



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA VE LOJİSTİK MÜHENDİSLİĞİ**

TÜRKİYE GENELİNDE KARAYOLU HİZMET DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERT BECERİKLİ

**DANIŞMAN: DR. ÖGR. ÜYESİ YAVUZ DELİCE
ORTAK DANIŞMAN: PROF. DR. HALİT ÖZEN**

**YALOVA
OCAK 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA VE LOJİSTİK MÜHENDİSLİĞİ

TÜRKİYE GENELİNDE KARAYOLU HİZMET DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERT BECERİKLİ
205115032

DANIŞMAN: DR. ÖGR.ÜYESİ YAVUZ DELİCE
ORTAK DANIŞMAN: PROF. DR. HALİT ÖZEN

YALOVA
OCAK 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/ Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “**Türkiye Geneline Karayolu Hizmet Düzeylerinin Belirlenmesi**” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Mert BECERİKLİ



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteğini, bilgisini ve yardımını sunup, her alanda bana her zaman destek veren sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yavuz DELİCE' ye ve tez sürecimde bana sınırsız destek verip bana aktardığı tüm bilgi ve deneyimiyle her zaman kendimi güvende hissettiğim sayın ortak danışmanım Prof. Dr. Halit ÖZEN hocama, bana her zaman güvenen ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim çok değerli aileme ve tez çalışmam için ihtiyacım olan her türlü veriyi sağladıkları için Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığına teşekkür ederim.

Ocak – 2024

Mert BECERİKLİ





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Kapasite	3
2.2. Trafik Akımının Bileşenleri.....	5
2.2.1. Hacim ve akım oranı	6
2.2.2. Hız	6
2.2.3. Yoğunluk.....	7
2.2.4. Takip mesafesi.....	8
2.3. Hizmet Düzeyi.....	9
3. ULAŞIM MODELİ.....	13
3.1. Yolcu ve Yük Talep Modeli	15
3.1.1. Sosyo-demografik veriler	16
3.1.2. Arazi kullanım verileri	16
3.1.3. Turizm verileri.....	16
3.1.4. Zamanın parasal değeri	16
3.1.5. Otoyol ve yolcu taşıma ücretleri	17
3.2. Ulaşım Ağı Altyapısı.....	17
3.2.1. Ulaşım modeli tab yapısı.....	17
3.2.2. Karayolu ağı	18
3.2.3. Demiryolu.....	19
3.2.4. Havayolu	19
3.2.5. Denizyolu	20
4. METODOLOJİ	21
5. ULAŞIM MODELİNİN TEST EDİLMESİ	25
5.1. Yol Ağının Test Edilmesi	25
5.2. Talep Modelinin Test Edilmesi	36

5.2.1. Karayolu trafiğinin doğrulanması	36
6. ANALİZ ÇALIŞMALARI	43
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	67



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

k	: Yoğunluk
PV	: Serbest Akım Hızındaki Azalma
q	: Trafik Hacmi
t ₀	: Serbest Akım Koşullarındaki Seyahat Süresi
V _{cur}	: Atanmış Yol Ağındaki Seyahat Süresi
V _{sah}	: Serbest Akım Hızı

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DGM	: Denizcilik Genel Müdürlüğü
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
DTM	: Değişken Talep Modeli
FDOT	: Florida Department of Transportation
GEH	: Geoffrey E. Havers İstatistiği
HCM	: Highway Capacity Manual
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
LGV	: Hafif Ticari Taşıt
LOS	: Level of Service
OGV1	: Kamyon
OGV2	: TIR
OYHTT	: Orta Yüklü Hafif Ticari Taşıt
PCU	: Passenger Car Unit
SSI	: Sabit Sayım İstasyonu
TAB	: Trafik Analiz Bölgesi
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
UAB	: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
UHDM	: Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü
UUAP	: Ulusal Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı
VoT	: Value of Time
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Hizmet düzeyi kategorileri.....	9
Tablo 2.2. Çok şeritli karayolu kesiminde hizmet düzeyi için yoğunluk değerlerinin değişimi (HCM, 2010)	10
Tablo 2.3. Sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklardaki hizmet düzeyleri (HCM, 2010)	12
Tablo 4.1. Saat bazında günlük yolculuk yüzdeleri (UUAP, 2022).....	22
Tablo 4.2. Karayollarına ait hizmet düzeyi kategorisi	24
Tablo 4.3. Hizmet düzeyi türlerine ait eşik değerleri.....	24
Tablo 5.1. Seyahat sürelerinin doğrulaması	26
Tablo 5.2. İstanbul- Edirne.....	27
Tablo 5.3. İstanbul-Ankara.....	28
Tablo 5.4. İstanbul- İzmir.....	28
Tablo 5.5. İzmir- Ankara.....	29
Tablo 5.6. Ankara- Mersin	30
Tablo 5.7. Ankara- Kars.....	30
Tablo 5.8. Kırıkkale- Van	31
Tablo 5.9. Bursa- Adana	32
Tablo 5.10. Mersin- Diyarbakır.....	33
Tablo 5.11. Gerede- Artvin	33
Tablo 5.12. Tekirdağ- İpsala	34
Tablo 5.13. Afyon- Antalya	35
Tablo 5.14. Antalya- Samsun.....	35
Tablo 5.15. Otomobil sayısı SSI model – gözlem karşılaştırması	38
Tablo 5.16. Ağır taşıt sayısı SSI model – gözlem karşılaştırması.....	39
Tablo 5.17. Nötr dönem model ve perde hatlarına ait taşıt sayıları	40
Tablo 6.1. Modelde yer alan linklere ilişkin kapasite bilgileri.....	43
Tablo 6.2. Tek şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar	46
Tablo 6.3. İki şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar	47
Tablo 6.4. Üç şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar	48
Tablo 6.5. Dört şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişki (HCM, 2010).....	8
Şekil 2.2. Farklı hizmet düzeylerinde işletme hızı ile hacim/kapasite ilişkisi (Yayla, 2006).....	10
Şekil 2.3. Çok şeritli yolda hizmet düzeyi örneği (FDOT 2023)	11
Şekil 3.1. Ulaşım modeli yapısı (UUAP, 2022)	15
Şekil 3.2. Ulaşım modeli TAB yapısı (UUAP, 2022)	18
Şekil 3.3. Ulaşım modeli karayolu ağı (UUAP, 2022).....	18
Şekil 3.4. Ulaşım modeli demiryolu ağı ve istasyonları (UUAP, 2022)	19
Şekil 3.5. Ulaşım modeli havalimanları (UUAP, 2022)	19
Şekil 3.6. Ulaşım modeli denizyolu ağı (UUAP, 2022).....	20
Şekil 4.1. SSI verilerinden elde edilen saat bazında araç sayısı (UUAP, 2022)	21
Şekil 4.2. Hacim/gecikme fonksiyonuna ilişkin formülasyon	23
Şekil 5.1. Süresel doğrulama yapılan güzergahlar	25
Şekil 5.2. Gözlem / model seyahat uzunlukları karşılaştırması	26
Şekil 5.3. Gözlem / model seyahat süresi karşılaştırması	27
Şekil 5.4. İstanbul-Edirne.....	27
Şekil 5.5. İstanbul- Ankara.....	28
Şekil 5.6. İstanbul- İzmir.....	29
Şekil 5.7. İzmir- Ankara.....	29
Şekil 5.8. Ankara- Mersin	30
Şekil 5.9. Ankara- Kars	31
Şekil 5.10. Kırıkkale- Van.....	32
Şekil 5.11. Bursa- Adana.....	32
Şekil 5.12. Mersin- Diyarbakır.....	33
Şekil 5.13. Gerede- Artvin	34
Şekil 5.14. Tekirdağ- İpsala	34
Şekil 5.15. Afyon- Antalya	35
Şekil 5.16. Antalya- Samsun	36
Şekil 5.17. Dikkate alınan sabit sayım istasyonlarının konumları	37
Şekil 5.18. Sabit sayım istasyon verilerinin depolanması	38
Şekil 5.19. Tahmin/gözlem trafik hacimleri.....	39
Şekil 5.20. Perde hatları (UUAP, 2022).....	40
Şekil 5.21. Perde hatları hafif taşıt model / gözlem karşılaştırması	41
Şekil 5.22. Perde hatları ağır taşıt model / gözlem karşılaştırması	41

Şekil 6.1. Modelde yer alan linklere ilişkin kapasite bilgileri	44
Şekil 6.2. Karayolu özel araç atama sonuçları	49
Şekil 6.3. Karayolu ağır taşıt atama sonuçları.....	50
Şekil 6.4. Kapasite kullanım oranı (q/c).....	51
Şekil 6.5. Ulaşım ağında yolların tiplerine göre dağılımı	53
Şekil 6.6. Yoğunluğa göre hizmet düzeyi	55
Şekil 6.7. Serbest akım hızındaki azalma oranına göre hizmet düzeyi	57
Şekil 6.8. Ortalama hıza göre hizmet düzeyi	59
Şekil 6.9. Türkiye geneli hizmet düzeyi.....	61



TÜRKİYE GENELİNDE KARAYOLU HİZMET DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Hizmet düzeyi, ulaştırma sistemlerinde yol ve kavşak projelerinin değerlendirmesinde kullanılan bir ölçüttür. Bu ölçüt, pratik kapasitenin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Hizmet düzeyi, sürücülerin ve yolcuların yolculukları sırasındaki trafik koşullarıyla ilgili performans değerini ifade etmektedir. Karayollarının hizmet düzeyi belirlenirken, yolun kent içi veya kırsal olması, şerit sayısı, kapasitesi, proje hızı, bölünmüş – bölünmemiş olması gibi parametrelere dikkat edilmektedir. Ayrıca, hız, ulaşım süresi, trafik akışı ve kısıtlamalar, manevra kabiliyeti, güvenlik ve taşıt işletme maliyetleri gibi faktörler göz önünde bulundurulmaktadır. Hizmet düzeyi genel olarak A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı farklı şekilde tanımlanmıştır. A hizmet düzeyi, serbest akım koşullarının sağlandığı en iyi durumu gösterirken, F hizmet düzeyi ise trafikte tıkanmaların yaşandığı en kötü durumu göstermektedir.

Bu çalışmada ülkemiz genelindeki şehirlerarası karayollarının hizmet düzeylerinin ve darboğazların belirlenmesi amacıyla bir metodoloji geliştirilerek, Türkiye Ulusal Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı ulaşım modeli üzerinde uygulanmıştır. Söz konusu metodolojiye göre hizmet düzeyi hesaplaması yapılırken, otoyol, bölünmüş devlet yolları ve bölünmüş il yolları için yoğunluk parametresi kullanılmıştır. Bölünmemiş devlet yolları ve bölünmemiş il yolları için serbest akım hızındaki değişim oranı; kent içi yollar, kırsal yollar, hemzemin kavşaklar ve kavşak kolları için trafik akım hızı dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Bu şekilde ülkemiz için karayollarında hizmet düzeylerine ilişkin çalışmalarda kullanılması gereken sınır değerler belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, ülkemiz genelinde şehirlerarası yollarda yaşanan darboğazlar ortaya konularak, müdahale edilmesi ve kapasitenin artırılması gereken karayolu kesimleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hizmet düzeyi, Kapasite, Yoğunluk, Ulusal ulaşım ve lojistik ana planı



DETERMINATION OF HIGHWAY SERVICE LEVELS ACROSS TURKEY

ABSTRACT

Level of Service is used in the evaluation of road and intersection projects in transportation systems. This concept plays a crucial role in determining practical capacity. Service level refers to the performance value of drivers and passengers regarding the traffic conditions during their journey. When assessing the service level of highways, parameters such as whether the road is urban or rural, the number of lanes, capacity, project speed, and divided or undivided nature of the road are taken into consideration. Additionally, factors such as speed, travel time, traffic flow and restrictions, maneuverability, safety, and vehicle operating costs are also taken into account. Service level is generally defined in six different categories: A, B, C, D, E, and F. A service level represents the best condition where free flow conditions are ensured, while F service level indicates the worst condition with traffic congestion.

In this study, a methodology was developed to determine the service levels and bottlenecks of intercity highways throughout the country, and it was applied on the Turkey National Transportation and Logistics Master Plan transportation model. According to this methodology, density parameter was used for calculating the service level for highways, divided state roads, and divided provincial roads. For undivided state roads and undivided provincial roads, the change in free flow speed was calculated taking into account urban roads, rural roads, intersection, and intersection arms by considering traffic flow speed. In this way, the limit values that should be used in studies on service levels on highways for our country have been determined. In the light of the data obtained, the bottlenecks on intercity roads throughout our country were revealed and the highway sections that needed intervention and increased capacity were identified.

