



Ulaşım Politikalarının Geniş Ekonomik Etkileri: Kent Ölçeğinde Bir Uygulama

Program Kodu: 1001

Proje No: 117K243

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Ebru VOYVODA

Araştırmacı(lar):
Dr. Özhan YILMAZ

Danışman(lar):
Prof. Dr. Işıl EROL

Bursiyer(ler):
Cem Taylan ÖZÜDOĞRU

TEMMUZ 2019
ANKARA



ÖNSÖZ

SOBAG-117K243 No.'lu proje, 15/11/2017-15/07/2019 tarihleri arasında, TÜBİTAK tarafından desteklenerek ODTÜ İİBF İktisat Bölümü'nde sürdürülmüştür. Proje süresince Prof. Dr. Ebru Voyvoda yürütücü, Dr. Özhan Yılmaz araştırmacı olarak görev almıştır. Projeye Prof. Dr. Işıl Erol da danışman olarak katkıda bulunmuştur. Projede, Kasım 2017-Mayıs 2019 arasında ODTÜ İktisat Bölümü Yüksek Lisans öğrencisi Cem Taylan Özüdoğru burslu öğrenci olarak görev yapmıştır.

Proje kapsamında, 23-26 Haziran 2019 tarihleri arasında Dublin- İrlanda'da University College Dublin'de düzenlenen EURO-K 2019 (30th EUROPEAN CONFERENCE ON OPERATIONAL RESEARCH) Kongresi'nde sunum gerçekleştirilmiştir. Projede araştırmacı olarak yer alan Dr. Özhan Yılmaz da 5 Mart 2019'da Londra'da UCL Bartlett School of Construction & Project Management MSc Infrastructure Investment and Finance programında bir ders vererek projeyi tanıtmıştır. Projeden yayınlanmak üzere makale yazım çalışmalarına devam edilmektedir.

Çalışmamızın tamamlanmasında desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a ve TÜBİTAK-SOBAG çalışanlarına, çalışmanın sürdürüldüğü ODTÜ İktisat Bölümü'ne ve yapıcı yorum, öneri ve değerlendirmeleri ile proje hakemlerine teşekkürü borç biliriz.

İçindekiler

Şekil listesi	iv
Tablo listesi	v
Özet	vi
Abstract	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ: ULAŞIM POLİTİKALARI MODELLEMESİ	4
2.1 Bölge Ölçeğinde Modeller	5
2.2 Kent Ölçeğinde Modeller	6
3. YÖNTEM: ULAŞIM POLİTİKALARININ ANALİZİ İÇİN MODELLEME ÇERÇEVESİ	8
3.1 Hanehalkı İkamet (Konut) Yeri ve Ulaşım Modu Seçimi (Ayrık Seçim Modülü)	11
3.2 Hesaplanabilir Genel Denge Modülü	13
3.3 Ulaşım Modülü	14
3.4 Model Entegrasyonu, Denge Tanımı	16
4. BULGULAR: ULAŞIM POLİTİKALARININ ANALİZİ İÇİN MODELLEME ÇERÇEVESİ VE SENARYO ANALİZLERİ	18
4.1 Veri Setinin Oluşturulması, Kalibrasyon	18
4.2 Ulaşım Politikalarının Geniş Etkileri: Senaryo Analizi	25
4.2.1 GLA İçin Toplu Taşıma Sisteminin İyileştirilmesi	25
4.2.2 GLA Merkez Bölgeler İçin Konut Stoku Artışı	28
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	30
6. KAYNAKÇA	32

Şekil listesi

Şekil 1. Ulaşım politikaları, iktisadi aktivite ve yer seçim problemlerinin etkileşimi	2
Şekil 2. Entegre modelin yapısı ve modeller-arası entegrasyonu sağlayan değişkenler.....	10
Şekil 3. Oluşturulan 33 bölge üzerinden geliştirilen Londra ulaşım ağı	20
Şekil 4. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (ikamet edilen bölge, toplam ulaşım talebinde bulunan nüfus).....	22
Şekil 5. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (ikamet eden nüfusun çalışan nüfusa oranı)	22
Şekil 6. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (işyeri bölgesi, toplam hanehalkı sayısı)	23
Şekil 7. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (yüksek gelirli hanelerin oranı).....	23
Şekil 8. Model veri altyapısı: kira düzeyi (yıllık, oda başına)	24
Şekil 9. Model veri altyapısı (özel araç kullanım oranları)	24
Şekil 10. Şehir merkezi yönünde toplu taşımanın iyileştirilmesi: nüfus değişimi (%).....	27
Şekil 11. Şehir merkezi yönünde toplu taşımanın iyileştirilmesi: konut fiyat değişimi (%)	27
Şekil 12. Şehir merkezi yönünde toplu taşımanın iyileştirilmesi: toplu taşıma kullanımında değişim (%)	28

Tablo listesi

Tablo 1. Entegre modelde kullanılan değişkenler/veriler ve kaynakları	19
Tablo 2. Hanehalkı ayrıştırma/kategorizasyon kriterleri uyarınca veri düzenlemesi.....	21
Tablo 3. Şehir merkezi yönünde toplu taşımanın iyileştirilmesi, genel sonuçlar (baz duruma göre yüzde değişim)	26
Tablo 4. Şehir merkezi konut stok artışı, genel sonuçlar (baz duruma göre yüzde değişim) .	29



Özet

Bu çalışmanın amacı ulaşım politikalarının uzun vadeli etkilerinin sosyal, ekonomik ve coğrafi farklılıkları dikkate alacak şekilde değerlendirilmesi amacıyla yenilikçi bir modelleme yaklaşımı geliştirmektir. Bu yeni yaklaşım, farklı bireylerin/hanelerin arasındaki heterojenliği ve bu bireylerin/hanelerin politikalar sonucu oluşan davranışsal değişimlerini kavrayabilmek amacıyla da içermektedir. Bu çerçevede, bu projede hanehalklarının farklı özelliklerine göre kurgulanan bir ekonomik model (uygulanabilir genel denge modeli), ayrık seçim teorisine dayalı konut yeri ve ulaşım modu seçim modeli ve Wardrop'un birinci prensibine dayalı bir ulaşım model entegre edilmiştir. Çalışma sonucunda ortaya konan model bireylerin kentsel bölgelerdeki hareketlerini etkileyen her alternatif politika değişikliklerinin (altyapı ve toplu taşıma projeleri) etkilerini farklı gruplar için ortaya koyabilmektedir.

Bu açıdan bakıldığında, önerilen model, büyük metropoller için kritik öneme sahip olan 'alternatif ulaşım politikalarının' tespitinde ve uygulamasında etkin bir karar destek aracı olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım Politikaları, Hesaplanabilir Genel Denge Modeli, Ayrık Seçim Teorisi, Hanehalkı Konut Yeri Seçim Modeli, Ulaşım Modellemesi



Abstract

The aim of this project is to develop a comprehensive framework to represent and evaluate the effects of alternative transport and land use policies. To this end, the project proposes a hybrid approach to grasp the heterogeneity among different agents and to endogenize interactions among different markets/modules. The hybrid approach proposes fully integrating an applied general equilibrium model (macroeconomic module) household choice model based on discrete choice theory and a Wardropian transport model within a single mathematical framework. Such an integrated approach can handle impacts of transport policies comprehensively, while simultaneously capturing the behavioral heterogeneity of different agents. This is achieved by adding model components capturing key theoretical elements of discrete choice theory into an applied general equilibrium model. All three models run simultaneously to find equilibrium values for prices (consumption goods, housing rents, factors), consumption levels, local populations, traffic flows on the transport network and the modal split.

The project is potentially applicable to evaluate alternative transport (land use) policies for mega cities (large networks).

Keywords: Applied General Equilibrium, Discrete Choice Models, Traffic Assignment Problem, Full Integration, Residential Location Choice



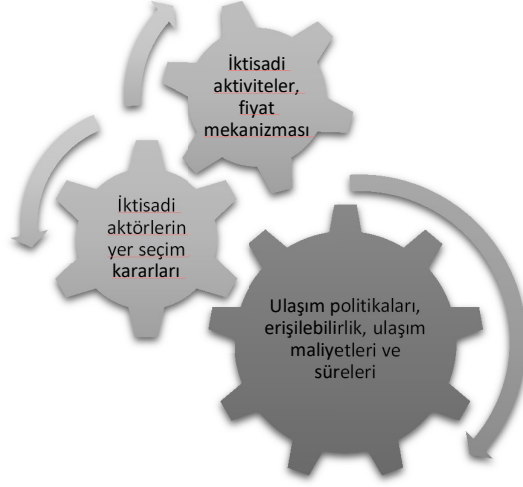
1. GİRİŞ

Ulaşım sistemleri iktisadi ve sosyal faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Yeterli ulaşım altyapısı olmayan bölgelerin diğer bölgelere göre daha az gelişme potansiyeline sahip olması konusunda geniş bir zaman dilimine yayılmış oldukça fazla sayıda araştırma bulunmaktadır. Ulaşım altyapısı ve ulaşım ağları bir yandan hanehalkları ve üretim birimlerinin ihtiyaç duyduğu mal ve hizmetlerin taşınmasını sağlarken bir yandan da emeğin taşınması/ulaşımı yolu ile üretim faaliyetlerinin devamında önemli rol üstlenmektedir. Hanehalkları işyerlerine, hastane ve okullara ulaşım altyapısı desteği ile erişebilmektedir.

Diğer birçok fiziksel ağda olduğu gibi, ulaşım ağlarında da ciddi verimlilik problemleri bulunmaktadır. Bu problemler, kapasite kısıtının olmadığı birçok durumda farkına varılmadan tolere edilmektedir. Bu durum ulaşım ağları için de geçerlidir. Ancak, kentleşme ve beraberindeki ekonomik gelişmeler giderek şehirlerde arz edilenden daha fazla kapasite ihtiyacı doğurmakta ve bu durum da ulaşım altyapısı üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Trafik sıkışıklığı problemi, şehirlerdeki altyapı kapasite eksikliğine bir örnektir. Birçok büyük altyapı projesine rağmen artan trafik sıkışıklığı kent içi ulaşımın daha iyi planlanması konusundaki temel ihtiyacı vurgulamaktadır. Örneğin, TOMTOM Traffic Index çalışmasına (https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/) göre, 2018 verilerine göre, İstanbul, gün ortalamasında yüzde 53 oranında trafik sıkışıklığıyla dünyada en fazla trafik sıkışıklığının olduğu şehirlerden biri (7. Sıra) olarak kayıtlara geçmektedir. Trafik sıkışıklığı, sabah ve akşam yoğun saatlerde ise sırasıyla yüzde 81 ve yüzde 112 oranlarına çıkmaktadır. Bu durumda, akşam saatlerinde, normal şartlarda 30 dakika sürecek yolculuklar, trafik sıkışıklığı nedeniyle 1 saati geçmektedir. Benzer şekilde Mumbai (Hindistan) yüzde 65 ve Bogota (Kolombiya) yüzde 63 ile trafik sıkışıklığı konusunda en sorunlu kentler olarak kayda geçmiştir.

Trafik sıkışıklığı sonucu artan ulaşım süreleri ve maliyetler farklı bölgelerin erişilebilirliğini ve arazi kullanımını büyük ölçüde etkilemektedir. Kent içi ulaşım altyapısı ve trafik durumu elbette hanehalklarının ve firmaların/üretim birimlerinin yer seçimlerinde kritik öneme sahiptir. Bundan dolayı, kent içi ulaşım politikalarının iktisadi kararlar ile etkileşiminin iyi analiz edilmesi de önem kazanmaktadır. Örneğin trafik sıkışıklığı sorununa karşın yol kapasitelerinin artırılması kent coğrafyasının yayılmasına neden olabilecek, bu durum da daha fazla özel araç kullanımı ve daha ciddi boyutlarda trafik sıkışıklığına yol açabilecektir. Dolayısı ile trafik sıkışıklığı probleminin ve ulaşım politikalarının kent modelleri ile etkileşimini temsil eden analiz araçları geliştirebilmek ulaşım politikalarının kent ölçeğindeki diğer iktisadi kararlar ile etkileşimini anlamak ve bu politikaların geniş etkilerini ortaya koymak açısından önem kazanmaktadır. Kent

ölçeğindeki iktisadi kararların ilişkilerine dair bir örnek olarak oluşturulan Şekil 1, ulaşım politikaları, iktisadi aktivite ve iktisadi karar vericilerin yer/konum seçim problemlerinin etkileşimini ifade etmesi açısından önemlidir.



Şekil 1. Ulaşım politikaları, iktisadi aktivite ve yer seçim problemlerinin etkileşimi

Geleneksel fayda ve maliyet analizi yöntemlerine dayalı günümüz ulaşım değerlendirme yaklaşımında, ulaşım politikaları ve ilgili projeler ağırlıklı olarak toplulaştırılmış bilgiler kullanılarak değerlendirilmektedir. Fayda ve maliyet analizi yöntemleri kullanmak uygulamada pratik olsa da yukarıda değinilen etkileşimlerin önemli bir kısmını göz ardı etmektedir. Bununla birlikte alternatif politikaların değerlendirilmesinde iktisadi karar vericiler arasındaki heterojenliği ve farklı kararların etkileşimlerini göz önünde bulundurma ihtiyacı yeni yöntemlerin ve daha yoğun mikro-düzeyde veri kullanılan modellerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Artan veri çeşitliliği, hacmi ve erişim kolaylığı ile de bu eğilimin artarak devam edeceği öngörülebilir.

