

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DA İKİ YAKA ARASINDAKİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA DENİZ
ULAŞIMININ PAYININ AYRIK SEÇİM MODELİYLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KAYA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

EYLÜL 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DA İKİ YAKA ARASINDAKİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA DENİZ
ULAŞIMININ PAYININ AYRIK SEÇİM MODELİYLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet KAYA
(501211405)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT

EYLÜL 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**ANALYSIS OF THE SHARE OF MARITIME TRANSPORT IN URBAN
FREIGHT TRANSPORTATION FOR ISTANBUL USING DISCRETE
CHOICE MODELS**

M.Sc. THESIS

**Mehmet KAYA
(501211405)**

Department of Civil Engineering

Transportation Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT

SEPTEMBER 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501211405 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet KAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İSTANBUL’DA İKİ YAKA ARASINDAKİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA DENİZ ULAŞIMININ PAYININ AYRIK SEÇİM MODELİYLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Göker AKSOY
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Eylül 2024**
Savunma Tarihi : **10 Eylül 2024**





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam kapsamında İstanbul’da şehir içi yük taşımacılığı için karayolu ulaşımı ve deniz taşımacılığının payı incelenmiş, yük taşıtı sürücülerinin tür seçimi için genel algıları ölçülmüştür. Kent içi yük taşımacılığında denizyolunun payının artırılması sürdürülebilir bir ulaştırma sistemine katkıda bulunacaktır.

Öncelikle tez çalışmamın her aşamasında bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT’e, tez konum ve ulaştırma mühendisliği ile ilgili olan tüm sorularımı sabırla cevaplayan Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

Tez çalışmamda kullandığım verilerin kaynağı olan Şehir içi yük taşımacılığında deniz ulaşımın payı araştırma anketini uyguladığım Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı’nın işletimini yürüten İstanbul Deniz Otobüsleri Anonim Şirketine ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı’nın işletimini yürüten İstanbul Şehir Hatları A.Ş.’ye teşekkür ederim.

Eylül 2024

Mehmet KAYA
(Araştırma Görevlisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. YÖNTEM.....	13
3.1 Ayrık Seçim Modelleri	14
3.2 Rastgele Fayda Teorisi	15
3.2.1 Belirlenimsel seçim yaklaşımı	16
3.2.2 Olasılıksal seçim yaklaşımı.....	17
3.3 Lojit Modelde Seçim İçin Olasılık Hesabı	18
3.4 İkili Lojit Model	19
3.5 Katsayıların Kestirimi	19
3.6 Model Başarımının Değerlendirmesi	20
4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ TANITIMI.....	23
4.1 Çalışma Alanı	23
4.2 İstanbul Şehir İçi Yük Taşımacılığında Deniz Ulaşımının Payı Araştırma Anketi	26
5. ÇÖZÜMLEME.....	43
5.1 Tür Seçim Modeli.....	43
5.2 Senaryo Çözümlemesi	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	61



KISALTMALAR

β_0	: Sabit
P_D	: Deniz ulaşım türünün seçilme olasılığı
P_K	: Karayolu ulaşım türünün seçilme olasılığı
U_D	: Deniz ulaşım türü fayda fonksiyonu
U_K	: Karayolu ulaşım türü fayda fonksiyonu
β_{MV}	: Arabalı vapur için geçiş ücreti katsayısı
β_{MY}	: Arabalı vapur için geçiş ücreti dışındaki maliyet katsayısı
β_{SD}	: Deniz ulaşımı için süre katsayısı
β_{MK}	: Karayolu için maliyet katsayısı
β_{SK}	: Karayolu için süre katsayısı
MV	: Arabalı vapur için geçiş ücreti değişkeni
MY	: Arabalı vapur için geçiş ücreti dışındaki maliyet değişkeni
KU	: Köprü geçiş ücreti
OU	: Otoyol geçiş ücreti (Eğer geçki, ücretli otoyol kesiminden geçiyorsa)
YU	: Yol uzunluğu
$Y/100KM$	: Taşıt sınıfına göre 100 KM’de tüketilen yakıt
S	: Türün yolculuk süre değişkeni
MK	: Karayolu maliyet değişkeni



SEMBOLLER

U_{ij}	: i'nci bireyin j'nci seçeneği seçimi sonucu elde ettiği fayda
$-2LL$	: -2 log-olabilirlik istatistiği
$LL(\beta)$	: Log-olabilirlik fonksiyonu
χ^2	: Ki-kare istatistiği değeri
ρ^2	: Sanal R^2 değeri



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1: Taşıt sınıfları.	24
Çizelge 4.2: Geçiş ücretleri (TL).	26
Çizelge 4.3: Arabalı vapur hatlarına göre kullanıcı değerlendirmeleri.....	27
Çizelge 4.4: Tür seçim verileri.	28
Çizelge 4.5: Sirkeci-Harem Hattı anket verileri için başlangıç bitiş matrisi.....	29
Çizelge 4.6: İstinye-Çubuklu Hattı anket verileri için başlangıç bitiş matrisi.	31
Çizelge 4.7: İlçe bölgelemesi.	33
Çizelge 4.8: İlçe bölgelemesi denizyolu yolculuk başlangıç bitiş matrisi.	34
Çizelge 4.9: İlçe bölgelemesi karayolu yolculuk başlangıç bitiş matrisi.	35
Çizelge 4.10: İlçe bölgelemesi toplam yolculuk başlangıç bitiş matrisi.....	35
Çizelge 4.11: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 1.	36
Çizelge 4.12: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 2.	36
Çizelge 4.13: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 3.	36
Çizelge 4.14: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 4.	36
Çizelge 4.15: İlçe bölgelemesi denizyolu artırılmış yolculuk başlangıç bitiş matrisi.	37
Çizelge 4.16: İlçe bölgelemesi karayolu artırılmış yolculuk başlangıç bitiş matrisi.	37
Çizelge 4.17: İlçe bölgelemesi artırılmış toplam yolculuk başlangıç bitiş matrisi. ...	38
Çizelge 4.18: Çoğaltılmış veri.	38
Çizelge 4.19: Denizyolu yolculuk süreleri Avrupa'dan Asya'ya (dk).	39
Çizelge 4.20: Denizyolu yolculuk süreleri Asya'dan Avrupa'ya (dk).	39
Çizelge 4.21: Karayolu yolculuk süreleri Avrupa'dan Asya'ya (dk).	39
Çizelge 4.22: Karayolu yolculuk süreleri Asya'dan Avrupa'ya (dk).	40
Çizelge 4.23: Denizyolu yolculuk maliyeti Avrupa'dan Asya'ya (TL).	40
Çizelge 4.24: Denizyolu yolculuk maliyeti Asya'dan Avrupa'ya (TL).	41
Çizelge 4.25: Karayolu yolculuk maliyeti Avrupa'dan Asya'ya (TL).	41
Çizelge 4.26: Karayolu yolculuk maliyeti Asya'dan Avrupa'ya (TL).	42
Çizelge 5.1: Tür seçim modeli sonucu.	44
Çizelge 5.2: Denizyolu seçim olasılığı Avrupa'dan Asya'ya (%).	45
Çizelge 5.3: Denizyolu seçim olasılığı Asya'dan Avrupa'ya (%).	46
Çizelge 5.4: İndirimli geçiş ücretleri.	47
Çizelge 5.5: %50 İndirim için denizyolu seçim olasılığı Avrupa'dan Asya'ya (%).	47
Çizelge 5.6: %50 İndirim için denizyolu seçim olasılığı Asya'dan Avrupa'ya (%).	47
Çizelge 5.7: İndirimli geçiş ücretleri için denizyolu ve karayolunun ortalama seçilme olasılıkları.	48



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1: Belirlenimsel seçim grafiği.	17
Şekil 4.1: İstanbul Mülki İdare İl Haritası.	23
Şekil 4.2: Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı.	25
Şekil 4.3: İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı.	25
Şekil 4.4: İlçe bölgelemesi.	34
Şekil 5.1: Denizyolu talep eğrisi	49





İSTANBUL'DA ŞEHİR İÇİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA DENİZ ULAŞIMININ PAYININ AYRIK SEÇİM MODELLERİYLE İNCELENMESİ

ÖZET

Yük taşımacılığı, ticari malların veya kargonun bir noktadan başka bir noktaya karayolu, demiryolu, havayolu veya deniz ulaşımı ile taşınması anlamına gelmektedir. Artan kentsel nüfus, şehir içi yük taşımacılığını daha önemli hale getirmiştir. Yük taşımacılığının gerektirdiği ağır taşıtlar, kirlilik ve kazalar gibi çeşitli çevresel sorunlara yatkın olduklarından, mevcut trafik sorununun ana bileşenlerinden biridir.

15 milyonu aşan kentsel nüfusu, sanayi ve ticaret gibi sayısız tesisleriyle İstanbul, kentsel yük taşımacılığı için dikkate değer bir konumdadır. İki kıtadan oluşan İstanbul, 25'i Avrupa, 14'ü Anadolu Yakası'nda olmak üzere toplam 39 ilçeye sahiptir. Şehrin ticari ve coğrafi dağılımı nedeniyle, birçok yük taşımacılığı, şehrin ana bileşenlerinden biri olan İstanbul Boğazı'ndan geçmek zorundadır. Boğaz'dan geçen yük taşıtları, yalnızca trafik yoğunluğunu artırmakla kalmayıp, önemli dışsal etkiler de içermektedir. Ayrıca köprü ve tünel geçişleri, taşıt sınıfına göre kısıtlamalar içermektedir. Örneğin, 1. ve 2. sınıf taşıtlar 15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nden geçebilirken, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nden tüm kamyon ve otobüsler hariç 1. ve 2. sınıf taşıtlar geçebilmektedir. Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nde kısıtlama olmayıp tüm motorlu taşıt sınıfları geçebilir. Avrasya Tüneli'nden ise yalnızca 1. sınıf taşıtlar geçebilir. Taşıt sınıfına dayalı geçiş kısıtlamalarının nedeni, yük taşımacılığının kentsel trafik üzerindeki etkisini azaltmaktır. Yük taşıtlarının sınıflarının 2 ve üzeri olması sebebiyle büyük çoğunluğu, 3. köprü olarak bilinen Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nü kullanmaktadır.

Karayolu taşımacılığına ek olarak deniz ulaşımı ile Boğaz'dan geçişler iki adet arabalı vapur hattı ile gerçekleştirilmektedir: Sirkeci-Harem, İstinye-Çubuklu. Sirkeci-Harem Hattı'nın çalışma saatleri hafta içi sabah 06:00-21:00, hafta sonu 09:00-21:00 saatleridir. İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı ise hafta içi sabah 07:00-21:00, hafta sonu 09:00-21:00 saatlerinde hizmet vermektedir. Arabalı vapur hatlarında hafta içi yoğun saatlerde sefer sıklığı 15 dakika, normal saatlerde 20 dakika; hafta sonu ise yoğun saatlerde sefer sıklığı 20 dakika, normal saatlerde 30 dakikadır. Ancak arabalı vapurların taşıt kapasiteleri dolduğunda vapur sefer saatinden önce hareket etmektedir. Arabalı vapur hatlarının iki yönü eş zamanlı olarak hizmet vermektedir. Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı için sefer süresi ortalama 20 dakika iken İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı için bu süre 8 dakikadır.

İstanbul'da şehir içi yük taşımacılığında Boğaz'dan geçiş için kullanılan ulaşım türleri olan karayolu ve deniz taşımacılığının tercih nedenlerini araştırmak için deniz taşımacılığı seçenekleri olan Sirkeci-Harem ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hatları'nda yük taşıtı sürücülerıyla bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması haftanın tüm günlerinde saat 08:00-21:00 aralığında yapılmıştır. Sirkeci-Harem Hattı'nda 300, İstinye-Çubuklu Hattı'nda 95 yük taşımacılığı yapan araç sürücüsüyle gerçekleştirilen ankette açık uçlu açıklanan ve belirtilen tercih sorularına yer

verilmiştir. Ayrıca anket kapsamında taşıt özellikleri, geçki bilgisi ve yük türü gibi genel bilgi sorularına da yer verilmiştir. Açıklanan tercih sorularıyla en sık taşımacılık yapılan geçki ve tür seçimi, arabalı vapurun kullanım sıklığı, belirtilen tercih sorularıyla saat ve ücret düzenlenmesi durumlarındaki tercihler elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında tür seçimini ayrıntılı incelemek adına açıklanan tercih soruları verileri kullanılmıştır.

Karayolu ve deniz taşımacılığı tür seçiminin modellenmesinde süre, maliyet, vapur geçiş ücreti bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır.

İki yaka arasında en sık taşımacılık yapılan geçkiler ve yaka geçişinde kullanılan tür ile ilgili soruya verilen yanıtlar, karayolu ve deniz taşımacılığı için seçim verisi olarak kullanılmıştır. Bu şekilde, Sirkeci-Harem Hattı'nda yapılan ankete katılan 300 yük taşımacılığı sürücüsünden 636 seçim verisi elde edilmiştir. İstinye-Çubuklu Hattı'nda yapılan ankete katılan 95 yük taşımacılığı sürücüsünden ise 135 seçim verisi elde edilmiştir. Sonuç olarak, iki arabalı vapur hattında toplam 395 yük taşımacılığı sürücüsüyle yapılan anketlerden 771 seçim verisi toplanmıştır.

Yapılan çalışmayı karayolunu tercih eden yük taşıyıcılarını da kapsayacak duruma getirmek ve %90 oranındaki karayolu tercih edilme oranını sağlamak amacıyla katılımcıların taşıt sınıfı gibi anket sorularına verdikleri yanıtlar aynı kalmak üzere 6'sı Avrupa Yakası ve 5'i Anadolu Yakası'nda bulunan 11 bölge için Avrupa'dan Asya'ya ve Asya'dan Avrupa'ya yapılan yolculuk verilerinin çoğaltılması bölgesel olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuç olarak karayolu için 5535, deniz taşımacılığı için 615 tercih olmak üzere toplam 6150 seçim verisi oluşturulmuştur.

Yolculuk başlangıç ve bitiş noktalarına göre oluşturulan başlangıç-bitiş matrisi ile yolculukların ilçe temelli dağılımı incelenmiştir. Bu matris için İstanbul'un 39 ilçesi ile birlikte Gebze, Kocaeli ve şehir dışına da yer verilmiştir: 41x41 boyutunda bir başlangıç-bitiş noktası matrisi elde edilmiştir. Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı'nda 300 yük taşıtı sürücüsü ile yapılan anket sonucunda, vapurun en çok %34,3 oranıyla Fatih ilçesinde başlangıç ve bitiş noktaları olan geçkilerde kullanıldığı belirlenmiştir. En sık kullanılan geçki ise %4,3 oranıyla Üsküdar'da başlayıp Fatih ilçesinde biten geçki olmuştur. İstanbul'un diğer ilçelerinin yanı sıra, Gebze, Kocaeli'de başlayan ve biten geçkiler için arabalı vapur hattını kullananların oranı %6 ve İstanbul dışındaki geçkiler için %13,3'tür.

Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı'nda yapılan anket verilerine göre, deniz taşımacılığı %75 oranında karayolundan daha fazla tercih edilmiştir. İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı'nda yapılan anket verilerine göre ise deniz taşımacılığı %89 oranında karayolundan daha fazla tercih edilmiştir. Ayrıca, İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı'nı kullanan yük taşımacılığı sürücülerinin, Sirkeci-Harem Hattı'nı kullananlara göre deniz taşımacılığını daha fazla tercih ettikleri gözlemlenmiştir.

Modellemede kullanılan bağımsız değişkenler olan yolculuk süresi, maliyeti ve yol uzunluğunu belirlemek için yolculuk başlangıç ve bitiş noktası, taşıt sınıfı kullanılarak www.tollguru.com ağ sayfası yardımıyla hafta içi trafik zirve saati başlangıcı olan 17:00 için veriler elde edilmiştir. Yolculuk süresi, maliyeti ve yol uzunluğu Sirkeci-Harem ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hatları ile Yavuz Sultan Selim Köprüsü kullanılarak İstanbul Boğazı'ndan geçiş geçkileri için taşıt sınıflarına ve ilçe temeline göre ayrı ayrı bulunmuştur.

Yolculuk süresi hesaplanırken karayolu için www.tollguru.com ağ sayfası kullanılarak elde edilen zirve saatteki ulaşım süresi kullanılırken deniz taşımacılığı için vapur

iskelesine gelinceye ve iskeleden varış noktasına kadarki karayolu ulaşım süresine ek olarak ortalama vapur bekleme ve yolculuk sürelerini kapsayacak şekilde Sirkeci Harem Arabalı Vapur Hattı için 30 dakika, İstinye Çubuklu Arabalı Vapur Hattı için 20 dakika alınmıştır.

Maliyeti oluşturan otoyol geçiş ücreti, köprü ve vapur geçiş ücretleri, yakıt maliyeti yolculuk başlangıç ve bitiş noktalarına göre www.tollguru.com ağ sayfası kullanılarak hesaplanmıştır. Geçki bilgisiyle kullanılacak ücretli otoyollar belirlenmiş geçiş ücretleri taşıt sınıflarına göre hesaplanmıştır.

Yakıt ücreti araç sınıfları dikkate alınarak 100 km için ortalama tüketilen yakıt miktarı ile hesaplanmıştır. Yolculuk uzunluğunu kat etmek için gerekli yakıt miktarı ile güncel motorin litre fiyatının (40 TL/L) çarpılması sonucunda yakıt maliyeti hesaplanmıştır.

Tez çalışmasının çözümlemesi ve modellemeleri için NLOGIT 4.0 yazılımı kullanılmıştır. Genel değerlendirme modeli ve senaryo çözümleme modeli kullanılarak ulaşım tür seçimi değerlendirilmiştir. Modeller, Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı için 300 karar verici nakliyecisi ile gerçekleştirilen 636 seçim verisi ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı için 95 karar verici nakliyecisi ile gerçekleştirilen 135 seçim verisi olmak üzere 771 seçim verisinin karayolu ve deniz taşımacılığı için %90 karayolu seçim oranını sağlayabilmek adına çoğaltılmasıyla toplam 6150 seçim verisine dayanmaktadır.

Tür seçim modeli ile türlerin seçilme fayda fonksiyonları incelenmiştir. Senaryo çözümleme modeli ile vapur geçiş ücretinde yapılacak düzenlemeler sonucunda ulaşım tür seçiminin değişimi çözümlenmiştir.

Farklı ölçütler kullanılarak lojistik modellerin başarımları değerlendirilmiştir. Bu ölçütler arasında; katsayıların işaretlerinin ve büyüklüklerinin çözümlenmesi, t istatistiği, -2LL testi ve ρ^2 değeri bulunmaktadır.

Tür seçim modeli için $p=0,05$ eşik değerine göre süre ve maliyet, yük taşımacılığında İstanbul Boğazı'ndan geçiş için ulaşım türü seçiminde önemli görülmüştür. Modelde karayolu ve arabalı vapur türleri için ayrı süre ve maliyet katsayıları elde edilmiştir. Yolculuk süre ve maliyeti tür seçimi fayda fonksiyonu sonucuna olumsuz etki etmektedir. Yolculuk süresinin tür seçimine etkisi arabalı vapur ve karayolu için karşılaştırıldığında sürenin denizyolu türünün seçimine daha çok azaltan etki ettiği görülmektedir. Yolculuk maliyetinin denizyolu tür seçimine etkisi düşünüldüğünde arabalı vapur geçiş ücretinin denizyolu tür seçimine daha çok azaltan etki ettiği görülmektedir.