Keywords: Level of service, Capacity, Density, National transportation and logistics master plan



1. GİRİŞ

Trafik mühendisliğinde, ulaştırma sistemlerinin performansı değerlendirilirken hizmet düzeyi veya hizmet kalitesi kavramları kullanılmaktadır. Hizmet düzeyi kavramı karayolu trafiği için kullanılırken, taşıt trafiği dışında bulunan ulaşım sistemleri için ise hizmet kalitesi kavramı kullanılmaktadır. Hizmet düzeyi kavramı, yolcuların yolculukları sırasındaki trafik koşullarıyla ilgili performans değerini ifade etmektedir (Yayla, 2006). Bu kavram ilk defa Karayolları Kapasite El Kitabında (Highway Capacity Manual) 1965 yılı yayınında yer almıştır (Shalanova, 2017). Highway Capacity Manual (HCM), otoyol ve yol kapasitelerini değerlendirmek için kullanılan bir referans kaynaktır. Yollardaki trafik akışı, kapasite, seyahat süresi, kuyruk oluşumu ve benzeri konularda standartları ve metodolojileri belirlemektedir. HCM’de de bahsedildiği üzere hizmet düzeyi, trafik akımlarının kesişim noktaları olan kavşaklarda kullanılmasının yanı sıra kesintisiz trafik akımının bulunduğu otoyol, devlet yolu ve il yollarında da kullanılmaktadır. Ancak kavşaklardaki hizmet düzeyleri ile otoyollardaki hizmet düzeyleri, bağlı oldukları değişkenler, parametreler ve hesaplamalar bakımından birbirlerinden farklılık göstermektedir.

Günümüzde yapılan farklı çalışmalar, HCM’de yer alan standartların kullanılmasının dünyanın her yerinde aynı derecede işlevsel olmayabileceğini ortaya koymuştur (Biswas, Singh, & Saha, 2016). Hatta yapılan bazı çalışmalarda hizmet düzeyinin yolcu memnuniyetini gösterdiğini ifade ederek, hizmet düzeyi belirlenmesi aşamasında yolcu görüşlerinin de alınmasının gerekli olduğu savunulmaktadır (Othayoth, Krishna Rao, & Bhavath, 2020). Bu sebeple hizmet düzeyi belirlenirken, lokasyon koşulları, yolcu karakteristikleri vb. etkenlerin de dikkate alınarak farklı yaklaşımların ele alınabileceği ortaya konulmuştur.

Günümüzde kavşaklar gibi mikro bölgelerde hizmet düzeyleri mikro simülasyon programları kullanılarak tespit edilebilmektedir (Olstam & Tapani, 2011) (Bharadwaj, Kumar, Arkathar, & Joshi, 2020). Bu çalışmanın amacı ise şehirlerarası yolculuklarda kullanılan otoyollar, il yolları, devlet yolları ve il merkezlerinde bulunan bazı ana arterler için makro simülasyon programı kullanılarak hizmet düzeylerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen Ulusal Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı’na (UUAP) ait ulaşım modeli kullanılmıştır. Söz konusu model Türkiye’deki şehirlerarası yolculukların simüle edilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Model, karayolu, demiryolu, denizyolu ve hava yolu yolculuklarının yanı sıra bu ulaşım modlarındaki yük trafiklerini de barındırmaktadır. Bu sebeple ulaşım modelinin çalışmada kullanılması, şehirlerarası yollarda

hizmet düzeylerinin belirlenmesi için sağlam bir altlık teşkil etmektedir. Söz konusu ulaşım modeli, 2019 yılına ilişkin veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Bu veriler, yolcu talep modelinin geliştirilmesinde oldukça önemli olan sosyo-demografik veriler, arazi kullanım verileri, ulaşım sistemlerine ait veriler, turizm verileri, zamanın parasal değeri (VoT) ve otoyol-yolcu taşıma ücret verileridir.

UUAP çalışmasına ait ulaşım modelinin, gerçek durumu ne kadar doğru yansıttığının bilinmesi, şehirlerarası yolların hizmet düzeylerinin belirlenmesi adına son derece önemlidir. Bundan dolayı, şehirlerarası yollardaki trafik hacimleri, seyahat uzunlukları ve süreleri çalışma kapsamında test edilmiştir. Karayollarındaki test işlemlerinde, Karayolları Genel Müdürlüğünden (KGM) elde edilen Sabit Sayım İstasyonu (SSI) verileri ve model kapsamında tanımlanmış olan perde hatları kullanılmıştır. Türkiye genelinde 1080 Adet SSI bulunmakta olup; söz konusu istasyonlarda 7 gün ve 24 saat boyunca trafik sayımı yapılarak veri tabanında depolanmaktadır. SSI noktaları, Devlet Yolları üzerinde bulunmakta olup; Otomobil, Orta Yüklü Ticari Taşıt, Otobüs, Kamyon ve TIR olmak üzere 5 farklı araç tipi için ayrı ayrı sayım değerleri vermektedir. Model üzerindeki test işlemleri tamamlandıktan sonra, karayolu ağı genelindeki kapasite ve hızda oluşan değişikliklere göre hizmet düzeyi belirlenmesine yönelik bir metodoloji geliştirilerek, uygulamaya yönelik Python yazılım dilinde kodlar hazırlanmıştır. Söz konusu metodolojide hizmet düzeyleri, şehirlerarası yollardaki her bir yol tipi için yoğunluğa göre hizmet düzeyi, serbest akım hızındaki azalma oranına göre hizmet düzeyi ve ortalama hıza göre hizmet düzeyi gibi farklı yaklaşımlar ele alınarak belirlenmiştir. Geliştirilen Python kodları ulaşım modelinin hazırlandığı PTV VISUM programında çalıştırılarak ülke genelindeki yolların hizmet düzeyleri tespit edilmiştir. Böylelikle, trafik tıkanıklığı ve darboğaz yaşanan yol kesimleri ortaya konularak, ulaşım altyapısının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için karar vericiler ve ulaşım planlamacıları için önemli bir altlık sağlanmış olmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Hizmet düzeyi kavramı pratik kapasite tanımındaki noktalara açıklık getirmektedir. Hizmet düzeyinin belirlenmesinde kullanılan parametreler, hız, süre, trafik kesitleri ve kısıtlamalar, manevra serbestisi, güvenlik, sürücü konforu ve taşıt işletme giderleridir. Bu yüzden hizmet düzeyi kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için trafik hacmi, kapasite, yoğunluk, serbest akım hızı ve bu kavramlar arasındaki ilişkinin anlaşılması gerekmektedir (Highway Capacity Manual, 2010). Bu bölüm kapsamında söz konusu kavramlar incelenmiş ve hizmet düzeyi kavramı ile ilişkisi sunularak, daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1. Kapasite

Trafik mühendisliğinde kapasite ile hizmet düzeyi kavramlarının tanımı için en güvenilir ve en çok başvurulan kaynak Highway Capacity Manual'dır (FDOT 2023). HCM'ye göre kapasite, yolun belirli bir kesiminden veya şeridinden uygun yol, trafik ve denetim koşullarında bir saatte geçebilecek maksimum taşıt sayısını ifade etmektedir. Kapasitenin birimi taşıt/saat'tir. Buradaki taşıt sayısı, birim otomobil eşdeğeri (Passenger Car Unit – PCU) sayıyı temsil etmektedir (Ahmed, 2010) .

Günümüzde karayolu kapasitesinin açıklanmasında çeşitli terimler kullanılmıştır. Bu terimlerden en önemlileri, teorik kapasite, mümkün kapasite ve pratik kapasitedir. Teorik kapasite ideal yol ve trafik koşullarında elde edilen kapasitedir. Tanımda yer alan ideal yol koşulları genellikle yağışsız ve havanın iyi olması ile yol yüzeyinin sorun teşkil etmeyecek şekilde olmasıdır. Ayrıca kesintisiz akımlı yollar için ideal yol ve trafik koşulları aşağıdaki verilmiştir (Shalanova, 2017):

- Karayolunun her yönü için en az iki şeride sahip olması,
- Taşıtların birbirine yakın hareket ediyor olması ve seyir hızı 48-64 km/sa civarında olması,
- Trafik akımında ağır taşıtları bulunmaması,
- Şerit genişliği, banket genişliğinin ve kenar (yan) açıklıklarının yeterli olması,
- Trafik kontrolü veya dönen taşıtlar sebebiyle düz giden trafikte engellemelerin bulunmaması,
- Geçişin kısıtlandığı (görüş mesafesinin 450 metreden kısa olduğu) kesim olmaması,
- Trafiğin yönlere dağılımının eşit olması (%50 - % 50)

Yukarıda belirtilen ideal koşullarda iki şeritli ve iki yönlü kırsal yollarda toplam kapasite 2.800 taşıt/saat olduğu kabul edilmektedir. Çok şeritli yollarda ise proje hızı 100 km/saat olan yollarda şerit başına 2.000 taşıt/saat kapasite değeri, proje hızı 80 km/saat olan yollarda şerit başına 1.900 taşıt/saat'tir. (Yayla, 2006).

Mümkün kapasite, hakim yol ve trafik koşullarında belirli bir sürede geçebilen maksimum taşıt sayısıdır. Bir diğer kapasite ise pratik kapasitedir. Pratik kapasite, belli bir yol segmentinde veya şeritte, trafikteki belirli koşullar altında, trafik akışının aşırı gecikmelere veya sürücülerin dayanma gücüne bağlı olmaksızın taşıt geçişlerinin maksimum sayısını temsil etmektedir.

Karayolu kapasitesinin belirlenmesi, trafik mühendisliğinin en önemli uygulamalarından biridir (Kerner, 2004). Herhangi bir karayolunun kapasitesinin hesaplayabilmek için, kapasiteye etki eden faktörlerin bilinmesi ve kapasite hesabı yapılırken dikkate alınması gerekmektedir. Kapasiteye etki eden faktörler yol koşulları, trafik koşulları ve denetim koşulları olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır (HCM, 2010).

1- Yol Koşulları: Yol kapasitesine etki eden en önemli faktörlerden biri o yolun geometrisiyle ilgili özellikleridir. Örneğin;

- Şerit sayısı,
- Şerit genişliği,
- Banket genişliği,
- Tasarım hızı,
- Yan açıklık,
- Yardımcı şeritler,
- Yüzey kaplaması,
- Enine eğim,
- Boyuna eğim,
- Bulunduğu arazi yapısı kapasiteyi etkileyen unsurlardır.

2- Trafik Koşulları: Farklı karayollarının geometrik özelliklerinin birbirine benzer olduğu ancak kapasitelerinin farklılık gösterdiği durumlar ile sık sık karşılaşılmaktadır. Bu durumun sebebi kapasiteyi etkilen diğer bir önemli faktör olan trafik koşullarıdır. Trafik koşulları aslında, o karayolunu kullanan taşıt kompozisyonları ile ilgilidir. Taşıt kompozisyonu içerisinde yer

alan ağır taşıtla trafiğe iki farklı şekilde etki etmektedir. Büyük boyutları sebebiyle trafikte binek araçlara göre daha fazla yer kaplamaktadırlar ve kapasiteyi olumsuz etkilemektedirler. Diğer bir yandan ağır taşıtların hızlanma, yavaşlama ve manevra kabiliyetleri binek araçlara kıyasla daha kısıtlıdır. Bu durum, kapasitede azalma meydana getirmektedir. Bahsedilen olumsuzlukların etkilerini anlayabilmek adına kapasite hesaplamalarında ağır taşıtların birim otomobil eşdeğerlikleri kullanılmaktadır.

Trafik koşulları altında değerlendirilebilecek bir diğer unsur ise trafiğin yönsel dağılımıdır. Çok şeritli yolların kapasite analizi, iki şeritli ve iki yönlü kırsal yolların kapasite analizine dayanmaktadır (HCM, 2010). Söz konusu yollarda trafiğin her iki yön için eşit dağılması kapasite bakımından en uygun durumdur. Eğer trafik dağılımında dengesizlikler oluşursa bu durum kapasiteyi olumsuz yönde etkilemekte ve işletim koşullarını kötüleştirir.

3- Denetim Koşulları: Trafik akımı kesintili ve kesintisiz olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kesintisiz trafik akımında denetim koşullarının kapasiteye bir etkisi olmamaktadır. Ancak kesintili trafik akımında eş düşey kavşakların sıklığı, kavşaklardaki denetim şekilleri, yatay ve düşey işaretlemeler, sinyalizasyonlar ve parklanma durumları kapasiteye direk etkileyen faktörlerdir (HCM, 2010).

2.2. Trafik Akımının Bileşenleri

Trafik akımı, kesintili ve kesintisiz trafik akımı olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır (Hamdar & Schorr, 2013). Kesintili trafik akımında trafik akışında, yol ver – dur levhaları, sinyaller, kavşaklar gibi farklı etkenlerden dolayı gecikmeler meydana gelmekte veya sürekli durmaktadır. Kenti içi sokaklar, caddeler ve ana arterlerdeki trafik akışı kesintili trafik akımına örnek verilebilir. Kesintisiz trafik akımında ise bu etkenler bulunmamaktadır ve trafik düzenli bir şekilde akmaktadır. Otoyollar ve hemzemin kesişmenin bulunmadığı, çok şeritli yollardaki trafik akışı kesintisiz trafik akışına örnektir.