Bu çalışma, ulaşım politikalarının sosyal, ekonomik ve coğrafi farklılıkları dikkate alacak şekilde değerlendirilebilmesine olanak sağlayan yenilikçi bir modelleme yaklaşımı sunmaktadır. Ortaya konan hibrit modelleme yaklaşımı, temel olarak hanehalklarının heterojen yapısını (hane büyüklüğü ve kompozisyonu, gelir, ulaşım mod seçimi) temsil eder nitelikte ve ulaşım politikaları ile etkileşen diğer kararların da (tüketim, yer seçimi, konut büyüklüğü seçimi gibi) eşanlı olarak analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu hibrit yaklaşımda yararlanılan teorik çerçevelerden genel denge modelleri (hesaplanabilir genel denge – HGD) karşılıklı olarak

bağımlı piyasalar arasındaki (özellikle girdi-çıkı ve faktör kullanım teknolojisi ilişkileri ve göreceli fiyat hareketleri üzerinden) ilişkileri temsil edebilen modellerdir. Ancak, bu modeller, sınırlı sayıda (çoğu zaman yalnızca bir) temsili birey/hane içermekte ve böylece, farklı bireyler/haneler arasındaki heterojenliği ve bu bireylerin/hanelerin politikalar sonucu oluşan davranışsal değişimleri kavrayamamaktadır (Peichl, 2008). Buna karşılık, mikro simülasyon modelleri, insan ve firmaların davranışlarını mikro düzey veri kullanarak modelleyebilmektedir (Robilliard vd., 2001). Ancak, bu modellerin önemli bir kısmı da kısmi denge modelleridir (Peichl, 2008). Bu proje farklı düzeylerdeki modellerin entegrasyonunu gerçekleştirmektedir.

Çalışmada, hanehalklarının farklı özelliklerine göre kurgulanan ekonomik model, ayrık seçim teorisine dayalı konut yeri seçim modeli ile entegre edilmektedir. Bu entegrasyon, mevcut literatürde sıkça rastlanılan iki farklı model arasında yakınsama arayan iteratif simülasyonlar şeklinde değil, aynı matematiksel çerçeveye içinde “tam entegrasyon” formunda gerçekleştirilmektedir. Ekonomik model ve hanehalkı konut yeri seçim modelinin yanı sıra, Wardrop’un birinci prensibine¹ dayalı bir ulaşım modeli de bu çerçeve içerisinde kurgulanarak, üç farklı modelden/modülden oluşan entegre bir model tasarlanmıştır.

Ortaya konan modelleme çerçevesinin kalibrasyonu da yoğun mikro-veri kullanımı ile hanehalklarına ilişkin nüfus sayım istatistikleri, bütçe ve yaşam koşulu araştırmaları ve ulaşım ile ilişkili hanehalkı tercihleri ile birlikte oluşturulan ulaşım ağı (network) üzerinde yolların trafik yoğunluk ve yolculuk sürelerine ait bilgilerini kullanacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda ortaya konan özgün model, insanların kentsel bölgelerdeki hareketlerini etkileyen her türlü müdahalenin (politika değişikliği, altyapı ve toplu taşıma projeleri) geniş kapsamlı etkilerini farklı gruplar için ortaya koyabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, önerilen modelleme çerçevesi, büyük metropoller için kritik öneme sahip olan ‘alternatif ulaşım politikalarının’ tespitinde ve uygulamasında etkin bir karar destek aracı olarak kullanılabilir.

Bu proje kapsamında yukarıda değinilen kompleks etkileşimleri temsil edebilecek ve alternatif politikaların geniş etkilerini eşanlı olarak takip etmeye yarayacak bir entegre model geliştirilmiştir. Modelin politika analizi için kullanımına örnek uygulamaları da modelin talep ettiği yoğun mikro veri setinin ham veri üzerinden derlenebildiği Londra üzerinde seçilmiş senaryo analizleri üzerinden takip edilmiştir. Burada ele alınan senaryo analizleri, toplu taşıma

¹ *Wardrop’un birinci prensibi*: Kişilerin yoğunlukla, kendisine en düşük maliyeti sunan, seyahat süresi, maliyet, güvenilirlik ve güvenlik gibi hizmet düzeyi bileşenlerinin meydana getirdiği en düşük yararsızlığı sunan türü seçmesi.

sisteminin iyileştirilmesinin geniş sosyo-ekonomik etkileri ve konut stok artışının etkilerini ele almaktadır.

Raporun bu giriş bölümünü izleyen 2. Bölüm, ilgili literatür özetini sunmaktadır. Bölüm 3, modelleme çerçevesini tanıtmakta, Bölüm 4 ise Londra için derlenmiş veri seti kullanılarak gerçekleştirilen ve modelin nasıl analizler için kullanılabileceğini göstermek üzere tasarlanmış senaryo analizleri içermektedir. Bölüm 5'de sonuç ve değerlendirme sunulmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ: ULAŞIM POLİTİKALARI MODELLEMESİ

Uygulamalı (*applied*) – hesaplanabilir (*computable*) genel denge modellerinin (UGD/HGD) ulaşım politikalarının etki analizinde kullanımı son dönemde önem kazanmaktadır. İktisadi karar vericilerin (hanehalkları, firmalar) ele alınan soru çerçevesindeki kararlarının mikro-teori ile uyumlu bir şekilde temsil edildiği bu yapılar temel olarak farklı piyasalardaki fiyat/miktar/teknolojik etkileşimleri ele alabilmeleri açısından alternatif politikaların geniş eşanlı etkilerinin analizinde etkindir². Geleneksel fayda ve maliyet analizlerine (*CBA – cost-benefit assessment*) dayalı modellerin ulaşımdan kaynaklı dışsallıkların içselleştirilmesi ve etkilerin ekonomik birimler arasında dağıtımı konularında yetersiz kalması da bu eğilime katkı veren nedenlerden biri olmuştur (Robson ve Dixit, 2015). Ulaşımın ekonomi içerisindeki merkezi rolü düşünüldüğünde, bu etkileşimlerin temsiliyeti daha kritik hale gelmektedir. Bu nedenle, ulaşım alanındaki politika ve projelerin doğrudan etkilerinin yanı sıra dolaylı etkilerinin de değerlendirilmesi imkanı sağlayan daha kapsayıcı analizler gerçekleştirebilen modelleme çalışmaları literatürde de daha etkin hale gelmektedir. Son dönemde ulaşım politikalarının etki analizinde kullanılan UGD/HGD çalışmaları arasında Chicago kordon ücretlendirmesi (*cordon tolling*) analizi için Anas ve Hiramatsu (2013), Paris toplu taşıma analizleri için Anas (2013a), Tokyo trafik sıkışıklığı ücretlendirme sistemleri analizi için Sato ve Hino (2005) sayılabilir.

Bu dönemde ulaşım politikalarının etki analizinde uygulama alanı giderek artan bir başka modelleme çerçevesi de davranışsal mikro-simülasyon modelleridir. Özellikle hanehalkı /firma davranışlarını homojenleştiren ve temsili karar verici üzerinden toplulaştıran standart UGD/HGD modellerinin aksine, davranışsal mikrosimülasyon modelleri *tektipleştirmeden* kaçınmakta ve bireysel kararlardaki heterojenliği yansıtmaktadır. UGD/HGD modelleri karşılıklı olarak bağımlı piyasalar arasındaki ilişkileri/etkileşimleri ortaya koyabilen modellerdir. Ancak,

² Shoven and Whalley (1984) ve Ginsburgh and Keyzer (1997) genel denge teorisi ve uygulamaları için önemli ders kitaplarıdır. Ulaşım problemlerinde genel denge uygulamalarına giriş için bakınız, Bröcker (2004).

bu modeller, sınırlı sayıda temsili bireyler içermekte ve böylece, farklı bireyler arasındaki heterojenliği ve bu bireylerin politikalar sonucu oluşan davranışsal değişimleri kavrayamamaktadır (Peichl, 2008). Buna karşılık, mikro-simülasyon modelleri, birey/hane ve firmaların davranışlarını mikro düzey veri kullanarak modelleyebilmekte, böylelikle davranışsal farklılıkları yansıtabilmektedir (Robilliard vd., 2001). Ancak, bu modeller de kısmi denge modelleridir ve iktisadi karar vericilerin piyasalardaki eşanlı değişimlere olan tepkilerini (örneğin ücret değişimi karşısında farklı düzeylerde emek arzı /işgücüne katılım kararı) yansıtmakta oldukça zayıf kalmaktadır (Magnani ve Mercenier, 2009).

Bu proje kapsamında, kent içi ulaşım politikalarının detaylı geniş etkilerinin analizi amacıyla hibrit yapıda bir modelleme çalışması önerilmektedir. Bu hibrit yapı karar vericiler arasındaki heterojenliği (mikro) ve farklı piyasalar arasındaki ilişkileri (makro) birlikte ele almaktadır.

Ulaşım alanında kullanılan UGD/HGD ve mikro-simülasyon modelleri uygulamalarını temel olarak iki ana başlıkta toplamak mümkün görünmektedir (Robson and Dixit, 2015). *Bölge ölçeğinde modeller* daha çok üretim faaliyetlerine odaklanılan ve ulaşımın tek bir sektör olarak ele alındığı modeller olarak öne çıkmakta, buna karşılık *kent ölçeğinde modeller* ise ekonomik karar vericilerin (özellikle hane halkları ve firmalar) ayrık seçim kararlarının (*discrete choice*) ele alındığı, mikro veri kullanımı daha yoğun modeller olarak gözlemlenmektedir³.

2.1 Bölge Ölçeğinde Modeller

Bölgesel UGD/HGD modelleri oldukça kapsamlı ve farklı araştırma konuları içeren geniş bir literatürün önemli araçlarındandır. Bölgesel UGD/HGD modelleri ulaşım etki analizi de içerecek şekilde uyarlamaları konusunda Bröcker (1998, 2002) önemli katkılar sunmuştur. Bröcker (1998), ortaya konan modelde geleneksel ekonomik birimler (hane halkları ve firmalar) ve sektörlerin yanı sıra ulaşım aktivitelerinden sorumlu ayrı 'ulaşım birimlerinin' tanımlanmamıştır. Bu modelde ulaşım, hanehalklarının hareketliliğiyle ilgili değil yalnızca firmaların faaliyetleriyle ilgili bir sektör olarak tanımlanmıştır. Bröcker (2002), hanehalklarının ulaşım taleplerini de modele dahil etmiştir. Avrupa Komisyonu için hazırlanan bir dizi proje çalışması çerçevesinde de (Tavasszy vd., 2004; Bröcker vd., 2005) Bröcker, çok bölgeli modellerde ulaşım altyapı programlarının Avrupa Birliği içindeki farklı bölgelerdeki refah etkisini araştırma konusunda katkı sağlamıştır. Bu çalışmalarda ulaşım sektörü Dixit-Stiglitz yaklaşımı ile eksik rekabetçi bir sektör olarak tanımlanmakta, böylelikle farklı bölgeler için ölçek ekonomileri etkileri analize dahil edilebilmektedir.

³ Bröcker ve Mercenier (2011) ulaşım odaklı UGD/HGD modelleme çerçevesinin teorik altyapısı üzerine bir genel değerlendirme sunmakta, uygulama örneklerine yer vermektedir.

Farklı bir yaklaşım altında Kim ve Hewings (2003) ve Kim vd. (2004), ulaşım altyapısını firmaların üretim girdisi olarak tanımlamıştır. Ulaşıma erişilebilirlik kriterinin de göz önünde bulundurulduğu bu çalışmalarda kullanılan dinamik hesaplanabilir genel modeli, Güney Kore'deki otoyol projelerinin ekonomik büyüme ve bölgesel farklılıklar perspektifinden değerlendirilmesi amacıyla kullanılmış ve bölgelerdeki erişilebilirlik değişimlerini ölçen bir ulaşım modeliyle entegre etmiştir.

Bröcker'in (2002) modeli çerçevesinde Zhu vd. (2012) bazı ulaşım (HS2 yapımı ve A11 yolunun genişletilmesi) ve arazi kullanım (yeşil kuşağın esnetilmesi) politikalarının geniş ekonomik etkilerini analiz etmek üzere statik bir hesaplanabilir genel denge modeli kullanmıştır.

Oosterhaven ve Knaap (2003), Groningen şehri ve Schiphol Havalimanı arasındaki 6 farklı demiryolu bağlantısını test etmek amacıyla, Knaap ve Oosterhaven'ın (2000) RAEM hesaplanabilir genel denge modelini kullanmıştır. Yazarlar bu çalışmayı birkaç küçük değişiklikle Knaap ve Oosterhaven'ın (2011) çalışmasında tekrar etmiştir.

Verikios ve Zhang (2015), Avustralya'da hayata geçirilen kent içi ulaşım reformunun doğrudan ve dolaylı etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla, hesaplanabilir genel denge modeliyle birlikte bir mikro simülasyon modelini kullanmış ve kent içi ulaşım reformunun hane halkları üzerine etkileri farklı gruplar için hesaplanmıştır. Bu çalışmada, kent içi ulaşım ayrı bir ekonomik sektör olarak yer almıştır.

2.2 Kent Ölçeğinde Modeller

Firma aktiviteleri ve ticaret konularına odaklanan bölgesel modellerden farklı olarak, kent ölçeğindeki modeller daha çok hane halklarının ulaşım ile ilgili davranışlarına odaklanmaktadır. Kent ölçeğinde, farklı coğrafi konumlar arası ulaşım aktivitesinin temsil edildiği bu modeller ulaşım sektörünün farklı özelliklerini temsil edebilmektedir:

- Ulaşım talebi sadece ulaşım hizmetinin göreceli fiyatına değil, aynı zamanda ulaşımın süresine de bağlıdır;
- Ulaşım negatif dışsallıklar yaratan bir aktivitedir: sektör kendi içinde trafik sıklığı yaratırken kendi dışındaki sektörleri/faaliyetleri de negatif etkileyebilir;
- Ulaşım talebinin kendisi tüketiciler açısından fayda maksimizasyonunun doğrudan bir faktörü değildir, ancak ulaşım nedeni ile erişilen faaliyetler (çalışma, turizm, ziyaret vd.) bu problemin doğrudan girdileridir.