Genel değerlendirme modelinde olduğu gibi senaryo çözümlemesi modelinde de ikili lojit modeli kullanılmıştır. Model kapsamında karayolu ile arabalı vapur ulaşım türlerinin seçimini etkileyebilecek unsurlar olan arabalı vapur hattı geçiş ücretinin çözümlemesi yapılmıştır. Arabalı vapur hattının geçiş ücretine yapılabilecek indirimler için arabalı vapur ve karayolu ulaşımının tercih edilme durumunun değişimi incelenmiştir.

Yapılan senaryo çözümlemesine göre arabalı vapur geçiş ücretinde yapılacak %90'a varan indirimler ile denizyolunun tercih edilme olasılığı %11,3'den %13,1'e kadar artmıştır.



ANALYSIS OF THE SHARE OF MARITIME TRANSPORT IN URBAN FREIGHT TRANSPORTATION FOR ISTANBUL USING DISCRETE CHOICE MODELS

SUMMARY

Freight transportation refers to the movement of commercial goods or cargo from one point to another via road, rail, air, or sea. The increasing urban population has made urban freight transportation more significant. Given that heavy vehicles required for freight transportation are prone to various environmental issues such as pollution and accidents, it is one of the main components of the existing traffic problem.

Istanbul, with an urban population exceeding 15 million and numerous facilities such as industry and trade, is a notable location for urban freight transportation. Istanbul, which spans two continents, has a total of 39 districts, with 25 on the European side and 14 on the Anatolian side. Due to the city's commercial and geographical distribution, many freight transportations must pass through the Bosphorus, one of the main components of the city. Vehicles crossing the Bosphorus not only increase traffic congestion but also involve additional crossing fees that vary depending on the vehicle class. Additionally, bridge and tunnel crossings have restrictions based on vehicle class. For instance, class 1 and 2 vehicles can pass through the 15 Temmuz Şehitler Bridge, while the Fatih Sultan Mehmet Bridge permits only class 1 and 2 vehicles, excluding trucks and buses. The Yavuz Sultan Selim Bridge has no restrictions and allows all motor vehicle classes to pass. The Eurasia Tunnel, however, is only accessible to class 1 vehicles. The reason for the vehicle class-based crossing restrictions is to reduce the impact of freight transportation on urban traffic; due to the majority of freight vehicles being class 2 or higher, most use the Yavuz Sultan Selim Bridge, known as the third bridge.

In addition to highway transportation, sea transportation across the Bosphorus is carried out by two ferry lines: Sirkeci-Harem and İstinye-Çubuklu. The Sirkeci-Harem Line operates from 06:00 to 21:00 on weekdays and from 09:00 to 21:00 on weekends. The İstinye-Çubuklu Ferry Line operates from 07:00 to 21:00 on weekdays and from 09:00 to 21:00 on weekends. During peak hours on weekdays, the headway of ferry services is 15 minutes, and during normal hours, it is 20 minutes; on weekends, it is 20 minutes during peak hours and 30 minutes during normal hours. However, when ferry capacities are full, the ferries may depart before the scheduled departure time. The ferry lines operate in both directions simultaneously. The average travel time for the Sirkeci-Harem Ferry Line is 20 minutes, while it is 8 minutes for the İstinye-Çubuklu Ferry Line.

To investigate the reasons for choosing highway versus sea transportation for crossing the Bosphorus in urban freight transportation in Istanbul, a survey was conducted with freight vehicle drivers on the Sirkeci-Harem and İstinye-Çubuklu Ferry Lines. The survey was conducted every day of the week between 08:00 and 21:00. In the survey conducted with 300 drivers on the Sirkeci-Harem Line and 95 drivers on the İstinye-Çubuklu Line, open-ended questions about preferences were included, along with

questions about vehicle characteristics, route information, and types of freight. The survey data revealed the most frequently used routes and types of transportation, as well as preferences for times and fee adjustments. The data from the preference questions were used to examine type selection in detail.

In modeling the choice of transportation types between highway and sea, the independent variables used were the travel time, cost, delivery urgency, ferry crossing fees and other costs (excluding the crossing fees).

Responses to questions about the most frequently used routes between the two sides and the modes used for crossing were used as choice data for road and sea transportation. This approach yielded 636 choice data points from 300 freight drivers on the Sirkeci-Harem Line and 135 choice data points from 95 freight drivers on the İstinye-Çubuklu Line, totaling 771 choice data points from surveys conducted on both ferry lines.

To ensure the study also covered freight carriers who prefer road transportation and to achieve a 90% preference rate for road transport, the responses of participants regarding vehicle class and other survey questions remained the same, while the travel data from 11 regions—6 located in the European side and 5 in the Anatolian side—were replicated for journeys between Europe and Asia and vice versa. As a result, a total of 6,150 selection data points were created, with 5,535 for road transportation and 615 for sea transportation.

The distribution of trips by district was analyzed using an origin-destination matrix created based on the starting and ending points of trips. This matrix included Istanbul's 39 districts as well as Gebze, Kocaeli, and areas outside the city, resulting in a 41x41 origin-destination matrix. According to the survey conducted with 300 freight drivers on the Sirkeci-Harem Line, the ferry was used the most on routes starting and ending in the Fatih district, with a 34.3% usage rate. The most frequently used route was from Üsküdar to Fatih, with a 4.3% rate. The percentage of users of the ferry line for routes starting and ending in Gebze and Kocaeli was 6%, and for routes outside Istanbul, it was 13.3%.

According to the survey data from the Sirkeci-Harem Ferry Line, sea transport was preferred over highway transportation by 75%. On the İstinye-Çubuklu Ferry Line, sea transport was preferred over highway transport by 89%. It was also observed that drivers using the İstinye-Çubuklu Ferry Line preferred the sea transport more than those using the Sirkeci-Harem Line.

To determine the independent variables used in the modeling—travel time, cost, and road length—data was obtained for peak traffic times at 17:00 using the starting and ending points of the journey and vehicle class via the website www.tollguru.com. Travel time, cost, and road length were separately calculated based on vehicle classes and districts for crossings using the Sirkeci-Harem and İstinye-Çubuklu Car Ferry Lines and the Yavuz Sultan Selim Bridge.

In calculating travel time for road transportation, the peak hour travel time obtained from www.tollguru.com was used, while for sea transportation, the travel time to reach the ferry terminal and from the terminal to the destination, along with average ferry waiting and travel times—30 minutes for the Sirkeci-Harem Car Ferry Line and 20 minutes for the İstinye-Çubuklu Car Ferry Line—were included.

The costs, comprising toll fees, bridge and ferry crossing fees, and fuel costs, were calculated based on the starting and ending points of the journey using www.tollguru.com. The applicable toll fees were determined based on vehicle classes.

The fuel cost was calculated by multiplying the average fuel consumption per 100 km by the current fuel price (40 TL/L). The amount of fuel needed to cover the journey length was multiplied by the current fuel price to determine fuel costs.

The analysis and modeling of the thesis were conducted with NLOGIT 4.0 software. The scenario analysis model was used to evaluate transportation type choices. The models are based on 636 choice data points from 300 the decision-maker freight carriers on the Sirkeci-Harem Ferry Line and 135 choice data points from 95 decision-maker freight carriers on the İstinye-Çubuklu Ferry Line, totaling 771 choice data points, expanded to 6150 data points to achieve a 90% preference rate for highway transportation.

In the general assessment model, the coefficients and value of time were examined. The scenario analysis model analyzed changes in transportation type choices based on adjustments in ferry crossing fees.

The performance of logistics models was evaluated using different criteria, including the analysis of coefficient signs and magnitudes, t-statistics, -2LL test, and p^2 value.

In the type selection model, based on a $p=0.05$ threshold, time and cost were found to be significant factors in transportation type selection for crossings over the Bosphorus in freight transportation. Separate time and cost coefficients for road and car ferry types were obtained in the model. Travel time and cost negatively impacted the utility function for type selection. When comparing the effects of travel time on type selection for car ferries and road transportation, it was found that time had a more negative effect on the selection of the maritime type. Considering the impact of travel costs on the maritime type selection, the ferry crossing fee had a more significant negative effect on the maritime type selection.

Both the general evaluation model and the scenario analysis model employed a binary logit model. The analysis within the model examined the factors that could influence the selection of road versus car ferry transportation types, focusing on the ferry line crossing fee. The potential discounts that could be applied to the ferry line crossing fee were analyzed in terms of changes in preference for ferry and road transportation.

According to the scenario analysis, discounts of up to 90% on ferry fares increased the probability of choosing the ferry from 11.3% to 13.1%.



1. GİRİŞ

Yük taşımacılığı, mekansal olarak ayrılmış arz ve talep yerleri arasındaki bağlantıyı sağlayarak tedarik zincirleri içerisinde benzersiz bir hizmeti yerine getirdiği için ekonominin önemli bir parçasıdır (Tavasszy ve de Jong, 2014).

Figliozi (2011) yük taşımacılığının ticari niteliğinin getirdiği gizlilik ilkeleri ve veri toplamının güçlüğü nedenlerinden ötürü, araştırma ilgisinin yolcu taşımacılığına oranla düşük olduğunu belirtmiştir. Ancak 1970'lerde ve 1980'lerde yolcu taşımacılığı üzerine yapılan çeşitli araştırmalara karşın, 1990'lardan bu yana ekonomik küreselleşmenin hızı, araştırmacıların ve politika yapıcıların öncelikli odak noktalarını yük taşımacılığına kaydırmasına neden olmuştur (Ben-Akiva ve diğ, 2013).

Kentlerde yaşayan nüfus son yıllarda giderek artmış ve gelecekte de bu artışın süreceği öngörülmektedir (Piguet ve diğ, 2018). Kent içi ulaşım da artan kentsel nüfus ile beraber artmış, özellikle e-ticaretin yaygınlaşması ve talebe dayalı teslimat seçenekleri gibi yenilikler, kentsel yük taşımacılığını da arttırmıştır (Fatnassi ve diğ, 2015).

Artan kentsel trafik, kirlilik, gürültü ve kazalar gibi çeşitli çevresel sorunları beraberinde getirmiştir (Browne ve diğ, 2012 ; Cravioto ve diğ, 2013 ; Kijewska ve Iwan, 2016 ; Hacıa ve Łapko, 2019). Kent içi alanlarda çevresel kirliliğin etkisi daha önemlidir çünkü nüfus diğer bölgelere oranla daha yüksektir (Strale, 2014). Küresel olarak ulaştırma sektörü toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır (IPCC, 2014). Tür değişimi sera gazı emisyonunu azaltmak için daha verimli taşıt kullanımı ve az karbonlu yakıt ile beraber en çok tercih edilen yöntemlerden biridir (Björk ve diğ, 2023).

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada amaç, İstanbul'daki kent içi yük taşımacılığında Boğaz'dan geçiş için kullanılan karayolu ve denizyolu türlerinin seçim nedenlerini araştırmaktır. Çalışma kapsamında Sirkeci-Harem, İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hatları'nda yük taşıtı

sürücülerıyla anket çalışması yapılarak veri toplanmış ve tür seçimine yönelik çözümlemeler yapılmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmaların bölümleri sırasıyla aşağıda açıklanmıştır:

Tezin giriş bölümünü izleyen ikinci bölümünde, yük taşımacılığında tür seçimi için dünyada yapılmış çalışmalar hakkında genel bilgiler verilmiş; çalışmaların amaçları, veri kaynakları, kullanılan yöntem ve ulaşılan sonuçlar özetlenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde, rassal fayda kuramına ait iki temel yaklaşım olan belirlenimsel seçim yaklaşımı ve olasılıksal seçim yaklaşımı açıklanmıştır. İkili lojit model kullanılarak tasarlanan senaryo çözümlemesi modeline yer verilmiştir. Modellerin uygunluğunu gösteren: katsayıların işaretlerinin ve büyüklüklerinin çözümlemesi, t istatistiği, -2LL testi ve p^2 değerleri açıklanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde, çalışma alanı olan arabalı vapurlardan ve veri için yürütülen anket çalışmasından bahsedilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin model kapsamında kullanılabilmesi için düzenlenmesi de açıklanmıştır.

Tezin beşinci bölümü kapsamında, yapılan senaryo çözümlemesinin sonuçları verilmiştir. Sonuçların model temelinde değerlendirilmesi yapılmıştır.

Son bölümde ise modellerden elde edilen sonuçların genel değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, tür seçimi için ileride yapılabilinecek yeni araştırmalardan söz edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Rich ve diğ. (2009) çalışmalarında, Danimarkanın Oresund bölgesindeki yük taşıma türü ve geçiş seçimini çözümlemek için ayırık seçim modelini kullanmışlardır. Model kamyon, demiryolu ve gemi ile taşımacılığı kapsamaktadır. Çalışma, taşımacıların tercihlerini ortaya koyan temsili bir başlangıç-son (OD) matrisi temelinde değerlendirerek ulaşım türü değişikliği etkileri ile coğrafya/altyapı arasındaki bağımlılığı daha iyi yansıtmının olası olduğunu göstermiştir. OD matrisleri, model alanı içinde 2005 yılındaki yük akışlarını ton cinsinden tanımlamaktadır. Matrisler NST/R-2 (52 mal grubu), taşıma türleri ve Danimarka ülke sınırı-Baltık Denizi, Büyük Kuşak-Kattegat, Kuzey Denizi-Kattegat- Oresund olmak üzere geçişlere bölünmüştür. Makale, beş ulaşım türü ve 13 ürün grubu için parasal maliyet ve yolculuk süresinin yanı sıra zamanın değeri öngörülerine göre talep esnekliklerini sunmaktadır.

Feo ve diğ. (2011), Güneybatı Avrupa Deniz Otoyolu'nda kapıdan kapıya karayolu taşımacılığı ile kısa deniz taşımacılığı arasındaki türel seçimi modellemek için bir belirtilen seçim araştırması yürüterek, deneysel çözümleme yoluyla etkili yük taşımacılığı politikasının tasarlanmasına katkıda bulunmayı amaçlamışlardır. Taşımacılık şirketleriyle 45 görüşme gerçekleştirilip İspanya ve Avrupa arasındaki 75 gönderinin her biri için, görüşülen kişilere senaryo soruları içeren sorular sunulmuştur. Şirket özellikleri ve çözümlenen iki ulaşım türü ile sunulan taşımacılık hizmetinin kalitesine ilişkin algılara dair bilgiler elde edilmiş ve ayrıca çalışma bölgesinde yapılan gönderiler için ticaret akışının türü, gönderinin türü ve taşınan birincil mallar dahil olmak üzere İspanya'da nerede yüklenip boşaltıldığı, varış çıkış ülkesi, kullanılan tür, gönderinin boyutu, transit süresi, maliyet, güvenilirliğine ait veriler elde edilmiştir. Bu çalışmada karma lojit model kullanılmıştır. Böylelikle yük taşımacılığında zaman, güvenilirlik ve frekans değeri niteliklerine ilişkin öngörüler elde edilerek politika yapıcılara, İspanya'nın Akdeniz kıyısında kısa uzunluklu deniz taşımacılığını artırmak amacıyla ele alınması gereken önemli alanları belirlemek için katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Moschovou ve Giannopoulos (2012) tarafından yapılan çalışmada, yük taşıma seçim davranışına ilişkin süreci ve ölçütleri araştırmak amacıyla gerçekleştirilen araştırmanın sonuçları sunulmaktadır. Çalışma için, % 67 mal sahibi, % 12 lojistik servis sağlayıcısı ve %21 ulaştırma işletmecisiyle gerçekleştirilen Yunanistan'da yaklaşık yüz firma ile yürütülen kapsamlı bir anket gerçekleştirilmiştir. Anket kapsamında: genel bilgiler, ulaştırma türü seçimi, ulaştırma türlerinin seçimini etkileyen ölçütlerin sıralandırılmasını içeren sorular sorulmuştur. Yük taşıma türü seçimini etkileyen unsurları ortaya çıkarmak ve anket sonuçlarının istatistiksel çözümlemesiyle ortaya çıkan çeşitli ölçüt ve değişkenlerle ilişkilendiren matematiksel modeller üretmek amaçlanmıştır. Doğrusal regresyon çözümlemesi kullanılarak çeşitli nitelikler arasındaki ilişkiler incelenmiş; ayrık lojit çözümlemesi ile anketten elde edilen uygun açıklayıcı değişkenler kullanılarak bireysel kullanıcı davranışı araştırılmıştır.

Wang ve diğ. (2013) kamyon ve demiryolu ile Maryland'den diğer eyaletlere yapılan gönderiler için taşımacılık türü seçimini etkileyen gözlemlenmemiş unsurları araştırmıştır. Çeşitli model öngörülerini incelenerek iki bölümlü çözümleme gerçekleştirilmiş, modellerde mal (tür, zaman değeri, köken ve ticaret türü), gönderi özellikleri (ağırlık, değer), ulaşım ağı (uzaklık) ve yakıt maliyeti dahil olmak üzere çeşitli değişkenler sınanmıştır. Mal akışı araştırması (CFS) gibi başlıca kaynakları içeren yük çözümleme sistemi (FAF) ana veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Ayrıca karayolu ve demiryolu ağı bilgilerini kullanan Ulusal Ulaşım Atlası Veritabanı (NTAD) da kullanılmıştır. Maryland'deki üç bölge arasındaki ulaşım türü seçimi davranışı farklılıklarını incelemek için ikili probit ve lojit modelleri geliştirilmiştir. Sonuç olarak, tüm gönderiler için taşıma uzaklığı, mal için zaman değeri, ticaret türü, başlangıç noktası ve yakıt maliyetinin ulaşım türü seçiminde önemli rol oynadığı görülmüştür.

Reis (2014) orta ve uzun uzaklıktaki taşımacılık hizmetlerinde kullanılan ulaşım türü seçimi değişkenlerinin, kısa uzaklıktaki taşımacılık durumlarında acentelerin davranışlarını açıklamak için kullanılıp kullanılamayacağını değerlendirmeyi amaçlayan bir araştırma yapmıştır. Bu hipotezi sınamak için kısa uzaklıkta hizmet veren türler arası (intermodal) taşımacılık hizmetine ilişkin bir örnek olay çalışması kullanılarak türler arası taşımacılık hizmetlerinin rekabet gücü, varsayımsal bir karayolu taşımacılığı hizmetiyle karşılaştırılmıştır. Sines limanını iki terminale

(Bobadela ve Vale do Tejo) bağlayan bir demiryolu ve bu terminalleri son varış noktalarına bağlayan karayoluna sahip bir türler arası ulaşım sisteminde yapılan çözümlemede, taşımacılık işlemlerini ve taşıma acentelerinin davranışsal tepkilerini benzetimlemek için yeni bir acente tabanlı model geliştirilmiş; rekabet gücü, farklı talep senaryolarında fiyat, aktarma süresi, güvenilirlik ve esneklik değişkenlerine göre her bir ulaşım seçeneğinin başarımı ölçülerek değerlendirilmiştir. Modelin kısa uzaklıkta hizmet veren taşımacılık hizmetine uygulanması, taşıma işleri işletmecisinin türler arasındaki seçimlerini yalnızca fiyatın açıklayabileceğini göstermektedir. Yapılan araştırma, kısa uzaklıkta hizmet veren taşımacılık işleri için ulaşım türü seçim sürecinin diğer karar değişkenleri tarafından etkilenebileceğini ve potansiyel bir pazar grubunu hariç tuttukları için mevcut çok türlü odaklı politika seçeneklerinin güncellenmesi gerektiğini göstermektedir.

