haldenbilen, S. (2005). Şehirlerarası ulaşım talebinin genetik algoritma ile modellenmesi. *Teknik Dergi*, 16 (3), 3599-3618.
- Créput, J. C., & Koukam, A. (2007). Interactive meshing for the design and optimization of bus transit networks. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 133 (9), 529-538.
- Dalvi, M. Q., & Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation* 5, 17-42.
- Davidson, K. B. (1978). The theoretical basis of a flow-travel time relationship for use in transportation planning. *Australian Road Research*, 8 (1), 32-35.
- De Cea, J., Fernandez, E. & De Grange, L. (2008). Combined models with hierarchical demand choices: a multi-objective entropy optimization approach. *Transport Reviews*, 28 (4), 415-438.
- De Cea, J., Fernandez, J. E. & Soto, A. (2001). ESTRASUS: 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.

- De Cea, J., Fernandez, J. E., Soto, A. & Dekock, V. (2005). Solving network equilibrium on multimodal urban transportation networks with multiple user classes. *Transport Reviews*, 25, 293–317.
- Demir, Y. K. & Gerçek, H. (2006). Ulaştırma türü seçiminde esnek hesaplama yöntemleri. *İTÜ Dergisi: Mühendislik*, 5 (6), 61-73.
- DETR (2000). *Transport 2010: the background analysis*. London: Department of the Environment, Transport and the Regions.
- Dijst, M., & Vidaković, V. (1997). Individual action space in the city. In *Activity-based approaches to travel analysis* (Ettema D. F., & Timmermans, H. J. P. (eds.)) (117-134). New York: Pergamon.
- Dong, X., Ben-Akiva, M., Bowman, J. L., & Walker J. L. (2006). Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40 (2), 163-180.
- Elmas, Ç. (2003) *Yapay sinir ağları: kuram, mimari, eğitim, uygulama*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Evans, S. (1976). Derivation and analysis of some models for combining distribution and assignment. *Transportation Research*, 10 (1), 37–57.
- Ewing, R. (1993). Transportation service standards- as if people matter. In *Transportation Research Record 1400* (10-17). Washington D.C.: TRB Press.
- Fernandez, J. E., De Cea, J., Florian, M. & Cabrera, E. (1994). Network equilibrium models with combined modes. *Transportation Science*, 28, 182–192.

- Florian, M., Wu, J. H. & He, S. (1999). A multi-class multi-mode variable demand network equilibrium model with hierarchical logit structures. *Actas IX Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Santiago, Chili.
- Floyd, R. W. (1962). Algorithm 97: shortest path. *Communications of the Association for Computing Machinery (ACM)*, 5 (6), 345-346.
- Fotheringham, A. S. (1986). Modelling hierarchical destination choice. *Environment and Planning A*, 18, 401-418.
- Geurs, K. T., & van Eck, J. R. R. (2001). *Accessibility measures: review and applications (RIVM Report: 408505-006)*. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment.
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transportation strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12 (2), 127-140.
- Greene, D. L., & Liu, J. T. (1988). Automotive fuel economy improvements and consumer's surplus. *Transportation Research Part A*, 22 (3), 203-218.
- Gutiérrez, J., & Urbano, P. (1996). Accessibility in the Euroean Union: the impact of the trans-european road network. *Jorunal of Transport Geography*, 4, 15-25.
- Hall, R. W. (ed.) (2002). *Handbook of transportation science* (2nd ed.). New Jersey: Kluwer Academic Publishers.
- Handy, S. (1994). *Regional versus local accessibility: implications for non-work travel*. in: *Transportation research record 1400*, Washington D.C.: TRB Press., 58-66.

- Handy, S. L., & Niemeier, D. A. (1997). Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A*, 29, 1175 – 1194.
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land-use. *Journal of the American Institute of Planners* 25, 73–76.
- Haris, C. D. (1954). The market as a factor in the localisation of industry in United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 44, 315-348.
- Hawas, Y. E. (2004) Development and calibration of route choice utility models: neuro-fuzzy approach. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 130 (2), 171-182.
- Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, 5, 101-107.
- İzmir Büyükşehir Belediyesi [İBB] (2009). *İzmir Ulaşım Ana Planı Raporu* (Cilt VI). İzmir: Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Ulaşım Koordinasyon Müdürlüğü.
- Jiang, M. & Morikawa, T. (2004). Theoretical analysis on the variation of value of travel time savings. *Transportation Research part A*, 38, 551-571.
- Jones, S. R. (1981). *Accessibility measures: a literature review (TRRL Report 967)*. Berkshire: Transport and Road Research Laboratory.
- Kalyoncuoğlu, Ş. F. ve Tığdemir, M. (2001). Türkiye’de trafik kazalarında etkili bazı sürücü özelliklerinin bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemi ile değerlendirilmesi. *Teknik Dergi*, 12 (4), 2505-2516.
- Keeble, D., Offort, J., & Walker, S. (1988). *Peripheral regions in a community of twelve member states*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.