Trafik akımının üç ana bileşeni bulunmaktadır. Bunlar, Hacim, Hız ve Yoğunluk bileşenleridir (Gerlough & Huber, 1976). Ayrıca Doygun Akım Değeri ve Takip Mesafesi gibi parametreler de trafik akımının değerlendirilebilmesi için bir ölçüt niteliğinde olup; bazıları her iki akım türü için, bazıları ise sadece tek bir akım türü için kullanılmaktadır. Örneğin hacim, hız ve akım hızı her iki akım türü için de kullanılabilir iken yoğunluk parametresi kesintisiz trafik akımı için, doymuş akım değeri parametresi ise kesintili trafik akım için kullanılmaktadır (HCM, 2010).

2.2.1. Hacim ve akım oranı

Trafik mühendisliğinde, trafik akımının en önemli bileşenlerinden biri hacim veya akım oranıdır (Gerlough & Huber, 1976). Hacim değeri, trafik akımının en kolay elde edilebilen karakteristiğidir. Hacim ve akım oranı terimleri, yolun belirli bir kesiminden veya şeridinden birim zamanda geçen taşıt sayısını ifade eden terimlerdir (Hoogendoorn & Knoop, 2013) . (2.1)

$$q = \frac{N}{T} \quad (2.1)$$

$q = \text{Hacim}$

$N = \text{Taşıt Sayısı}$

$T = \text{Zaman}$

Ancak söz konusu terimler arasında bir ayrım bulunmaktadır. Hacim kavramı belirli bir noktadan, belirli bir zaman aralığında geçen taşıt sayısını gösterirken, akım oranı belirli bir noktadan, bir saatten kısa bir zaman aralığında geçen taşıt sayısını göstermektedir. Bu zaman aralığı da genellikle maksimum taşıtın geçtiği 15 dakika olarak kabul edilmektedir (FDOT 2023).

2.2.2. Hız

Hız terimi, mesafe başına zaman biçiminde tanımlanmakta olup birimi km/sa'dır. Yani bir taşıtın katettiği mesafenin, mesafeyi kateterken geçirilen zamana bölünmesi ile taşıtın hızı hesaplanmaktadır. Trafikte yer alan taşıtların hızları genellikle değişkenliğe sahiptir. Bu sebeple herhangi bir trafik akışının hızını karakterize etmek için temsili bir değer kullanılması gerekmektedir (HCM, 2010).

Aşağıda HCM'de yer alan hız parametreleri açıklanmıştır.

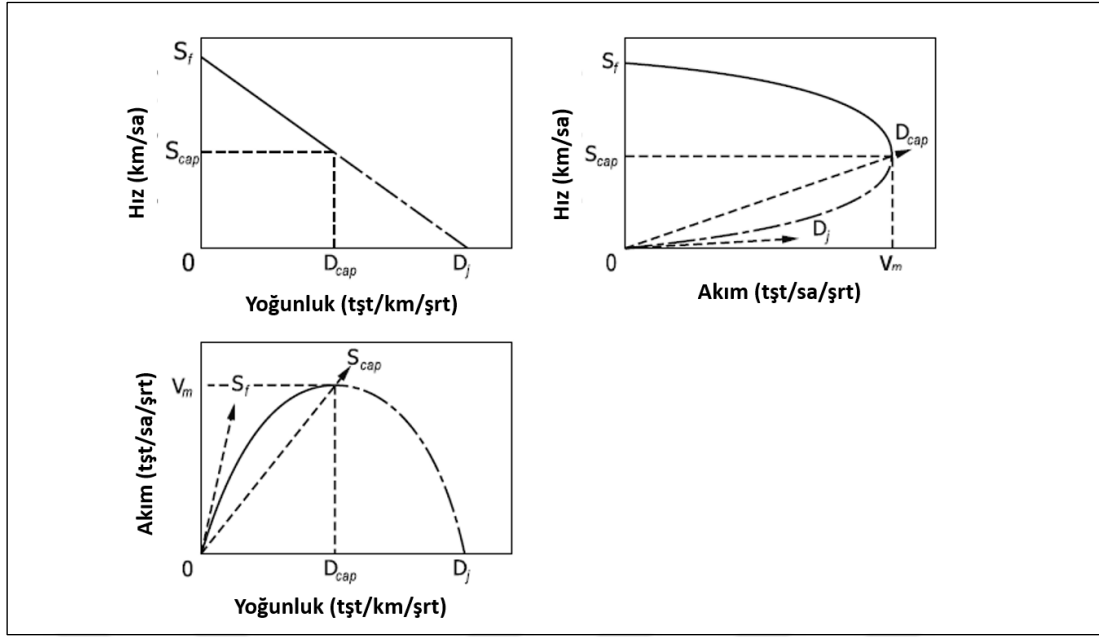
- **Ortalama Seyahat Hızı:** Yolun bir kesiminden geçen taşıtların ortalama hızlarını ifade etmektedir. Burada taşıtların durma ve tüm gecikme süreleri de hesaba katılmaktadır.
- **Zaman Ortalamalı Hız:** Yolun bir kesiminden geçen araçların hızlarının aritmetik ortalamasıdır. Aynı zamanda anlık hız olarak da adlandırılmaktadır.
- **Serbest Akım Hızı:** Düşük yoğunluğa sahip bir yol kesiminde herhangi bir denetim ve trafik gecikmesi olmaksızın sürücülerin istedikleri hızda seyrettikleri hızların ortalamasıdır. Serbest akım hızı karayollarının beklenen işletme koşullarını tahmin

etmede kullanılan önemli bir değişkendir ve ancak yol kesimindeki trafik hacminin kapasitenin altında olması durumunda mümkün olmaktadır (Abdurrahman, Puan, & Ibrahim3, 2014). Kesintisiz akış koşulu için kapasite ve hizmet düzeyinin analiz edilmesinde serbest akım hızının belirlenmesi oldukça önemlidir. Herhangi bir karayolu tesisinin ortalama seyahat hızının belirlenmesinde serbest akım hızı da kullanılmaktadır. Serbest akım hızını etkileyen faktörler arasında yol geometrisi, görüş kalitesi ve hava koşulları bulunmaktadır (Brilon & Ponzlet, 1996) (Medina & Tarko, 2005).

- **Ortalama Çalışma Hızı:** Yolun bir kesiminden geçen taşıtların ortalama hızlarını ifade etmektedir. Ortalama seyahat hızından farkı, burada taşıtların durma ve tüm gecikme süreleri hesaba katılmamaktadır.

2.2.3. Yoğunluk

Trafik mühendisliğinde yoğunluk terimi, bir karayolunun birim uzunluğu başına düşen araç sayısı olarak tanımlanmaktadır. Trafik akışında iki önemli yoğunluk türü bulunmaktadır. Bunlar kritik yoğunluk ve sıkışma yoğunluğudur. Serbest akış altında elde edilebilecek maksimum yoğunluk kritik yoğunluktur. Sıkışma yoğunluğu ise tıkanıklık altında elde edilen maksimum yoğunluktur (Başkan, Ceylan, Haldenbilen, & Ceylan, 2007). Herhangi bir karayolu kesiminde yoğunluk değeri arttıkça o karayolu üzerinde seyahat eden taşıtların ortalama hız değerinde azalmalar meydana gelmektedir. Ortalama hız değerinin sıfır olduğu durumlarda trafik durma noktasına gelmektedir. Bu durum tıkanıklık yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca yoğunluğun sıfır olduğu durumda ise ortalama hız maksimum değerini almaktadır. Bu durumdaki hız ise serbest akım hızı olarak açıklanmaktadır. Hız ve yoğunluk arasındaki ilişki gibi akım oranı – hız, akım oranı – yoğunluk ilişkisi de oldukça önemlidir. Çünkü akım oranı, yoğunluk ve hız değerleri bütüncül bir bakış açısıyla incelenmekte olup, bu üç kavram da birbirleriyle ilişkilidir (Bui, Ha, Tran, & Trab, 2018) . Bu durum Şekil 2.1’de verilmiştir. Karayolu üzerinde yapılan araç sayımları, hız ölçümleri ve yoğunluk ölçümleri, o karayolu üzerindeki trafik akımını karakterize etmekte yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.1. Akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişki (HCM, 2010)

Şekil incelendiğinde, karayolu kesimindeki trafik hacmi arttığında bir noktadan sonra hızın azaldığı görülmektedir. Ortalama hızın azalmaya başlamadan önceki nokta, hızın maksimum değeridir ve bu noktada akım oranı yolun kapasitesine eşit olmaktadır. Akım oranının maksimum olduğu noktanın bir miktar altında ve üstünde trafik akımında kararsızlık söz konusudur. Söz konusu yol kesiminde akım oranının kapasitenin üstüne çıkmaya çalışması ise zorlamalı akım meydana gelmektedir (Başkan, Ceylan, Haldenbilen, & Ceylan, 2007). Zorlamalı akım durumu, trafiğin en tıkanık olduğu, sürekli durmaların ve gecikmelerin yaşandığı durumu ifade etmektedir.

2.2.4. Takip mesafesi

Takip mesafesi, bir araç ile önündeki araç arasındaki mesafeyi belirlemek için kullanılan bir ölçüttür. Bu mesafe, araçların birbirlerini takip eden iki aracın güvenli bir şekilde durabilmeleri için gerekli olan minimum mesafeyi ifade etmektedir. Takip mesafesi araçların hızı, reaksiyon süresi ve durma mesafesi gibi faktörlere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Reaksiyon süresi, bir sürücünün bir tehlike algıladığı anda fren yapmaya başlaması arasındaki süreyi temsil etmekte olup, durma mesafesi ise aracın o reaksiyon süresi sonunda durabilmesi için gerekli mesafedir ve aracın hızına bağlı olarak değişmektedir.

Takip mesafesi, trafik akışındaki kesintisizliği ve güvenliği sağlamak için kritik bir faktördür. Yetersiz takip mesafesi, ani duruşlarda çarpışma riskini artırabilir ve trafik kazalarına yol açabilmektedir.

2.3. Hizmet Düzeyi

Hizmet düzeyi, trafik sıkışıklığının en önemli göstergelerinden biridir ve yolcuların yolculukları sırasındaki trafik koşullarının performansını ifade etmektedir (Aftabuzzaman, 2007). Hizmet düzeyi, pratik kapasite konusundaki belirsizlikleri en aza indirmekte fayda sağlamaktadır. Ayrıca araç yoğunluğu, hacim/kapasite oranı, ortalama hız ve gecikme gibi trafik akışı özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Etkinlik ölçütlerine dayalı olarak belirlenen hizmet düzeyi, A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı farklı kategoriyle tanımlanmaktadır (Brilon & Estel, 2010). A hizmet düzeyinden F hizmet düzeyine gidildikçe trafik koşulları kötüleşmektedir. Bu kategorilerin detaylı açıklamaları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Hizmet düzeyi kategorileri

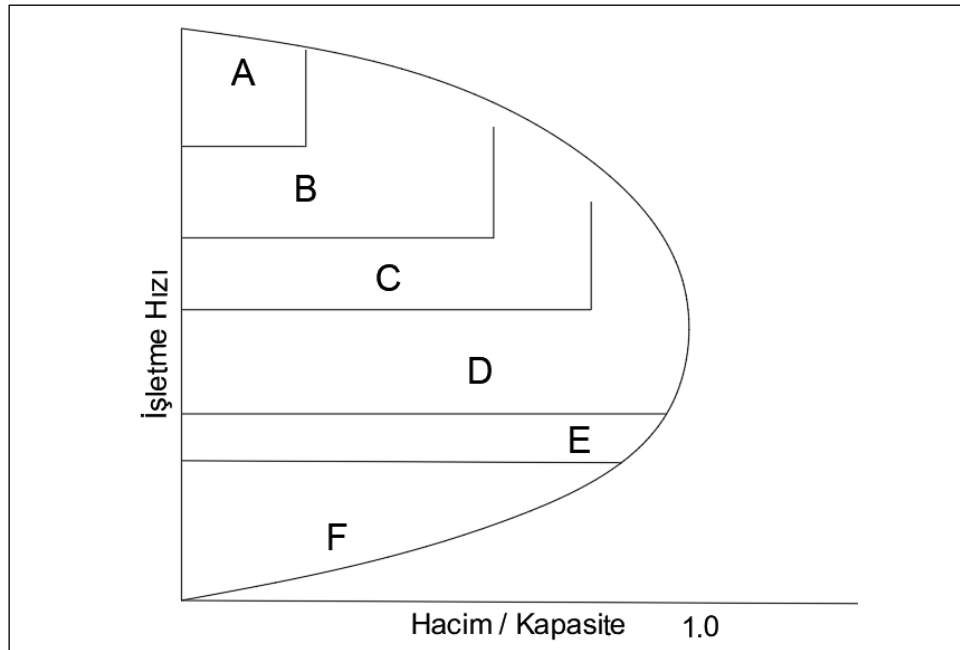
Hizmet Düzeyi	Açıklama
A	- Hacim düşüktür. - Yüksek hızlarda serbest trafik akış koşulları sağlanmaktadır. - Yoğunluk azdır ve sürücü hızını, hız sınırlarına ve yolun fiziksel özelliklerine göre ayarlamaktadır.
B	- Trafik akışı kararlı ve dengelidir. - İşletme hızı az da olsa trafik koşullarından etkilenmektedir ancak sürücüler istedikleri hızla gidebilmektedir.
C	- Trafik akışı kararlıdır ancak sürücülerin hız ve manevra yapma imkanları, diğer taşıtların etkisi altındadır. - Sürücülerin şerit değiştirme ve hız seçimleri kısıtlı hale gelmiştir.
D	- Kararsız trafik akışına yaklaşılmıştır. - Trafikteki düzensizlikler ve akıştaki kısıtlamalar, işletme hızında önemli derecede azalmalara yol açmaktadır.
E	- Trafik akımı kararsızdır ve anlık durmalar meydana gelmektedir. - Trafik hacmi kapasiteye yaklaşmıştır. - İşletme hızında önemli derecede azalmalar meydana gelmektedir.
F	- Trafik hacmi artık kapasite değerine ulaşmış veya üstüne çıkmıştır. - Sürekli durmalar meydana gelmektedir ve tıkanıklık oluşmuştur.