Arencibia ve diğ. (2015) yük taşımacılığı talebini türel seçim bağlamında çözümlemek için ileri seçim modelleme tekniklerini kullanmıştır. 2010 yılında Madrid'i Hollanda, Belçika, Kuzey Fransa ve Batı Almanya'ya bağlayan koridorda, imal edilmiş malların üreticileri ve dağıtıcılarıyla gerçekleştirilen anket ile sevkiyat başına 18 olmak üzere toplam 1674 belirtilmiş tercih elde edilmiştir. Anket dört ana bölümden oluşmaktadır: ilk bölüm şirketin özellikleri ve lojistik boyutu hakkında genel bilgi edinmek için tasarlanmıştır; ikincisi, referans sevkiyatın temel özelliklerine (maliyet, transit süresi, gecikmeler vb.) ve her bir özellik için gereken en düşük hizmet düzeyine ilişkin bilgilerin toplanmasına ayrılmıştır; üçüncü bölümde, ulaştırma hizmetini tanımlayan ana niteliklerin önemi ve algılanan kalite düzeyi hakkında bilgi verilmiştir; dördüncü bölüm bir belirtilen tercih anketinde karar vericinin tercihlerinin toplanmasına ayrılmıştır. Bu verilerle farklı karma lojit modelleri geliştirilmiştir. Hizmet düzeyinin iyileştirilmesi için ödeme istekliliğini ve farklı nitelikler için seçim olasılıklarının esnekliği elde edilmiştir. Öngörülen modellere göre trafiğin seçenek türlerine sapmasını en fazla etkileyen eylemlerin ulaşım maliyetini etkileyen eylemler olduğu gözlemlenmiştir.

Kim ve diğ. (2017) Yeni Zelanda firmalarının, yük nakliyecilerinin ve acentelerinin yük taşıma türü seçimi karar verme sürecinin anlaşılmasını geliştirmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, 190 Yeni Zelanda firması, nakliyecisi ve acentenin her biri ile yapılan 18 seçim senaryosu sonucunda oluşan toplamda 3420 adet belirtilen tercih anket verisi kullanılmıştır. Çözümlemede fiyat, servis süresi, güvenilirlik, türün

esnekliği ve türel bağlantı düzeyi gibi öznitelikler kullanılmıştır. Çözümleme kapsamında, firma davranışının yolculuk uzaklığı ve taşımacılık işleminin büyüklüğü gibi bazı gözlemlenebilir özellikler ve gözlemlenmeyen gizli ayrışıklıklar olmak üzere iki bileşene bağılı olduğunu varsayan gizli sınıf (LC) modellemeleri kullanılmıştır; bu modeller sabit parametreye dayalı gizli sınıf modeli (LCMNL) ve rastgele parametreye dayalı gizli sınıf modelidir (LCML). Uzun mesafeli ve düşük hacimli sevkiyat grubunda üç gizli sınıf bulunmaktadır; LCMNL modeliyle nakliyecilerin %45,2'ü sınıf 1'e, %13,1'i sınıf 2'ye ve %41,7'si sınıf 3'e ayrılmıştır. Seçim deneyinde dışarıda bırakılan özelliklere dayalı olarak sevkiyatlar: demiryolu ve denizyoluna yönelik olumsuz algıya sahip olanlar sınıf 3, taşıma süresinin kısaltılmasını ve hizmet güvenilirliğinin artırılmasını önemseyenler sınıf 1 olarak gruplandırılmıştır. Ayrıca 2. ve 4. sınıftaki nakliyatçıların demiryoluna yönelik daha olumsuz algıları olduğu, 4. sınıftakilerin ise kiralık kamyonlara yönelik daha olumlu algılara sahip oldukları gözlemlenmiştir. Uzun mesafeli ve büyük hacimli sevkiyat grubunda ise nakliyecilerin %26,4'ü sınıf 1'e, %24,4'ü sınıf 2'ye, %13,4'ü sınıf 3'e ve %35,6'sı sınıf 4'e ayrılmıştır. Ayrıca 2. ve 4. sınıftaki nakliyatçıların demiryoluna yönelik daha olumsuz algıları olduğu, 4. sınıftakilerin ise kiralık kamyonlara yönelik daha olumlu algılara sahip olduğu görülmektedir. Zaman ve güvenilirliğin ise sınıf 1, 2 ve 4'teki nakliyeciler için daha önemli olduğu belirtilmiştir.

Román ve diğ. (2017) tarafından oluşturulan model ile nakliyecilerin tercihlerindeki beğeni ayrışıklığını, bir gizli sınıf model öngörüsü yoluyla ulaşım türü seçimi bağlamında çözümlenmiştir. Çalışmada imalat malları üreten/dağıtan ve 2010 yılında Madrid'i Hollanda, Belçika, Kuzey Fransa ve Batı Almanya'ya bağlayan koridorda yük sevkiyatlarını yöneten şirketler ile yapılan belirtilmiş seçim anketi kullanılmıştır. Anket, karar vericilerin mevcut seçenek olan yol ile türler arası seçenekler arasındaki seçimi için sorulan her biri dokuz seçim senaryosuna sahip iki ayrı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, bireyin mevcut seçenek ile geri kalan özellikler için daha kötü veya benzer bir hizmet seviyesi sunan daha ucuz, varsayımsal türler arası seçenekler arasında seçim yapması istenmiştir. İkinci bölümde ise mevcut seçenek ile daha pahalı olan ancak diğer özellikler açısından daha iyi hizmet seviyeleri sunan türler arası seçenek arasında bir seçim yapmaları istenmiştir. Bu nedenle, ilk bölümde karayolu ve demiryolu; ikinci bölümde karayolu ve deniz ulaşımı türlerinin seçimi incelenmiştir. Modelleme sürecinde sınıf veya bölüm sayısına göre farklı modeller test

edilmiş ve en iyi sonuçlar beş sınıf dikkate alındığında elde edilmiştir. Sonuçlar, hem çözümleme altındaki koridordaki model seçimini etkileyen temel nitelikleri ortaya çıkarmış hem de bu niteliklerin kabul edilebilir hizmet seviyelerini karşılamadığında uygulanan cezalar açısından bireylerin sınıfsal dağılımına örnek oluşturmuştur.

Keya ve diğ. (2019) yük taşıma türü ve sevkiyat boyutunun ortak seçimini incelemiş, ulaşım türü için seçim modeli ve sevkiyat büyüklüğü için seçim modeli şeklinde bir ortak model sistemi geliştirilmişlerdir. Bu iki seçeneği etkileyen, gözlemlenmeyen ortak unsurların etkisini yakalamak için bir model yapısı geliştirilmiştir. Bağ tabanlı bir model içerisinde hem rastgele fayda (RU) tabanlı çok terimli logit hem de rastgele pişmanlık (RR) en küçükleme tabanlı çok terimli lojit (MNL) çözümlemesi yapılmıştır. Gönderi boyutu değişkeninin doğasında olan ayrıklaştırmayı karşılamak için doğrusal modelin tersine ek esneklik sağlayan sıralı lojit (OL) modeli kullanılarak çözümlenmiştir. Veriler, Ulaştırma İstatistikleri Bürosu (BTS) ve ABD Nüfus Sayımı Bürosu'nun ortak veri toplama çalışması olan anketten ve 2012 ABD Mal Akışı Anketi (USCFS) verilerinden alınmıştır. 2012 ABD Mal Akışı Anketi Kamu Kullanımına Açık Mikro Veriler (CFSPUM) dosyası yirmi bir ulaşım türüne ait bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmada bildirilen türler beş ana gruba ayrılmıştır: Kiralık kamyon, özel kamyon, havayolu, paket servisi ve diğer türler. Çözümlemede sevkiyat süresi ve maliyeti, karayolu uzunluğu, nüfus yoğunluğu ve çalışan sayısı gibi nitelikler kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, sevkiyat türü ile sevkiyat boyutu seçim kararları arasındaki bağımlılıkların uyumlaştırılmasının önemini açıkça göstermektedir.

Holguín-Veras ve diğ. (2020) Kıtasal Amerika Birleşik Devletlerindeki yük türü seçimini; yük türü seçimini etkileyen unsurları, kamu sektörü politikalarının etkilerini ve piyasa koşullarındaki değişiklikleri değerlendirmek için ekonometrik modellerin geliştirilmesi de dahil olmak üzere çeşitli yönlerden incelemişlerdir. Araştırmada niteliksel ve niceliksel araştırma teknikleri kullanılmıştır. Önde gelen nakliyeciler, taşımacılar ve alıcılardan oluşan özel sektör temsilcilerinden, yük türü seçim kararlarını etkileyen unsurlar hakkında (taşıma ücretleri, taşıma süreleri, güvenilirlik, hizmet kalitesi, ürün tipi, mevsimsel değişiklikler, gönderi boyutu, sevkiyat uzaklığı vb.) niteliksel görüş toplamak, niceliksel modelleme ile elde edilen sonuçların geçerliliğini değerlendirmek için kavramsal temel sağlamıştır. Sevkiyat seviyesinde navlun türü seçim modellerinin öngörülen sevkiyat özellikleri, gönderici özellikleri ve

dikkate alınan türlerin özellikleri hakkında veri gerektirir. Modeller ABD Nüfus Sayım Bürosu, İç Gelir İdaresi ve Yüzey Ulaştırma Kurulu'nun gözetimi altında; dünyanın en büyük nakliyat anketi olan Mal Akışı Araştırması (CFS), ABD'deki ticari kuruluşların kapsamlı bir kaydı olan Boyuna İş Veritabanı (LBD) gibi yüksek kaliteli gizli veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Sonuç olarak, 42 farklı mal türü için demiryolu veya kamyon seçimini, bağımsız değişkenlerin ve ağırlıklandırma şemalarının farklı bileşimlerin temsil eden ayırık sürekli yük türü seçim modelleri öngörülmüştür.

Keya ve diğ. (2020) çalışmalarında ulaşım türü ve varış yeri seçimlerinin doğası gereği ardışık olduğunu ve aralarında sonsuz küçük bir zaman aralığı olduğunu varsayan gizli bölümlmeye dayalı bir yaklaşım geliştirmiştir. Gizli bölümleme çerçevesi, karar vericiyi olasılıksal olarak iki diziye atar: Birinci ulaşım türü-ikinci hedef (MD) dizisinde, hedef seçim modeli, seçilen türe göre özelleştirilmiş seçim seçenekleri ile düzeltilmiştir. Birinci hedef – ikinci ulaşım türü (DM) dizisinde ise ulaşım türü karar verici tarafından bilinmediğinden hedef modeli herhangi bir ulaşım türü bilgisi olmadan düzeltilmiştir. Sonuç olarak, önerilen gizli bölümleme çerçevesi, aynı anda nakliye türünü ve varış yeri seçimlerini modellerken, önemli unsurların sıra seçimi üzerindeki etkisinin yakalanmasına olanak tanımıştır. Çalışmada 2012 ABD Mal Akışı Araştırması (CFS) verileri kullanılmıştır. 2012 CFS PUM dosyasında bildirilen 21 ulaşım türü birleştirilerek beş türlü bir kategori oluşturulmuştur. Bu türler: Kiralık kamyon, özel kamyon, hava (hava ve kamyon ulaşım türlerinin birleşimini içerir), parsel (temel olarak kamyon ve demiryolu olmak üzere çoklu türlerin kombinasyonunu içerir), diğer ulaşım türleri (çoğunlukla demiryolu olmak üzere parsel dışı çoklu türlerin bileşimini içerir). Çözümlemede hizmet düzeyi için nakliye süresi ve maliyeti; başlangıç ve varış noktası için nüfus yoğunluğu ve çalışan sayısı; ağ özellikleri için karayolu ve demiryolu uzunluğu gibi bağımsız değişkenler kullanılmıştır. Gizli bölümlmeye dayalı dizi modelinin bağımsız dizi modellerinden (MD ve DM) daha iyi performans gösterdiğini bulunmuş olup doğrulama çalışması aynı zamanda önerilen çerçevenin üstünlüğünü de doğrulamıştır. Son olarak, önerilen model sistemin uygulanabilirliğini göstermek için bir esneklik analizi yapılmıştır.

Konstantinus ve diğ. (2020) tarafından yürütülen çalışmada 16 Güney Afrika ülkesinin oluşturduğu Güney Afrika Kalkınma Topluluğu (GAKT) bölgesinde kesintisiz ve sürdürülebilir bir yük taşıma sistemi gerçekleştirmek için kısa deniz taşımacılığına olan talep incelenmiştir. Bu kapsamda, Walvis Bay-Luanda, Cape Town-Walvis Bay

ve Durban-Beira arasında uzanan GAKT'daki üç kentler arası koridor boyunca ulaşım türü seçimi tercihi incelenerek kısa deniz taşımacılığını geliştirme potansiyeli araştırılmıştır. Araştırmada, nakliyecilerin karayolu yerine kısa deniz taşımacılığını tercih edecekleri koşulları belirlemek, farklı nakliyeciler bölümleri altında göndericilerin kısa deniz taşımacılığı tercihini belirlemek ve kısa deniz taşımacılığını geliştirmek için en etkili türel nitelikleri belirlemek amaçlanmıştır. Nakliye türü seçimine ilişkin veriler, Cape Town (Güney Afrika), Windhoek (Namibya), Walvis Bay (Namibya), Luanda (Angola), Ondangwa (Namibya), Johannesburg (Güney Afrika), Durban (Güney Afrika) ve Beira'da (Mozambik) yapılan bilgisayar destekli kişisel görüşmeler (CAPI) yoluyla yapılandırılmış anketlerle toplanmıştır. Görüşmelerde, GAKT'daki yük taşımacılığı türlerine yönelik tutum ve algıları kapsayan açıklanan ve belirtilen tercih sorularına yer verilmiştir. Açıklanan tercih soruları ile mevcut durumdaki tercihler istenirken belirtilen tercih sorularıyla yapılabilecek düzenlemeler sonucundaki tercihler araştırılır. Sanal tercih senaryolarından elde edilen veriler, ayrık seçim modellerine ait matematiksel yapıların yardımıyla çözümlenmiştir: Çok terimli lojit modeline ortak değişkenleri (zamanında ulaşma açısından güvenilirlik, kapıdan kapıya taşıma süresi, kapıdan kapıya nakliye maliyeti, hasar riski ve servis sıklığı) dahil ederek ilk olarak bir temel çok terimli lojit model geliştirilip ardından rastgele heterojenliğe izin vererek karma lojit ve gizli sınıf modelleri oluşturulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda toplam 1668 gözlemden (139 katılımcı ile yapılan 12 tercih), katılımcıların %67,6'sının kısa deniz taşımacılığını, %32,4'ünün ise karayolunu seçtiği gözlemlenmiştir. Ayrıca Walvis Bay-Luanda için öznitelik düzeyi referans düzeyi kabul edilerek Cape Town-Walvis Körfezi koridorundaki nakliyatçıların hem Walvis Körfezi-Luanda hem de Durban-Beira koridoruna kıyasla kısa deniz taşımacılığını daha fazla tercih edecekleri öngörülmüştür.

Neal ve Koo (2020) yüksek potansiyeline karşın gerçekleşmeyen kargo hava gemilerine olan talebi ölçmek amacıyla, nakliye lojistiği profesyonellerinin zeplin, karayolu, demiryolu ve deniz yolu türleri arasında yük taşıma türü seçimi kararlarını incelemiştir. Katılımcılarının %29'u gönderenler, %18'i taşıyıcılar, %21'i alıcılar, %12'si nakliye komisyoncuları ve %20'si eğitim ve komisyonculardan oluşan bir anket ile en az iki farklı yük türünün her biri için dokuz senaryonun tamamlanması istenmiştir. 1.726 seçenekli senaryo yanıtından oluşan bir veri seti sağlayan çevrimiçi ankette 96 tamamlanmış anket elde edilip örnekler rota 1 ve rota 2 olarak ayrılmıştır.

Yük taşıma türü seçimi çalışmalarına ilişkin literatür taramasına dayanan deney, çeşitli düzeylerde tasarlanmış sürümlerle birlikte dört özelliği (güvenilirlik, sıklık, zaman ve maliyet) içermektedir. Yük taşıma türü seçimi için bu niteliklere ek olarak, anket katılımcılarının bu nitelikler için çözümlemede gözlemlenmeyecek bir değer varsaymalarını önlemek amacıyla hasar-kayıp oranı, esneklik ve yükün ağırlığı nitelikleri sabit düzeyde eklenmiştir. Karayolu, demiryolu, deniz ve zeplin türlerinin fiyat, zaman, güvenilirlik ve sıklık niteliklerine duyarlılığı yük türüne bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterdiği gizli sınıf lojit modeli ile gözlemlenmiştir. Yolculuk süresinden tasarruf etmek için kargo zeplin türüne ödeme yapma isteğinin 23 \$/ton/saat olduğu öngörülmüştür. Avustralya içi yük pazarında, kargo hava gemilerinin potansiyel pazar payının zeplin türüne göre değiştiği öngörülmektedir.

Tao ve Zhu (2020) yük taşımacılığında zamanın değerini ve bunu etkileyen unsurları araştırmak için ayrı verilere sahip ayrı seçim modelleri kullanmışlardır. İstatistiksel çözümleme ve regresyon çözümlemesine dayanan bu çalışma, zaman değerlerini makro/mikro düzeyde etkileyen unsurları araştırmış olup uygunsuz veri toplama ve model oluşturma nedeniyle zaman değerlerinde oluşan hataları azaltmak için çeşitli öneriler sunmuştur. Veri toplama ve model oluşturmaya ilişkin olarak güvenilirliğin göz ardı edilmesinin, zaman değerini olduğundan fazla öngörülmesi riskini doğurduğu ve belirtilen tercih verileri kullanılarak öngörülen modelin gerçek tercih verileri kullanılarak öngörülen modelden daha düşük zaman değeri üretme eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Etkileyen unsurlar açısından, kişi başına taşınan malların hacminin, zaman değerindeki değişimi açıklamak için kişi başına GSYİH'den daha uygun bir değişken olduğu bulunmuştur.