Ulaşım sektörünün yukarıda özetlenen farklı özelliklerini detaylı bir biçimde temsil eden çalışmalar arasında Conrad (1997) ve Conrad and Heng (2002) ile Mayeres and Proost (2001, 2004) sayılabilir⁴.

Kent ölçeğinde ulaşım politikaları üzerine yapılan çalışmaların önemli bir kısmı yukarıda özetlenen özellikler ışığında hanehalklarının karşılaştıkları konut yeri/işyeri veya firmaların karşılaştıkları faaliyet/işyeri gibi seçimleri de içermektedir. Bu alanda araştırma yapanlar arasında, ayırık seçim (*discrete choice*) modellerinin ulaşım alanında uygulanması konusunda ilk örnekleri sunan Alex Anas ön plana çıkmaktadır. Anas (1982), başta ulaşım olmak üzere birçok kentsel konuların analizinde, HGD ve ayırık seçim modelini birlikte kullanmıştır. Ayrıca, Alex Anas, farklı dönemlerde beraber çalıştıkları bir dizi araştırmacıyla birlikte, metropol alanlarda uygulanan politikalarının etkilerini değerlendiren bir bölgesel hesaplanabilir genel denge modeli olan RELU-TRAN (*Regional Economy, Land Use and Transportation Model*) modelini geliştirmiştir (Anas ve Kim, 1996; Anas ve Xu, 1999; Anas ve Liu, 2007; Anas ve Hiramatsu, 2012; Anas, 2013a; Anas, 2013b; Anas ve Hiramatsu, 2013).

Horridge (1994) kent içi ulaşım problemini, ayırık seçim teorisinin temel çıktılarından faydalanarak, oldukça basit ama etkili bir yöntem kullanarak ele almıştır. Bu bağlamda, Avustralya'nın Melbourne şehrinde uygulanan çeşitli senaryoların etkilerini analiz etmek üzere kent ölçeğinde bir hesaplanabilir genel denge modeli önerilmiştir. Bu model çerçevesinde, konut yeri ve iş yeri çift seçimlerinin *multinomial logit* (MNL) olasılıkları, her bir seçim çiftinin pazar paylarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Böylece, bu toplulaştırılmış değerler, hane halklarının davranışlarını yansıtacak şekilde, HGD modeli içerisinde bir parametre olarak kullanılmaktadır⁵. Bir iş gücü piyasası için yapılan örnek çalışmada, bazı özel koşulların sağlanması durumunda, istatistiksel olarak benzer ve bağımsız bireylerden oluşan büyük bir veri setine ilişkin ayırık seçim olasılıklarının toplulaştırılmasının 'sabit dönüşüm esnekliği' (CET – *Constant Elasticity of Transformation*) fonksiyonuna sahip tek bir ekonomik birimin optimizasyonu sonucu elde edilen toplu işgücü arz fonksiyonuna eşit olduğu gösterilmiştir.

Sato ve Hino (2005), Tokyo'da uygulanması planlanan trafik sıklığı ücretlendirme sisteminin arazi kullanımı, bölgesel iktisat ve ulaşım üzerine olan uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla HGD modeli kullanmıştır. Bu modelde, hane halklarının ve firmaların yer seçim olasılıkları *logit* modelleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Önerilen HGD,

⁴ Munk (2003) bu alanda genel bir değerlendirme sunmaktadır.

⁵ Bu çalışmada kullanılan ve toplulaştırma kısayolu içeren prosedür Magnani ve Mercenier (2009)'da değerlendirilmektedir. Bu çalışma ayırık seçim teorisine dayalı kısmi denge modelleri ile hesaplanabilir genel modellerinin entegre edilmesi amacıyla, heterojen özellikte bireylerin temsili ekonomik birim içerisinde toplulaştırıldığı "tam toplulaştırma" (*exact aggregation*) yöntemi önermektedir.

yolculuk tercihlerinin modellenmesi amacıyla, genel bir 4-adımlı yolculuk modeli ile entegre edilmiştir.

Rutherford ve van Nieuwkoop (2011), İsviçre'nin Zürih şehrine doğru olacak yüksek profilli işgücünün etkilerini değerlendirmek amacıyla kent içi ulaşımı kapsayan bir HGD modeli önermiştir. Bu modelde, basit bir ekonomi modellenmiş ve ekonomik birim olarak hane halkları ve üretici firmalar yer almıştır.

Truong ve Hensher (2012), Avustralya'nın Sydney şehrinde yapılacak bir ulaşım projesinin uzun vadeli ekonomik etkilerini değerlendirmek üzere, ayrık seçim teorisine dayalı modeller ile 'kesintisiz talep' (*continuous demand*) modellerinin HGD çerçevesinde entegre edildiği bir yöntem önermiştir.

Bu bölümde üzerinde durulan çalışmalar, ulaşımın hesaplanabilir genel denge modeli çerçevesinde çok farklı yaklaşımlarla ele alındığını göstermesi açısından önemlidir. Ulaşım, bölgesel modellerde bir hizmet sektörü ya da üreticiler için katlanılması gereken bir maliyet olarak ele alınırken, kentsel modellerde kentlerdeki erişilebilirliği ve dolayısıyla insanların mekan seçimlerini etkileyen çok önemli bir faktör olarak ele alınmaktadır. Burada vurgulanan, ulaşımın en büyük etkisinin bir sektör olarak ya da bir maliyet olarak parasal konularda değil ekonomik birimlere sağlanan erişilebilirlikte yatmakta olmasıdır. Erişilebilirlik, mekânsal analizler düşünüldüğüne, insanların karar verme süreçlerinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Ulaşım, özellikle kent içi ulaşım, düşünüldüğünde, klasik HGD modellerinde yer alan temsili ekonomik birimler erişilebilirlik konusunun yeterince irdelenmesi konusunda, doğal olarak, yetersiz kalacaktır. İşte bu noktada, ayrık seçim teorisine dayalı davranışsal modeller, hane halkları arasındaki heterojenliği kapsama konusunda önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Ancak, farklı düzeyde modellerin entegrasyonu ise, modelcilerin aşması gereken önemli bir problem olarak ortada durmaktadır.

3. YÖNTEM: ULAŞIM POLİTİKALARININ ANALİZİ İÇİN MODELLEME ÇERÇEVESİ

Bu proje kapsamında, kent içi ulaşım politikalarının detaylı bir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla oluşturulan hibrit yapı, karar vericiler arasındaki heterojenliği (mikro) ve farklı piyasalar arasındaki etkileşimleri (makro) birlikte ele almaktadır. Bu bağlamda, ulaşım politikaları sonucu bireylerin davranışlarındaki değişiklikleri modellemek amacıyla ayrık seçim teorisine dayalı bir 'hane halkı konut yeri seçimi modeli' geliştirilmiş ve bu model bir HGD modeli ile entegre edilmiştir. Ayrıca, aynı matematiksel çerçeve içerisinde, bölgelerarası ulaşım

maliyeti ve süre matrislerini oluşturan bir trafik modeli, *Wardrop'un birinci prensibine* dayalı 'çok ürünlü akış problemi' (*multicommodity flow problem*) olarak 'karışık tamamlayıcılık problemi' (MCP – *mixed complementarity problem*) formatında modellenmiştir. Bu farklı üç modülün tam entegrasyonu içinse tanımlanan trafik atama probleminin (***traffic assignment problem***) denge çözümü bir eşanlı denklem sistemine dönüştürülmüştür⁶.

Modelde ulaşım talebi iki özelliği ile temsil edilmektedir: (i) konut yeri-işyeri arasında ulaşımda geçirilen süre bir eksi (-) fayda yaratmaktadır; (ii) ulaşım maliyetleri hanehalkı bütçe kısıtında yer almaktadır. Böylece ulaşım sistemi üzerinde gerçekleştirilecek bir değişiklik karşısında farklı hanelerin farklı reaksiyonlar göstermesi (örneğin konut yerini değiştirmesi) mümkün hale gelmektedir. Bunun yanında entegre modelde ulaşım modülü kent içinde farklı bölgeler arasındaki toplam trafik sürelerinin çözümünü vermekte, hanehalklarının olası yer değişimlerinin trafik sürelerine (sıkışıklık) etkisini de hesaplamaktadır. Modelde nüfus ve her hane için (en uzun mesafeyi kat eden birey üzerinden) işyeri coğrafi konumları, dolayısı ile firma konumları sabittir. Bu hali ile hanehalkları açısından ayrık seçim modeli (*discrete choice model*) bir ikamet yer seçimi modülü olarak tasarlanmıştır. Ulaşım aracı olarak, özel araç ve toplu taşıma (sıkışıklıktan etkilenmeyen – metro, otobüs (*Bus Rapid Transit – BRT*), tahsisli otobüs yollarında seyreden araçlar) ve motorsuz ulaşım (bisiklet, yürümek) alternatifleri kullanılmaktadır.

Modeldeki temel aktörlerden olan hane halklarının 4 farklı indekse göre gruplanmıştır: konut yeri (i), iş yeri lokasyonu (w), ulaşım modu tercihi (m) ve hane gelir seviyesi (g). Ele alınan kentteki (Londra) tüm hanehalkları bu indeksler kullanılarak gruplandırılmıştır. Modelde hanehalklarının barınma ihtiyaçları diğer tüketim mallarından ayrıştırılarak konut stoku ile konut talebi dengesi ayrıca oluşturulmuştur. Bu bağlamda, hanehalkları barınma ve diğer tüketim malzemelerini ve sabit ikame esnekliği (*CES - constant elasticity of substitution*) fayda fonksiyonunu kullanarak temsil edilmiştir. Aynı zamanda, ikamet edilen bölgeye bağlı bir pozitif fayda ve ev-iş arasındaki yolculuklar için harcanan süreden dolayı bir negatif fayda hane halklarının fayda fonksiyonu içine girmektedir. Hanehalklarının, ekonomideki sermaye ve konut stokunun da sahibi olduğu kabul edilmiştir.

Bu proje kapsamında tasarlanan entegre model içerisinde, bir coğrafi birim (kent) içerisinde yaşayan bireylerin hareket çıkış ve varış noktalarını gösteren Çıkış/Varış noktası (*Origin – Destination, OD matrix*) matrisleri, bu hanelerin bütçelerini nasıl kullandıklarını gösteren harcama ve tasarruf matrisleri ile bütçe kaynaklarını oluşturan faktör gelirleri matrisi, ve trafik modelinin kalibrasyonu için kullanılan bölgelerarası yolculuk süresi matrisleri

⁶ Bu üç farklı modelin tam entegrasyonu için *GAMS (General Algebraic Modeling Solver)* modelleme aracı kullanılmıştır.

oluşturulmaktadır. Bu matrisler, önerilen entegre modelin temel veri kaynaklarını oluşturmakta ve modele ilişkin parametreler bu veri setleri kullanılarak kalibre edilmektedir.

Proje, potansiyel olarak kent içi ulaşım politikalarının hanehalkı (ve daha geliştirilmiş bir modelde firma) kararlarına etkilerinin detaylı analizini içermektedir. Bu proje ile ortaya konan modelleme çerçevesinde,

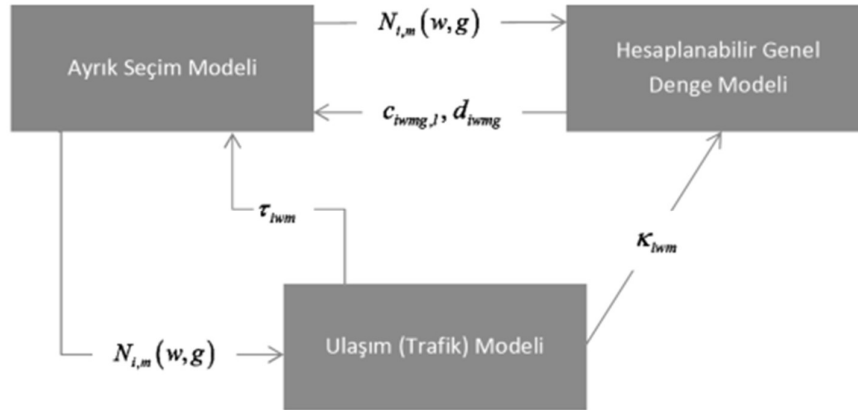
- Ücretlendirme politikaları (trafik sıkışıklığı ücretlendirme sistemleri (*congestion charge*), vergi değişiklikleri vb.),
- Toplu taşıma politikaları ve uygulamaları,
- Arazi kullanım politikalarında değişiklikler (arazi kullanım modülü ve inşaat sektörü oluşturulması durumunda),
- Nüfus hareketlerinde, başta göç olmak üzere, yaşanan değişimlerin ekonomi, ulaşım ve arazi kullanımı üzerine etkileri,

gibi analizler gerçekleştirmek mümkün hale gelmektedir:

Bu doğrultuda bu projede geliştirilmiş entegre model, temel olarak üç ana modülden oluşmaktadır:

- Ayrık seçim teorisine (*discrete choice theory*) dayalı hanehalkı ikamet yeri (ve eşanlı olarak) ulaşım seçim modülü;
- Hesaplanabilir genel denge (HGD) modülü;
- Ulaşım modülü.