Tabloda verilen hizmet düzeyleri belirlenirken yol tipine bağlı olmak üzere, yoğunluk, akım hızı, serbest akım hızı, hacim / kapasite ve gecikme gibi trafik akım özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Örneğin HCM'ye göre çok şeritli karayollarında hizmet düzeyi belirlenirken, yolun yoğunluk değeri dikkate alınmaktadır. Ancak HCM bu konudaki standartlarını belirli periyotlarla güncellemektedir. Tablo 2.2'de çok şeritli karayolları için 1984 yılından günümüze kadar kabul edilen hizmet düzeyi sınırları verilmiştir.

Tablo 2.2. Çok şeritli karayolu kesiminde hizmet düzeyi için yoğunluk değerlerinin değişimi (HCM, 2010)

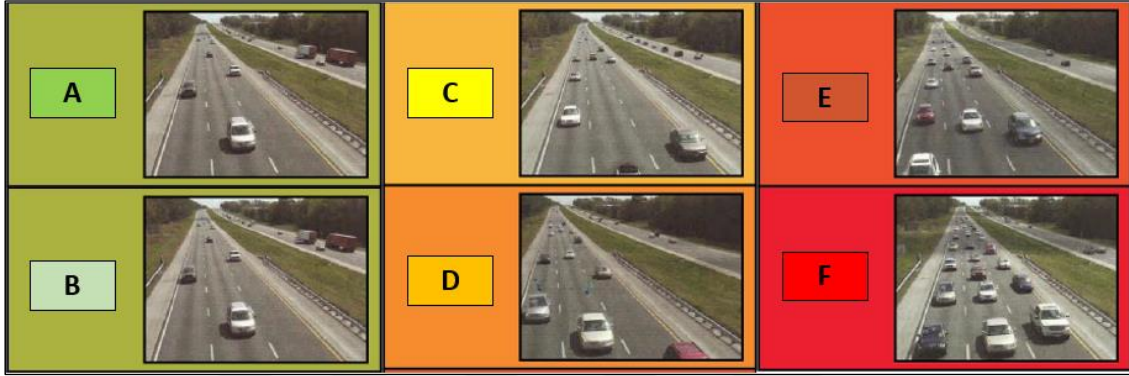
Hizmet Düzeyi	Yoğunluk, tşst/km/şrt			
	HCM-1985	HCM-1994/ HCM-1997	HCM-2000	HCM-2010
A	0 – 8	0 – 6	0 – 7	0 – 11
B	8 – 13	6 – 10	7 – 11	11 – 18
C	13 – 19	10 – 15	11 – 16	18 – 26
D	19 – 26	15 – 20	16 – 22	26 – 35
E	26 – 42	20 – 28	22 – 28	35 – 45
F	>42	>28	> 28	>45

Tablo incelendiğinde HCM'nin tüm versiyonlarında yoğunluk değeri arttıkça hizmet düzeyinin A'dan F'ye çıktığı görülmektedir. Bu durum işletme hızının azaldığını ve hacim/kapasite değerinin 1'e yaklaşarak trafikte tıkanmaların yaşandığını göstermektedir. Şekil 2.2'de verilen grafikte işletme hızı, hacim / kapasite ve hizmet düzeyi arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 2.2. Farklı hizmet düzeylerinde işletme hızı ile hacim/kapasite ilişkisi (Yayla, 2006)

Şekil incelendiğinde düşey eksenin işletme hızını, yatak eksenin ise hacim/kapasite değerini gösterdiği görülmektedir. Bu kapsamda A hizmet düzeyinde işletme hızı en yüksek, hacim/kapasite oranı ise en düşüktür. Ancak düşey ekseninde sıfır noktasına yaklaştıkça hizmet düzeyinin F seviyesine kadar geldiği görülmektedir. Bu noktada yatak eksene bakıldığında ise hacim/kapasite değerinin 1'e yaklaştığı veya 1'e eşit olduğu yani karayolundaki trafik hacminin kapasiteye eşit olduğu görülmektedir. Bu durumu daha iyi anlayabilmek için Şekil 2.3'te çok şeritli bir karayolunda hizmet düzeyi örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Çok şeritli yolda hizmet düzeyi örneği (FDOT 2023)

Şekilden de anlaşılacağı üzere A ve B hizmet düzeyinde karayolunda yoğunluk yok denecek kadar azdır. Bu durum serbest akım koşullarına örnektir. E ve F hizmet düzeyine bakıldığında ise trafikte tıkanmaların yaşandığı görülmektedir.

Hizmet düzeyi otoyollar, iki şeritli yollar, çok şeritli yollar ve ana arterlerde belirlendiği gibi kavşaklarda da belirlenebilmektedir. Kavşaklarda hizmet düzeyleri belirlenirken, belirlenirken genellikle gecikme değerleri dikkate alınır. Ayrıca kavşağın sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmaması durumları için gecikme sınırları farklılık göstermektedir. Tablo 2.3'de sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmayan kavşaklardaki hizmet düzeyleri ve sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklardaki hizmet düzeyleri (HCM, 2010)

Sinyalize Kavşaklar için Servis Seviyesi Kriterleri		Sinyalize Olmayan Kavşaklar için Servis Seviyesi Kriterleri	
Servis Seviyesi	Ortalama Gecikme (sn)	Servis Seviyesi	Ortalama Gecikme (sn)
A	≤ 10	A	0-10
B	>10-20	B	>10-15
C	>20-35	C	>15-25
D	>35-55	D	>25-35
E	>55-80	E	>35-50
F	>80	F	>50

3. ULAŞIM MODELİ

Ulaşım modelleri daha çok üst ölçekli makro planlamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu modeller, yeni sistemlerin veya altyapı projelerinin planlanması, mevcut ulaşım sistemlerinin iyileştirilmesi, gelecekte ortaya çıkabilecek yolculuk taleplerinin tahmini ve analizi, çevresel etkilerin değerlendirilmesi, yatırım kararları ve risk analizi gibi çeşitli alanlarda kullanılabilmektedirler (Golledge & Garling, 2001). Karmaşık veri ve matematiksel algoritmalar içeren bu modeller, ulaşım ağlarını, yolculuk taleplerini ve farklı etkenlerin birbiri ile etkileşimlerini simüle ederek planlama ve karar verme süreçlerine sağlam bir temel oluşturmaktadırlar.

Ulaşım modelleri Trafik Analiz Bölgeleri (TAB), Yol (Link), Düğüm Noktası (Node), TAB Ağırlık Merkezi (Centroid), TAB Bağlantısı (Connector), Toplu Taşıma Hatları (Lines) ve Duraklar (Stop Points) gibi bileşenlere sahiptirler. Bu bileşenler aşağıda tanımlanmıştır.

Trafik Analiz Bölgeleri (TAB) = Ulaşım modellerinde yolculuk üreten veya çeken belirli coğrafi bölgeleri temsil eden alanlardır (Murray-Tuite & Wolshon, 2013). Bu bölgeler il, ilçe ve bazen mahalle sınırları ile yüksek yolculuk üretim – çekim değerlerine sahip alanlar ile benzer sosyo – ekonomik alanların birlikte değerlendirildiği alanlar dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Bu çalışmada ilçe alanları temel TAB'lar olarak belirlenmiştir.

Ulaşım modelleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı yazılımlar kullanılarak hazırlanmaktadır. Bu çalışmada da CBS tabanlı PTV VISUM programı kullanılmış ve her TAB için öznitelik bilgileri modelde yer almaktadır.

Yol (Link) ve Düğüm Noktası (Node) = Ulaşım modellerinde kullanılan karayolu, demiryolu, havayolu ve deniz yolu ağında, yolları temsil eden linkler ve linkleri birbirine bağlayan nodelar (düğüm noktaları) olmak üzere 2 temel bileşen yer almaktadır. Yol ağına ait kapasite ve hız değerleri yolların şerit sayıları, yol tipi ve yol türleri linklerin üzerine tanımlanmaktadır.

TAB Ağırlık Merkezi (Centroid) = TAB'ların ağırlık merkezleridir. Yolculuklar bu noktadan başlamakta ve bu noktada bitmektedirler.

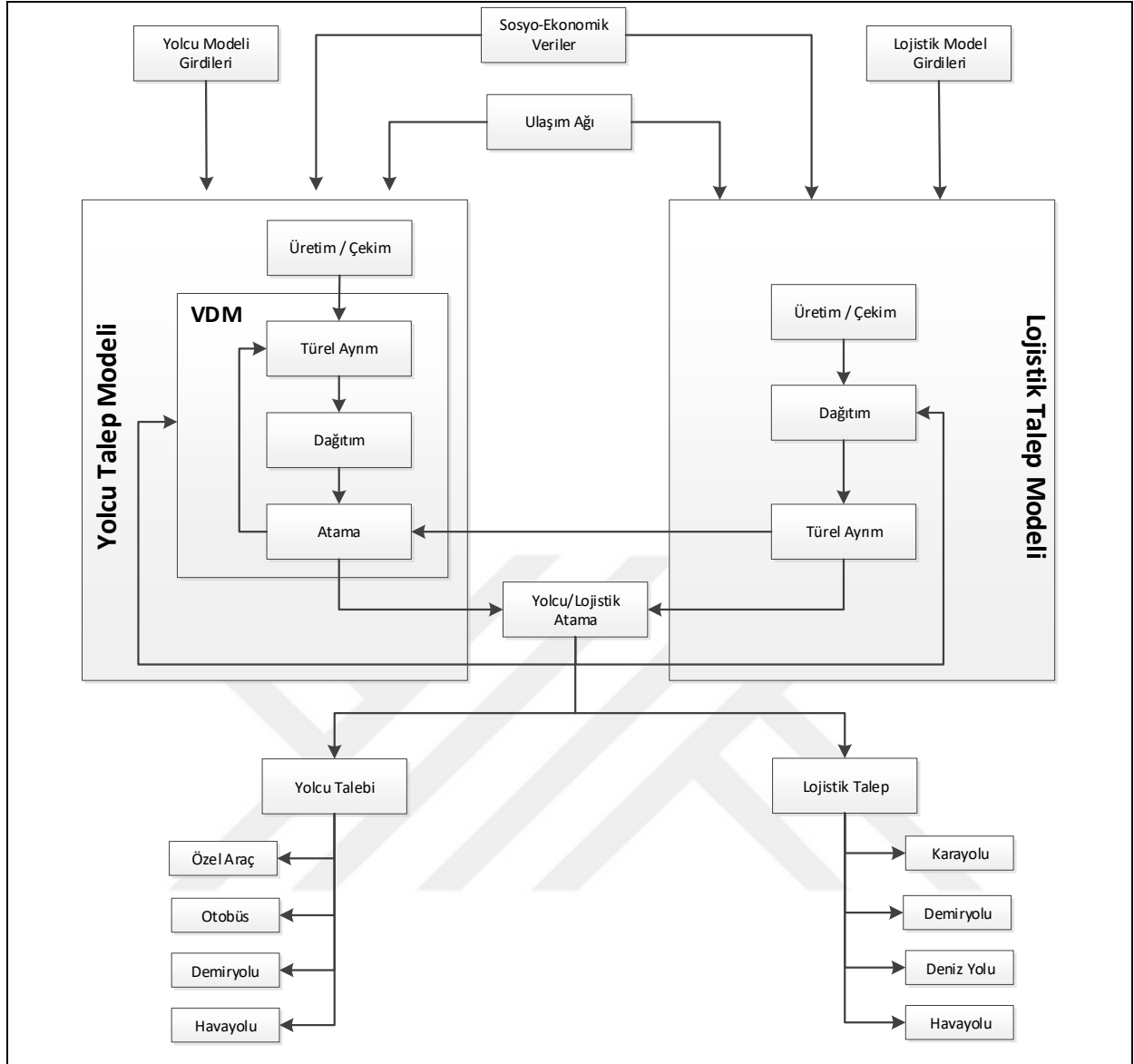
TAB Bağlantısı (Connector) = Ulaşım modellerinde, yolculukların başlaması ve tamamlanması için TAB'ların yol ağı ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu ilişki Connectorler yardımıyla kurulmaktadır.