Günay (2023) tarafından yapılan çalışmada sevkiyat boyutu ve karayolu yük taşıma taşıtı seçimi coğrafi açıdan incelenmiştir. Bu çalışmada veriler Kocaeli Lojistik Master Planı'ndan (KOLMAP) alınmıştır. KOLMAP verileri iki bölümden oluşmaktadır: Birinci bölüm Kocaeli ilindeki sanayi ve lojistik işletmeleri ile yapılan anket verileridir, ikinci bölüm ise sürücü anketlerinden oluşmaktadır. Sürücü anketlerindeki sorular: Taşıt türleri, sevkiyat boyutları, varış noktalarına veya çıkış noktalarına olan yolculuk uzaklıkları, yük gövde türleri, taşıtlardaki mal türü ve taşıt sahibi ile ilgilidir. Bu çalışma, çok terimli lojit ve karma lojit model kullanarak yük taşıtı seçim modellerini oluşturmak için verilerin ikinci kısmını kullanmaktadır. Yapılan çalışmada Kocaeli, Gebze için sevkiyat boyutunu ve karayolu yük taşıma araç

seçimlerini modellerken bir sanayi bölgesinin (Gebze) diğerk büyük kentlere (İstanbul) coğrafi yakınlığını dikkate almanın gerekip gerekmediğini gözlemlemek amaçlanmıştır. Modelleme teknikleri, sevkiyat boyutu seğımi için Kovaryans Analizi'ni (ANCOVA) ve taşıt seğımi için ayırık seğıim yaklaşımlarını içermektedir. Bu alışma, kukla değışken ve pazar bölümlendirme yaklaşımlarını kullanarak komşuluğun etkilerini araştırmaktadır. Her iki yaklaşım da Kocaeli'nin İstanbul'a komşu bir bölgesinin, Kocaeli'nin geri kalanından farklı taşıt seğıim yapılarına sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bir bölgeye ilişkin sevkiyat büyüklüğü ve yk taşıtı seğıimi modellemesinde veya yük taşımacılığı ana planlarında diğerk büyük kentsel alanların komşuluk etkileri de dikkate alınması gerektiğı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çeşitli değışkenlerin sevkiyat büyüklüğü ve taşıt seğıim modelleri üzerindeki etkileri de verilmiştir.

Hidayati ve diğ. (2024) Endonezya'daki yurt içi sevkiyatlar için nakliye zinciri seğıimini öngörmeye yönelik, bu tür seğıimleri belirleyici bir şekilde ele alan Endonezya'nın ulusal yük taşımacılığı modeli (INTRAMOD) kapsamındaki lojistik seğıimlerini iyileştirmeyi amaçlayan olasılıksal bir yaklaşımın geliştirilmesine yönelik araştırmayı sunmaktadır. INTRAMOD lojistik modeli, kamyon, demiryolu, gemi ve uçak olmak üzere dört ana türü içeren beş farklı taşıma zinciri olanağı sunmaktadır. Ancak alışma kapsamında ana ulaşım zincirlerine odaklanılıp karayolu, demiryolu ve deniz taşımacılığı incelenmiştir. Gerekli verileri elde etmek için gerçek tercih ve sanal tercih anketi çalışmaları yapılmıştır. Endonezya'daki 509 bölge, hesaplamaları kolaylaştırmak için 91 Ulaştırma Analiz Bölgesi'ne (TaZ) toplanmıştır. Belirtilen tercih senaryolarının seçenekleri, üretim ve tüketim bölgeleri arasındaki mevcut taşıma zinciri seçenekleri olup seçenekler taşıma geçkileri arasında değışiklik göstermektedir. 91 Ulaştırma Analiz Bölgesi için 8281 üretim ve tüketim çifti oluşturulmuş ve bu çiftler en fazla beş olası taşıma zincirine sahiptirler: Kamyon (seçenek 1), kamyon-tren-kamyon (seçenek 2), kamyon-gemi-kamyon (seçenek 3), kamyon-uçak-kamyon (seçenek 4) ve kamyon-tren-gemi-kamyon/kamyon-gemi-tren-kamyon (seçenek 5). Elde edilen açıklanmış ve belirtilmiş tercih verileri kullanılarak ulaşım seğıim modelinin öngörülmesinde çok terimli lojit modelleri kullanılmış, model kapsamında nitelik olarak taşıma maliyeti, taşıma süresi ve güvenilirlik kullanılmıştır. Türler için zaman katsayısı ortak modelin diğerk modellere göre üstün olduğı görülmüştür. Ayrıca tercih edilen MNL modeli, özellikle yüksek ve düşük değerkli

mallar için sevkiyat özelliklerine göre bölümlere ayrılarak genişletilmiş, sonuç olarak yüksek değerli malların nakliyesinin nakliye süresine daha duyarlı olduğu görülmüştür.



3. YÖNTEM

Yük taşımacılığı ulusal ve uluslararası politika bağlamında önemli yol kat etmiştir (Ben-Akiva ve diğ., 2013). Yük taşımacılığı sistemlerinin karmaşıklığını çözümüyle düzeyinde yakalamak için araştırmacılar geniş bir model yelpazesi önermektedirler (Tavasszy ve De Jong, 2014 ; Ben-Akiva ve diğ., 2013). De Jong ve diğ. (2004) bu tür modelleri, bir taşıma sisteminin davranışını tanımlamak ve açıklamak için tasarlanmış bir veya daha fazla matematiksel deneysel ilişkiden oluşan modeller olarak nitelendirmektedirler. Sonuçta, herhangi bir ulaştırma sisteminin dış kaynaklı olumsuz etkilere karşı dayanıklı olduğu ve/veya politika önlemlerine uyduğu dikkate alındığında, bu modeller yük taşımacılığında gelecekteki olası gelişmeler için fikir verebilir. Small ve Winston (1999) yük modellerinin aynı zamanda ulaştırma pazarlarının özel özelliklerini, en önemlisi de ulaştırma sistemi içindeki veya onu içeren etkileşimleri temsil etmesi gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Ulaşım tür seçimi açısından yük taşımacılığı talebi, yük taşımacılığına yönelik toplam talebin farklı türlere göre dağılımını ele alır. Bu konuya, genel anlamda iki şekilde yaklaşılmıştır: toplu düzeyde veya ayırık düzeyde (de Jong ve diğ., 2013). Son yıllarda yük taşımacılığı modellemesinde kullanılan talebin modellenmesi uygulamalarında trafik yönetimi yönlendirme kararları için kullanılan ayrıntılı olmayan toplu mühendislik yaklaşımı yerini daha ayrıntılı ayrıştırılmış bir yaklaşıma bırakmıştır. Toplu modeller, altta yatan davranışsal varsayımlardan kaynaklanan genel ilişkileri tanımlamak için göndericilere ve sevkiyatlara ilişkin toplu verileri kullanır. Daha karmaşık modeller ise esnek fonksiyonel formlara dayanır ve bağdaşıklık (homojenlik), ölçek ekonomisi ve ayrışıklık gibi geleneksel kısıtlamaları sınar. Yeni deneysel yöntemler ve firma düzeyindeki verilerin artan kullanılabilirliği ile ulaştırma modelleri davranışsal ayırık çözümlemelere daha fazla yönelmektedir (Ben-Akiva ve diğ., 2013).

Toplam düzeydeki ulaşım türü seçim modelleri genellikle başlangıç-son matrislerine dayalıdır. OD matrisi, yolculuk bilgilerinin başlangıç ve bitiş noktasını gösterir, trafik benzetim modellerinde de önemli bir girdidir. OD matrisinin hücre değerleri her bir OD çifti arasındaki akışları temsil eder. Yüksek boyutlu veri kümeleri olan OD

matrisleri genellikle gözlemlenen trafik sayımlarından yararlanılarak kurgulanan modeller ile öngörülür. OD akışları ile bağlantı akışları arasındaki değişken ilişki seviyesi nedeniyle öngörülebilmesi güçtür. Bu nedenle, bu alandaki çoğu çalışma OD öngörülebilmesi için yeni çözüm algoritmaları geliştirmeye odaklanmıştır (Cipriani ve diğ, 2011).

Yük taşımacılarının karayolu ve deniz ulaşımı arasındaki tür seçimini etkileyen unsurları incelemek için şehir içi yük taşımacılığı anket verileri kullanılarak ayırık seçim modellerinden ikili lojit model kullanılmıştır. Modelleme çalışması için anket verileri içinden araç sınıfı, yolculuk başlangıç ve bitiş noktaları, yük türü; anket verileri ve www.tollguru.com ağ sayfası kullanılarak oluşturulan yolculuk uzaklığı, süresi ve maliyeti verilerinden yararlanılmıştır.

Verilerin çözümlemesi için seçilen toplulaştırılmış ve ayırık gruplama düzeyi ulaşım planlama çalışmaları için önemli bir konudur (Ortuzar ve Willumsen, 2011). Toplulaştırılmış modellerin bireysel seçimleri tam olarak yansıtamaması gibi nedenlerden dolayı ayırık seçim modelleri geliştirilmiştir. Yük taşıma türü seçimi literatüründe çoğunlukla ayırık seçim modellerinin kullanıldığı görülmektedir. Yaygın olarak ikili lojit model kullanılmasıyla beraber bu modelin temel teorisini kullanan değişik modeller de kullanılmıştır. Bu modeller, çok terimli lojit model, karma lojit model, iç içe geçmiş lojit model, çapraz iç içe geçmiş lojit modeldir.

3.1 Ayırık Seçim Modelleri

Toplulaştırılmış modellerin bireyleri gruplamalar yaparak ya da bölgesel olarak bir araya getirerek değerlendirme yapmasına karşın ayırık seçim modelleri ile bireyin sosyo-ekonomik özelliklerinin ve seçeneğin göreceli çekiciliğinin bir fonksiyonu oluşturularak seçme olasılıkları belirlenir. Ayırık seçim modelleriyle bir bireyin veya grubun verilen bir dizi seçenek karşısındaki tepkilerini ölçmek amaçlanmaktadır. Ayırık seçim deneyleri, niteliklerin seçim tercihleri üzerindeki etkilerinin öngörülebilmesine ve daha iyi anlaşılmasına olanak tanır (Louviere ve diğ, 2010) ve nitelik düzeylerinin varsayımsal karışımlarıyla seçimleri ölçme yeteneği verir (Bendall ve Brooks, 2011). Ayırık seçim modelleri, bir dizi değişkene ve seçim kararı üzerindeki etkilere dayalı olarak seçim olasılığını öngörmeye çalışan ve Bölüm 3.2’de ayrıntıları verilecek olan Rastgele Fayda Teorisi üzerine kurulmuştur (Louviere ve diğ, 2010). Bu teorik, seçime etkisi olan tüm unsurların ortak olarak yer aldığı bileşke bir

büyüklik olan fayda kavramı ile seçim modellenir. Fayda yaklaşımında seçenekler tek başına değerlendirilmezler, kendileri fayda üretmezler; fayda kavramı seçeneklerin ve bireylerin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkar (Ortuzar ve Willumsen, 2011).

Fayda fonksiyonu için kullanılan değişkenler; nitel ve nicel, sürekli ve kesikli, bağımlı ve bağımsız olarak sınıflandırılabilir. Nicel değişkenler; sayılarla gösterilen ve miktar belirterek belirli bir büyüklük değerine sahip olan değişkenlerdir. Bu değişkenlere, tez kapsamında kullanılan yolculuk maliyet ve süresi örnek verilebilir. Nitel değişkenler; sayılarla gösterilmeyen, verilerin özelliklerini, kalite ve sınıflarla belirten değişkenlerdir. Bu değişkenlere, tez kapsamında kullanılan araç sınıfı örnek verilebilir. Kesikli değişkenler; belirli bir aralıkta herhangi bir değer alabilen değişkenler olup seçenekleri gösterirler ve sayısal değerlerin nicelik açısından bir anlamı yoktur (Jong ve Kroes, 2014). Sürekli değişkenler; belirli bir aralıktaki bütün değerleri alabilen değişkenlerdir. Sürekli değişkenler kesikli değişkenlere dönüştürülebilir. Bu değişkenlere, tez kapsamında kullanılan taşıt yılı ve kilometresi örnek verilebilir. Tez kapsamında da taşıt yılı ve kilometresi, anket verilerinin genel dağılımına bakılarak belirli gruplar halinde çözümlemede kullanılmak için kukla değişken şekline dönüştürülmüştür; sürekli değişkenden kesikli değişken haline getirilmiştir. Bağımlı değişkenler; modelden çıktı olarak elde edilen ve asıl ilgilenilen değişkenlerdir. Modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin katsayılarının artı veya eksi olma durumundan ve büyüklüğünden etkilenecek belirli bir anlam, büyüklük, değer kazanır ve veriyi tanımlamada kullanılır (Kul, 2014). Bağımsız değişkenler; modelin bağımlı değişkenleri üzerine etkisi olan ve açıklayıcı değişken olarak da adlandırılan ölçülebilen ya da gözlemlenebilen değişkendir (Kul, 2014).

3.2 Rastgele Fayda Teorisi

Ayrık seçim modellerinin temelinde rastgele fayda teorisi bulunmaktadır. Rassal fayda kuramına dayanan bu modeller, ekonomideki tüketici teorisinde olduğu gibi, karar verici bireyin tüm seçenekler hakkında yeterli bilgiye sahip olduğunu varsayar. Ancak, karar verici bireyin seçenekler hakkında eksik bilgiye sahip olabileceği de dikkate alınmalıdır (Ben-Akiva ve Bierlaire, 1999).

Bireylerin seçimleri sırasında oluşabilecek belirsizlikleri dört başlık altında incelemek mümkündür: seçeneklerin dikkate gözlemlenememiş nitelikleri, karar verici bireylerin dikkate alınamamış özellikleri, ölçme hataları ve doğrudan etkisi olmayan ikincil

değişkenler (Manski ve Lerman, 1977). Literatürde, bu yaklaşımından yola çıkarak, seçeneklerin faydası belirlenimsel ve rassal (hata) olmak üzere iki terimin toplamı şeklinde oluşturulmuştur. Bir seçenek kümesi (C_n) içerisinde yer alan i seçeneğinin n ile gösterilen bireye olan faydası Denklem 3.1’de verilmiştir.

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (3.1)$$

U_{in} : Fayda değeri

V_{in} : Belirlenimsel (gözlemlenebilir) bileşen

ε_{in} : Hata terimi/rassal terim

Belirlenimsel terim olan V_{in} seçeneğin niteliklerinin ve karar verici bireyin özelliklerinin bir fonksiyonudur ve Denklem 3.2’de verilmiştir (Ben-Akiva ve Bierlaire, 1999).

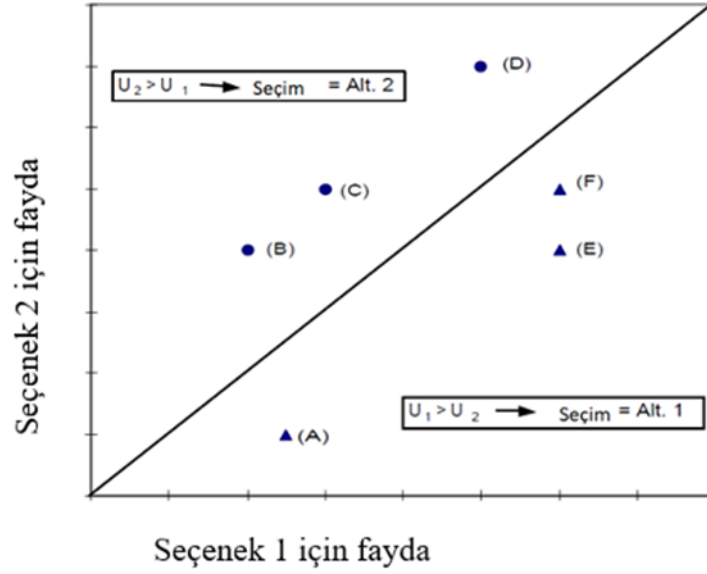
$$V_{in} = V(Z_{in} + S_n) \quad (3.2)$$

Burada Z_{in} , i seçeneği için birey (n) tarafından algılanan nitelikleri ve S_n ise bireyin özelliklerini ifade etmektedir.

Seçimin, Denklem 3.1’de verilen fayda fonksiyonundan yararlanılarak modellenmesinde, belirlenimsel ve olasılıksal seçim yaklaşımı olmak üzere iki farklı seçim yaklaşımı mevcuttur (Koppelman ve Bhat, 2006).

3.2.1 Belirlenimsel seçim yaklaşımı

Belirlenimsel seçim yaklaşımında, bireyin seçim yapma sürecinde oluşabilecek belirsizliklere odaklanmadan, seçenekler arasından en yüksek faydayı sağlayan seçeneğin kesin olarak seçileceği varsayılır. Bu durumda, Denklem 3.1’de verilen fayda fonksiyonunun yalnızca V bileşeni ele alınır. Şekil 3.1’de verilen grafikte, iki seçenekli bir durumda, belirlenimsel seçim yaklaşımına göre, Seçenek 1 ve Seçenek 2’nin sağladıkları fayda büyüklüğüne göre seçilme durumları gösterilmiştir. Grafikteki köşegen üzerinde Seçenek 1 ve 2’nin faydaları eşittir. Köşegenin üst kısmında Seçenek 2’nin faydası Seçenek 1’in faydasından büyüktür. Bu durumda, Seçenek 2 seçilir. Benzer şekilde, köşegenin alt kısmında Seçenek 1’in faydası Seçenek 2’den büyüktür ve bu durumda da Seçenek 1 seçilir (Koppelman ve Bhat, 2006).



Şekil 3.1: Belirlenimsel seçim grafiğı.

Belirlenimsel seçim yaklaşımı kullanıldığında, bireylerin tüm seçenekler hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığı durumu göz ardı edilerek, mükemmel ayırım yeteneğıne sahip oldukları varsayılır. Ayrıca, araştırmacıdan kaynaklanabilecek hatalar da dikkate alınmaz. Ancak araştırmacı, aynı özellikler hakkında farklı veya eksik bilgiye ve/veya bireylerin fayda değerlendirmeleri hakkında yetersiz bilgiye sahip olabilir. Bu durum, belirlenimsel seçim yaklaşımının kullanılmasının tek yolunun, araştırmacıların seçim yapan bireylerin içsel karar verme süreçlerinin tüm yönlerini ve seçenekler hakkındaki algı düzeylerini tam olarak bilmeleri gerektiğinin kabul edilmesi olduğunu gösterir. Gerçekte ise, araştırmacının bireylerin yolculuk kararlarıyla ilgili tüm bilgilere sahip olması olası değildir (Koppelman ve Bhat, 2006).

3.2.2 Olasılıksal seçim yaklaşımı

Olasılıksal seçim yaklaşımı, bireylerin seçim yaparken karşılaştıkları belirsizlik durumlarını dikkate alır. Bu yaklaşımda, Denklem 3.1'de verilen fayda fonksiyonunda yer alan rassal terim ε hesaba katılır. Bu durumun temelinde, araştırmacının tüm seçenekler hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olamayacağı varsayımı yatar. Hesaplamalarda, fayda değerlerine göre kesin bir sonuç çıkarmak yerine, bireyin seçim kümesi içinden her bir seçeneğı seçme olasılığı hesaplanır. Seçeneklerden hangisinin faydası daha büyükse, o seçeneğın seçilme olasılığı da daha yüksek olacaktır. (Koppelman ve Bhat, 2006).

Olasılıksal seçim modellerinin en yaygın olanı olan lojit grubu modelleri, Gumbel (1958) tarafından tanıtılan ve Tip I Uç Değer dağılımına sahip olan olasılık dağılım fonksiyonuna dayanmaktadır (De Jong ve Kroes, 2014). Öte yandan, bir başka model türü olan Probit modelleri, Merkezi Limit Teoremine dayanarak standart normal dağılımı kullanır. Lojit modelin yaygın olarak tercih edilmesinin sebebi ise kolay uygulanabilirliğidir (Ben-Akiva ve Bierlaire, 1999). Burada bahsedilen dağılımlar, değeri bilinmeyen bir rastgele değişken olan ε için seçilen dağılımları ifade etmektedir.