Modelin genel yapısı, modüller ve bu entegre yapının gerektirdiği akım değişkenleri (modüller-arası ilişkileri kuran entegrasyon değişkenleri) Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Entegre modelin yapısı ve modeller-arası entegrasyonu sağlayan değişkenler

Burada **Ayrık Seçim Modeli**, temel olarak, belirli bir bölgede çalışan ve belirli bir gelir düzeyine sahip hanehalklarının konut yeri ve ulaşım modu tercihlerine göre bölgesel dağılımlarını hesaplamakta ve bu toplam değerleri **Hesaplanabilir Genel Denge Modeli** ve **Ulaşım Modeli** ile paylaşmaktadır. Ulaşım modeli, bu değerleri Çıkış/Variş noktası (*Origin-Destination - OD matrix*) matrisi olarak kullanmakta ve ulaşım tercihlerine göre bireyleri/haneleri, ulaşım ağındaki (kentin ulaşım 'network'ü) bağlantılara atamaktadır. Bu atama işlemi ulaşım ağındaki yoğunluğu ve dolayısıyla bölgeler-arası ulaşım sürelerini ve maliyetlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu değerler, **Ayrık Seçim Modeli** ve **Hesaplanabilir Genel Denge Modeli** içerisinde girdi olarak kullanılmaktadır. **Hesaplanabilir Genel Denge Modeli**, ise **Ayrık Seçim Modeli** ve **Ulaşım Modeli** aldığı değerleri de kullanarak ekonomideki genel fiyat düzeyleri ile hanelere göre harcama profillerini oluşturmaktadır.

3.1 Hanehalkı İkamet (Konut) Yeri ve Ulaşım Modu Seçimi (Ayrık Seçim Modülü)

Entegre modelin bu modülü, 'ayrık seçim teorisi'ne dayalı ikamet yeri ve ulaşım modu seçim modeli olarak tanımlanmıştır. Bu modül, ikamet yeri (i), işyeri (w), ulaşım modu (m) ve gelir düzeyi (g) verili bir hanehalkı için (bu projede her hanehalkı içinde en uzun yolculuk yapan birey üzerinden) belirli bir bölgede ikamet etme ve belirli bir ulaşım modu kullanma olasılıklarını belirlemektedir. Ayrık seçim teorisi, karar verici birimin fayda maksimizasyonu probleminden yola çıkarak, karar vericinin gözlemlenen ve gözlemlenemeyen bileşenlerini göz önünde bulunduracak şekilde verili sayıda alternatifler arasında seçim yapmasını modellemeye yarayan bir teodir (Lerman, 1975; McFadden, 1977).

Konut yeri (ikamet yeri) seçiminde ayrık seçim teorisi uygulamasının kavramsal çerçevesi buradaki seçimin verili alternatifler arasında en uygununun 'ayrık' (*discrete*) olarak değerlendirilmesini tanımlamaktadır (Train, 2009). Buna göre verili alternatiflerden, örneğin (i) alternatifinin seçilme olasılığı da *multinomial logit* (MNL) olasılıkları ile hesaplanmaktadır.

Konut yer ve ulaşım modu entegre problemini tanımlamak için literatürde kullanılan yöntemlerden biri koşullu olasılık teorisinden yararlanmaktadır. Buna göre, w işyeri ve g gelir düzeyi ile tanımlanan bir hanenin i konut yeri ile m ulaşım modu seçme olasılığı:

$$P_{w,g}(i,m) = P_{w,g}(i) \cdot P_{w,g}(m|i)$$

ile verilmektedir.

Bu çerçeveden yola çıkarak, hanehalklarının barınma ve diğer tüketimden elde ettikleri faydanın yanı sıra, konut yeri olarak seçtikleri bölgeden bir fayda elde ettikleri ve ev-iş arası

yolculuklar için harcanan zamandan dolayı da negatif fayda oluştuğu kabul edilirse kullanılan fayda fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$U_{iwmg}(d, c) = \underbrace{\left[\sum_{k=1}^n \alpha_{iwmg}^k c_{iwmg,k}^\rho + \alpha_{iwmg}^h d_{iwmg}^\rho \right]^{1/\rho}}_{V_{iwmg}} + \Psi_i - \gamma_{iwmg} \tau_{iwm} + \varepsilon_{iwmg} \quad (1)$$

Burada, hanehalklarının d alanında bir konut ve c miktarında tüketim harcaması yaptıkları kabul edilmektedir. Burada k parametresi sektörleri temsil ederken n de ekonomideki sektör sayısını vermektedir. Bu tüketim sonucunda CES fayda fonksiyonu formunda fayda sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda, belirli bir bölgede oturmaın Ψ_i büyüklüğünde fayda sağladığı ve ev-iş arası yapılan yolculukların da γ_{iwmg} ölçeğinde negatif fayda oluşturduğu kabul edilmektedir. Denklemden α paylaşım parametresidir. Konut ve tüketim harcamaları arasındaki ikame parametresi σ ve ρ arasındaki ilişki $\rho = (\sigma-1)/\sigma$ olarak ifade edilebilir.

Ayrık seçim teorisi en iyi alternatif uyarınca burada farklı alternatifler altında elde edilen fayda düzeyi, aynı zamanda $P_{w,g}(i, m)$ olasılıklarını bulmak için de kullanılabilir:

$$P_{w,g}(i, m) = \frac{e^{V_{iwmg}}}{\sum_j \sum_{m'} e^{V_{jwm'g}}} = \frac{\exp\left(\left[\sum_{l=1}^n \alpha_{iwmg}^l c_{iwmg,l}^\rho + \alpha_{iwmg}^h d_{iwmg}^\rho \right]^{1/\rho} + \Psi_i - \gamma_{iwmg} \tau_{iwm}\right)}{\sum_j \sum_{m'} \exp\left(\left[\sum_{l=1}^n \alpha_{jwm'g}^l c_{jwm'g,l}^\rho + \alpha_{jwm'g}^h d_{jwm'g}^\rho \right]^{1/\rho} + \Psi_j - \gamma_{jwm'g} \tau_{jwm'}\right)} \quad (2)$$

Buna göre, $N_{i,m}(w, g)$ w bölgesinde çalışan ve g gelir düzeyine sahip olanlar arasından i bölgesinde oturup m ulaşım modunu kullananların sayısını da bulmak mümkündür:

$$N_{i,m}(w, g) = P_{w,g}(i, m) \cdot N(w, g) = \frac{\exp\left[\left(\alpha_{iwmg} c_{iwmg}^\rho + \alpha_{iwmg}^h d_{iwmg}^\rho\right)^{1/\rho} - \gamma_{iwmg} \tau_{iwm}\right]}{\sum_{j \in L} \sum_{m' \in M} \exp\left[\left(\alpha_{jwm'g} c_{jwm'g}^\rho + \alpha_{jwm'g}^h d_{jwm'g}^\rho\right)^{1/\rho} - \gamma_{jwm'g} \tau_{jwm'}\right]} N(w, g) \quad (3)$$

Bu modül, gerek **HGD** gerekse **ulaşım modüllerine** girdi sağlayacak olan $N_{i,m}(w,g)$, i bölgesinde ikamet edip m ulaşım modunu kullanan hanehalklarının sayısını tespit edilebilir hale getirmiştir.

Ayrık seçim teorisine dayalı hane halkı konut yeri seçim modülünün temel çıktısı olan $N_{i,m}(w,g)$ değişkeni, entegre yaklaşımının ikinci modülünü oluşturan **HGD** ve **ulaşım modüllerine** girdi olarak kullanılacaktır

3.2 Hesaplanabilir Genel Denge Modülü

Bu modül entegre modelin genel makroekonomik çerçevesini tanımlayan modüldür. Burada öncelikle ikamet yeri (i), işyeri (w), ulaşım modu (m) ve gelir düzeyi (g) olan bir hane için tercihler ve fayda maksimizasyonu problemi CES (*constant elasticity of substitution*) fayda fonksiyonu üzerinden tanımlanmıştır. Fayda fonksiyonunun girdileri modelde her bir karar verici birimin talebini de oluşturacak olan toplam tüketim ve toplam barınma (*housing/dwelling*) talepleridir. BU doğrultuda aşağıda verilen şekilde bir problem tanımı yapmak mümkündür:

$$\max U_{iwmg}(d,c) = \left[\sum_{l=1}^n \alpha_{iwmg}^l c_{iwmg,l}^\rho + \alpha_{iwmg}^h d_{iwmg}^\rho \right]^{1/\rho} + \Psi_i - \gamma_{iwmg} \tau_{iwm}$$

bütçe kısıtı:

(4)

$$-M_{iwmg} + r_i d_{iwmg} + \sum_{l=1}^n p_l c_{iwmg,l} + \kappa_{iwm} \leq 0$$

Burada $\rho = (\sigma - 1)/\sigma$ ve σ tüketim ve konut talebi arasındaki ikame esnekliğini vermektedir. M hane gelirini, r birim konut kira değerini, p birim tüketim fiyatını ve κ da ulaşım giderlerini temsil eden değişkenlerdir. Modelde hanehalkları hem üretimde kullanılan toplam fiziksel sermayenin hem farklı bölgelerdeki verili konut stokunun sahibidir. Dolayısı ile toplam hanehalkı geliri:

$$M_{iwmg} = w_g + \delta e_{iwmg}^K + \sum_i r_i e_{iwmg}^H(i^i) \quad (5)$$

ifade edilmektedir. Denklemden w ücret gelirini, δ sermaye birim fiyatını ve e fiziksel sermaye ve konut sahipliği düzeylerini temsil etmektedir. Burada tanımlanan endeksler üzerinden ayrıştırılmış hanehalkları ücret, sermaye ve konut sahipliği dağılımları kullanılan veri seti aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda tanımlanan problemin çözümü her bir temsili hane için toplam tüketim ve barınma (konut) talebidir. Bu denklemler aşağıya aktarılmıştır. Bu taleplerin oluşmasında hanehalkı gelir düzeyinin yanında bütçe kısıtı ve göreceli fiyatlar rol oynamaktadır. Modelin kalibrasyon aşamasında, veride her bir tip hane için görülen tüketim ve konut talepleri ile fayda fonksiyonu parametreleri kalibre edilecektir.

$$c_{iwmg,l} = \left(\frac{\alpha_{iwmg}^l}{p_l} \right)^\sigma \frac{M_{iwmg} - \kappa_{iwm}}{\left(\alpha_{iwmg}^h \right)^\sigma r_i^{1-\sigma} + \sum_{l=1}^n \left(\alpha_{iwmg}^l \right)^\sigma p_l^{1-\sigma}} \quad \forall l \quad (6)$$

$$d_{iwmg} = \left(\frac{\alpha_{iwmg}^h}{r_i} \right)^\sigma \frac{M_{iwmg} - \kappa_{iwm}}{\left(\alpha_{iwmg}^h \right)^\sigma r_i^{1-\sigma} + \sum_{l=1}^n \left(\alpha_{iwmg}^l \right)^\sigma p_l^{1-\sigma}} \quad (7)$$

HGD modülünde arz yönünü oluşturan firmaların herhangi bir bölge/yer seçimi problemi çözmedikleri varsayılmıştır. Firmaların hanehalklarının sahip olduğu sermaye ve emek faktörlerini kullanarak aşağıda verilen katma değer üretim fonksiyonunu aracılığı ile faktör taleplerini yarattıkları varsayılmaktadır.

$$VA_l = v_l \cdot y_l = \phi_l \left(\beta_l K_l^{\frac{(\sigma-1)}{\sigma}} + (1-\beta_l) L_l^{\frac{(\sigma-1)}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{(\sigma-1)}} \quad (8)$$

HGD modülünün çözümü, hanehalkı **ayrık seçim modülünün** girdi olarak kullandığı tüketim (c) ve konut talebi (d) değişkenlerini vermektedir. Böylece entegre modelin bir parçası daha tanımlanmış/tamamlanmış olmaktadır (Şekil 2).

3.3 Ulaşım Modülü

Bu modülün tasarlanmasında alternatif ulaşım teorileri ve bu ulaşım probleminin farklı modelleme çerçeveleri altında temsiliyeti araştırılmış ve entegre modeldeki diğer modüllerin yapıları da göz önünde bulundurularak aşağıda çerçevesi sunulan yapı tasarlanmıştır. Bu yapı, temel olarak Wardrop (1952) prensipleri uyarınca oluşturulan optimizasyon problemini (*min z(x)* – toplam ulaşım süresinin minimizasyonu) entegre modelin diğer modülleri ile uyumlu bir eş-anlı denklem sistemine dönüştürmek üzerine kurulmuştur. Burada önerilen metod, oluşturulan OD matrisi üzerinde toplam talebin dengelenmesi amacını taşımaktadır. Buna göre, orijinal hali ile trafik atama problemi (*traffic assignment problem*),

- x_a : a linki üzerindeki ulaşım talebi,
 $ta(x)$: a linki üzerindeki trafikte geçen süreyi,
 $q(i,w)$: i (ikamet) bölgesi ile w (işyeri/çalışma) bölgesi arasındaki ulaşım talebi,
 $f(i,w)_{path}$: i (ikamet) bölgesi ile w (işyeri/çalışma) bölgesi arasındaki trafik akışı,
 $\Delta(i,w)_{a,path}$: i (ikamet) bölgesi ile w (işyeri/çalışma) bölgesi arasında ulaşım bağlantısı olup olmadığını gösteren parametre (1 varsa, 0 yoksa),

olmak üzere,

$$\begin{aligned}
 \min z(x) &= \sum_a \int_0^{x_a} A_a + B_a \left[\frac{x}{Q_a} \right]^4 dx \\
 s.t. & \\
 \sum_{path} f_{path}^{iw} &= q_{iw} \quad (f_{path}^{iw} \geq 0) \\
 x_a &= \sum_i \sum_w \sum_{path} f_{path}^{iw} \cdot \Delta_{a,path}^{iw}
 \end{aligned} \tag{9}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada A parametresi, herhangi bir trafik sıklığı yaşanmadığı durumda a linki üzerinde geçen süreyi vermektedir. B trafik sıklığını temsil eden parametre, Q da a linkinin kapasitesini göstermektedir. Problemdeki ilk kısıt, i ve w arasındaki toplam ulaşım talebini bu iki nokta arasında farklı patikalar üzerindeki toplam akışa eşitlemektedir. İkinci kısıt ise a linki üzerindeki toplam ulaşım talebinin farklı patikaların toplam ulaşım talebi ile tanımlanmaktadır.