Toplu Taşıma Hatları ve Durakları = Toplu taşıma hatları ve bu hatlara ilişkin durak noktaları da ulaşım modellerinin önemli bileşenlerindendir. Toplu taşıma hatları, karayolu ve

demiryolu hatlarıyla birlikte havayolu hatlarını da kapsamaktadır. Duraklar ise otogarlar, garlar ve havaalanlarını kapsayabilir.

Bu çalışmada, Türkiye’de bulunan otoyol, devlet yolları ve il yollarına ilişkin hacim/kapasite, gecikme ve hız değerlerinin hesaplanarak hizmet düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığına ait Ulusal Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı ulaşım modeli kullanılmıştır. Ulusal Ulaştırma Ana Planı modeli 2019 yılında, PTV VISUM programı kullanılarak şehirlerarası yolculukları modellememek için hazırlanmış olup, 707 adet TAB’dan oluşmaktadır. Bu TAB’ların 642 adeti Türkiye sınırları dahilinde olup, 65 adeti ise diğer ülkeleri kapsamaktadır. Ayrıca model, Türkiye’de bulunan otoyol, devlet yolu, il yolu, kırsal yollar, şehir içindeki önemli arterler ve raylı sistem hatlarının yanı sıra otogarlar, tren istasyonları, havalimanları ve liman tesislerini içermektedir.

Ulusal Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı kapsamında hazırlanan ulaşım modeli, 2019 yılına ait yol ağı verileri ve sosyo-demografik verileri içermektedir. Şekil 3.1’de model yapısı görülmektedir.



Şekil 3.1. Ulaşım modeli yapısı (UUAP, 2022)

Şekil incelendiğinde, yolcu talep modeli ile yük talep modelinin birbirine entegre şekilde çalıştığı görülmektedir. Her iki model de 4 aşamalı model içermekte olup, yolcu modelinde değişken talep modeli (DTM) kullanılmıştır. DTM türel ayrım, dağıtım ve atama aşamalarını kapsamaktadır. Ayrıca yolcu talep modelinde özel araç, otobüs, demiryolu ve havayolu olmak üzere 4 farklı ulaşım modu tanımlanmıştır. Yük modeli ise aynı şekilde karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaşım modlarını barındırmaktadır.

3.1. Yolcu ve Yük Talep Modeli

Ulaşım modeli; karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu sistemlerine ait ulaşım ağı altyapısı, sosyo-demografik veriler, arazi kullanım verileri ve trafik analiz bölgeleri gibi model girdilerinden oluşmaktadır. Bu girdilerden bazıları yolcu ve yük talebinin belirlenmesinde

oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu veriler; sosyo- demografik veriler, arazi kullanım verileri, turizm verileri, zamanın parasal değeri, otoyol ve yolcu taşıma ücreti verileridir. Söz konusu veriler, modelde yer alan üretim-çekim, dağıtım ve türel ayırım aşamalarında belirleyici roldedir.

3.1.1. Sosyo-demografik veriler

Ulaşım planlamasında yolculuk üretim ve çekim değerlerini etkileyen en önemli parametreler arasında sosyo–demografik veriler yer almaktadır. Sosyo-demografik veriler, bir bölgenin veya topluluğun sosyal ve demografik özelliklerini tanımlamaktadır. Bu veriler genellikle nüfusun yaş yapısı, cinsiyet dağılımı, gelir düzeyi, eğitim seviyesi, meslek dağılımı gibi faktörleri içermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan sosyo–demografik veriler ise şunlardır; nüfus, hane halkı verisi, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla, ithalat/ihracat, öğrenci sayısı ve hastane yatak sayısı verileridir.

3.1.2. Arazi kullanım verileri

Yük taşımacılığı için önemli olan Organize Sanayi Bölgeleri, Toptancı Halleri Verileri, Serbest Bölge Verileri, Lojistik Merkez Verileri ve Maden Rezerv Verilerdir. Bu kısımda kullanılan veriler genellikle bu alanlarda taşınan yük miktarları, istihdam sayıları, işlem hacimleri vb. verilerdir.

3.1.3. Turizm verileri

Turizm verileri, ulaşım planlamasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu veriler, yolculuk talep analizi için kullanılmaktadır olup, hangi bölgelerde ne zaman ve ne sıklıkta talep olduğunu belirlemektedir.

3.1.4. Zamanın parasal değeri

Zamanın değeri; bireyin, sosyoekonomik özellikleri ve ulaşım amacına bağlı olarak, bir birim zaman tasarruf etmek için ödemeye razı olduğu fiyat olarak tanımlanmaktadır. Zaman değeri, nüfusun alt grupları için farklı olabileceği gibi, bir kişi için değişik senaryolar altında da farklılık gösterebilir.

Kullanıcı faydalarının, zamandan tasarruf, belirlenmesinde literatürde genellikle ödemeye gönüllü olmak yöntemi kullanılır. Piyasa dışı değerlendirme için genelde aşağıdaki teknikler kullanılmaktadır:

- Açıklanmış tercihler (revealed preferences): Bireyin geçmiş davranışına odaklanır.

- Belirtilen tercihler (stated preference): Bireyin gelecekteki davranışının ne olabileceğini, bugünden farklı bir davranış sergileyebileceği tahminine dayanır.

Ulusal Ulaştırma Ana Planı çalışması kapsamında zamanın değeri hesaplamaları, proje kapsamında gerçekleştirilen belirtilmiş tercih anketleri (stated preference survey) kullanılarak tespit edilmiştir (UUAP, 2022).

3.1.5. Otoyol ve yolcu taşıma ücretleri

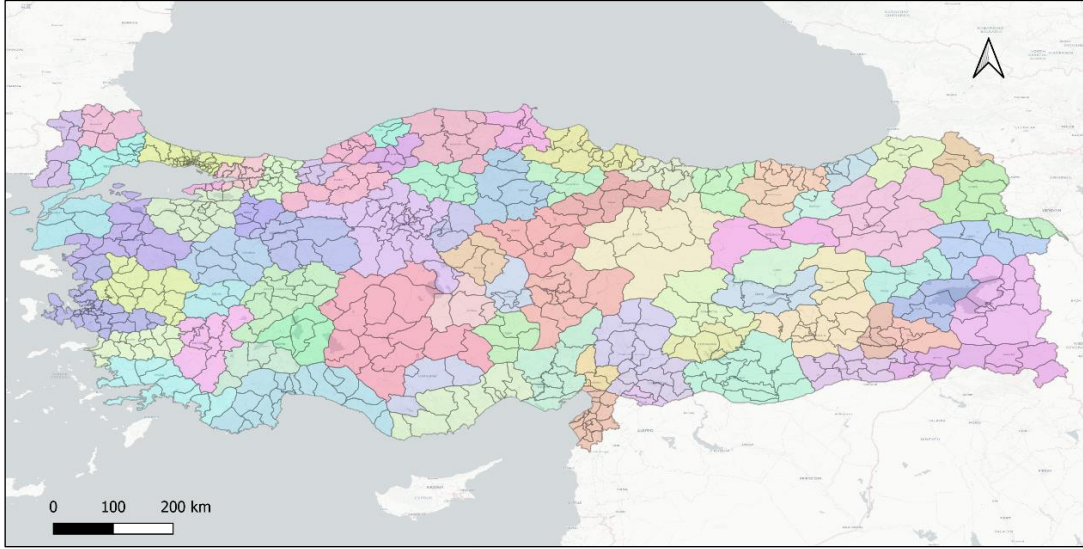
Modelde yer alan otoyol ve yolcu taşıma ücretleri, mod seçimi (türel ayırım) aşamasında kullanılmaktadır. Yani bireyin yapacağı yolculuğu hangi ulaşım modu ile yapacağını seçiminde önemli rol oynamaktadır.

3.2. Ulaşım Ağı Altyapısı

Çalışma kapsamında modelde yer alan karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu sistemleri bu bölümde verilmiştir. Ayrıca PTV VISUM yazılımında toplu taşıma sisteminde yer alan toplu taşıma bileşenlerinden otogar, istasyon, liman ve havaalanları; Stop Points, Stop Areas ve Stops şeklinde tanımlanmaktadır. Bundan dolayı Türkiye genelindeki otogarlar, raylı sistem istasyonları ve garları, limanlar ve havalimanları modelde durak (Stop points, stop area, stops) olarak tanımlanmıştır. Ayrıca toplu taşıma hatları kapsamındaki, karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu hatlarına ilişkin veriler Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ile bağlı ilgili ilişkili kurum ve kuruluşlardan temin edilerek modele aktarılmıştır.

3.2.1. Ulaşım modeli tab yapısı

Ülkemiz genelinde toplam 81 ile bağlı 973 ilçe bulunmakta olup; bu ilçe sınırları TAB'lar için en küçük idari sınırı oluşturmaktadır. UUAP kapsamında hazırlanan ulaşım modelinde 642 adet iç TAB bulunmaktadır. Söz konusu iç TAB'lar aynı il içerisinde bulunan bir veya daha fazla ilçenin birleştirilmesiyle de oluşabilmektedir. İç TAB'lar dışında 65 adet dış TAB da ulaşım modelinde yer almaktadır. Şekil 3.2'de ulaşım modeli TAB yapısı verilmiştir.



Şekil 3.2. Ulaşım modeli TAB yapısı (UUAP, 2022)

3.2.2. Karayolu ağı

Ulaşım modelinde kullanılan karayolu ağında, yolları temsil eden linkler ve bu linklerin birbirleriyle bağlantısını sağlayan düğüm noktaları (Node) olmak üzere 2 temel bileşen vardır. Bu bileşenlerin oluşturduğu karayolu ağı 2019 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü'nden temin edilen karayolu ağı verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Karayolu ağı oluşturulurken, otoyol, devlet yolu ve il yolu sistematığıne uyacak şekilde; öncelikli olarak, otoyolların devlet yolları ile bağlantıları sağlanmış, devamında devlet yolları ulaşım ağına dahil edilmiş ve devlet yollarının tamamının il yolları ile bağlantıları sağlanmıştır. Şekil 3.3'te modelde yer alan karayolu ağı verilmiştir.



Şekil 3.3. Ulaşım modeli karayolu ağı (UUAP, 2022)

3.2.3. Demiryolu

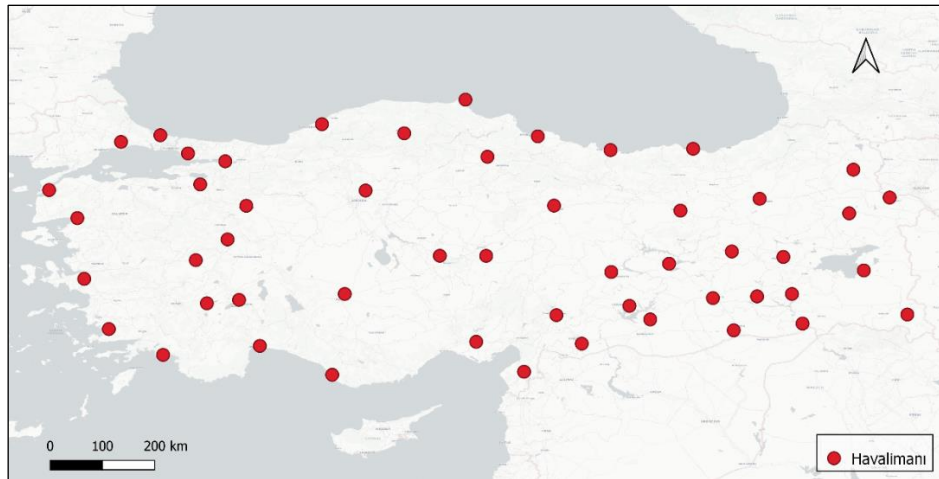
Ulaşım modelinde kullanılan demiryolu ağına, karayolu ağına olduğu gibi yolları temsil eden linkler ve bu linklerin birbirleriyle bağlantısını sağlayan düğüm noktaları (Node) olmak üzere 2 temel bileşen vardır. Bu bileşenlerin oluşturduğu demiryolu ağı 2019 yılında Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) ve Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü'nden (UHDM) temin edilen veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 3.4'te modelde yer alan demiryolu ağı ve istasyonları verilmiştir.



Şekil 3.4. Ulaşım modeli demiryolu ağı ve istasyonları (UUAP, 2022)

3.2.4. Havayolu

Modelde yer alan havayolu sistemleri ile ilgili çalışmalarda, Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nden (DHMİ) temin edilen veriler CBS ortamında irdelenerek 2019 yılı mevcut havalimanları belirlenmiştir (Şekil 3.5). Ayrıca DHMİ'den alınan yurtdışı yolculuk verileri de incelenerek, modelde olması gerekli yurtdışındaki havalimanları da tespit edilerek modele girilmiştir.