3.3 Lojit Modelde Seçim İçin Olasılık Hesabı

Lojit modelinin olasılık hesabı için kullanılan bağıntının türetilmesinde, öncelikle bir seçeneğin seçilme olasılığının, bu seçeneğin faydasının diğer seçeneklerin faydasından büyük olma olasılığına eşit olduğu varsayılır (Denklem 3.3). Fayda bağıntıları belirlenimsel ve hata terimi ile açıkça yazılıp (Denklem 3.4), bilinen V değerleri ile bilinmeyen ε terimleri eşitsizliğin aynı tarafına alınır (Denklem 3.5). Elde edilen denklem, bir rastgele değişkenin belirli bir değerden küçük kalması olasılığının eşdeğeridir ve seçilen bir dağılıma ait eklenik dağılım fonksiyonu (EDF) kullanılarak bu olasılık hesaplanabilir. Böylece, lojit model için geçerli olan Gumbel dağılımının EDF'sinden yararlanılarak, Denklem 3.6'da verilen olasılık bağıntısı elde edilir (Koppelman ve Bhat, 2006).

$$P_r(i) = P_r(U_i > U_j) \quad (3.3)$$

$$P_r(i) = P_r(V_i + \varepsilon_i > V_j + \varepsilon_j) \quad (3.4)$$

$$P_r(i) = P_r(V_i - V_j > \varepsilon_j - \varepsilon_i) \quad (3.5)$$

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{e^{V_i} + e^{V_j}} \quad (3.6)$$

U_i ve U_j : Fayda fonksiyonları

V_i ve V_j : Belirlenimsel (gözlemlenebilir) kısımlar

ε_i ve ε_j : Hata terimleri/rassal terimler

P_i : i seçeneğinin seçilme olasılığı

i, j : Seçim kümesi

3.4 İkili Lojit Model

Basit ikili model yalnızca bireylerin iki seçeneğe sahip olduğu iki ayrık seçim için kullanılır. Fayda fonksiyonu genellikle doğrusal bir modelle temsil edilir ve ulaşım türü seçimi için, bu seçimi etkileyen unsurlar olan çeşitli bağımsız değişkenler ve her bir türü belirten bağımlı değişkenlerden oluşur.

İkili lojit modelde, i türünün (P_i) seçilme olasılığı Denklem 3.7 ile matematiksel olarak belirtilirken, ikinci taşıma türünün kullanılması (P_j) olasılığı Denklem 3.8'den elde edilebilir.

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{1+e^{V_i}} \quad (3.7)$$

$$P_j = 1 - P_i \quad (3.8)$$

i, j : seçim kümesi içindeki iki seçenek

V_i : i seçeneğine ait fayda fonksiyonu

P_i : i seçeneğinin seçilme olasılığı

P_j : j seçeneğinin seçilme olasılığı

3.5 Katsayıların Kestirimi

Lojit modelde, bağımsız değişkenlerin katsayılarının öngörülebilmesi için kullanılan yöntem, en büyük olabilirlik (maximum likelihood) yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan ilişki, Denklem 3.9'da sunulmuştur (Koppelman ve Bhat, 2006).

$$LL(\beta) = \sum_t \sum_j \delta_{jt} \times \ln(P_{jn}) \quad (3.9)$$

j : Seçenek

t : Birey

δ_{in} : seçimin yapıp yapılmadığını belirten gösterge (eğer birey n) tarafından seçim yapılırsa 1, yapılmazsa 0 değerini alır.)

P_{jn} : n bireyinin j seçeneğini seçme olasılığı

Bir katsayı eksi olduğunda, ilgili değişkenin artması seçeneğin faydasının azalmasına ve dolayısıyla seçilme olasılığının azalmasına yol açar. Aynı şekilde, bir katsayı artı olduğunda, değişkenin artması fayda fonksiyonuna olumlu katkıda bulunur ve seçeneğin seçilme olasılığının artmasına neden olur. Katsayı işaretlerinin bu beklentiye uygun olup olmadığı incelenir.

3.6 Model Başarımının Değerlendirmesi

Lojit modelin başarımını değerlendirmek için farklı ölçütler kullanılır. Bu ölçütler; katsayıların işaretlerinin ve büyüklüklerinin değerlendirilmesi, t istatistiği, -2LL testi ve ρ^2 değeridir. Katsayıların işaret ve büyüklükleri değerlendirilirken, eksi ve artı olma durumları göz önünde bulundurulur.

t istatistiği bağımsız modelin kabul edilen güven aralığı değerleri içinde değişkenlerin katsayılarının bulunup bulunmadığını test etmek amacıyla kullanılır. Değişkenlerin t istatistik değerleri, %90 güven aralığı için -1,645 ve +1,645 değerleri arasında olmalıdır. %95 güven aralığı için ise -1,960 ve +1,960 değerleri dışında olmalıdır (Koppelman ve Bhat, 2006).

-2LL testi, öngörülen bir modelin, seçilen bir referans modele göre üstünlüğünü değerlendirmek için kullanılır. Genellikle, referans model olarak değişken içermeyen ve yalnızca sabitler içeren bir model kullanılır. Bu testin serbestlik derecesi, her iki modelin değişkenlerinin ve sabitlerinin sayıları arasındaki farka eşittir. Bu serbestlik derecesine dayalı olarak, χ^2 dağılımı tablosundan okunan eşik değer, Denklem 3.10 ile hesaplanan modele ait -2LL değerinden daha küçük olması beklenir.

$$-2LL = -2 \times [LL(M) - LL(\beta)] \quad (3.10)$$

LL(β): Bağımsız değişkenlerin oluşturduğu modelin en büyük olabilirlik değeri

LL(M): Sabit terimlerin oluşturduğu modelin en büyük olabilirlik değeri

Diğer bir test olan uyum iyiliği testi, modelin kullandığı veri setini ne derece temsil ettiğini göstermek için kullanılır.

ρ^2 değeri, Denklem 3.11'de açıklandığı gibi, öngörülen model (LL(β)) ile referans model (LL(M)) arasındaki farkın, mükemmel model (LL(*)) ile referans model (LL(M)) arasındaki farka oranlanmasıyla hesaplanır (Koppelman ve Bhat, 2006).

$$\rho^2 = \frac{LL(\beta) - LL(M)}{LL(*) - LL(M)} \quad (3.11)$$

LL(*) değerinin 0 olması durumunda ρ^2 değeri denklem 3.12'deki gibi hesaplanır.

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(M)} \quad (3.12)$$

LL(M): yalnızca sabitler modeli için log olabilirliğini temsil eder,

LL(β): öngörülen model için log olasılığını temsil eder,

LL(*): modelin öngörülen değerinin mükemmel olması durumunda sıfıra eşittir.

Doğrusal regresyon modellerindeki R^2 değeri gibi, ρ^2 değeri de 0 ile 1 arasında değişir. ρ^2 değeri ne kadar 1'e yakınsa, modelin veriyi o kadar iyi öngördüğü sonucu ortaya çıkar.



geçebilir. Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nde ise tüm motorlu taşıt sınıfları geçebilirken, Avrasya Tüneli'nden yalnızca 1. sınıf taşıtlar geçebilir. Taşıt sınıfına dayalı bu geçiş kısıtlamalarının amacı, yük taşımacılığının kentsel trafik üzerindeki etkisini azaltmaktır. Yük taşıtlarının genellikle 2. sınıf ve üzeri olması nedeniyle, bu taşıtlar 3. köprü olarak da bilinen Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nü kullanmaktadır.

Çizelge 4.1: Taşıt sınıfları.

Taşıt Sınıfı		
1	2 akslı ve aks uzunluğu 3,2 m'den kısa olan taşıtlar (Otomobil, Kamyonet, Minibüs, Arazi Taşıtı vb.)	
2	2 akslı ve aks uzunluğu 3,2 m'den uzun olan taşıtlar (Minibüs, Kamyonet, Otobüs vb.)	
3	3 akslı taşıtlar	
4	4 ve 5 akslı taşıtlar	
5	6 ve üzeri sayıda aksı olan taşıtlar	
6	Motosikletler	

Karayolu taşımacılığına ek olarak, boğaz geçişleri Şekil 4.2 ve 4.3'te görüldüğü üzere iki adet arabalı vapur hattı ile de sağlanmaktadır: Sirkeci-Harem ve İstinye-Çubuklu. Sirkeci-Harem Hattı'nın çalışma saatleri, hafta içi 06:00-21:00, hafta sonu ise 09:00-21:00 arasındadır. İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı ise hafta içi 07:00-21:00, hafta sonu 09:00-21:00 saatlerinde hizmet vermektedir. Arabalı vapur hatlarında hafta içi yoğun saatlerde (08:00-10:00 ve 16:00-21:00) sefer sıklığı 15 dakika, diğer saatlerde 20 dakika; hafta sonu ise yoğun saatlerde 20 dakika, diğer saatlerde 30 dakikadır. Ancak, arabalı vapurların taşıt kapasiteleri dolduğunda vapur, sefer saatinden önce hareket etmektedir.



Şekil 4.2: Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı.



Şekil 4.3: İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı.

Arabalı vapur hatları her iki yönde eş zamanlı olarak hizmet vermektedir. Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı'nda sefer süresi ortalama 20 dakika iken, İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı'nda bu süre 8 dakikadır. Yavuz Sultan Selim Köprüsü (YSS) ile Sirkeci Harem ve İstinye Çubuklu Arabalı Vapur Hatları için geçiş ücretleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Geçiş ücretleri (TL).

	YSS Köprüsü	Sirkeci-Harem A.V.H.	İstinye-Çubuklu A.V.H.
1.Sınıf	49	60	60
2.Sınıf	65	80	80
3.Sınıf	120	250	250
4.Sınıf	305	375	375
5.Sınıf	380	450	450

4.2 İstanbul Şehir İçi Yük Taşımacılığında Deniz Ulaşımının Payı Araştırma Anketi

İstanbul’da kent içi yük taşımacılığında Boğaz’dan geçiş için kullanılan ulaşım türleri olan karayolu ve deniz taşımacılığının seçim nedenlerini araştırmak amacıyla deniz taşımacılığı seçeneklerinden Sirkeci-Harem ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hatları’nda yük taşıtı sürücüleriyle bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması haftanın tüm günlerinde saat 08:00-21:00 aralığında yapılmıştır. Kasım-Aralık 2023 tarihinde Sirkeci-Harem Hattı’nda 300, İstinye-Çubuklu Hattı’nda 95 yük taşımacılığı yapan taşıt sürücüsüyle gerçekleştirilen ankette açık uçlu olarak açıklanan ve belirtilen tercih sorularına yer verilmiştir. Sirkeci Harem Hattı’nda ankete katılanların %66’sı 2.sınıf, %26’sı 3.sınıf, %2’si 4.sınıf, %6’sı 5.sınıf taşıtlardan oluşmaktadır. İstinye Çubuklu Hattı’nda ankete katılanların %20’si 2.sınıf, %58’i 3.sınıf, %17’si 4.sınıf, %5’i 5.sınıf taşıtlardan oluşmaktadır. Açıklanan tercih soruları ile mevcut durumdaki tercihler istenirken belirtilen tercih sorularıyla yapılabilecek düzenlemeler sonucundaki tercihler araştırılır. Ayrıca anket çalışmasıyla çizelge 4.3’te görüldüğü üzere arabalı vapur hatları için katılımcıların en çok belirttiği olumlu ve olumsuz özellikler elde edilmiştir.

Çizelge 4.3: Arabalı vapur hatlarına göre kullanıcı değerlendirmeleri.

	Olumlu Özellikler	%	Olumsuz Özellikler	%
SİRKECİ-HAREM ARABALI VAPUR HATTI	Sefer Sıklığı	25	Bilet Fiyatı	56
	Hız	19	Sefer Sıklığı	15
	Seyir Zevki	19	Vapura Giriş Çıkış	9
	Zaman Tasarrufu	16	Büfe Fiyatı	8
	Personel Davranışı	13	Temizlik	8
	Diğer	8	Diğer	4
	Hız	25	Vapura Giriş Çıkış	24
İSTİNYE-ÇUBUKLU ARABALI VAPUR HATTI	Seyir Zevki	23	Temizlik	21
	Yol Tasarrufu	17	Büfe Fiyatı	19
	Sefer Sıklığı	14	Bilet Fiyatı	16
	Zaman Tasarrufu	10	Sefer Sıklığı	12
	Diğer	11	Diğer	8

Anket ile edilen verilere göre Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı için sefer sıklığı, hız ve seyir zevki kullanıcılar tarafından olumlu bulunan özellikler iken bilet fiyatı, sefer sıklığı, vapura giriş çıkış olumsuz özelliklerdir. Sefer sıklığının hem en çok belirtilen olumlu hem de olumsuz özelliklerde yer alması kullanıcıların çabuk teslimat durumuna göre farklı sefer sıklığı gereksiniminde olduklarını ancak sefer sıklığının önemli bir tercih nedeni olduğunu göstermektedir. Ayrıca anket kapsamında araç özellikleri, geçki bilgisi ve yük türü gibi yolculuk ve taşımacılık hakkında genel bilgi edinme sorularına da yer verilmiştir. Açıklanan tercih sorularıyla en sık taşımacılık yapılan geçki ve tür seçimi, yük taşıma sürücülerinin arabalı vapuru kullanım sıklıkları ve kullandıkları saat aralıkları elde edilmiştir. Sanal tercih sorularıyla saat ve ücret düzenlenmesi durumlarındaki tercihler elde edilmiştir.

Sürücülere yöneltilen iki yaka arasında en sık taşımacılık yapılan geçkiler ve yaka geçişinde kullanılan türler (karayolu ve denizyolu) sorusuna verilen yanıtlar karayolu ve deniz taşımacılığı için seçim verisi olarak kullanılmıştır. Böylece, Sirkeci-Harem Hattı'nda yapılan ankete katılan 300 yük taşımacılığı sürücüsünden 636 adet seçim verisi elde edilmiştir. İstinye-Çubuklu Hattı'nda yapılan ankete katılan 95 yük taşımacılığı sürücüsünden ise 135 adet seçim verisi elde edilmiştir. İki vapur hattında toplam 395 yük taşımacılığı sürücüsüyle yapılan anket verilerinden toplam 771 seçim

verisi elde edilmiştir. Anket çalışmasıyla elde edilen her bir ulaşım türünün tercih edilme sayısı ve yüzdeleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4: Tür seçim verileri.

	Ulaşım Türü	Yolculuk Sayısı	%	Toplam
Sirkeci-Harem A. V. H.	Karayolu	158	25	636
	Denizyolu	478	75	
İstinye-Çubuklu A.V.H.	Karayolu	15	11	135
	Denizyolu	120	89	
Toplam Anket Verisi	Karayolu	173	22	771
	Denizyolu	598	78	

Çalışmalar kapsamında, bir sonraki aşamada, yolculuk başlangıç ve bitiş noktalarına göre başlangıç bitiş matrisi oluşturularak yolculukların ilçe bazlı dağılımı incelenmiştir. Matris için İstanbul'un 39 ilçesinin yanı sıra Kocaeli'nin Gebze ilçesi ile kent dışına da yer verilmiştir. Sirkeci-Harem Hattı'na ait başlangıç son matrisi Çizelge 4.5'te, İstinye-Çubuklu Hattı'na ait matris ise Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5: Sirkeci-Harem Hattı anket verileri için başlangıç bitiş matrisi.

Başlangıç/ Bitiş	Adalar	Arnavutköy	Ataşehir	Avcılar	Bağcılar	Bahçelievler	Bakırköy	Başakşehir	Bayrampaşa	Beşiktaş	Beykoz	Beylikdüzü	Beyoğlu	Büyükkçekmece	Çatalca	Çekmeköy	Esenler	Esenyurt	Eyüpsultan	Fatih	Gaziosmanpaş	Güngören	Kadıköy	Kağıthane	Kartal	Küçükçekmece	Maltepe	Pendik	Sancaktepe	Sarıyer	Silivri	Sultanbeyli	Sultangazi	Şile	Şişli	Tuzla	Ümraniye	Üsküdar	Zeytinburnu	Gebze	Kent Dışı	Toplam		
Adalar																																										0		
Arnavutköy																	1																			1						3		
Ataşehir				1			2					1						2	1	3		2																1					13	
Avcılar										1													2		1		2		1							1	1			1			10	
Bağcılar																							2													2	1			1	2		8	
Bahçelievler																											1									2	1	3		1			1	
Bakırköy			1																						1		1	1								2	1	3		1			11	
Başakşehir																							1				1	1															1	
Bayrampaşa																							4				1																5	
Beşiktaş			1																						1												1						3	
Beykoz																																											0	
Beylikdüzü																							1														1	1		1	2		6	
Beyoğlu			2							1													1		1			1								1		1					8	
Büyükkçekmece																																											1	
Çatalca																																			1								1	
Çekmeköy							1													1																							2	
Esenler																																										1		1
Esenyurt			1																				1																				2	
Eyüpsultan																							1																				1	
Fatih			7													2							8		3		3	3				2					4	5	12		3	6	58	
Gaziosmanpaşa																																												0
Güngören																							3				1															1		5
Kadıköy				1		3	4	1	2	1		1	1				1	1	1	7		1		1		1								1	4				1				33	

Çizelge 4.5 (devam): Sirkeci-Harem Hattı anket verileri için başlangıç bitiş matrisi.

Başlangıç/ Bitiş	Adalar	Arnavutköy	Ataşehir	Avclar	Bağcılar	Bahçelievler	Bakırköy	Başakşehir	Bayrampaşa	Beşiktaş	Beykoz	Beylikdüzü	Beyoğlu	Büyükkçekmec	Çatalca	Çekmeköy	Esenler	Esenyurt	Eyüpsultan	Fatih	Gaziosmanpaş	Güngören	Kadıköy	Kağıthane	Kartal	Küçükçekmec	Maltepe	Pendik	Sancaktepe	Sarıyer	Silivri	Sultanbeyli	Sultangazi	Şile	Şişli	Tuzla	Ümraniye	Üsküdar	Zeytinburnu	Gebze	Kent Dışı	Toplam			
Kağıthane					1															1		1												1						1	1				
Kartal																				1		1													1						4				
Küçükçekmece			2				1																3		1		1										1	3		1	6	19			
Maltepe				1			2					1	1							1															1							8			
Pendik		1		1								1								3		1													1							7			
Sancaktepe						1														1																						2			
Sarıyer																																											0		
Silivri																							1																				1		
Sultanbeyli																				3																		1				4			
Sultangazi																																											0		
Şile																																											0		
Şişli																							1															1				1	3		
Tuzla																				2															1							7			
Ümraniye							2	1					1							2																						6			
Üsküdar					2	1	1			1		1	2							13			1		1		2				1				1								28		
Zeytinburnu																							2		1					1					1		2		3				3	13	
Gebze				1									1						1	4	1																					1	9		
Kent Dışı		1			1		1		4					1					4		1		1							1													15		
Toplam	0	2	14	5	4	5	14	2	6	2	2	4	7	1	0	2	2	3	3	45	1	7	31	2	9	3	10	5	2	2	2	0	2	1	1	9	14	9	25	10	9	25	300		

Çizelge 4.6: İstinye-Çubuklu Hattı anket verileri için başlangıç bitiş matrisi.