- Koenig, J. G. (1980). Indicators of urban accessibility: theory and applications. *Transportation*, 9, 145-172.
- Kwan, M. P. (1998). Space-time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis*, 30 (3), 191-216.
- Lenntorp, B. (1976). Paths in space-time environments: a time geographic study of movement possibilities of individuals. *Lund Studies in Geography B*, 44, 62-70.
- Levine, J. (1998). Rethinking accessibility and jobs-housing balance. *Journal of American Planning Association*, 64 (1), 12-25.
- Linneker, B. J., & Spence, N. A. (1992). Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London orbital motorway on Britain. *Environment and Planning A*, 24, 1137-1154.
- Litman, T. (2003). Measuring transportation: traffic, mobility and accessibility. *ITE Journal*, 73 (10), 28-32.
- Lohse, D., Teichert, H. & Dugge, B. (2004). Programmsystem VISEVA (Verkehr in Sta'dten und Regionen – Erzeugung, Verteilung, Aufteilung). *PTV AG Karlsruhe*, TU Dresden.
- Lohse, D., Teichert, H., Dugge, B., & Bachner, G. (1997). Ermittlung von verkehrsströmen mit n-linearen gleichungssystemen unter beachtung von nebenbedingungen einschließlich parameterscha'tzung (Verkehrsnachfragemodellierung: Erzeugung, Verteilung, Aufteilung). *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr*, H. 5/1997, Fakultät Verkehrswissenschaften, "Friedrich List", Technische Universität Dresden.

- Luce, R. D. (1959). *Individual choice behavior: a theoretical analysis*. New York: Wiley.
- Luce, D. & Suppes P. (1965). *Preferences, utility and subjective probability*. in Handbook of Mathematical Psychology (eds: R. Luce, R. Bush, E. Galanter), New York: John Wiley and Sons, 249–410.
- Manski, C. (1977). The structure of random utility models. *Theory and Decision*, 8, 229-254.
- Matthes, N. (1994). Allocation of mobile communication flows: from micro-economic demand theory to a gravity model. *The Annals of Regional Science*, 28 (4), 395-409.
- McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In *Frontiers in Econometrics* (Zarembka, P. (ed.)) (105-142). New York: Academic Press.
- McFadden, D. (1981). Econometric models of probabilistic choice. In *Structural analysis of discrete data with economic applications* (Manski, C. F., McFadden, D. (eds.)) (198-272). Cambridge: MIT Press.
- McFadden, D. (2001). Economic choices. *American Economic Review*, 91, 351–378.
- Miller, H. J. (1991). Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Systems*, 5 (3), 287-301.
- Miller, H. J. (1999). Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: basic theory and computational procedures. *Geographical Analysis*, 31 (2), 187- 212.

- Morril, R. L., & Kelly, M. B. (1970). The simulation of hospital use and the estimation of location efficiency. *Geographical Analysis*, 2, 283-300.
- Murat, Y. Ş. (2006). Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Teknik Dergi*, 17 (3), 3903-3916.
- Murat, Y. Ş. ve Gedizlioğlu, E. (2003). Ayırık sinyalize kavşaklar için bulanık mantık denetim modeli. *Teknik Dergi*, 14 (2), 2949- 2963.
- Murat, Y. Ş. ve Uludağ, N. (2008). Bulanık mantık ve lojistik regresyon yöntemleri ile ulaşım ağlarında geçki seçim davranışının modellenmesi. *Teknik Dergi*, 19 (2), 4363-4379.
- NVVP (2001). *Nationaal Verkeers- en Vervoersplan 2001-2020. Deel A: Hoofdlijnen van beleid*. Den Haag: Tweede Kamer der Staten Generaal.
- Özuysal, M., Çalışkanelli, S. P., Tanyel, S., & Baran, T. (2009). Capacity prediction for traffic circles: applicability of ANN. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 162 (4), 195-206.
- Özuysal, M., & Tanyel, S. (2008). Induced travel demand in developing countries: study on state highways in Turkey. *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 134 (2), 78-87.
- Özuysal, M., Tanyel S. ve Şengöz B. (2003). Erişilebilirlik Yönetiminin Ulaşım Planlama Politikası Olarak Değerlendirilmesi. *TMMOB Ulaştırma Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı* içinde (111-121). Ankara: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Rietveld, P., & Bruinsma, F. R. (1998). *Is transport infrastructure effective? transport infrastructure and accessibility: impacts on the space economy*. Berlin: Spriger Verlag.