Yukarıda tanımlanan optimizasyon probleminin diğer modeller ile entegrasyonu, bu problemin bir kullanıcı dengesi problemi olarak dönüştürülmesi ve daha sonra kullanılan bu kullanıcı dengesinin problemin çözümü olduğunun doğrulanması ile gerçekleştirilmektedir. Dönüştürülmüş problemin kullanıcı dengesi ise aşağıdaki koşullar ile tanımlanmaktadır:

- (i) i ve w bölgeleri arasında farklı patikalar üzerinden gerçekleştirilen trafik akışı bu iki bölge arasında (özel araç ile) seyahat eden sayısına eşittir;

$$\sum_{path} f_{path}^{iw} = q_{iw} \quad (f_{path}^{iw} \geq 0) \tag{11}$$

- (ii) i ve w bölgeleri arasında, bir patika üzerindeki linkleri (arc) kullanarak gerçekleştirilen toplam seyahat sayısı bu link üzerindeki toplam araç (talep) sayısına eşittir;

$$x_a = \sum_i \sum_w \sum_{path} f_{path}^{iw} \cdot \Delta_{a,path}^{iw} \quad (12)$$

- (iii) bir link üzerinde geçirilen seyahat süresi trafik sıklığından etkilenmektedir ve bu etki içbükey (convex) bir fonksiyon aracılığı ile temsil edilmektedir;

$$t_a = A_a + B_a \left[\frac{x_a}{Q_a} \right]^4 \quad (13)$$

- (iv) Bir patika üzerindeki toplam seyahat süresi bu patikayı oluşturan linkler üzerindeki seyahat süresi toplamına eşittir;

$$t_{path}^{iw} = \sum_a t_a \cdot \Delta_{a,path}^{iw} \quad (14)$$

- (v) Özel araçlar için ($m=1$), i ve w bölgeleri arasında bir patika kullanılıyorsa, bu patika üzerindeki seyahat süresi alternatif patikalar üzerindeki seyahat süresinden daha yüksek değildir:

$$t_{path=1}^{iw} = \sum_{path} \frac{t_{path}^{iw}}{\pi(i, w)} = \tau_{iwm} \quad (15)$$

Ulaşım modeli kent içindeki iki nokta arasında kullanılan yollar ve bu yolla üzerindeki trafik sürelerini verirken (özel araç için) toplam ulaşım maliyeti:

$$K_{iwm=1} = \left[C^f + \frac{\tau_{iwm=1} \cdot t_{100}^f}{\tau_{iwm=1} \cdot t_{100}^c} (C^c - C^f) \right] \cdot D_{iw} \cdot p^f \quad (16)$$

olarak hesaplanmaktadır (Treiber vd., 2008). Burada C^f trafik sıklığı olmadığı durumda toplam yakıt kullanımını, C^c referans trafik sıklığı düzeyi altında yakıt kullanımını, τ_{iwm} trafik sıklığı olmadığı durumda ulaşım süresini, t_{100}^f trafik sıklığı olmadığı durumda referans süreyi vermektedir. D_{iw} , i ve w arasındaki mesafeyi (km) ve p^f de birim yakıt fiyatını vermektedir. Böylece artan trafik sıklığının artan yakıt kullanımına yol açacağı göz önünde bulundurulmaktadır.

3.4 Model Entegrasyonu, Denge Tanımı

Yukarıda farklı modülleri açıklanan modelin tam entegrasyonu bu modüllerden ortaya çıkan seçim değişkenlerinin eşanlı bir denge oluşturacağı varsayımına dayanmaktadır (Şekil 2). Böylece, **ayrık seçim modeli**, belirli bir bölgede çalışan ve belirli bir gelir seviyesine sahip

insanların konut yeri ve ulaşım modu tercihlerine göre dağılımlarını ($N_{i,m}(w,g)$) hesaplamakta ve bu toplam değerleri **HGD** ve **ulaşım modeli** ile paylaşmaktadır. Ulaşım modeli, bu değerleri OD matrisi olarak kullanmakta ve ulaşım tercihlerine göre insanları, ulaşım ağındaki bağlantılara atamaktadır. Bu atama işlemi ulaşım ağındaki yoğunluğu ve dolayısıyla bölgeler arası ulaşım sürelerini (τ_{iwm}) ve maliyetlerini (κ_{iwm}) ortaya çıkarmaktadır. Bu değerler, **ayrık seçimi modeli** ve **HGD modeli** içerisinde girdi olarak kullanılmaktadır. **HGD**, ise **ayrık seçim modeli** ve **ulaşım modelinden** aldığı parametreleri de kullanarak ekonomideki hanelere göre harcama profillerini (c_{iwm} ve d_{iwm}) oluşturmaktadır. Buna göre entegre modelin denge koşullarını tanımlayan denklemler arasında,

i) Toplam kent içi mal üretim değeri (hasıla), toplam sermaye ve toplam emek piyasası ve toplam konut arz/talep dengeleri tanımlanmaktadır:

$$y = \sum_i \sum_w \sum_m \sum_g N_{i,m}(w,g) (c_{iwm} + \kappa_{iwm}) \quad (17)$$

$$K = \sum_i \sum_w \sum_m \sum_g N_{i,m}(w,g) \cdot e_{iwm}^K \quad (18)$$

$$L = \sum_i \sum_w \sum_m \sum_g N_{i,m}(w,g) \cdot e_{iwm}^L \quad (19)$$

$$\sum_w \sum_m \sum_g N_{i',m}(w,g) \cdot d_{i'wmg} = \sum_i \sum_w \sum_m \sum_g e_{iwm}^H(i') \quad \forall i' \quad (20)$$

ii) Toplam hane sayısı

$$N_i = \sum_m \sum_w \sum_g N_{i,m}(w,g) \quad \forall i \quad N = \sum_i N_i \quad (21)$$

olarak verilmektedir.

iii) i ve w noktaları arasında seyahat eden kişiler OD matrisindeki trafik talebini oluşturan kişilerdir:

$$\sum_g N_{i,m=i'}(w,g) = q_{iw} \quad (22)$$

4. BULGULAR: ULAŞIM POLİTİKALARININ ANALİZİ İÇİN MODELLEME ÇERÇEVESİ VE SENARYO ANALİZLERİ

Bu proje kapsamında yukarıda 3. Bölüm’de sunulduğu hali ile oluşturulan modellerin (modüller) entegrasyonu bu projenin literatüre en önemli katkılarından birini oluşturmaktadır. Bu kapsamda entegrasyon teknikleri, ilk olarak, büyük ve kontrolü oldukça güç olan gerçek veri seti (Londra) yerine oldukça küçük ölçekli bir prototip veri seti ve model üzerinde tasarlanmıştır⁷. Bu prototip model üzerindeki çalışmalar, büyük ölçekli model/veri seti ile çalışma ve senaryo analizleri tasarımı konusunda oldukça yol gösterici olmuştur. Bu projede ortaya konan entegre model çerçevesi, ulaşım politikalarının geniş ekonomik, sosyal ve coğrafi etkilerini ortaya koyması açısından metropol düzeyinde büyük ölçekli veri setleri ile çalıştırılıp kullanılabilecek bir çerçevedir.

4.1 Veri Setinin Oluşturulması, Kalibrasyon

Kent ölçeğinde tasarlanan ve heterojen hanehalkları seçimleri ile bu seçimlerin farklı politikalar altında nasıl şekillendiğini analiz edecek olan proje yoğun bir mikro-veri kullanımı gerektirmektedir. Çalışma kapsamında mümkün olduğu ölçüde, halihazırda yapılmış çalışmalar ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen mikro düzeyde verilerin kullanılması planlanmıştır. Bu nedenle, bu projede ele alınan kent Londra (metropol Londra – Greater London Area (GLA)) için farklı kaynaklardan ham veriler tedarik edilmiş ve kendi içinde tutarlı ve tasarlanan model çerçevesi ile uyumlu veri seti oluşturulmuştur.

Bölüm 3’de modülleri oluşturulan entegre model çerçevesinde, model yapısının gerektirdiği değişkenler ve bu değişkenlere karşılık gelen verilerin derlendiği kaynaklar Tablo 1’de özetlenmektedir.

Bu proje kapsamında kullanılan temel veri kaynağı olan London Travel Demand Survey (LTDS, 2014) toplam 3,436,927 hanehalkı verisini 8,190 farklı kategoriye ayıran bir ham veri setidir. Bu veriyi projede kullanılan diğer veri kaynakları ile tutarlı bir biçimde yeniden derlemek,

⁷ Burada oluşturulan prototip veri seti, aşağıda 4 bölgeli bir coğrafi birimi ve bu bölgeler arasındaki şekilde verilen ulaşım ağını temsil edecek şekilde hazırlanmıştır. Projenin bu bölümü ile ilgili detaylar ve prototip model üzerindeki senaryo analizlerine Proje Gelişme Raporu’nda (15/11/2017 - 15/11/2018 dönemi için) detaylıca yer verilmiştir.

tanımlanan bölgesel/gelir düzeyi kategorileri üzerinden toplulaştırmak vs. projenin en önemli iş paketlerinden biri olarak değerlendirilmiştir.

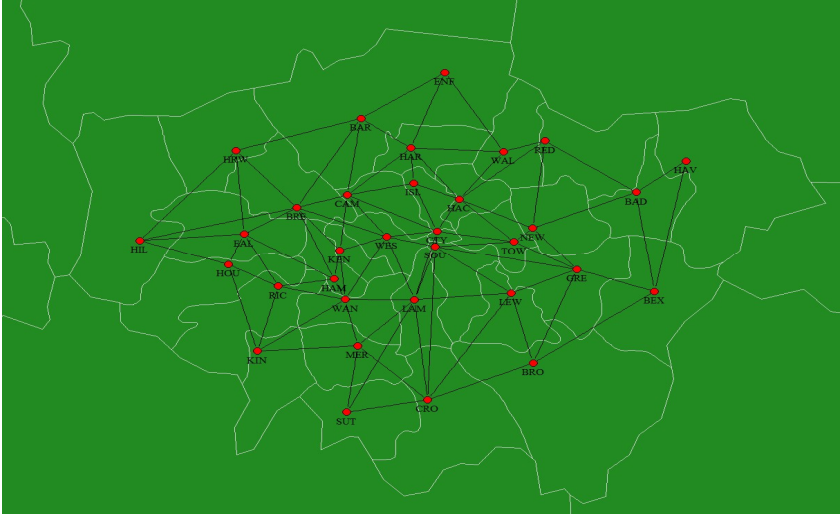
Tablo 1. Entegre modelde kullanılan değişkenler/veriler ve kaynakları

Hanehalkı – tanımlama kodu (posta kodu)	London Travel Demand Survey (LTDS 2014), Census 2011 (Tablo KS101EW)
Hanehalkı yerleşim bölgesi – posta kodu	LTDS 2014
Hanehalkı iş yeri bölgesi – posta kodu	LTDS 2014
Hanehalkı ulaşım modu	LTDS 2014
Hanehalkı – gelir düzeyi – tipi	LTDS 2014 (income), Census 2011 (Tablo QS611EW)
Hanehalkı yerleşim-işyeri ulaşım süresi (dakika)	LTDS 2014, Google Haritalar
Hanehalkı yerleşim-işyeri ulaşım mesafesi (km)	LTDS 2014, Google Haritalar
Yerleşim bölgesi birim kira düzeyi	Valuation Office Agency (VOA) Private Rental Market Statistics (2014)
Hanehalkı konut talep düzeyi (oda sayısı/konut büyüklüğü)	Census 2011 (Tablo QS407EW)
Ulaşım maliyeti (toplu taşıma)	Transport for London (TfL) Oyster Card Prices (2014)
Ulaşım maliyeti (özel araç)	Ek maliyet unsurları (otopark ücret vs.)

Bu çalışma sonucunda Londra metropol alanı (GLA) kapsamındaki veriler entegre model çerçevesi ile de uyumlu olarak,

- o i bölgesinde ikamet edip w bölgesinde çalışan (hanedeki en uzun mesafeyi kat eden birey için) m ulaşım modunu tercih eden ve g gelir düzeyine sahip hanehalkları kategorilerine ayrıştırılmıştır;
- o 33 ikamet-yerleşim / işyeri bölgesi tanımlanmıştır;
- o 2 ulaşım modu (özel ulaşım, toplu (kamu) ulaşım) tanımlanmış ve hane kullanımı bu modlar arasında kategorize edilmiştir;
- o 3 gelir düzeyi (AB-en yüksek gelir, C –orta gelir, DE – en düşük gelir) belirlenmiştir.

Burada oluşturulan 33 bölge (posta kodları üzerinden toplulaştırma yolu ile) merkezleri kullanılarak GLA ulaşım ağı elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Oluşturulan 33 bölge üzerinden geliştirilen Londra ulaşım ağı

Yukarıda tanımlanan kriterler, ikamet bölgesi (i), çalışma bölgesi (w), tercih edilen ulaşım modu (m) ve gelir düzeyine (g) göre ayrıştırılmış 6,534 farklı hanehalkı kategorisi tanımlamaktadır. Temsil edilen (GLA'da tanımlanan 33 bölgede ulaşım talebi oluşturan) 866,295 hanehalkının gelir kategorileri Census 2011 ile uyumlu olarak:

- AB (yüksek gelir), toplam 249,187 (%28,7)
- C (orta gelir), toplam 419,100 (%48,4)
- DE (düşük gelir), toplam 198,008 (%22,8)

ayrıştırılmıştır. Veriye göre ikamet yeri-işyeri ulaşımı için özel araç kullananların oranı %33, toplu yaşama kullananların oranı da %67'dir. Bu kullanım oranları, ele alınan metropolde kamu ulaşım politikalarının farklı bölgelerde yaşayan hanehalkları için oldukça önemli sonuçlar doğurabileceği bilgisini vermektedir. Oluşturulan ayrıştırma endeksleri (i, w, m, g) ile her bir hanehalkı kategorisi ve bu kategorinin toplam içindeki payları Tablo 2'de örnek olarak bir kesit verildiği şekilde düzenlenmiştir.