Başlangıç/ Bitiş	Adalar	Arnavutköy	Ataşehir	Avcılar	Bağcılar	Bahçelievler	Bakırköy	Başakşehir	Bayrampaşa	Beşiktaş	Beykoz	Beylikdüzü	Beyoğlu	Büyükkçekmece	Çatalca	Çekmeköy	Esenler	Esenyurt	Eyüpsultan	Fatih	Gaziosmanpaşa	Güngören	Kadıköy	Kağıthane	Kartal	Küçükçekmece	Maltepe	Pendik	Sancaktepe	Sarıyer	Silivri	Sultanbeyli	Sultangazi	Şile	Şişli	Tuzla	Ümraniye	Üsküdar	Zeytinburnu	Gebze	Kent Dışı	Toplam	
Adalar																																											0
Arnavutköy																																					1						1
Ataşehir																																											0
Avcılar																																											0
Bağcılar																													2														2
Bahçelievler																																											0
Bakırköy																																											0
Başakşehir			2								2																															1	5
Bayrampaşa																									1			1														2	
Beşiktaş			1								1																		1									2			1	5	
Beykoz								1		1							1			1				2							5			1								12	
Beylikdüzü																																											0
Beyoğlu											1																																1
Büyükkçekmece																																											0
Çatalca																																											0
Çekmeköy																																											0
Esenler																																											0
Esenyurt																																											0
Eyüpsultan																																											0
Fatih																																											0
Gaziosmanpaşa											1																																1
Güngören																																											0
Kadıköy																					1																						1

Çizelge 4.6 (devam): İstinye-Çubuklu Hattı anket verileri için başlangıç bitiş matrisi.

Başlangıç/ Bitiş	Adalar	Arnavutköy	Ataşehir	Avcılar	Bağcılar	Bahçelievler	Bakırköy	Başakşehir	Bayrampaşa	Beşiktaş	Beykoz	Beylikdüzü	Beyoğlu	Büyükkçekmece	Çatalca	Çekmeköy	Esenler	Esenyurt	Eyüpsultan	Fatih	Gaziosmanpaşa	Güngören	Kadıköy	Kağıthane	Kartal	Küçükçekmece	Maltepe	Pendik	Sancaktepe	Sarıyer	Silivri	Sultanbeyli	Sultangazi	Şile	Şişli	Tuzla	Ümraniye	Üsküdar	Zeytinburnu	Gebze	Kent Dışı	Toplam	
Kağıthane			4																						2														1		7		
Kartal																																									1		0
Küçükçekmece																																									1		1
Maltepe									1									2													2												5
Pendik																										1					1												2
Sancaktepe																																											0
Sarıyer			2								5					1									1				1									3	1		5	1	20
Silivri																																											0
Sultanbeyli							1												1																								2
Sultangazi																																											0
Şile																																											0
Şişli											1																																1
Tuzla																																											0
Ümraniye					1			3		1								1													2												9
Üsküdar																			1						1																		2
Zeytinburnu																																										1	1
Gebze		1							1	1											1														1						1	6	
Kent Dışı																			1											4										1	1	7	
Toplam	0	1	9	0	1	0	1	4	1	4	11	0	0	0	0	1	1	3	3	1	2	0	0	4	4	1	0	4	0	14	0	0	1	0	1	0	7	1	0	10	5	95	

Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı'nda 300 yük taşıtı sürücüsü ile yapılan anket sonucunda, vapurun en çok %34,3 oranıyla Fatih ilçesinde başlangıç veya bitiş noktaları olan geçkilerde kullanıldığı gözlemlenmiştir. En sık kullanılan geçki ise %4,3 oranıyla Üsküdar'da başlayıp Fatih ilçesinde biten geçki olmuştur. İstanbul'un diğer ilçelerinin yanı sıra, Gebze'de başlayan veya biten geçkiler için arabalı vapuru kullananların oranı %6 ve İstanbul dışındaki geçkiler için %13,3'tür.

İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı'nda 95 yük taşıtı sürücüsü ile yapılan anket sonucunda, vapurun en çok %36 oranında Sarıyer ilçesinde başlangıç veya bitiş noktaları olan geçkilerde kullanıldığı gözlemlenmiştir. En sık kullanılan geçkiler ise %5 oran ile Sarıyer'den başlayan Beykoz ve Gebze ilçelerinde biten geçkiler olmuştur.

Yolculuk başlangıç bitiş noktaları verilerinin daha rahat incelenebilmesi için ilçeler Boğaz'dan geçiş için kullanılan ulaşım türleri seçeneklerine yakınlık durumuna göre gruplandırılmıştır. Bu gruplamalar Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.7'de E harfi Avrupa Yakası'nda yer alan bölgeleri, A harfi Asya Yakası'nda kalan bölgeleri göstermektedir. Bu bölgeler Şekil 4.3'te harita üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.7: İlçe bölgelemesi.

Bölgeler ve İlçeler						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Avrupa Yakası	Güngören	Esenyurt	Sarıyer	Başakşehir	Arnavutköy	Silivri
	Zeytinburnu	Beylikdüzü	Şişli	Sultangazi	Büyükçekmece	Çatalca
	Bayrampaşa	Avcılar	Kağıthane	Eyüpsultan		
	Fatih	Küçükçekmece		Esenler		
	Beyoğlu	Bakırköy		Gaziosmanpaşa		
	Beşiktaş	Bahçelievler				
		Bağcılar				
Anadolu Yakası	A1	A2	A3	A4	A5	
	Üsküdar	Beykoz	Maltepe	Pendik	Şile	
	Ataşehir	Çekmeköy	Sultanbeyli	Tuzla		
	Ümraniye		Sancaktepe	Gebze		
	Kadıköy		Kartal			



Şekil 4.4: İlçe bölgelemesi.

İlçe bölgelemesi sonucunda İstanbulun 39 ilçesi, Gebze ve kent dışı için oluşturulan 41x41 boyutundaki başlangıç bitiş matrisi Avrupa Yakası için 6, Asya Yakası için 5 olmak üzere toplam 11x11 boyutundaki başlangıç bitiş matrisine dönüştürülmüştür. Çizelge 4.8’de denizyolu, Çizelge 4.9’da karayolu, Çizelge 4.10’da ise her iki ulaşım türü için 11x11 boyutundaki başlangıç bitiş matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.8: İlçe bölgelemesi denizyolu yolculuk başlangıç bitiş matrisi.

	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Toplam
E1	52	2	15	24	1	-	-	-	-	-	-	94
E2	21	1	8	24	0	-	-	-	-	-	-	54
E3	12	9	3	10	0	-	-	-	-	-	-	34
E4	4	3	0	2	0	-	-	-	-	-	-	9
E5	0	0	0	3	0	-	-	-	-	-	-	3
E6	2	0	0	2	0	-	-	-	-	-	-	4
A1	-	-	-	-	-	43	24	11	9	1	1	89
A2	-	-	-	-	-	2	1	7	3	0	0	13
A3	-	-	-	-	-	12	9	4	1	0	0	26
A4	-	-	-	-	-	23	8	8	4	3	3	49
A5	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	91	15	26	65	1	80	42	30	17	4	4	375

Çizelge 4.9: İlçe bölgelemesi karayolu yolculuk başlangıç bitiş matrisi.

	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Toplam
E1	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0
E2	1	0	0	4	0	-	-	-	-	-	-	5
E3	1	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	1
E4	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0
E5	0	0	0	1	0	-	-	-	-	-	-	1
E6	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0
A1	-	-	-	-	-	0	2	2	2	0	0	6
A2	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
A3	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	1	1
A4	-	-	-	-	-	1	1	0	2	1	1	6
A5	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	5	0	1	3	2	4	1	2	20

Çizelge 4.10: İlçe bölgelemesi toplam yolculuk başlangıç bitiş matrisi.

	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Toplam
E1	52	2	15	24	1	-	-	-	-	-	-	94
E2	22	1	8	28	0	-	-	-	-	-	-	59
E3	13	9	3	10	0	-	-	-	-	-	-	35
E4	4	3	0	2	0	-	-	-	-	-	-	9
E5	0	0	0	4	0	-	-	-	-	-	-	4
E6	2	0	0	2	0	-	-	-	-	-	-	4
A1	-	-	-	-	-	43	26	13	11	1	1	95
A2	-	-	-	-	-	2	1	7	3	0	0	13
A3	-	-	-	-	-	12	9	4	1	0	1	27
A4	-	-	-	-	-	24	9	8	6	4	4	55
A5	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	93	15	26	70	1	81	45	32	21	5	6	395

İstanbul Metropoliten Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (2011) kapsamında yapılan senaryo çözümlemelerinin sonuçlarına göre; Boğaz'dan geçiş için yeni bir koridor oluşturulması durumunda yük taşımacılığında köprünün payının %90 olacağı belirtilmiştir. Plan sırasında henüz mevcut olmayan bu yeni koridor Yavuz Sultan Selim Köprüsü'dür. Arabalı vapur hatlarında yapılan anketlerden elde edilen 771 seçim verisi sonucunda; vapur 598, karayolu 173 kez tercih edilmiştir. Yapılan çalışmayı karayolunu tercih eden yük taşıyıcılarını da kapsayacak duruma getirmek ve %90 oranındaki karayolu tercih edilme oranını sağlamak amacıyla katılımcıların taşıt sınıfı gibi anket sorularına verdikleri yanıtlar aynı kalmak üzere Şekil 4.3'te gösterilen 6'sı Avrupa Yakası ve 5'i Anadolu Yakası'nda bulunan 11 bölge için Avrupa'dan

Asya'ya ve Asya'dan Avrupa'ya yapılan yolculuk verilerinin çoğaltılması bölgesel olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Bölgeler arasındaki yolculuk verilerin çoğaltılması şu şekilde yapılmıştır:

1. Denizyolu yolculuk sayısı karayolu yolculuk sayısından fazla ise toplam yolculuklarda karayolu yolculuk oranı %90 olacak şekilde Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi karayolu yolculuk sayıları artırılmıştır.

Çizelge 4.11: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 1.

Başlangıç	Bitiş	Denizyolu	Karayolu	Denizyolu Artırılmış	Karayolu Artırılmış
E1	A1	81 (%94,2)	5 (%5,8)	81 (%10)	729 (%90)

2. Karayolu yolculukları denizyolu yolculuklarından fazla ve toplam yolculuklarda denizyolunun oranı %10'dan az ise toplam yolculuklarda karayolu yolculuk oranı %90 olacak şekilde Çizelge 4.12'de örnek verildiği üzere hem karayolu hem de denizyolu yolculukları artırılmıştır.

Çizelge 4.12: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 2.

Başlangıç	Bitiş	Denizyolu	Karayolu	Denizyolu Artırılmış	Karayolu Artırılmış
E4	A5	0 (%0)	1 (%100)	1 (%10)	9 (%90)

3. Karayolu yolculukları denizyolu yolculuklarından fazla ve toplam yolculuklarda denizyolunun oranı %10'dan fazla ise Çizelge 4.13'de görüldüğü gibi yalnızca karayolu yolculukları artırılmıştır.

Çizelge 4.13: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 3.

Başlangıç	Bitiş	Denizyolu	Karayolu	Denizyolu Artırılmış	Karayolu Artırılmış
A1	E5	1 (%25)	3 (%75)	1 (%10)	9 (%90)

4. Bölgeler arasında hiçbir yolculuk olmaması durumunda Çizelge 4.14'te gösterildiği üzere fiktif olarak 1 denizyolu ve 9 karayolu yolculuğu eklenerek toplam yolculuklarda karayolu yolculuk oranının %90 olması sağlanmıştır.

Çizelge 4.14: Bölgeler arasındaki yolculuk verilerinin artırımı 4.

Başlangıç	Bitiş	Denizyolu	Karayolu	Denizyolu Artırılmış	Karayolu Artırılmış
A5	E6	0	0	1 (%10)	9 (%90)

5. Karayolu yolculukları denizyolu yolculuklarından fazla ve toplam yolculuk içinde denizyolu yolculuk oranı %10 ise hiçbir artırma yapılmamıştır. Ancak bu artırıma uyan bir durum anket verisinde bulunmamaktadır.

Yapılan veri çoğaltımı işlemi sonucunda Denizyolu için Çizelge 4.15'te Karayolu için Çizelge 4.16'da ve toplam yolculuk için Çizelge 4.17'de verildiği üzere ilçe bölgelemesi düzeyinde artırılmış başlangıç bitiş matrisi elde edilmiştir. Sonuç olarak Çizelge 4.18'de verildiği gibi karayolu için 5535, deniz taşımacılığı için 615 tercih olmak üzere toplam 6150 veri oluşturulmuş, karayolu %90 denizyolu %10 oranında tercih edilmiştir.

Çizelge 4.15: İlçe bölgelemesi denizyolu artırılmış yolculuk başlangıç bitiş matrisi.

	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	81	6	22	35	1	-	-	-	-	-	-
E2	39	1	14	37	1	-	-	-	-	-	-
E3	14	9	3	13	1	-	-	-	-	-	-
E4	7	3	2	8	1	-	-	-	-	-	-
E5	2	1	1	4	1	-	-	-	-	-	-
E6	3	1	1	3	1	-	-	-	-	-	-
A1	-	-	-	-	-	64	42	21	17	1	1
A2	-	-	-	-	-	5	1	7	5	1	1
A3	-	-	-	-	-	21	14	4	4	1	1
A4	-	-	-	-	-	37	14	10	7	8	6
A5	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1

Çizelge 4.16: İlçe bölgelemesi karayolu artırılmış yolculuk başlangıç bitiş matrisi.

	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	729	54	198	315	9	-	-	-	-	-	-
E2	351	9	126	333	9	-	-	-	-	-	-
E3	126	81	27	117	9	-	-	-	-	-	-
E4	63	27	18	72	9	-	-	-	-	-	-
E5	18	9	9	36	9	-	-	-	-	-	-
E6	27	9	9	27	9	-	-	-	-	-	-
A1	-	-	-	-	-	576	378	189	153	9	9
A2	-	-	-	-	-	45	9	63	45	9	9
A3	-	-	-	-	-	189	126	36	36	9	9
A4	-	-	-	-	-	333	126	90	63	72	54
A5	-	-	-	-	-	9	9	9	9	9	9

Çizelge 4.17: İlçe bölgelemesi artırılmış toplam yolculuk başlangıç bitiş matrisi.

	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	810	60	220	350	10	-	-	-	-	-	-
E2	390	10	140	370	10	-	-	-	-	-	-
E3	140	90	30	130	10	-	-	-	-	-	-
E4	70	30	20	80	10	-	-	-	-	-	-
E5	20	10	10	40	10	-	-	-	-	-	-
E6	30	10	10	30	10	-	-	-	-	-	-
A1	-	-	-	-	-	640	420	210	170	10	10
A2	-	-	-	-	-	50	10	70	50	10	10
A3	-	-	-	-	-	210	140	40	40	10	10
A4	-	-	-	-	-	370	140	100	70	80	60
A5	-	-	-	-	-	10	10	10	10	10	10

Çizelge 4.18: Çoğaltılmış veri.

	Ulaşım Türü	Yolculuk Sayısı	%	Toplam
Toplam Anket Verisi	Karayolu	5535	90	6150
	Denizyolu	615	10	

Anket sorularındaki ulaşım tür seçimine verilen arabalı vapur hattı yanıtları için Sirkeci Harem ve İstinye Çubuklu Arabalı Vapur Hatları'ndan hangisinin deniz taşımacılığı için kullanılacağı yapılan ilçe gruplarının vapur hatlarına yakınlık durumu göz önüne alınarak belirlenmiştir. Buna göre E1, E2, E6, A1, A3 ve A4 ilçe grupları için Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı kullanılacağı varsayılırken E3, E4, E5, A2 ve A5 ilçe grupları için İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı'nın kullanılacağı öngörülmüştür.

Modellemede kullanılan bağımsız değişkenler olan yolculuk süresi, maliyeti ve yol uzunluğunu belirlemek için yolculuk başlangıç ve bitiş noktası, taşıt sınıfı kullanılarak www.tollguru.com ağ sayfası yardımıyla hafta içi trafik zirve saati başlangıcı olan 17:00 için veriler elde edilmiştir. Yolculuk süresi, maliyeti ve yol uzunluğu Sirkeci-Harem ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hatları ile Yavuz Sultan Selim Köprüsü kullanılarak İstanbul Boğazı'nı kullanan geçkiler için taşıt sınıflarına ve ilçe temeline göre ayrı ayrı bulunmuştur. Yolculuk süresi hesaplanırken karayolu için www.tollguru.com ağ sayfası kullanılarak elde edilen zirve saatteki ulaşım süresi kullanılırken deniz taşımacılığı için başlangıçtan vapur iskelesine ve vapur iskelesinden son noktaya erişinceye kadar karayolu ile yapılan yolculuk süresine ek olarak ortalama vapur bekleme sürelerini kapsayacak şekilde Sirkeci Harem Arabalı

Vapur Hattı için 30 dakika, İstinye Çubuklu Arabalı Vapur Hattı için 20 dakika alınmıştır. Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de denizyolu, Çizelge 4.21 ve Çizelge 4.22’de karayolu ulaşım türü için yolculuk süreleri ilçe bölgelemesi grupları için Avrupa’dan Asya’ya ve Asya’dan Avrupa’ya olmak üzere verilmiştir.

Çizelge 4.19: Denizyolu yolculuk süreleri Avrupa’dan Asya’ya (dk).

	A1	A2	A3	A4	A5
E1	83-SH	126-SH	92-SH	122-SH	135-SH
E2	88-SH	131-SH	97-SH	127-SH	140-SH
E3	68-IC	63-IC	78-IC	77-IC	86-IC
E4	86-IC	81-IC	96-IC	95-IC	104-IC
E5	121-IC	116-IC	132-IC	128-IC	141-IC
E6	126-SH	170-SH	156-SH	161-SH	174-SH

SH: Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı

IC: İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı

Çizelge 4.20: Denizyolu yolculuk süreleri Asya’dan Avrupa’ya (dk).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
A1	64-SH	120-SH	83-SH	86-SH	118-SH	128-SH
A2	85-IC	135-IC	62-IC	93-IC	123-IC	126-IC
A3	90-SH	146-SH	109-SH	112-SH	144-SH	154-SH
A4	102-SH	158-SH	121-SH	124-SH	156-SH	166-SH
A5	113-IC	163-IC	90-IC	121-IC	151-IC	154-IC

SH: Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı

IC: İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı

Çizelge 4.21: Karayolu yolculuk süreleri Avrupa’dan Asya’ya (dk).