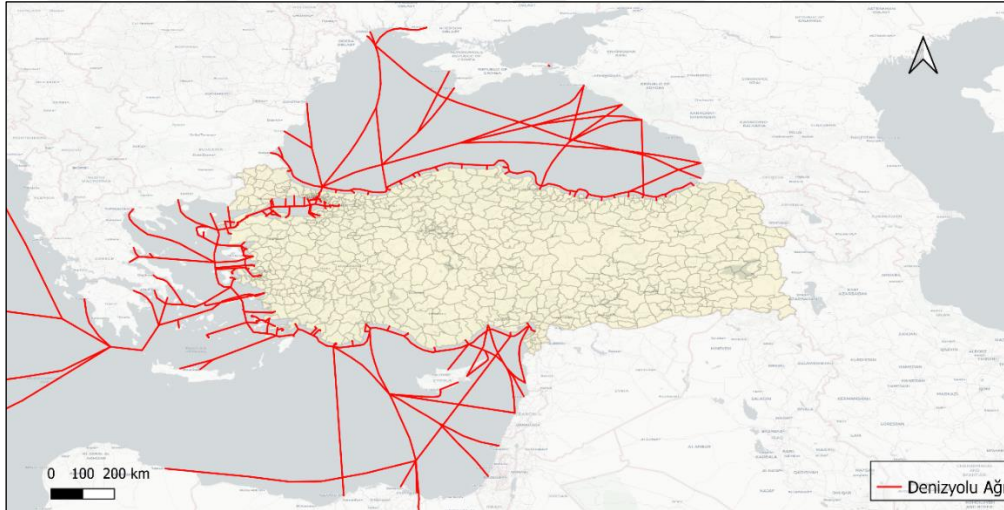


Şekil 3.5. Ulaşım modeli havalimanları (UUAP, 2022)

Havalimanları modele entegre edildikten sonra, DHMİ'den temin edilen 2019 yılındaki yolculuk verileri esas alınarak havayolu linkleri oluşturulmuştur. Ayrıca yurt dışı havayolu linkleri oluşturulurken haftada en az bir sefer yapılan yolculuklar dikkate alınmıştır.

3.2.5. Denizyolu

Deniz yolu ağında yapılan çalışmalarda, Denizcilik Genel Müdürlüğü'nden (DGM) temin edilen veriler ışığında Türkiye'nin ithalat ve ihracat yaptığı ülkelerde yer alan limanlar belirlenmiştir. Daha sonra ülkemize kıyısı olan denizlere, deniz yolu bağlantı hatlarını temsil eden linkler eklenmiştir. Eklenen linklere Karadeniz Ana Hat, İstanbul Boğazı Ana Hat, Marmara Ana Hat, Kocaeli – Marmara Ana Hat, Çanakkale Boğazı Ana Hat, Ege – Akdeniz Ana Hat başta olmak üzere hat tanımlamaları yapılmıştır. Şekil 3.6'da ulaşım modelinde yer alan denizyolu ağı görünümü verilmiştir.

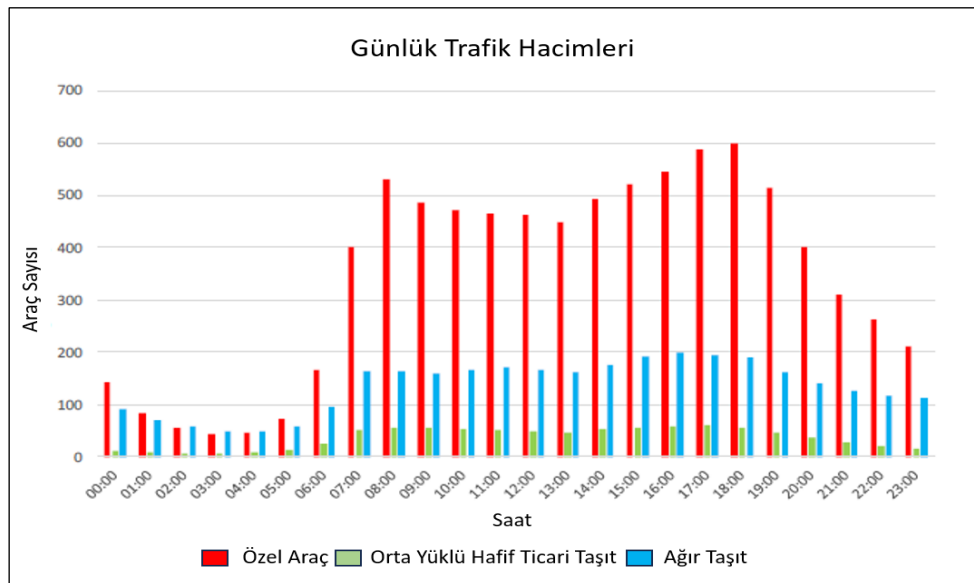


Şekil 3.6. Ulaşım modeli denizyolu ağı (UUAP, 2022)

4. METODOLOJİ

Bir ulaşım talep modelinin geçerliliğini kanıtlamak için validasyon işlemleri yapılmaktadır. Validasyon işlemleri, gözlemlenen değerler ile modellenen değerler arasındaki sapmalar ölçülerek ve uygun kalite ölçütleriyle değerlendirilerek yapılmaktadır (Friedrich, Pestel, Schiller, & Simon, 2019). Bu çalışmada, Türkiye genelindeki karayollarının hizmet düzeylerinin belirlenmesi için öncelikle 2019 yılında hazırlanan ulaşım modelinin gerçeği doğru bir şekilde yansıtması adına testler gerçekleştirilerek modelin geçerliliği değerlendirilmiştir. Böylelikle, modelde yer alan karayollarına ait trafik hacim bilgilerinin, gerçekleşen değerleri ne derece doğru yansıttığı belirlenmiştir. Model üzerinde gerçekleştirilen test çalışmaları Bölüm 5'te, verilmektedir. Test işlemleri tamamlandıktan sonra yetersizlik analizi, sorunlar – darboğazlar ve hizmet düzeyi belirlenmesine ilişkin çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, hizmet düzeyleri belirlenirken, modelde bulunan her bir yol tipi için farklı yaklaşımlar ele alınmıştır. Bu yaklaşımlar; Yoğunluğa Göre Hizmet Düzeyi, Serbest Akım Hızındaki Azalmaya Göre Hizmet Düzeyi ve Trafik Akım Hızına Göre Hizmet Düzeyidir. Yoğunluğa göre hizmet düzeyi belirlenirken ulaşım ağı üzerinde her bir link için yoğunluk hesabı, link üzerinde bulunan trafik hacimleri (q), saatlik trafik hacmi ve atanmış yol ağındaki trafik akımı hızı (V_{cur}) kullanılmıştır (4.1).

Saatlik trafik hacim değeri bulunurken model kapsamında belirlenen şehirlerarası yolcuklar için zirve saat faktörü olarak 0,07 değeri kullanılmıştır. Bu değer karayolları sabit sayım istasyonlardan elde edilen zirve saat trafik hacim değerlerinden elde edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. SSI verilerinden elde edilen saat bazında araç sayısı (UUAP, 2022)

Trafik tıkanıklığının en yoğun olduğu zirve saatlerin genellikle sabah 06:00-10:00 arası, akşam ise 15:00-21:00 saatleri arasında oluşmaktadır (Saracoglu, Ozen, & Apay, 2021). Bu çalışmada da şekil incelendiğinde, şehirlerarası yollarda en fazla araç sayısının tespit edildiği zaman diliminin 18:00-19:00 olduğu görülmektedir. Bu saatler arasındaki yolculukların tüm gün yolculuklarına oranı ise %7 (zirve saat değeri) olup, Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Saat bazında günlük yolculuk yüzdeleri (UUAP, 2022)

Saat	Özel Araç	OYHTT	Ağır Taşıt	Saat	Özel Araç	OYHTT	Ağır Taşıt
00:00	2%	1%	3%	12:00	6%	5%	5%
01:00	1%	1%	2%	13:00	5%	5%	5%
02:00	1%	1%	2%	14:00	6%	6%	5%
03:00	1%	1%	2%	15:00	6%	7%	6%
04:00	1%	1%	1%	16:00	7%	7%	6%
05:00	1%	2%	2%	17:00	7%	7%	6%
06:00	2%	3%	3%	18:00	7%	7%	6%
07:00	5%	6%	5%	19:00	6%	5%	4%
08:00	6%	6%	5%	20:00	5%	4%	4%
09:00	6%	6%	5%	21:00	4%	3%	4%
10:00	6%	6%	5%	22:00	3%	2%	4%
11:00	6%	6%	5%	23:00	3%	2%	3%

$$k = \frac{(q \times 0,07)}{V_{cur}} \quad (4.1)$$

k : Yoğunluk

q : Trafik Hacmi

V_{cur} : Atanmış Yol Ağındaki Trafik Akım Hızı

Denklemden yer alan atanmış yol ağındaki trafik akım hızı belirlenirken hacim/gecikme fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Hacim gecikme fonksiyonları, ulaşım modellerinin karayolu atama aşamasında, trafik sıkışıklığının karayolu ağı üzerindeki etkilerini hesaba katmak için kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar, karayolu ağında, sıkışık koşullar altındaki trafik akım hızını hesaplamak için kapasite, serbest akım hızı ve trafik hacmi gibi değerleri kullanılmaktadır (Huntsinger & Rouphail, 2011). Modelde yer alan linklerin tümünde BPR3 fonksiyonu kullanılmıştır. BPR3 fonksiyonuna ilişkin formülasyon Şekil 4.2’de verilmiştir.

$$t_{cur} = \begin{cases} t_0 \cdot (1 + a \cdot sat^b), & sat \leq sat_{crit} \\ t_0 \cdot (1 + a \cdot sat^b) + (q - q_{max} \cdot c) \cdot d, & sat > sat_{crit} \end{cases}$$

Where $sat = \frac{q}{q_{max} \cdot c}$ $sat_{crit} = 1$

Şekil 4.2. Hacim/gecikme fonksiyonuna ilişkin formülasyon

Şekilde yer alan formülasyona ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir:

t_{cur} = Atanmış Yol Ağındaki Seyahat Süresi (saniye)

t_0 = Serbest Akım Koşullarındaki Seyahat Süresi (saniye)

q = Birim Otomobil Cinsinden Link Üzerindeki Hacim

q_{max} = Link Kapasitesi

a, b, c, d, e, f = Kullanıcı Tanımlı Katsayılar

sat = Doygunluk

sat_{crit} = Hacim Fonksiyonunun Doğrusal Bölümünün Başladığı Doygunluk Derecesi

Ulaşım ağı üzerinde her bir link için serbest akım hızındaki azalma değeri ise serbest akım hızı (V_{sah}) ve atanmış link üzerindeki mevcut trafik akım hızı (V_{cur}) kullanılarak hesaplanmıştır. Serbest akım hızındaki yüzdesel azalma aşağıda yer alan denklem aracılığı ile bulunmaktadır (4.2).

$$PV = \frac{V_{sah} - V_{cur}}{V_{sah}} \times 100 \quad (4.2)$$

PV : Serbest Akım Hızındaki Azalma

V_{sah} : Serbest Akım Hızı

V_{cur} : Atanmış Yol Ağındaki Trafik Akım Hızı

Trafik akım hızı kullanılarak hizmet düzeyi belirlenirken ulaşım ağına ait linklerin üzerindeki anlık trafik akım hızı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu kapsamda yol tiplerine göre hizmet düzeyi kategorileri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Karayollarına ait hizmet düzeyi kategorisi

No	Yol Tipi	Hizmet Düzeyi Türü
1	Otoyol	1
2	Devlet Yolu (Bölünmüş)	1
3	İl Yolu (Bölünmüş)	1
4	Devlet Yolu (Bölünmemiş)	2
5	İl Yolu (Bölünmemiş)	2
6	Katılım Kolları	3
7	Dönel Kavşaklar	3
8	Kent içi Yollar	3
9	Kırsal Yollar	3
1. Yoğunluk esaslı Hizmet Düzeyi, 2. Serbest Akım Hızındaki Azalma Oranı, 3. Trafik Akım Hızı		

Tablo incelendiğinde, otoyol, bölünmüş devlet yolu ve il yollarında hizmet düzeyleri belirlenirken, yollara ait yoğunluk değerleri dikkate alınmıştır. Bölünmemiş devlet yolu ve il yolu için ise serbest akım hızındaki azalma dikkate alınarak hizmet düzeyi belirlenmiştir. Katılım kolları, dönel kavşaklar, kent içi yollar ve kırsal yollara bakıldığında ise trafik akım hızı esas alınarak hizmet düzeylerinin belirlendiği görülmektedir. Tablo 4.3’te hizmet düzeyi türlerine ait eşik değerleri verilmiştir. Tabloda verilen değerler ulaşım planlaması uzman görüşlerine göre oluşturulmuştur.