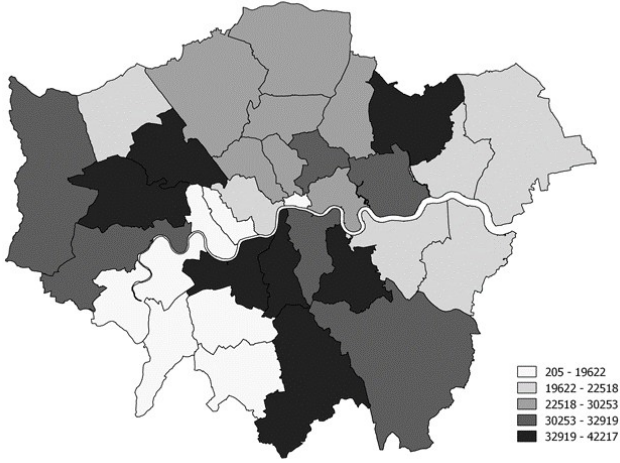
Tablo 2. Hanehalkı ayırıştırma/kategorizasyon kriterleri uyarınca veri düzenlemesi

home	work	hh_type	t_mode	t_dur	t_len	income	count
Barking and Dagenham	Barking and Dagenham	AB	1	18.60450161	2.970480386	124951.7685	1555
Barking and Dagenham	Barking and Dagenham	C	1	23.22742475	2.53669189	56972.199	2392
Barking and Dagenham	Barking and Dagenham	DE	1	24.38718663	6.67508078	12694.98607	359
Barking and Dagenham	Barking and Dagenham	C	2	20.38778878	1.107293729	37165.84158	606
Barking and Dagenham	Barking and Dagenham	DE	2	9.423347398	0.375216596	20203.93812	711
Barking and Dagenham	Brent	DE	1		45	28.394	30000
Barking and Dagenham	Camden	AB	1		75	16.178	125000
Barking and Dagenham	Camden	C	1	45.41570881	19.74790613	43764.36782	522
Barking and Dagenham	Camden	DE	1		60	18.194	22500
Barking and Dagenham	City of London	C	1	60.37333333	13.319856	61806.66667	375
Barking and Dagenham	City of London	DE	1	52.66666667	15.57766667	19166.66667	6
Barking and Dagenham	Ealing	C	1	77.85714286	22.75842857	51071.42857	7
Barking and Dagenham	Greenwich	C	1		44	16.096	42500
Barking and Dagenham	Hackney	C	1	47.34672304	13.17203876	62144.11557	1419
Barking and Dagenham	Hackney	DE	1	59.84722222	15.65243056	14305.55556	144
Barking and Dagenham	Hackney	DE	2		60	15.133	12500
Barking and Dagenham	Havering	AB	1	22.94117647	3.035705882	107352.9412	17
Barking and Dagenham	Havering	C	1	21.99334543	7.052740472	42530.24803	1653
Barking and Dagenham	Havering	DE	1		20	3.175141823	15539.07381
Barking and Dagenham	Hounslow	C	1		120	37.131	62500

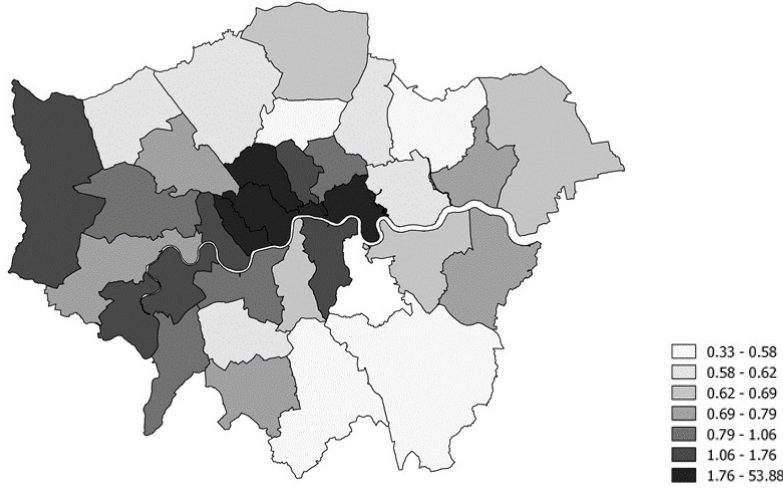
Derlenen verinin GLA üzerindeki mekânsal dağılımı bu projede oluşturulan model ve ortaya konacak analizler (senaryolar) açısından son derece önemlidir. Bu amaçla aşağıda Şekil 4-9'da örneklendiği gibi haritalandırma aracılığı ile GLA için entegre model gereksinimleri çerçevesinde oluşturulan değişkenler görselleştirilmiştir.

Buna göre Şekil 4, tanımlanan 33 bölge için ulaşım talebi oluşturan (konut/işyeri arasında seyahat eden) nüfus sayısını vermektedir. Bu değişken için bölgeler arasındaki farklılık, alternatif ulaşım politikalarının farklı bölgeler üzerinde farklı sonuçlar doğurabileceğinin ilk göstergelerindedir.

Tamamlamak için Şekil 5, her bölge için ikamet eden/çalışan nüfus oranını vermekte, böylece kabaca GLA için konut bölgeleri ve iş merkezleri ortaya konmaktadır.

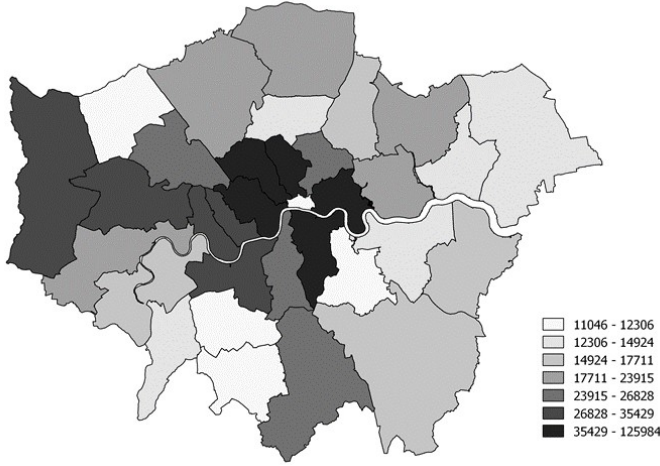


Şekil 4. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (ikamet edilen bölge, toplam ulaşım talebinde bulunan nüfus)



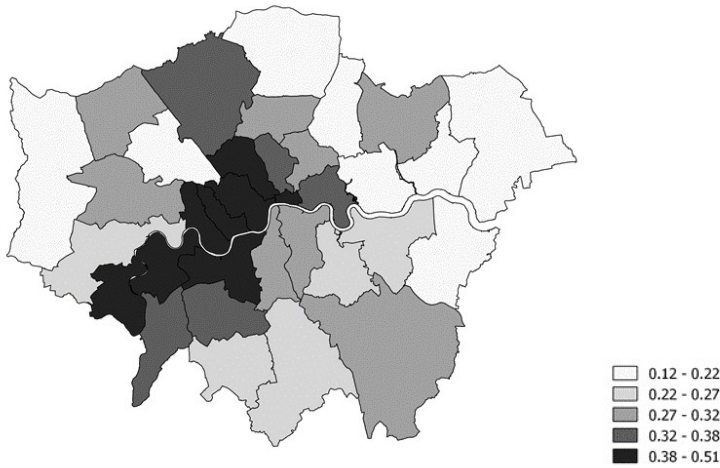
Şekil 5. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (ikamet eden nüfusun çalışan nüfusa oranı)

Şekil 5'de oran olarak sunulan bilginin detayı her bir bölgeye çalışmak amacı ile seyahat eden hanehalkı sayısının verildiği Şekil 6'da sergilenmektedir. Buna göre GLA için iş merkezi / konut bölgesi olarak tanımlanabilecek merkezlere çalışmak için ulaşım talebinde bulunan nüfus ortaya çıkmaktadır. Bu akım değişken ulaşım modelinin girdisi olarak ulaşım sürelerinin hesaplanmasında kritik olacaktır.

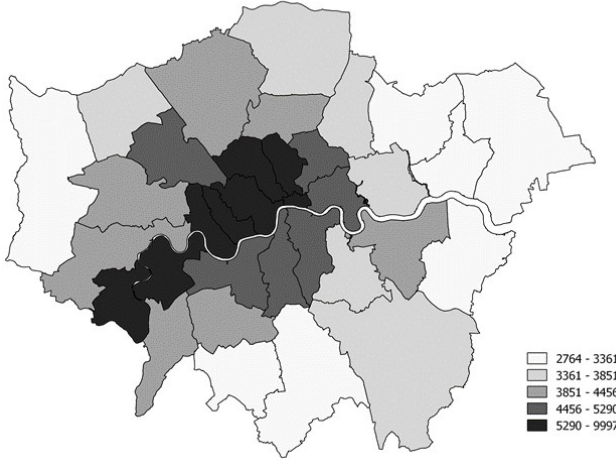


Şekil 6. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (işyeri bölgesi, toplam hanehalkı sayısı)

GLA hanehalklarının gelir düzeyine göre konut yer seçimini gösteren Şekil 7, aslen bu değişkende de mekânsal olarak önemli varyasyonlar oluştuğunu göstermektedir. Böylece örneğin, yüksek gelirli hanehalklarının ikamet tercih ettiği bölgeler veri ile ortaya konmaktadır. Bu veriler daha sonra modelde hanehalkları yer seçim ve HGD modellerinin kalibrasyonunda kullanılmaktadır. Tamamlayıcı olarak Şekil 8'de GLA'da tanımlanan 33 bölge için oda başına yıllık kira maliyetini vermektedir. Böylece farklı gelir düzeyindeki hanehalklarının herhangi bir politika karşısındaki yer seçim hareketlerini etkileyecek olan barınma maliyeti verisi baz senaryo (kalibrasyon) için ortaya çıkmaktadır. Elbette bu değişken hanehalkı yer seçim hareketleri ile entegre modelde arz/talep dengesine göre içsel belirlenecek değişkenlerden biri olacaktır.

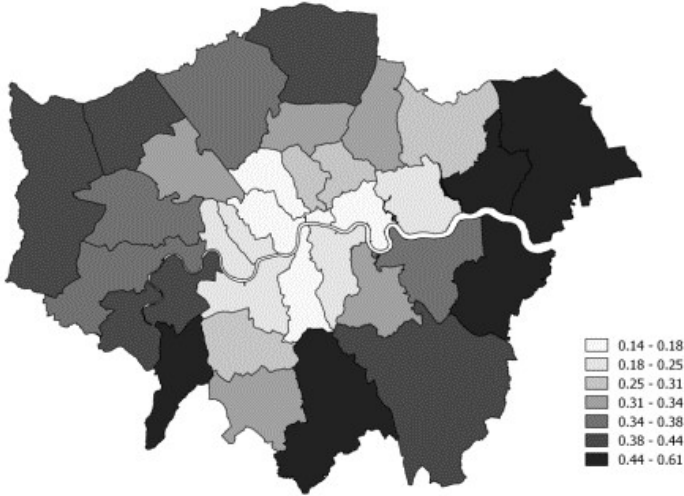


Şekil 7. Model veri altyapısı: hanehalklarının 33 bölgede dağılımı (yüksek gelirli hanelerin oranı)



Şekil 8. Model veri altyapısı: kira düzeyi (yıllık, oda başına)

Son olarak Şekil 9, GLA içinde tanımlanan 33 bölge için özel araç/toplu taşıma kullanım oranlarını vermektedir. Böylece GLA çevre bölgelerinde daha yoğun özel araç kullanımı tespit edilmekte, merkez bölgeler içinse daha yüksek oranda toplu taşıma hizmetlerinin tercih edildiği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 9. Model veri altyapısı (özel araç kullanım oranları)

4.2 Ulaşım Politikalarının Geniş Etkileri: Senaryo Analizi⁸

4.2.1 GLA İçin Toplu Taşıma Sisteminin İyileştirilmesi

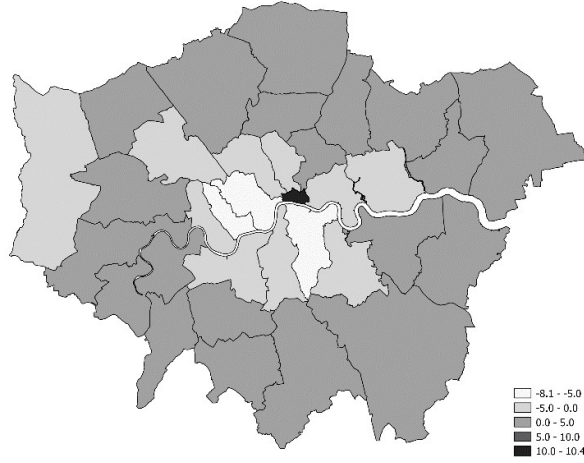
Bu bölümde bu proje kapsamında ortaya konan entegre modelin farklı senaryo analizleri için nasıl kullanılabileceğine dair örnekler verilecektir. Projenin bu aşamasında çalışılan ilk senaryo, Londra (GLA) için toplu taşıma sisteminin iyileştirilmesi (metro/otobüs BRT kapasite artırımı) ve bunun sonucunda şehir merkezindeki bölgelere (Kensington, Westminster, Southwark ve City) olan toplu taşıma sürelerinin yüzde 40 düzeyinde kısaltan bir senaryodur. Londra, şehir merkez trafiğindeki yoğunluk nedeni ile farklı politikaların ele alındığı ve zaman zaman uygulamaya konduğu (trafik sıkışıklığına karşın ücretli yol uygulaması – *congestion charging* gibi) bir metropoldür. Bu nedenle trafiğin yoğun olarak aktığı ve yoğun olarak iş merkezlerinin yer aldığı kent merkezine yönelik toplu taşıma sistemi iyileştirme çabalarının geniş etkilerinin analizini yapmak, modelin çalışma prensiplerini ve modüller arası etkileşimi anlamak açısından da önemli bir ilk adım olarak değerlendirilmelidir.