	A1	A2	A3	A4	A5
E1	76	65	73	76	82
E2	88	76	85	87	97
E3	72	58	67	69	75
E4	61	47	56	57	64
E5	82	68	77	78	84
E6	90	74	82	84	90

Çizelge 4.22: Karayolu yolculuk süreleri Asya'dan Avrupa'ya (dk).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
A1	71	89	73	62	79	84
A2	57	79	60	50	68	74
A3	66	91	70	60	79	83
A4	68	94	69	60	77	84
A5	77	106	81	70	88	96

Maliyeti oluşturan otoyol geçiş ücretleri, köprü ve vapur geçiş ücretleri, yakıt ücreti yolculuk başlangıç ve bitiş noktalarına göre www.tollguru.com ağ sayfası kullanılarak hesaplanmıştır. Geçki bilgisiyle kullanılacak ücretli otoyollar belirlenmiş geçiş ücretleri taşıt sınıflarına göre hesaplanmıştır.

Yakıt ücreti taşıt sınıfları dikkate alınarak 1.sınıf için 5.4, 2.sınıf için 10.4, 3.sınıf için 12.5, 4.sınıf için 20, 5.sınıf için 25 litre olan 100 km için ortalama tüketilen yakıt miktarı ile hesaplanmıştır. Yolculuk uzunluğunu kat etmek için gerekli yakıt miktarı ile güncel yakıt litre fiyatının (40 TL/L) çarpılması sonucunda yakıt maliyeti hesaplanmıştır.

Denizyolu için toplam yolculuk maliyeti Denklem 4.1 ile Avrupa'dan Asya'ya ve Asya'dan Avrupa'ya olmak üzere Çizelge 4.23 ve 4.24'te görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam Yolculuk Maliyeti} = MV + OU + YU \times Y/100KM \times YU/L \quad (4.1)$$

MV: Arabalı vapur için geçiş ücreti

OU: Otoyol geçiş ücreti (Eğer geçki, ücretli otoyol kesiminden geçiyorsa)

YU: Yol uzunluğu

Y/100KM: Taşıt sınıfına göre 100 KM'de tüketilen yakıt

YU/L: Litre başına yakıt ücreti

Çizelge 4.23: Denizyolu yolculuk maliyeti Avrupa'dan Asya'ya (TL).

	A1	A2	A3	A4	A5
E1	172	305	238	485	577
E2	242	375	309	555	648
E3	180	167	328	414	506
E4	255	238	399	485	577
E5	395	383	480	629	722
E6	536	669	603	853	942

Çizelge 4.24: Denizyolu yolculuk maliyeti Asya'dan Avrupa'ya (TL).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
A1	151	251	201	196	314	532
A2	246	417	180	251	372	565
A3	244	343	294	289	385	560
A4	424	524	474	470	566	740
A5	590	784	523	594	741	918

Denizyolu yolculuk maliyeti ilçe gruplarının Boğaz'dan uzaklığına bağlı olarak giderek artmaktadır. Bu yüzden Çatalca, Pendik gibi ilçelerden oluşan ilçe gruplarından başlayan ve biten yolculukların yakıt maliyeti Boğaz'dan geçiş için kullanılan Sirkeci Harem ve İstinye Çubuklu Arabalı Vapur Hatlarına daha yakın konumlardaki ilçe gruplarına karşın daha fazladır.

Karayolu için toplam yolculuk maliyeti Denklem 4.2 ile Avrupa'dan Asya'ya ve Asya'dan Avrupa'ya olmak üzere Çizelge 4.25 ve 4.26'da görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam Yolculuk Maliyeti} = KU + OU + YU \times \frac{Y}{100KM} \times \frac{YU}{L} \quad (4.2)$$

KU: Köprü geçiş ücreti

OU: Otoyol geçiş ücreti (Eğer geçki, ücretli otoyol kesiminden geçiyorsa)

YU: Yol uzunluğu

Y/100KM: Taşıt sınıfına göre 100 KM'de tüketilen yakıt

YU/L: Litre başına yakıt ücreti

Çizelge 4.25: Karayolu yolculuk maliyeti Avrupa'dan Asya'ya (TL).

	A1	A2	A3	A4	A5
E1	906	637	909	860	884
E2	931	662	839	885	913
E3	654	391	558	603	632
E4	785	516	721	771	763
E5	884	635	807	842	881
E6	973	724	896	932	970

Çizelge 4.26: Karayolu yolculuk maliyeti Asya'dan Avrupa'ya (TL).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
A1	903	940	646	821	872	965
A2	632	665	395	556	627	724
A3	812	850	575	737	807	904
A4	898	966	669	840	900	985
A5	874	1079	640	810	876	970

Karayolu ulaşım türünde denizyoluna göre maliyet dağılımı daha farklıdır. Boğaz'dan geçiş için kullanılan Yavuz Sultan Selim Köprüsünün İstanbul'un kuzeyinde yer alması sebebiyle Avrupa Yakası'nda Sarıyer ve Şişli gibi ilçelerden oluşan E3, Anadolu Yakası'nda Beykoz ve Çekmeköy gibi ilçelerden oluşan A2 ilçe gruplarından başlayan ve biten yolculukların maliyeti diğer ilçe gruplarına karşın daha düşüktür. Hem denizyolu hem karayolu maliyeti kendi içinde değerlendirildiğinde yakıt maliyeti en öne çıkan bileşendir.

5. ÇÖZÜMLEME

Tez çalışmasının bu bölümünde, geliştirilen matematik model ve senaryo sonuçları yer almaktadır.

Senaryo çözümlemesi yapılarak ulaşım tür seçimi değerlendirilmiştir. Model, Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı için 300 karar verici nakliyecisi ile gerçekleştirilen 636 seçim verisi ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı için 95 karar verici nakliyecisi ile gerçekleştirilen 135 seçim verisi olmak üzere 771 seçim verisinin karayolu ve denizyolu için %90 karayolu seçim oranını sağlayabilmek adına çoğaltılmasıyla toplam 6150 seçim verisine dayanmaktadır. Senaryolarda, vapur geçiş ücretinde yapılacak düzenlemeler sonucunda ulaşım tür seçiminin değişimi çözümlenmiştir.

5.1 Tür Seçim Modeli

Modelde ikili lojit modeli kullanılmıştır. Denklem 5.1 ve 5.2’de seçilme olasılıkları verilen, modeldeki ulaşım türlerinden denizyolu: başlangıçtan arabalı vapur iskelesine kadar karayolu, Boğaz’dan geçiş için arabalı vapur ve son noktaya ulaşmak için karayolunun kullanıldığı seçenektir. Karayolu: başlangıç ve son noktalar arasında yalnızca karayolunun kullanıldığı seçenektir. Denklem 5.3 ve 5.4’te verilen model kapsamında karayolu ile denizyolu ulaşım türlerinin seçimini etkileyebilecek unsurlar olan arabalı vapur hattı geçiş ücretinin çözümlenmesi yapılmıştır. Senaryo çözümlemesinde arabalı vapur hattının geçiş ücretine yapılabilecek indirimler için arabalı vapur ve karayolu ulaşımının tercih edilme durumunun değişimi çözümlenmiştir.

$$P_D = \frac{e^{U_D}}{1 + e^{U_D}} \quad (5.1)$$

$$P_K = 1 - P_D \quad (5.2)$$

$$U_D = (\beta_0 + \beta_{MV} * MV + \beta_{MY} * MY + \beta_{SD} * S) \quad (5.3)$$

$$U_K = (\beta_{MK} * MK + \beta_{SK} * S) \quad (5.4)$$

β_0 : Sabit

P_D : Deniz ulaşım türünün seçilme olasılığı

P_K : Karayolu ulaşım türünün seçilme olasılığı

U_D : Deniz ulaşım türü fayda fonksiyonu

U_K : Karayolu ulaşım türü fayda fonksiyonu

β_{MV} : Arabalı vapur için geçiş ücreti katsayısı

β_{MY} : Arabalı vapur için geçiş ücreti dışındaki maliyet katsayısı

β_{SD} : Deniz ulaşımı için süre katsayısı

β_{MK} : Karayolu için maliyet katsayısı

β_{SK} : Karayolu için süre katsayısı

S: Türün yolculuk süre değişkeni

MK: Karayolu maliyet değişkeni

MV: Arabalı vapur için geçiş ücreti değişkeni

MY: Arabalı vapur için geçiş ücreti dışındaki maliyet değişkeni

Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere modelin sonucu ile tür seçimi fayda fonksiyonun katsayıları bulunmuştur.

Çizelge 5.1: Tür seçim modeli sonucu.

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	p-değeri
β_0	-1,8390	0,3316	-5,5450	0,0000
MV	-0,0012	0,0007	-1,6510	0,0988
MY	-0,0001	0,0004	-0,2820	0,7776
SD	-0,0044	0,0027	-1,6140	0,1065
SK	-0,0032	0,0053	-0,5940	0,5528
MK	-0,0002	0,0002	-0,7320	0,4640
Örnek Boyutu	6150			
Değişken Sayısı	7			
LL	-2157,809			
-2LL	4315,618			

Tür seçim modeli sonucunda elde edilen katsayılar değerlendirildiğinde, yolculuk süresinin artması hem denizyolu hem karayolunun seçilme olasılığını azaltırken denizyolu seçimi için süre, karayolu seçimininkine göre daha büyük etkindir. Bu

durumun denizyolu ulaşım türünü seçen yük taşıyıcılarının zamandan tasarruf etmek için denizyoluna yöneldiklerinden kaynaklandığı düşünülebilir. Denizyolu için tür seçimini, toplam maliyeti oluşturan otoyol geçiş ücreti, vapur geçiş ücreti ve yakıt maliyeti düşünüldüğünde, maliyet bakımından en çok arabalı vapur geçiş ücretinin ters orantıyla etkilediği öngörülmüştür. Karayolu tür seçimini etkileyen maliyet ve süre değişkenlerinden sürenin, maliyete göre daha önemli bir azaltan etken olduğu öngörülmüştür. Denizyolu tür seçimini maliyet bakımından etkileyen otoyol geçiş ücreti, vapur geçiş ücreti ve yakıt maliyetinden, sürenin daha çok azaltan etkilediği öngörülmüştür. Bu durumun yük taşıyıcılarının hem karayolu hem denizyolu tür seçiminde birinci önceliğinin süre olduğunu göstermiştir.

İkili lojit model için olabilirlik oranı testi:

Denklem 5.5 ile olabilir oranı testi yapılmıştır.

$$-2LL = -2 \times [LL_{referans} - LL_{tahmin}] \quad (5.5a)$$

$$-2LL = -2 \times [-(-2157.809)] = 4315,618 \quad (5.5b)$$

Anket verileri sonucu oluşturulan 6150 seçenek verisi için denizyolu seçim olasılıklarının bulunmasından sonra yolculuklar ilçeden ilçeye olacak şekilde gruplandırılarak gruplar için denizyolu seçim olasılıklarının ortalaması alınıp denizyolunu seçenlerin oranı Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te Avrupa'dan Asya'ya ve Asya'dan Avrupa'ya bölgesel ilçeleme temelinde gösterilmiştir.

Çizelge 5.2: Denizyolu seçim olasılığı Avrupa'dan Asya'ya (%).

	A1	A2	A3	A4	A5
E1	12	10	11	10	9
E2	12	10	12	10	11
E3	12	11	12	12	12
E4	11	11	10	10	10
E5	11	11	10	10	10
E6	11	9	10	8	9

Çizelge 5.3: Denizyolu seçim olasılığı Asya'dan Avrupa'ya (%).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
A1	14	11	12	12	11	10
A2	11	10	12	10	12	10
A3	11	10	11	10	10	10
A4	11	10	9	10	9	9
A5	11	9	12	11	8	10

Denizyolu seçim olasılığı Avrupa'dan Asya'ya olacak şekilde değerlendirildiğinde en büyük pay E1'den A1'e ve E2'den A3'e olmuştur. Bu bölgeler arasında Boğaz'dan geçiş için Sirkeci Harem ve İstinye Çubuklu Arabalı Vapur Hatlarının kullanımı karayolu türü seçiminde kullanılacak olan Yavuz Sultan Selim Köprüsüne karşın yakınlığı sebebiyle daha çok seçileceği öngörülmüştür. E6 ve A5 gibi Boğaz'a uzak ilçelerden başlayıp biten yolculuklar için denizyolu tercih edilme olasılığının daha düşük olacağı öngörülmüştür.

5.2 Senaryo Çözümlemesi

Yapılan senaryo çözümlemesiyle arabalı vapur ücretlerinde %10'dan %90'a varan indirimler yapılması durumunda ankete katılan yük taşımacılarının Boğaz'dan geçerken denizyolu ve karayolu ulaşım tür seçiminin nasıl değişeceğini öngörülmüştür.

Senaryo çözümlemesi olarak tasarlanan arabalı vapur geçiş ücretinde indirim yapılması durumunda tür seçiminin değişimini incelemek amacıyla %10 dan %90'a kadar arabalı vapur geçiş ücretine indirim uygulanmıştır. İndirimli geçiş ücretleri çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4: İndirimli geçiş ücretleri.

Taşıt Sınıfı	MV	MV -%10	MV -%20	MV -%30	MV -%40	MV -%50	MV -%60	MV -%70	MV -%80	MV -%90
1	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6
2	80	72	64	56	48	40	32	24	16	8
3	250	225	200	175	150	125	100	75	50	25
4	375	337	300	262	225	187	150	112	75	37
5	450	405	360	315	270	225	180	135	90	45

İndirimli geçiş ücretleriyle denizyolunu seçenlerin oranı denizyolu fayda fonksiyonuna arabalı vapur ücreti için indirimli vapur ücreti yazılarak Avrupa'dan Asya'ya ve Asya'dan Avrupa'ya bölgesel ilçeleme temelinde bulunmuştur. İndirimli geçiş ücreti için denizyolu seçim olasılıklarının her bir birey için bulunmasından sonra yolculuklar ilçeden ilçeye olacak şekilde gruplandırılarak gruplar için denizyolu seçim olasılıklarının ortalaması alınmıştır. Arabalı vapur geçiş ücretinde yapılabilecek indirim durumundaki denizyolu seçim olasılıklarını ilçe bölgelemesi temelinde ayrıntılı biçimde göstermek amacıyla Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da %50 indirim durumu için denizyolu seçim olasılıkları gösterilmiştir.

Çizelge 5.5: %50 İndirim için denizyolu seçim olasılığı Avrupa'dan Asya'ya (%).

	A1	A2	A3	A4	A5
E1	13	11	13	11	10
E2	14	10	13	11	11
E3	13	13	13	13	13
E4	12	12	11	11	11
E5	12	11	11	11	11
E6	12	9	10	9	9

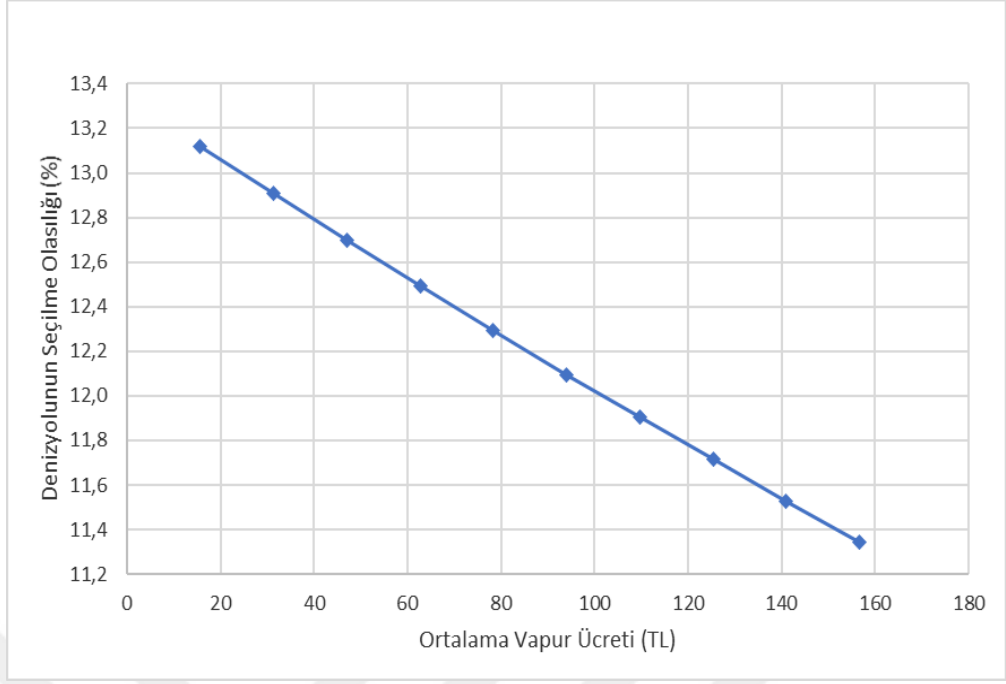
Çizelge 5.6: %50 İndirim için denizyolu seçim olasılığı Asya'dan Avrupa'ya (%).

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
A1	14	12	13	13	12	12
A2	12	11	13	11	12	11
A3	12	11	11	11	10	10
A4	12	10	10	11	10	10
A5	12	11	13	12	10	10

Arabalı vapur geçiş ücreti için yapılabilecek indirim halinde arabalı vapur ve karayolu türlerinin tez çalışması kapsamında yapılan anketten elde edilen 6150 seçenek verisi için denizyolu seçim fayda fonksiyonuna %10'dan %90'a kadar indirimli vapur geçiş ücretleri girilip her bir indirim durumu için ulaşım türlerinin ortalama seçilme olasılıkları Çizelge 5.7'deki gibi hesaplanmıştır. Taşıt sınıfı, yolculuk başlangıç ve bitiş noktası gibi anket sorularına verilen yanıtların katılımcılar arasında değişmesinden dolayı 6150 seçenek verisinin ortalama seçilme olasılığını göstermek amacıyla denizyolu ve karayolu tür seçim olasılıklarının ortalaması alınmıştır. Ortalama seçilme olasılığıyla belirtilen indirim durumunda tüm anket katılımcılarının denizyolu ve karayolu ulaşım türleri için genel seçim olasılığı öngörülmüştür. Şekil 5.1'de arabalı vapur geçiş ücretlerindeki indirim durumları sonucunda 6150 seçenek verisi için ortalama vapur geçiş ücreti ve denizyolunun seçilme olasılığının birbirlerine göre değişimi denizyolu talep eğrisi ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.7: İndirimli geçiş ücretleri için denizyolu ve karayolunun ortalama seçilme olasılıkları.

İndirim	Ortalama Vapur Ücreti	Denizyolu (%)	Karayolu (%)
Mevcut	156,7	11,3	88,7
-%10	141,1	11,5	88,5
-%20	125,4	11,7	88,3
-%30	109,7	11,9	88,1
-%40	94,0	12,1	87,9
-%50	78,4	12,3	87,7
-%60	62,7	12,5	87,5
-%70	47,0	12,7	87,3
-%80	31,3	12,9	87,1
-%90	15,7	13,1	86,9



Şekil 5.1: Deniz yolu talep eğrisi

Arabalı vapur geçiş ücretine yapılabilecek indirimler durumunda deniz yolunun tercih edilme olasılığı giderek artmaktadır. Bu durumda karayolunun seçilme olasılığı da yapılabilecek indirim oranına göre giderek azalmaktadır. Oluşturulan model sonucunda vapur geçiş ücretinin katsayısının (MV) hem karayolu hem deniz yolu için otoyol geçiş vb. maliyet katsayılarından daha yüksek oluşuna ek olarak senaryo çözümlemesiyle arabalı vapur geçiş ücretinde yapılabilecek indirim durumuna göre deniz yolu türünün tercih edilme olasılığının artması arabalı vapur geçiş ücretinin deniz yolu tür tercihi için önemli bir azaltan etken olduğunu göstermiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında İstanbul'da kent içi yük taşımacılığı için karayolu ulaşımı ve deniz taşımacılığının payı incelenmiş, yük taşıtı sürücülerinin tür seçimi için genel algıları ölçülmüştür.