Tablo 4.3. Hizmet düzeyi türlerine ait eşik değerleri

Servis Seviyesi (LOS)	Yoğunluk (tışt/[şrt-km])	Serbest Akım Hızı Yüzdesi (%ffs)	Ortalama Seyahat Hızı (ATS)
A	7	90	35
B	10	85	27
C	15	80	18
D	20	75	15
E	25	50	8
F	>25	<50	<8

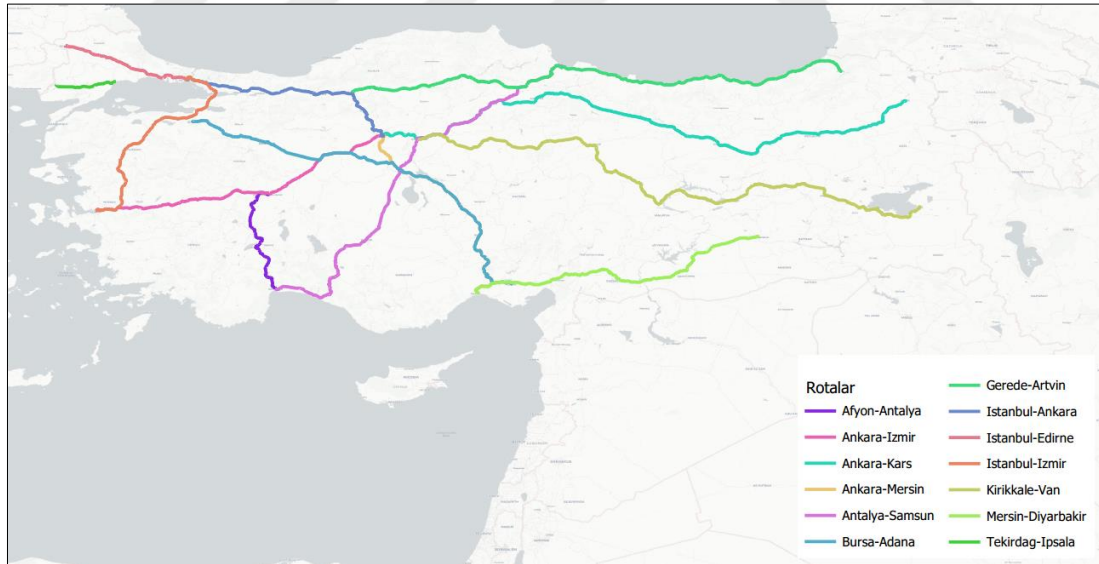
5. ULAŞIM MODELİNİN TEST EDİLMESİ

Ulaşım modelinin trafik atama sonuçlarının mevcut durumu ne derece yansıttığını belirlemek adına modelde test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Söz konusu testler, yol ağının test edilmesi, yolcu modelinin test edilmesi ve yük modelinin test edilmesi üzere üç farklı şekilde yapılmıştır. Bu bölümde modelde yapılan test çalışmalarına ilişkin detaylar açıklanmıştır.

5.1. Yol Ağının Test Edilmesi

Yol ağında yapılan test işlemleri başlangıç ve varış noktaları arasındaki seyahat mesafeleri ve süreleri baz alınarak yapılmıştır. Bu kapsamda modelde yer alan farklı iller arası süreler ve mesafeler Google verileri ile kıyaslanarak test edilmiştir. Google, kullanıcıların telefonlarından veya GPS cihazlarından gelen gerçek zamanlı verilere dayanarak trafik durumunu izlemektedir. Bu veriler, yoğunluk, trafik kazaları, yol çalışmaları gibi faktörleri hesaba katarak güncel trafik durumunu belirlemektedir. Böylelikle gerçek zamanlı yolculuk uzunlukları ve sürelerini kullanıcılara sunmaktadır.

Seyahat süreleri, ülkemiz genelinde doğu – batı ve kuzey – güney akslarına ait sürelerin doğrulamasını yapacak şekilde belirlenen 13 güzergah üzerinde test edilmiştir (Şekil 5.1).



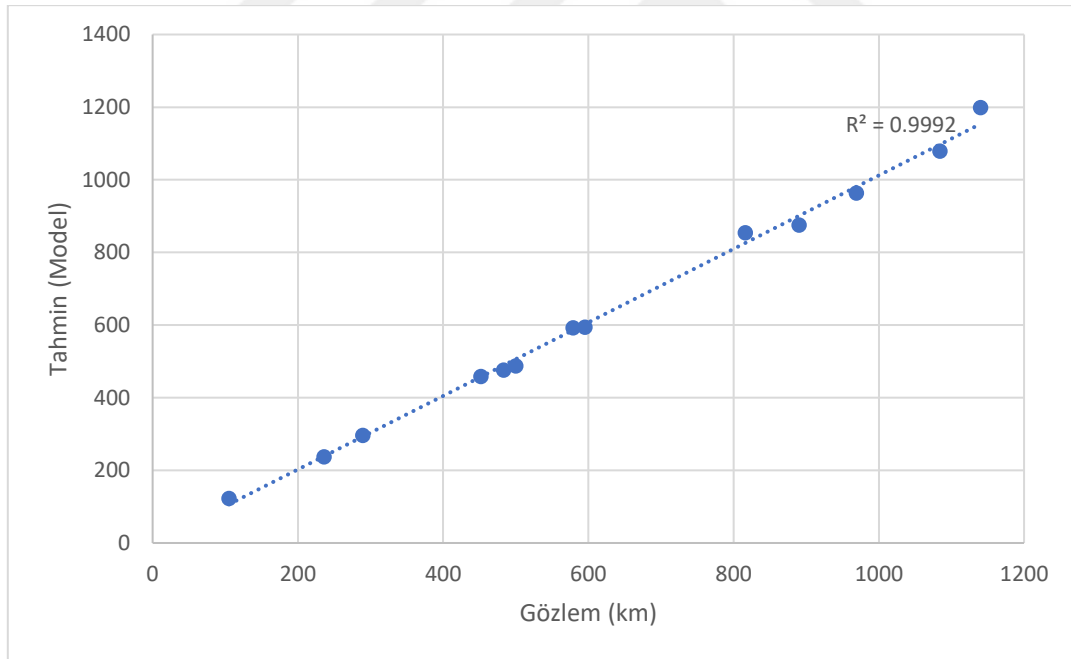
Şekil 5.1. Süresel doğrulama yapılan güzergahlar

Buna göre, test edilen güzergahlara ilişkin Google verileri ve Model çıktıları karşılaştırılarak Tablo 5.1’de verilmiştir.

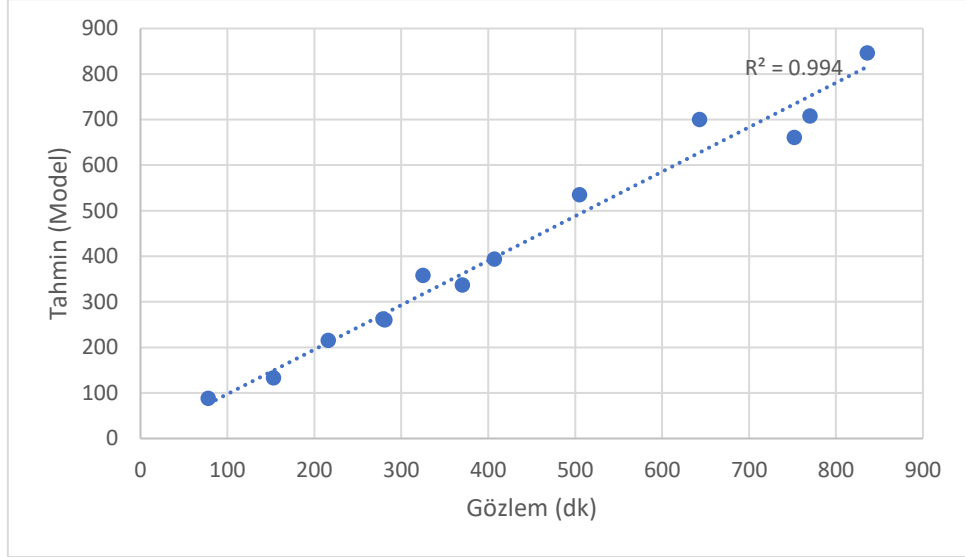
Tablo 5.1. Seyahat sürelerinin doğrulaması

	Başlangıç	Varış	Gözlem				Model	
			Km	Süre (dk)	+15%	-15%	Km	Süre (dk)
1	İstanbul	Edirne	241	137	158	116	238	135
2	İstanbul	Ankara	446	258	297	219	442	280
3	İstanbul	İzmir	470	270	311	230	461	280
4	Ankara	İzmir	579	372	428	316	572	382
5	Ankara	Mersin	490	306	352	260	473	332
6	Ankara	Kars	1091	727	836	618	1089	732
7	Kırıkkale	Van	1147	809	930	688	1137	821
8	Bursa	Adana	800	512	589	435	796	521
9	Mersin	Diyarbakır	590	378	435	321	588	361
10	Gerede	Artvin	978	668	768	568	982	688
11	Tekirdağ	İpsala	111	70	81	60	113	73
12	Afyon	Antalya	289	216	248	184	282	223
13	Antalya	Samsun	890	592	681	503	916	695

Model ve Gözlem sonuçlarının daha anlaşılabilir ve karşılaştırılabilir olması için gözlem ve model karşılaştırılması amacıyla seyahat süreleri için Şekil 5.3 ve mesafe karşılaştırması için Şekil 5.2 hazırlanmıştır. Bu grafikler de gözlem / model doğrulamasını açıkça göstermektedir.



Şekil 5.2. Gözlem / model seyahat uzunlukları karşılaştırması

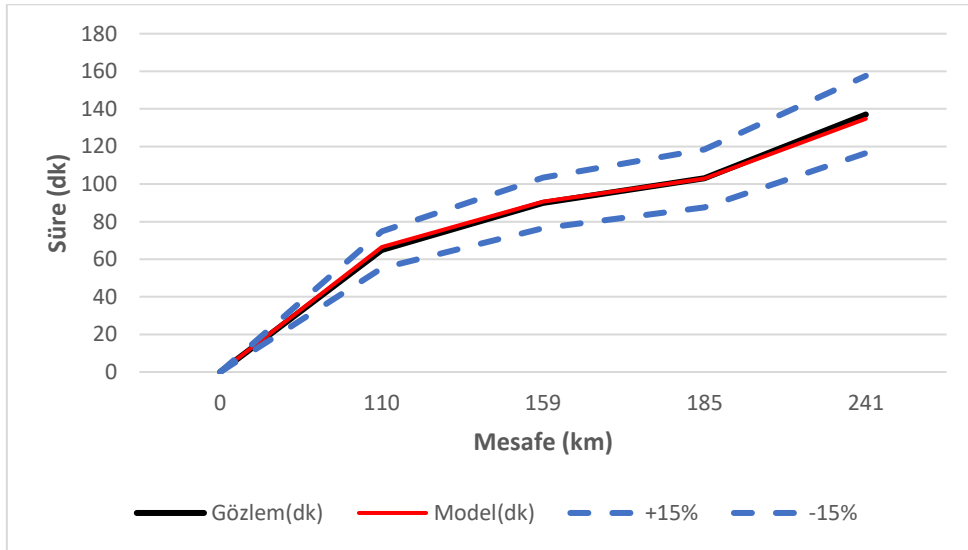


Şekil 5.3. Gözlem / model seyahat süresi karşılaştırması

Aşağıda verilen tablo ve şekillerde ise test edilen güzergahların her birine ait detaylı model çıktıları ve Google verilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 5.2. İstanbul- Edirne

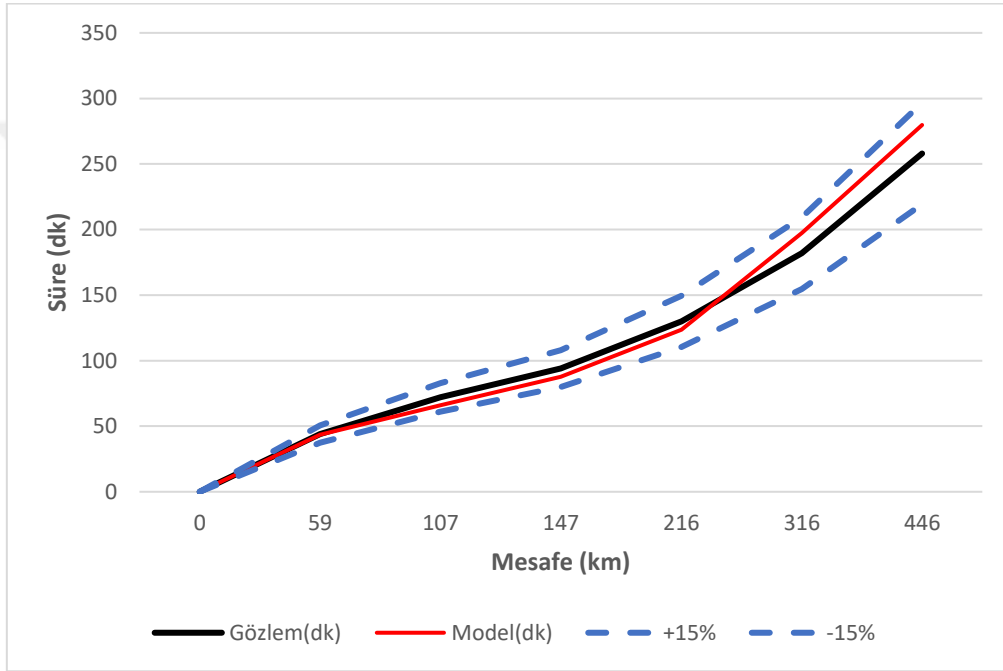
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	İstanbul	Çorlu	110	65	109	66
2	Çorlu	Lüleburgaz	49	25	49	24
3	Lüleburgaz	Babaeski	26	13	24	12
4	Babaeski	Edirne	56	34	56	32
Toplam	İstanbul	Edirne	241	137	238	135