Çalışılan senaryonun sonuçları özet olarak Tablo 3'de sunulmaktadır. Şekil 10-12 ise senaryo sonuçlarının GLA haritası üzerinde mekânsal dağılımını sergilemektedir. Buna göre, GLA'nın 33 bölgesinde yaşayan hanelerin önemli bir kısmının işyeri bölgesi olarak seyahat etmek durumunda oldukları merkez bölgelere (bakınız Şekil 5 ve 6) toplu taşımanın kolaylaştırılması ve kapasite artırımı sonucunda ortaya çıkan süre kısaltmalarının önemli etkilerini görmek mümkündür. Bu etkilerin mekânsal ve hanehalkı düzeyinde farklılaşmış olması da ortaya konan entegre modelin işleyişi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. İşyerine seyahat eden bireyler için varış yerleri olan şehir merkezine ulaşım sürelerinin kısaltılması önemli (yeniden) yerleşim kararlarına yol açmaktadır. Özellikle merkez bölgelerde ikamet eden yüksek ve orta gelirli haneler merkezden çevre bölgelere yerleşme kararı almaktadır. Burada özellikle merkez Londra bölgelerinde (Kensington, Westminster and Southwark) konut talebi önemli ölçüde azalmaktadır. Bununla birlikte özellikle çok yüksek gelirli hanelerin tercihi olan City bölgesi için bir azalma söz konusu değildir. Dahası, toplu taşıma olanaklarındaki iyileşme bu bölgenin tercih edilirliliğini artırmaktadır (Tablo 3, Şekil 10).

⁸ Proje başvurusu kapsamında, projede incelenmesi planlanan Londra'da raylı sistemlerin kuzey-güney aksında birleştirilmesini amaçlayan *Crossrail 2* projesinin etkileri temel olarak proje araştırmacısı Özhan Yılmaz tarafından doktora tezi kapsamında çalışılmıştır. "Söz konusu doktora çalışması ile proje konusu arasındaki benzerliğin çeşitli açılardan ayrıca değerlendirilmesi" yorumu ışığında *Crossrail 2* projesinin etkileri için Yılmaz (2018) referans alınabilir.

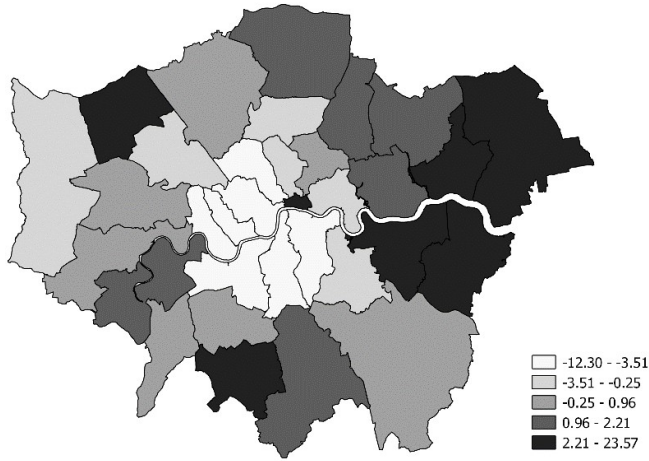
Tablo 3. Şehir merkezi yönünde toplu taşımanın iyileştirilmesi, genel sonuçlar (baz duruma göre yüzde değişim)

	Bölge	Toplu taşıma kullanımı	Emlak / konut fiyatı	Hanehalkı coğrafi dağılımı
1	Barking and Dagenham	6.99	3.53	1.83
2	Barnet	4.39	0.16	1.21
3	Bexley	14.66	5.47	4.15
4	Brent	1.30	-0.49	-0.02
5	Bromley	3.46	0.49	0.97
6	Camden	0.01	-3.80	-1.01
7	City of London	15.91	23.57	10.43
8	Croydon	4.87	1.10	1.33
9	Ealing	3.71	0.77	1.29
10	Enfield	3.80	1.18	1.35
11	Greenwich	6.26	3.03	2.81
12	Hackney	1.68	-0.23	0.53
13	Hammersmith and Fulham	0.55	-3.64	-2.67
14	Haringey	4.62	-0.52	0.94
15	Harrow	7.44	2.56	2.34
16	Havering	12.01	4.00	3.20
17	Hillingdon	-0.12	-0.31	-0.08
18	Hounslow	4.67	0.35	0.74
19	Islington	3.46	-3.29	-1.09
20	Kensington and Chelsea	-12.60	-12.30	-8.13
21	Kingston upon Thames	8.03	0.94	1.03
22	Lambeth	-1.18	-4.07	-2.49
23	Lewisham	1.67	-1.14	-0.30
24	Merton	3.69	0.76	1.41
25	Newham	-0.08	1.03	-0.36
26	Redbridge	3.79	1.65	2.04
27	Richmond upon Thames	6.30	1.30	2.26
28	Southwark	-2.83	-6.39	-5.58
29	Sutton	7.54	4.59	2.96
30	Tower Hamlets	-1.40	-2.46	-1.44
31	Waltham Forest	4.10	1.49	0.92
32	Wandsworth	1.25	-4.03	-1.42
33	Westminster	-7.83	-7.82	-8.06



Şekil 10. Şehir merkezi yönünde toplu taşımının iyileştirilmesi: nüfus değişimi (%)

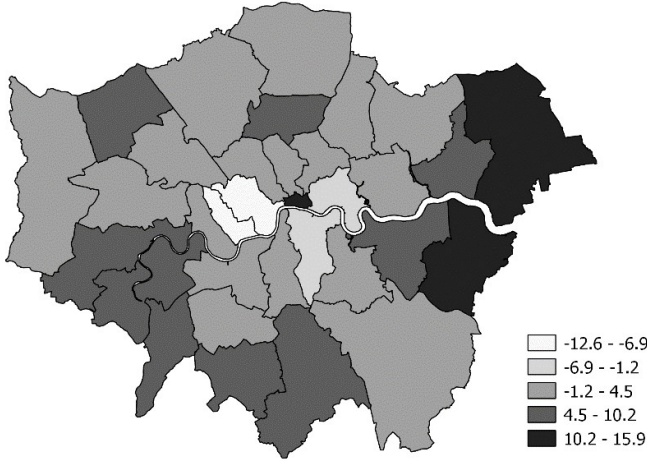
Şehir merkezinden çevre bölgelere olan yeniden yerleşme talebi şehir merkezindeki konut fiyatlarında azalmaya sebep olurken çevre bölgeler için, özellikle konut talebin arttığı bölgeler için (Bexley, Havery, Sutton) genel bir fiyat artışı söz konusudur. Özellikle yüksek gelirli hanelerin tercihi olan City'deki birim konut fiyatı artışı %23.6 civarındadır (Şekil 11).



Şekil 11. Şehir merkezi yönünde toplu taşımının iyileştirilmesi: konut fiyat değişimi (%)

GLA'nın 33 bölgesinde yaşayan hanelerin önemli bir kısmının işyeri bölgesi olarak seyahat etmek durumunda oldukları merkez bölgelere toplu taşımının kolaylaştırılması ve toplu taşıma sürelerindeki azalma GLA düzeyinde toplu taşıma kullanımını %1.43 düzeyinde (yaklaşık 12,360 kişi) artırmaktadır. Bununla birlikte bu artışın bölgesel dağılımı önemli farklılıklar

içermektedir (Şekil 12). Burada özellikle daha önce araç kullanama eğilimi gösteren orta gelirli hanelerin yaşadığı bölgelerde (Bexley, Havering) toplu taşıma kullanımındaki artışlar %10'ların üzerinde seyretmektedir. Bütçelerinin daha az bir kısmını ulaşıma ayıran bu haneler daha büyük konut talebi yaratmakta, bu da bu bölgelerde konut fiyat artışlarına sebep olmaktadır. (Şekil 11).



Şekil 12. Şehir merkezi yönünde toplu taşımanın iyileştirilmesi: toplu taşıma kullanımında değişim (%)

4.2.2 GLA Merkez Bölgeler İçin Konut Stoku Artışı

Bu proje kapsamında geliştirilen entegre model her ne kadar arazi kullanımı modülü (*land use module*) içermese de belirli düzeylerde arazi kullanımını temsil edebilecek senaryoların çalışılmasına da olanak sağlamaktadır. Bu kullanımı gösterebilmek için tasarlanan bir diğer senaryo, GLA merkez bölgelerinde (City, Southwark, Westminster) konut stok artışının (yaklaşık %30 düzeyinde) etkilerini analiz etmektedir. Bu senaryonun genel sonuçları Tablo 4'de özetlenmektedir.

Tablodan da izlenebileceği üzere GLA merkez bölgelerinde konut stok artışı bu bölgelere olan yerleşim talebini artırıcı bir etki yapmaktadır; zira bu bölgeler GLA'nın 33 bölgesinde yerleşik farklı hanehalkları için her gün seyahat (işyeri merkezi) etmek zorunda oldukları bölgelerdir. Bu bölgelerde yerleşim olanaklarının artması bu bölgelere olan hareketi hızlandırırken bu yeniden yerleşimin özellikle merkezin hemen dışında kalan (Kensington and Chelsea ve Greenwich) gibi bölgelerden kaynaklandığını tespit etmek gerekir. Bu yer değiştirme kararlarının fiyat etkileri bazı çevre bölgelere olan talebi de artırmaktadır (Harrow, Hounslow).

Bu çevre bölgelere yerleşenler de genellikle özel araç kullanımı görece yüksek orta gelirliler olduğu için bu bölgelerde özel araç/toplu taşıma kullanımları özel araç kullanım lehine değişmiş görünmektedir. GLA genelinde ise toplu taşıma kullanımı %1'in biraz altına artış göstermiştir.

Tablo 4. Şehir merkezi konut stok artışı, genel sonuçlar (baz duruma göre yüzde değişim)

	Bölge	Toplu taşıma kullanımı	Özel araç kullanımı	Emlak / konut fiyatı	Hanehalk ı coğrafi dağılımı
1	Barking and Dagenham	1.72	-1.28	-0.80	0.11
2	Barnet	-1.16	-0.06	-2.08	-0.77
3	Bexley	-3.26	1.88	-1.37	-0.43
4	Brent	-1.42	0.54	-1.72	-0.77
5	Bromley	-1.30	0.60	-1.70	-0.48
6	Camden	-1.16	-0.67	-1.98	-1.09
7	City of London	17.99	12.81	-13.91	17.19
8	Croydon	-1.92	0.99	-1.39	-0.60
9	Ealing	-1.17	0.30	-1.21	-0.63
10	Enfield	1.44	-0.30	-1.16	0.72
11	Greenwich	7.47	-20.58	-4.67	-2.70
12	Hackney	-1.22	0.77	-0.96	-0.65
13	Hammersmith and Fulham	-2.10	-0.52	-2.25	-1.73
14	Haringey	2.26	-12.72	-3.28	-2.43
15	Harrow	-5.89	16.01	0.75	2.41
16	Havering	-2.67	0.80	-0.87	-0.54
17	Hillingdon	0.74	-6.91	-4.06	-2.55
18	Hounslow	-12.28	32.99	7.65	4.73
19	Islington	-0.91	-1.03	-2.35	-0.94
20	Kensington and Chelsea	-0.89	-24.41	-4.87	-5.30
21	Kingston upon Thames	-1.54	2.41	0.23	0.50
22	Lambeth	0.01	-10.49	-2.21	-1.88
23	Lewisham	0.28	-5.85	-2.57	-1.61
24	Merton	3.37	-18.27	-3.50	-3.24
25	Newham	-1.70	4.95	-0.61	-0.47
26	Redbridge	6.34	-24.88	-4.26	-3.11
27	Richmond upon Thames	0.76	-0.99	-0.95	0.07
28	Southwark	26.84	-26.18	-16.15	13.58
29	Sutton	4.10	-12.94	-3.44	-1.61
30	Tower Hamlets	-1.21	-1.01	-2.61	-1.18
31	Waltham Forest	-1.09	-0.91	-2.09	-1.03
32	Wandsworth	-0.13	-2.82	-2.04	-0.80
33	Westminster	15.23	17.46	-9.93	15.53

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ulaşım, ulaşım politikaları ve bağlı sektörlerin (arazi kullanımı) etkileşimlerinin analizi kent çalışmaları içinde önemli yer tutmaktadır. Ulaşım politikaları kent içinde konut/işyeri olarak kullanılabilen farklı bölgelerin erişimini değiştirmekte, böylece hanelerin de farklı bölgeler ve farklı ulaşım modlarına (toplu taşıma) taleplerini etkilemektedir. Değişen bu talepler piyasa fiyatlarına ve yeniden ulaşım değişkenlerine (ulaşım süreleri) yansımaktadır. Tüm bu etkileşimlerin bir modelleme çerçevesi altında eşanlı olarak temsili ve analizi ulaşım politikalarının geniş etkilerini kavrayabilmek açısından önemlidir.

Bu proje kapsamında yukarıda değinilen kompleks etkileşimleri temsil edebilecek ve alternatif politikaların geniş etkilerini eşanlı olarak takip etmeye yarayacak bir entegre model geliştirilmiştir. Modelin politika analizi için kullanımına örnek uygulamaları da modelin talep ettiği yoğun mikro veri setinin ham veri üzerinden derlenebildiği Londra (GLA) üzerinde seçilmiş senaryo analizleri üzerinden takip edilmiştir. Burada ele alınan senaryo analizleri, toplu taşıma sisteminin iyileştirilmesinin geniş sosyo-ekonomik etkileri ve konut stok artışının etkilerini ele almaktadır.