İstanbul'da şehir içi yük taşımacılığı için Boğaz geçişini sağlayan karayolu ulaşımı ve deniz taşımacılığı seçeneklerinin seçim nedenlerini araştırmak amacıyla, Sirkeci-Harem ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hatları deniz taşımacılığı seçenekleri için yük taşıması yapan sürücülerle, gerekli izinler alınarak vapur içerisinde bir anket çalışması yapılmıştır.

İki yaka arasında en sık tercih edilen taşıma geçkileri ve yaka geçişlerinde kullanılan türler ile ilgili soruya verilen yanıtlar sonucunda 771 tercih verisi elde edilmiştir. Yapılan çalışmayı karayolunu tercih eden yük taşıyıcılarını da kapsayacak duruma getirmek ve %90 oranındaki karayolu tercih edilme oranını sağlamak amacıyla karayolunu tercih eden katılımcıların sayısı anket sorularına verdikleri yanıtlar aynı kalmak üzere çoğaltılmıştır. Sonuç olarak karayolu için 5535, deniz taşımacılığı için 615 olmak üzere toplam 6150 veri oluşturulmuştur.

Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı'nın en çok Fatih ilçesinde başlayan ya da biten geçkiler için %34,3 oranında kullanıldığı belirlenmiştir. En çok tercih edilen geçki ise Üsküdar'da başlayıp Fatih ilçesinde biten geçki olup payı %4,3 oranındadır. İstanbul'un diğer ilçelerinin yanı sıra, Gebze'de başlayıp biten güzergahlar için feribot kullananların oranı %6, İstanbul dışındaki geçkiler için ise %13,3'tür.

İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı'nın en çok %36 oranında Sarıyer ilçesinde başlayan ya da biten geçkilerde kullanıldığı gözlemlenmiştir. En sık kullanılan geçkiler ise %5 oran ile Sarıyer'den başlayan Beykoz ve Gebze ilçelerinde biten geçkiler olmuştur.

Sirkeci-Harem Arabalı Vapur Hattı'nı kullanan yük taşıtları deniz taşımacılığı %75'lik pay ile karayolundan daha fazla tercih etmişlerdir. Aynı oran İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hattı için ise %89'dur.

Sirkeci-Harem Hattı'nda gerçekleştirilen anketin verileri kapsamında; karayolu ulaşımı en çok %31'lik oranla banka arşivi, kırtasiye gibi yük türleri için kullanılırken, deniz taşımacılığı ise %83'lük oranla kozmetik, hediyelik eşya gibi yük türleri için tercih edilmiştir.

Modellemede kullanılan bağımsız değişkenler olan yolculuk süresi ve yol uzunluğunu belirlemek için yolculuk başlangıç ve bitiş noktası, taşıt sınıfına göre www.tollguru.com ağ sayfası kullanılarak hafta içi trafik zirve saati başlangıcı olan 17:00 için elde edilmiştir. Yolculuk süresi ve yol uzunluğu belirleme çalışması, Sirkeci-Harem ve İstinye-Çubuklu Arabalı Vapur Hatları ile Yavuz Sultan Selim Köprüsü kullanılarak İstanbul Boğazı'nı kullanan geçkiler için taşıt sınıflarına ve ilçe temeline göre ayrı ayrı bulunmuştur. Yolculuk süresi belirlenirken, karayolu için www.tollguru.com ağ sayfasından hesaplanan değer doğrudan alınırken, deniz taşımacılığı için başlangıçtan vapur iskelesine gelinceye ve vapur iskelesinden son noktaya varıncaya kadarki karayolu ulaşım süresine ek olarak ortalama vapur bekleme ve vapurla yolculuk süreleri (Sirkeci Harem Arabalı Vapur Hattı için 30 dakika, İstinye Çubuklu Arabalı Vapur Hattı için 20 dakika) alınmıştır.

Geliştirilen lojit model kullanılarak ulaşım tür seçimi değerlendirilmiştir. Modelde arabalı vapur geçiş ücreti (MV), arabalı vapur için geçiş ücreti dışındaki tüm maliyet (MY), Denizyolu yolculuk süresi (SD), Karayolu yolculuk süresi (SK), Karayolu yolculuk maliyeti (MK) değişkenleri kullanılmıştır. Arabalı vapur geçiş ücreti taşıt sınıflarına göre değişmektedir. Arabalı vapur için geçiş ücreti dışındaki tüm maliyet, yakıt ve otoyol geçiş ücretlerini içermektedir. Süre değişkeni yolculuk sırasında karayolu ve vapur üzerinde geçen toplam yolculuk süresidir. Maliyet değişkeni karayolu için toplam maliyeti göstermekte olup otoyol ve köprü geçiş ücretleri ile yakıt ücretinden oluşmaktadır.

Yolculuk süresinin denizyolu ve karayolu tür seçimine etkisi negatiftir. Denizyolu tür seçimi için sürenin önemi karayoluna göre daha fazladır. Örneğin yolculuk süresindeki 1 dakikalık artış denizyolu fayda fonksiyonunu 0,017 azaltırken karayolu fayda fonksiyonunu 0,005 azaltmaktadır. Yolculuk maliyetinin denizyolu ve karayolu tür seçimine etkisi azaltan yöndedir. Denizyolu tür seçimi için arabalı vapur geçiş ücreti, geriye kalan otoyol geçiş ücreti ve yakıt maliyetine göre daha fazla önemlidir. Örneğin arabalı vapur geçiş ücretindeki 1 TL'lik artış denizyolu fayda fonksiyonunu 0,004 azaltırken geriye kalan hariç maliyet (otoyol geçiş ücreti ve yakıt maliyeti) denizyolu

Fayda fonksiyonunu 0,0004 azaltmaktadır. Hızlı teslimat gerektiren yüklerin karayolunu tercih ettikleri, teslimatın hızlı olması durumunda karayolu fayda fonksiyonunun 1,347 arttığı hesaplanmıştır.

Model kapsamında karayolu ile arabalı vapur ulaşım türlerinin seçimini etkileyebilecek unsurlar olan arabalı vapur hattı geçiş ücreti indirim durumunun senaryo çözümlemesi yapılmıştır. Arabalı vapur hattının geçiş ücretine yapılabilecek indirimler için arabalı vapur ve karayolu ulaşımının tercih edilme durumunun değişimi çözümlenmiştir.

Mevcut arabalı vapur geçiş ücretlerine yapılabilecek %90'a varan indirimler sonucunda denizyolu türünün seçilme olasılığı %11,3'ten %13,1'e kadar yükseleceği öngörülmüştür.

Tez çalışması gelecek çalışmalar açısından değerlendirildiğinde geliştirilebilecek konular olduğu görülmektedir. Veriler yük taşıtı sürücülerinin arabalı vapuru sık kullandıkları saat dilimlerine göre gruplandırarak süre temelli tür seçimi modelleri geliştirilebilir; böylece kullanılan saat aralığındaki trafik şartları göz önüne alınarak yolculuk süresi ve zamanın değeri gibi niteliklerin doğruluğu artırılabilir hem de zirve saatler hem de zirve dışı saatler için tür seçiminin ayrımı sağlanmış olabilecektir.



KAYNAKLAR

- (2024, 05 10). İstanbul Mülki İdare İl Haritası: <https://www.harita.gov.tr/urun/istanbul-mulk-idare-il-haritasi/393> adresinden alındı
- Alvarez, P., Serrano-Hernandez, A., Lerga, I., & Faulin, J. (2024). Is time more important than distance to optimize freight delivery routes? An approach using the value of time. *Transportation Research Procedia*, 78, 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.02.054>
- Arencibia, A. I., Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Román, C. (2015). Modelling mode choice for freight transport using advanced choice experiments. *Transportation Research. Part a, Policy and Practice*, 75, 252–267. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.03.027>
- Ben-Akiva, M., & Bierlaire, M. (1999). Discrete Choice Methods and their Applications to Short Term Travel Decisions. In *International series in management science/operations research/International series in operations research & management science* (pp. 5–33). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5203-1_2
- Ben-Akiva, M., Meersman, H. and Van de Voorde, E. (2013). Freight Transport Modelling, Emerald Group Publishing Limited, Leeds, pp. 491-497. <https://doi.org/10.1108/9781781902868-025>
- Bendall, H. B., & Brooks, M. R. (2011). Short sea shipping: lessons for or from Australia. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 3(4), 384. <https://doi.org/10.1504/ijstl.2011.041134>
- Bigazzi, A. Y., & Bertini, R. L. (2009). Adding green performance metrics to a transportation data archive. *Transportation Research Record*, 2121(1), 30–40. <https://doi.org/10.3141/2121-04>
- Björk, L., Vierth, I., & Cullinane, K. (2023). Freight modal shift: A means or an objective in achieving lower emission targets? The case of Sweden. *Transport Policy*, 142, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.08.013>
- Browne, M., Allen, J., Nemoto, T., Patier, D., & Visser, J. (2012). Reducing social and environmental impacts of urban freight transport: a review of some major cities. *Procedia: Social & Behavioral Sciences*, 39, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.088>
- Cardamone, A. S., Eboli, L., & Mazzulla, G. (2014). Drivers' road accident risk perception. A comparison between Face-To-Face interview and Web-Based survey. *Advances in Transportation Studies*, 33, 59–72. <https://iris.unical.it/handle/20.500.11770/276761>
- Carrasco, J. A., & De Dios Ortúzar, J. (2002). Review and assessment of the nested logit model. *Transport Reviews*, 22(2), 197–218. <https://doi.org/10.1080/01441640110091224>
- Chang, L., & Wang, H. (2006). Analysis of traffic injury severity: An application of non-parametric classification tree techniques. *Accident Analysis and Prevention*, 38(5), 1019–1027. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.04.009>

- Cipriani, E., Florian, M., Mahut, M., & Nigro, M. (2011). A gradient approximation approach for adjusting temporal origin–destination matrices. *Transportation Research. Part C, Emerging Technologies*, 19(2), 270–282. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.05.013>
- Cravioto, J., Yamasue, E., Okumura, H., & Ishihara, K. N. (2013). Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons. *Transport Policy*, 30, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.08.004>
- De Dios Ortuzar, J., Armoogum, J., Madre, J., & Potier, F. (2011). Continuous Mobility Surveys: the State of practice. *Transport Reviews*, 31(3), 293–312. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.510224>
- De Jong, G., Gunn, H., & Walker, W. (2004). National and International Freight Transport Models: An Overview and Ideas for Future development. *Transport Reviews*, 24(1), 103–124. <https://doi.org/10.1080/0144164032000080494>
- De Jong, G., Vierth, I., Tavasszy, L., & Ben-Akiva, M. (2012). Recent developments in national and international freight transport models within Europe. *Transportation*, 40(2), 347–371. <https://doi.org/10.1007/s11116-012-9422-9>
- De Oña, J., Ferrer, A., & Osorio, F. (2011). Erosion and vegetation cover in road slopes hydroseeded with sewage sludge. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 16(6), 465–468. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.04.002>
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 16(5), 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.01.011>
- Demir, M., Yazar, Z., & Ozdemir, M. (2013). Effect of polarization and interface roughness on the transport properties of AlGaIn/GaN heterostructure. *Solid State Communications*, 158, 29–33. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2013.01.004>
- DOI Name 10.1002 values. (n.d.). <https://doi.org/10.1002>
- Fatnassi, E., Chaouachi, J., & Klibi, W. (2015). Planning and operating a shared goods and passengers on-demand rapid transit system for sustainable city-logistics. *Transportation Research. Part B: Methodological/Transportation Research. Part B, Methodological*, 81, 440–460. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.07.016>
- Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., Sáez-Carramolino, L., & Furió-Pruñonosa, S. (2011). The importance of the inland leg of containerised maritime shipments: An analysis of modal choice determinants in Spain. *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, 47(4), 446–460. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.11.011>
- Figliozzi, M. A. (2011). The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO2 emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon. *Transportation Research. Part C, Emerging Technologies*, 19(5), 766–778. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.11.002>
- Gumbel, E. J. (1958). Statistics of extremes. In *Columbia University Press eBooks*. <https://doi.org/10.7312/gumb92958>
- Günay, G. (2023). Shipment size and vehicle choice modeling for road freight transport: A geographical perspective. *Transportation Research. Part a, Policy and Practice*, 173, 103732. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103732>
- Hącia, E., & Łapko, A. (2019). Staff training for the purposes of marina management. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego We Wrocławiu*, 63(10), 176–186. <https://doi.org/10.15611/pn.2019.10.13>

- Hensher, D. A., Rose, J. M., & Greene, W. H. (2005). *Applied Choice Analysis: A primer*. <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511610356>
- Hidayati, L. N. N., De Jong, G., & Whiteing, A. (2024). A stochastic logistics model for Indonesia's national freight transport model: Transport chain choice from the shipper perspective. *Asian Transport Studies*, 10, 100122. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2023.100122>
- Holguín-Veras, J., Leal, J. A., Sánchez-Díaz, I., Browne, M., & Wojtowicz, J. (2020). State of the art and practice of urban freight management. *Transportation Research. Part a, Policy and Practice*, 137, 360–382. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.037>
- IPCC (2014). Climate Change 2014 - Synthesis Report. <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar5-9789291691432>
- Keya, N., Anowar, S., & Eluru, N. (2019). Joint model of freight mode choice and shipment size: A copula-based random regret minimization framework. *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, 125, 97–115. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.007>
- Kijewska, K., & Iwan, S. (2016). Analysis of the Functioning of Urban Deliveries in the City Centre and its Environmental Impact Based on Szczecin Example. *Transportation Research Procedia*, 12, 739–749. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.028>
- Kim, H., Nicholson, A., & Kusumastuti, D. (2017). Analysing freight shippers' mode choice preference heterogeneity using latent class modelling. *Transportation Research Procedia*, 25, 1109–1125. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.123>
- Konstantinus, A., Zuidgeest, M., Hess, S., & De Jong, G. (2020). Assessing inter-urban freight mode choice preference for short-sea shipping in the Southern African Development Community region. *Journal of Transport Geography*, 88, 102816. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102816>
- Koppelman, F. S., & Bhat, C. R. (2006). A self instructing course in mode choice modeling: Multinomial and nested logit models.
- Kul, S. (2014). INTERPRETATION OF STATISTICAL RESULTS: WHAT IS P VALUE AND CONFIDENCE INTERVAL? *Plevra Bülteni*, 8(1), 11–13. <https://doi.org/10.5152/pb.2014.003>
- Louviere, J. J., Flynn, T. N., & Carson, R. T. (2010). Discrete choice experiments are not conjoint analysis. *Journal of Choice Modelling*, 3(3), 57–72. [https://doi.org/10.1016/s1755-5345\(13\)70014-9](https://doi.org/10.1016/s1755-5345(13)70014-9)
- Manski, C. F., & Lerman, S. R. (1977). The Estimation of Choice Probabilities from Choice Based Samples. *Econometrica*, 45(8), 1977. <https://doi.org/10.2307/1914121>
- McFadden, D., & Train, K. (2000). Mixed MNL models for discrete response. *Journal of applied Econometrics*, 15(5), 447–470.
- Meyer, J. R., Gómez-Ibáñez, J. A., Tye, W. B., & Winston, C. (1999). *Essays in Transportation Economics and Policy: A Handbook in Honor of John R. Meyer*.
- Momtaz, S. U., Eluru, N., Anowar, S., Keya, N., Dey, B. K., Pinjari, A., & Tabatabaee, S. F. (2020). Fusing Freight Analysis Framework and Transearch Data: Econometric Data Fusion Approach with Application to Florida. *Journal of Transportation Engineering. Part a. Systems./Journal of Transportation Engineering. Part a. Systems*, 146(2). <https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000294>

- Moschovou, T., & Giannopoulos, G. (2012). Modeling freight mode choice in Greece. *Procedia: Social & Behavioral Sciences*, 48, 597–611. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1038>
- Nathanail, E., Kouros, P., & Kopelias, P. (2017). Traffic volume responsive incident detection. *Transportation Research Procedia*, 25, 1755–1768. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.136>
- Neal, C., & Koo, T. T. (2020). Demand for cargo airships: An analysis of mode choice decision making in the freight transport industry. *Journal of Air Transport Management*, 83, 101741. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.101741>
- Piguet, T., Rajeshwari, & Usefi, H. (2018). United Nations Development Programme (UNDP). In Palgrave Macmillan UK eBooks (p. 732). https://doi.org/10.1007/978-1-349-94186-5_1125
- Reis, V. (2014). Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation Research. Part a, Policy and Practice*, 61, 100–120. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.002>
- Rich, J., Holmblad, P., & Hansen, C. (2009). A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006–1019. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.02.001>
- Román, C., Arencibia, A. I., & Feo-Valero, M. (2017). A latent class model with attribute cut-offs to analyze modal choice for freight transport. *Transportation Research. Part a, Policy and Practice*, 102, 212–227. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.020>
- Siano, D., & González, A. E. (2021). Noise and environment. In *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87872>
- Strale, M. (2014). The Cargo Tram: Current status and perspectives, the example of Brussels. In *Transport and sustainability* (pp. 245–263). <https://doi.org/10.1108/s2044-994120140000006010>
- Tao, X., & Zhu, L. (2020). Meta-analysis of value of time in freight transportation: A comprehensive review based on discrete choice models. *Transportation Research. Part a, Policy and Practice*, 138, 213–233. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.06.002>
- Tavasszy, L., & De Jong, G. (2014). Data availability and model form. In *Elsevier eBooks* (pp. 229–244). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-410400-6.00010-0>
- Toledo, T., Sun, Y., Rosa, K., & Ben-Akiva, M. E. (2013). Published in Freight Transport Modeling, Ben-Akiva M, Meersman H. and Van de Voorde E., Eds., Emerald, pp. 239-255, 2013. In *Freight Transport Modelling* (pp. 121–143). <https://doi.org/10.1108/9781781902868-025>
- TÜİK. (2021, 12 17). Gelir, Yaşam, Tüketim ve Yoksulluk: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Ulastirma-ve-Haberlesme-112> adresinden alındı
- Wang, Y., Ding, C., Liu, C., & Xie, B. (2013). An Analysis of Interstate Freight Mode Choice between Truck and Rail: A Case Study of Maryland, United States. *Procedia: Social & Behavioral Sciences*, 96, 1239–1249. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.141>
- Winston, C. (1983). The demand for freight transportation: models and applications. *Transportation Research. Part a, General*, 17(6), 419–427. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(83\)90162-0](https://doi.org/10.1016/0191-2607(83)90162-0)
- Wright, L. A., Kemp, S., & Williams, I. (2011). ‘Carbon footprinting’: towards a universally accepted definition. *Carbon Management*, 2(1), 61–72. <https://doi.org/10.4155/cmt.10.39>

Yau, K. K. (2004). Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong. *Accident Analysis and Prevention*, 36(3), 333–340.
[https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(03\)00012-5](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(03)00012-5)





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet KAYA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