- Rosen, K. H. (2003). *Discrete mathematics and its applications* (5th ed.). Wesley: McGraw-Hill.
- Schürger, K. (1998). *Wahrscheinlichkeitstheorie*. Oldenbourg-Verlag, München.
- Shen, Q. (1998). Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers. *Environment and Planning B*, 25 (3), 345–365.
- Small, K. (1992). *Urban transportation economics*. Ontario: University of Toronto Press.
- Song, S. (1996). Some tests of alternative accessibility measures: a population density approach. *Land Economics*, 72 (4), 474-482.
- Sweet, R. J. (1997). An aggregate measure of travel utility. *Transportation Research Part B*, 31 (5), 403-416.
- Tagore, M. R., & Sikdar, P. K., (1996). *A new accessibility measure accounting mobility parameters, volume 1: travel behaviour*. in: Proceedings of the 7th World conference on transport research, Sydney: Elsevier Science Ltd., 305-315.
- TCK (1990-2004). *Yıllık Trafik ve Ulaşım Verileri*. Ankara: T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü, Planlama Dairesi Başkanlığı.
- TCK (2005). *Trafik ve ulaşım istatistikleri 2004*. Ankara: T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü, Planlama Dairesi Başkanlığı.
- Thurstone, L. (1927). A law of comparative judgement. *Psychological Review*, 34, 273–286.
- TÜİK (1990-2004). *İl göstergeleri*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.

- Törnqvist, G. (1970). *Contract systems and regional development*. Lund: C.W.K. Gleerup.
- Train, K. E. (2009). *Discrete choice methods with simulation (2nd ed.)*. New York: Cambridge University Press.
- Tversky, A. (1972). Elimination by aspects: a theory of choice. *Psychological Review*, 79, 281-299.
- Van Lint, J. W. C. (2006). Reliable real-time framework for short-term freeway travel time prediction. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 132 (4), 921-932.
- Van Wee, B., Hagoort, M., & Annema, J. A. (2001). Accessibility measures with competition. *Journal of Transport Geography*, 9 (3), 199-208.
- Vickerman, R. W. (1974). Accessibility, attraction and potential: a review of some concepts and their use in Europe. *Regional Studies*, 33, 1-15.
- Vritic, M., Fröhlich, P., Schüssler, N., Axhausen, K. W., Lohse, D., Schiller, C. & Teichert, H. (2007). 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.
- VTPI (2010). *Travel time costs*. in: Transportation cost and benefit analysis II, Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 5.2-5.22 (www.vtpi.org).
- V&W (1999). *Meerjarenprogramma infrastructuur ne transport 2000-2004*. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management.

- Waters, W. (1992). The value of time savings for the economic evaluation of highway investments in British Columbia. *BC Ministry of Transportation*, British Columbia
- Weibull, J. W. (1980). On the numerical measurement of accessibility. *Environment and Planning A*, 12, 53 – 67.
- Wilson, A. G. (1971). A familiy of spatial interaction models, and associated developmets. *Environment and Planning*, 3 (1), 1-32.
- Zheng, W., Lee, D. H., & Shi, Q. (2006). Short-term freeway traffic flow prediction: Bayesian combined neural network approach. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 132 (2), 114-121.

EK 1 - KISALTMALAR LİSTESİ

AEPE	: Aktivite esaslı potansiyel erişilebilirlik
BŞL	: Yolculuğun başladığı analiz bölgesi
BTŞ	: Yolculuğun bittiği analiz bölgesi
BUTSO	: Bütün ulaşım türleri içindeki seçim oranı
ÇY	: Çekilen yolculuklar
DTY	: Düşük tahmin yüzdesi
EF	: Etkinlik faktörü
EKO	: Üretim dışı ekonomi yerleşimine ait arazi kullanışı
ES	: Eğitim ve sağlık yerleşimine ait arazi kullanışı
FEE	: Fayda esaslı erişilebilirlik
FO	: Farklılık oranı
GO	: Korelasyonun güvenilirlik olasılığı
KK	: Korelasyon katsayısı
KON	: Konut yerleşimine ait arazi kullanışı
LLF	: Log-likelihood function
OHKK	: Ortalama hata karelerinin karekökü
SK	: Sosyo-kültürel yerleşime ait arazi kullanışı
TAKM	: Toplam araç-km
TAKM1-ÖT	: Özel taşıtlar için toplam araç-km
TAKM2-TT	: Ticari taşıtlar için toplam araç-km
TAKM3-G	: Tüm taşıt türleri için toplam araç-km
TBAKM	: Taşıt başına araç-km
TBAKM1-ÖT	: Özel taşıtlar için taşıt başına araç-km
TBAKM2-TT	: Ticari taşıtlar için taşıt başına araç-km
TBAKM3-G	: Tüm taşıt türleri için taşıt başına araç-km
TBYS	: Türlere ait büyütülmüş yolculuk sayısı
TKŞKM	: Toplam karayolu şerit-km
TOP	: Toplam arazi kullanışı
TS	: Taşıt sayısı
TS1-ÖO	: Özel otomobil sayısı

TS2-TO	: Toplam otomobil sayısı
TS3-TCÖT	: Tüm cinsleri için özel taşıt sayısı
TS4-TT	: Ticari taşıt sayısı
TS5-TCT	: Tüm türleri ve cinsleri için taşıt sayısı
TUTSO	: Taşıtlı ulaşım türleri içindeki seçim oranı
ÜRT	: Üretim yerleşimine ait arazi kullanışı
UTY	: Uygun tahmin yüzdesi
YOGT	: Yıllık ortalama günlük trafik
YSA	: Yapay sinir ağları
YTY	: Yüksek tahmin yüzdesi
YY	: Yaratılan yolculuklar