Bu projenin temel amacı olan alternatif ulaşım ve arazi kullanımı politikalarının analizinde karar vericilere bir destek sistemi olarak kullanılabilen bir entegre modelleme çerçevesi tasarlanmasının hayata geçirilmesi bundan sonraki çalışmalar için de önemli bir altyapı oluşturmaktadır. Bu çerçevede,

- Var olan entegre model çerçevesinde ele alınan kent (Londra) için daha detaylı ve gerçekçi senaryoların tasarlanması (örneğin Londra merkez bölgeleri için uygulamaya konmuş olan trafik sıklığı/yol kullanımının ücretlendirilmesi – *congestion charging* ya da Londra için tasarlanan *Cross Rail 2* gibi büyük altyapı projelerinin detaylı analizi) bir sonraki aşama için birincil önceliktir.
- Bu proje çalışması sürecinde ortaya çıkan ve entegre modelin önemli bir parçasını oluşturacağı düşünülen, alternatif projelerin farklı finansman yöntemleri ile (yaygın vergi, ulaşım ücretlerinin artması, akaryakıt vergilendirmesi, merkezi bütçe finansmanı gibi) karşılanmasının temsil edildiği bir finans modülü geliştirilmesi önemli görünmektedir. Böylece büyük ulaşım projelerine farklı finansman yöntemleri altında kamuoyu desteği analiz edilebilecektir.

- Bu proje sürecinde ayrıca çalışılmaya başlanan her hanede en uzun yolculuğu yapan kişinin verileri üzerinden tasarlanan yer/ulaşım modeli seçim modülü yerine bir hane-içi “kolektif seçim problemi” (Tscharaktschiew ve Georg, 2009) modellenmesine devam edilmektedir. Bu modelleme çalışması her hanede farklı nedenler ile seyahat eden (işe ya da okula ulaşım gibi) bireylerin temsil edilebilmesine olanak verecektir.
- Benzer bir şekilde farklı bölgelerin tercih parametrelerinin hanehalkı türüne göre farklılaştırılması (örneğin görece yaşlı bireylerden oluşan hanelerin hastane alış-veriş bölgelerine yakın olmak istemeleri ya da görece çok çocuklu hanelerin okula yakın konut alanlarını tercih etmeleri gibi) hane düzeyinde heterojenliğin daha iyi temsil edilmesini sağlayabilecektir.
- Bu proje, modelin gerektirdiği geniş mikro-veri setinin ham verilerden derlenebildiği Londra üzerinden uygulama örnekleri tasarlamıştır. Projede oluşturulan entegre modelin kalibrasyonu ve senaryo analizi model çerçevesinin gerektirdiği veri seti üzerindeki hakimiyetimizi artırmıştır. Bu noktada örneğin Türkiye’deki bir kent için olası ulaşım politikası analizi uygulaması için gerekli veriler tam olarak anlaşılmıştır.

Bu projede geliştirilen entegre modelleme çerçevesi potansiyel olarak kent içi ulaşım politikalarının hanehalkı (ve daha geliştirilmiş bir modelde firma) kararlarına etkilerinin detaylı analizine olanak vermektedir. Bu proje ile ortaya konan modelleme çerçevesinde,

- Ücretlendirme politikaları (trafik sıkışıklığı ücretlendirme sistemleri (*congestion charge*), vergi değişiklikleri vb.),
- Arazi kullanım politikalarında değişiklikler (arazi kullanım modülü ve inşaat sektörü oluşturulması durumunda),
- Nüfus hareketlerinde, başta göç olmak üzere, yaşanan değişimlerin ekonomi, ulaşım ve arazi kullanımı üzerine etkileri,

gibi analizler gerçekleştirmek bu çalışmanın sonraki aşamalarını oluşturacaktır.

6. KAYNAKÇA

- Anas, A. 1982. Residential Location Markets and Urban Transportation. Londra: Academic Press.
- Anas, A., Kim, I. 1996. "General equilibrium models of polycentric urban land use with endogenous congestion and job agglomeration", *Journal of Urban Economics*, 40, 232-256.
- Anas, A., Xu, R. 1999. "Congestion, land use, and job dispersion: a general equilibrium model", *Journal of Urban Economics*, 45, 451-473.
- Anas, A., Liu, Y. 2007. "A regional economy, land use, and transportation model (RELU-TRAN): formulation, algorithm design, and testing", *Journal of Regional Science*, 47 (3), 415-455.
- Anas, A. 2013a. "A summary of the applications to date of RELU-TRAN, a Microeconomic urban computable general equilibrium model", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40, 959 – 970.
- Anas, A. 2013b. "Congestion and metropolitan development", Konferans Yayını, Twelfth Annual International Conference "Economy and Geography", The Leontief Center, St. Petersburg, Russia, Şubat 14-16.
- Anas, A., Hiramatsu, T. 2012. "The effect of the price of gasoline on the urban economy: from route choice to general equilibrium", *Transportation Research Part A*, 46, 855-873.
- Anas, A., Hiramatsu, T. 2013. "The economics of cordon tolling: general equilibrium and welfare analysis", *Economics of Transportation*, 2, 18–37.
- Bröcker, J. 1998. "Operational spatial computable general equilibrium modelling", *The Annals of Regional Science*, 32, 367–387.
- Bröcker, J. 2002. "Passenger flows in CGE models for transport project evaluation", Konferans Yayını, ERSA Congress 2002, Dortmund, Ağustos.
- Bröcker, J., Mercenier J. 2011. "General equilibrium models for transportation economics". *A Handbook of Transport Economics*. Editörler de Palma, C., Lindsey, E. Quinet, R. Vickerman. Edward Elgar Publishing.
- Bröcker, J. 2004. "Computable general equilibrium analysis in transportation economics". *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*. Editörler Hensher, D.A., Button, K.J., Haynes, K.E., Stopher, P.R. Amsterdam: Elsevier.
- Bröcker, J., Capello, R., Lundquist, L., Pütz, T., Rouwendal, J., Schneekloth, N., Spairani, A., Spangenberg, M., Spiekermann, K., Vickerman, R. and Wegener, M., 2005. ESPON 2.1.1: Territorial Impacts of EU Transport and TEN Policies, Final Report: Final results of the project conducted within the framework of ESPON 2000-2006 program, Luxembourg.
https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/3.ir_2.1.1_0.pdf
- Conrad, K. 1997. "Traffic, transportation, infrastructure and externalities – A theoretical framework for CGE-analysis", *The Annals of Regional Science*, 31, 369–389.
- Conrad, K., Heng S. 2002. "Financing road infrastructure by savings in congestion costs: A CGE analysis", *The Annals of Regional Science*, 36, 107–122.
- Ginsburgh V., Keyzer M. 1997. *The Structure of Applied General Equilibrium Models*, Cambridge, MA: MIT Press.

Horridge, M. 1994. "A computable general equilibrium model of urban transport demands", *Journal of Policy Modeling*, 16 (4), 427-457.

Kim, E., Hewings G.J.D. 2003. "An application of integrated transport network – multiregional CGE framework II: calibration of network effects of highway", REAL Discussion Paper 03-T-24, Urbana, Illinois.

Kim, E., Hewings G.J.D., Hong C. 2004. "An application of an integrated transport network-multiregional CGE model: A framework for the economic analysis of highway projects", *Economic Systems Research*, 16(3), 235–258.

Knaap, T., Oosterhaven, J. 2000. "The welfare effects of new infrastructure: an economic geography approach to evaluating a new Dutch railway link", Konferans Yayını, North American RSAI Meetings, Chicago.

Knaap, T., Oosterhaven, J. 2011. "Measuring the welfare effects of infrastructure: a simple spatial equilibrium evaluation of Dutch railway proposals", *Research in Transportation Economics*, 31, 19-28.

Lerman, S. R. 1975. A Disaggregate Demand Model of Urban Mobility Decisions. Doktora tezi, Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

Magnani, R., Mercenier, J. 2009. "On linking microsimulation and computable general equilibrium models using exact aggregation of heterogeneous discrete-choice making agents", *Economic Modelling*, 26, 560–570.

Mayeres, I., Proost S. 2001. "Marginal tax reform, externalities and income distribution", *Journal of Public Economics*, 79(2), 343–363.

Mayeres, I., Proost, S. 2004. "Testing alternative transport pricing strategies: a CGE analysis for Belgium", Konferans Yayını, Input-Output and General Equilibrium: Data, Modeling and Policy Analysis, Brussels, 2-4 Eylül 2004.

McFadden, D. 1977. "Quantitative methods for analyzing travel behaviour of individuals: some recent developments," Cowles Foundation Discussion Papers 474, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.

Munk, K.J. 2003. *Computable General Equilibrium Models and their Use for Transport Policy Analysis*, Danmarks TransportForskning (DTF): Lyngby, Denmark.

Oosterhaven, J., Knaap, T. 2003. "Spatial economic impacts of transport infrastructure investments", *Transport Projects, Programmes and Policies: Evaluation Needs and Capabilities*. Editörler: Pearman, A., P. Mackie, J. Nellthorp. Ashgate, Aldershot.

Peichl, A. 2008. "The benefits of linking CGE and microsimulation models: evidence from a flat tax analysis", IZA DP No.3715.

Robiliard, A.S., Bourguignon, F., Robinson, S. 2001. "Crisis and income distribution: a micro-macro model for Indonesia", Technical report, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.

Robson, E., Dixit, V. 2015. "A review of computable general equilibrium modelling for transport appraisal", Konferans Yayını, Conference of Australian Institutes of Transport Research 2015. University of Melbourne, 12–13 Şubat 2015.

Rutherford, T. F., Van Nieuwkoop, R. 2011. "An integrated transport network - computable general equilibrium models for Zurich". Konferans Yayını. Swiss Transport Research Conference. Zurich: Center for Energy Policy and Economic, Department of Management, Technology and Economics, ETH.

Sato, T., Hino, S. 2005. "A spatial CGE analysis of road pricing in the Tokyo metropolitan area", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 608 – 623.

Shoven J.B., Whalley J. 1984. "Applied general equilibrium models of taxation and international trade: An introduction and survey", *Journal of Economic Literature*, 22, 1007–1051.

Tavasszy, L.A., Burgess A., Renes G. 2004. Final publishable report: Conclusions and recommendations for the assessment of economic impacts of transport projects and policies, IASON (Integrated Appraisal of Spatial Economic and Network Effects of Transport Investments and Policies), Deliverable D10, Funded by 5th Framework RTD Programme, TNO Inro, Delft, Netherlands, Mart 2004.

Train, K. 2009. *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press: Cambridge.

Treiber, M., Kesting, A., Thieman, C. (2008) "How much does traffic congestion increase fuel consumption and emissions? applying fuel consumption model to NGSIM trajectory data". Konferans Yayını, Transportation Research Board 87th Annual Meeting, Washington DC, United States, Ocak 2008.

Truong, T. P., Hensher, D. A. 2012. "Linking discrete choice to continuous demand within the framework of a computable general equilibrium model", *Transportation Research Part B*, 46, 1177-1201.

Tscharaktschiew, S., Georg H. 2009. "An urban general equilibrium model with multiple household structures and travel mode choice," Dresden Discussion Paper Series in Economics 06/09, Technische Universität Dresden, Faculty of Business and Economics, Department of Economics.

Verikios, G. , Zhang, X-G. 2015. "Reform of Australian urban transport: a CGE-microsimulation analysis of the effects on income distribution", *Economic Modelling*, 44, 7–17

Wardrop, J. G. 1952. "Some theoretical aspects of road traffic research", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 325-362.

Yılmaz, Ö. 2018. *Evaluating Wider Impacts of Transport Using an Integrated Urban CGE Model*. Doktora Tezi, Orta Doğu teknik Üniversitesi.

Zhu, J., Jin, Y. Echenique, M. 2012. "Application of a new spatial computable general equilibrium model for assessing strategic transport and land use development options in London and surrounding regions", Konferans Yayını, ERSA Congress 2012, Bratislava, Ağustos 2012.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. EBRU VOYVODA
Proje No:	117K243
Proje Başlığı:	Ulaşım Politikalarının Geniş Ekonomik Etkileri: Kent Ölçeğinde Bir Uygulama
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	16
Araştırmacılar:	ÖZHAN YILMAZ
Danışmanlar:	İŞİL EROL
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ORTA DOĞU TEKNİK Ü.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/11/2017 - 15/05/2019
Onaylanan Bütçe:	180599.0
Harcanan Bütçe:	118471.25
Öz:	<p>Bu çalışmanın amacı ulaşım politikalarının uzun vadeli etkilerinin sosyal, ekonomik ve coğrafi farklılıkları dikkate alacak şekilde değerlendirilmesi amacıyla yenilikçi bir modelleme yaklaşımı geliştirmektir. Bu yeni yaklaşım, farklı bireylerin/hanelerin arasındaki heterojenliği ve bu bireylerin/hanelerin politikalar sonucu oluşan davranışsal değişimleri kavrayabilmek amacıyla da içermektedir. Bu çerçevede, bu projede hanehalklarının farklı özelliklerine göre kurgulanan bir ekonomik model (uygulanabilir genel denge modeli), ayrık seçim teorisine dayalı konut yeri ve ulaşım modu seçim modeli ve Wardrop'un birinci prensibine dayalı bir ulaşım model entegre edilmektedir. Çalışma sonucunda ortaya konan model bireylerin kentsel bölgelerdeki hareketlerini etkileyen her alternatif politika değişikliklerinin (altyapı ve toplu taşıma projeleri) etkilerini farklı gruplar için ortaya koyabilmektedir.</p> <p>Bu açıdan bakıldığında, önerilen model, büyük metropoller için kritik öneme sahip olan alternatif ulaşım politikalarının tespitinde ve uygulamasında etkin bir karar destek aracı olarak kullanılabilir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Ulaşım Politikası, Hesaplanabilir Genel Denge, Ayrık Seçim Teorisi, Konut Yeri Seçimi, Ulaşım Modeli
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Evet