Şekil 5.4. İstanbul-Edirne

Tablo 5.3. İstanbul-Ankara

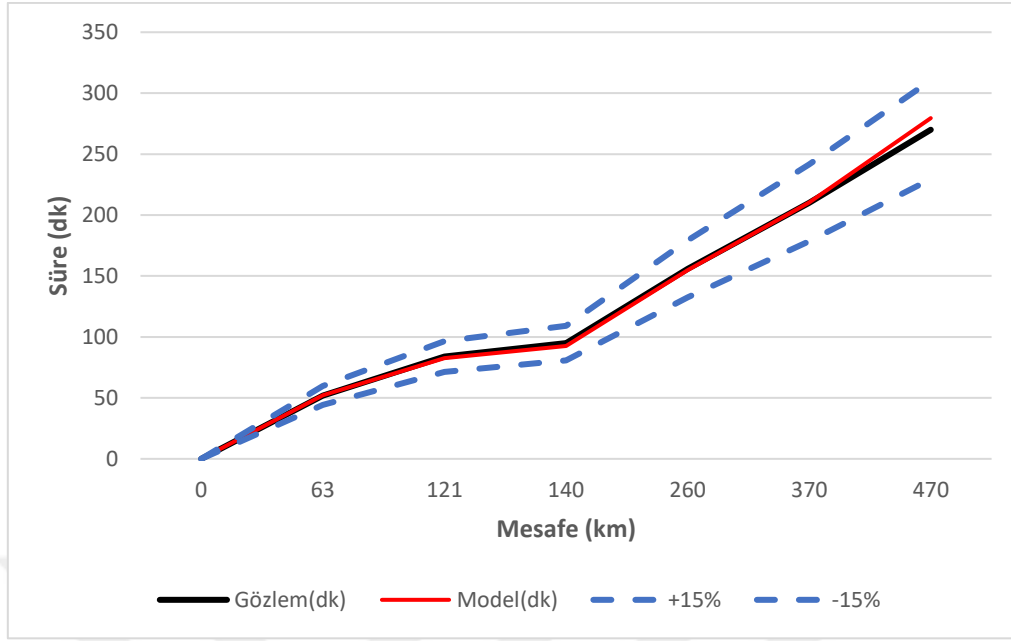
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	İstanbul	Gebze	59	44	56	44
2	Gebze	Kocaeli	48	28	45	22
3	Kocaeli	Sakarya	40	22	44	22
4	Sakarya	Düzce	69	36	72	36
5	Düzce	Gerede	100	52	96	74
6	Gerede	Ankara	130	76	130	82
Toplam	İstanbul	Ankara	446	258	442	280



Şekil 5.5. İstanbul- Ankara

Tablo 5.4. İstanbul- İzmir

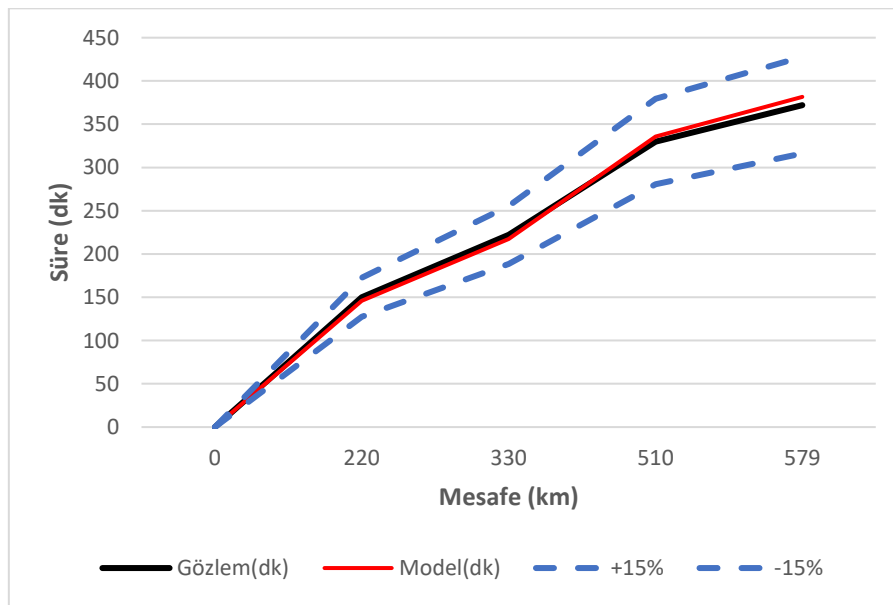
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	İstanbul	Gebze	63	52	61	52
2	Gebze	Gemlik	58	32	59	30
3	Gemlik	Bursa	19	11	19	10
4	Bursa	Balıkesir	120	61	124	62
5	Balıkesir	Akhisar	110	54	111	55
6	Akhisar	İzmir	100	60	87	69
Toplam	İstanbul	İzmir	470	270	461	280



Şekil 5.6. İstanbul- İzmir

Tablo 5.5. İzmir- Ankara

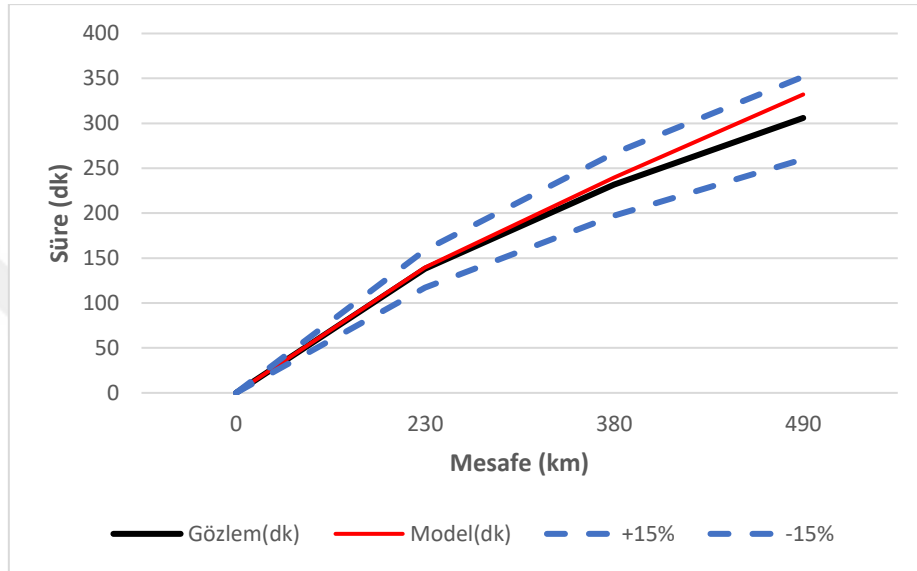
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	İzmir	Uşak	220	150	213	146
2	Uşak	Afyonkarahisar	110	72	109	71
3	Afyonkarahisar	Polatlı	180	108	180	119
4	Polatlı	Ankara	69	42	69	46
Toplam	İzmir	Ankara	579	372	572	382



Şekil 5.7. İzmir- Ankara

Tablo 5.6. Ankara- Mersin

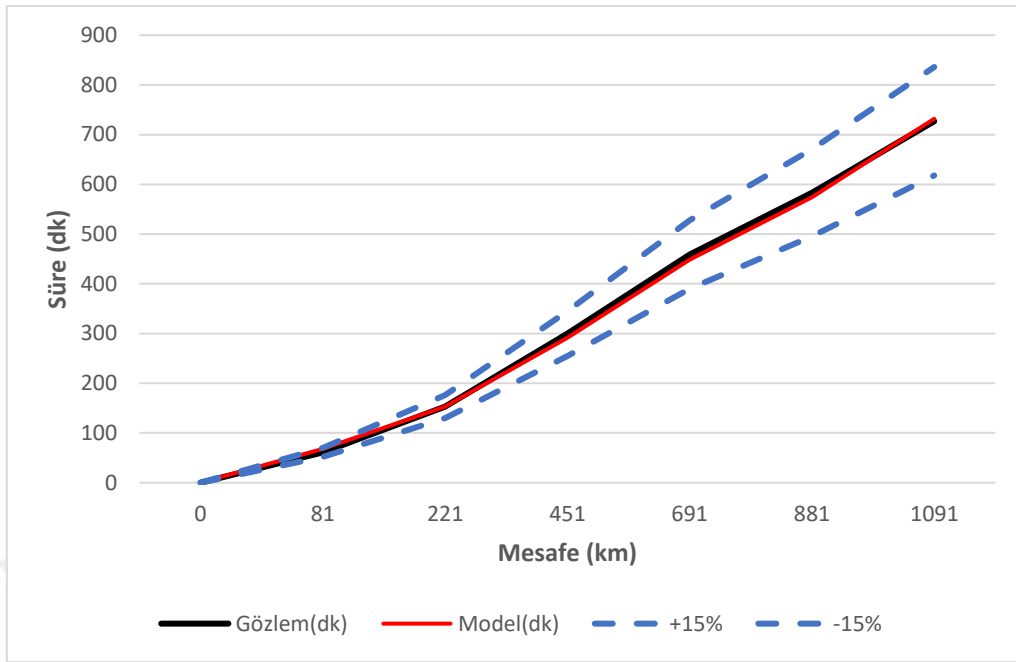
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Ankara	Aksaray	230	138	223	140
2	Aksaray	Pozantı	150	94	146	100
3	Pozantı	Mersin	110	74	104	92
4	Ankara	Mersin	490	306	473	332



Şekil 5.8. Ankara- Mersin

Tablo 5.7. Ankara- Kars

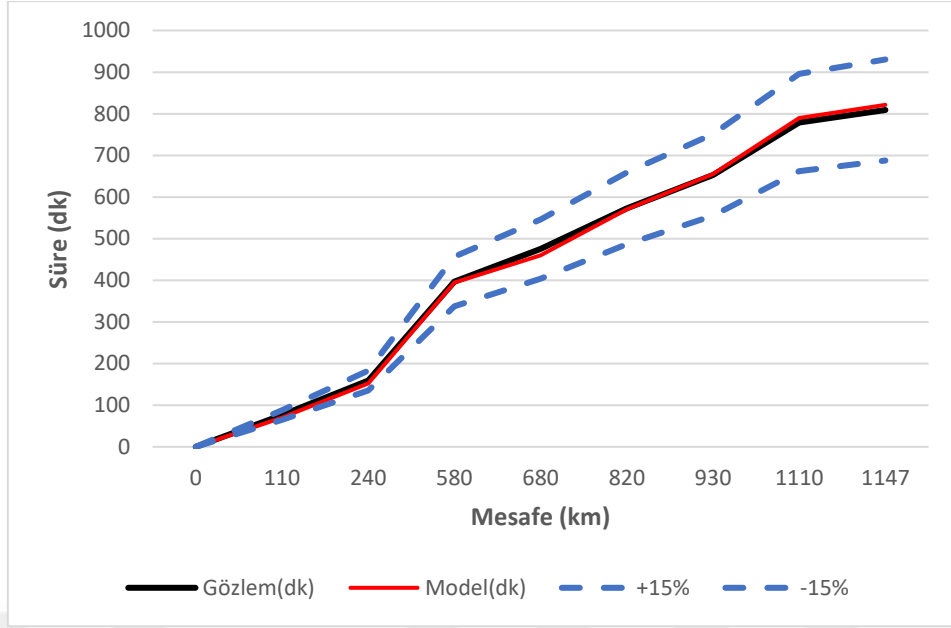
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Ankara	Kırıkkale	81	61	79	68
2	Kırıkkale	Yozgat	140	92	142	85
3	Yozgat	Sivas	230	147	229	139
4	Sivas	Erzincan	240	159	241	157
5	Erzincan	Erzurum	190	124	191	125
6	Erzurum	Kars	210	144	207	158
Toplam	Ankara	Kars	1091	727	1089	732



Şekil 5.9. Ankara- Kars

Tablo 5.8. Kırıkkale- Van

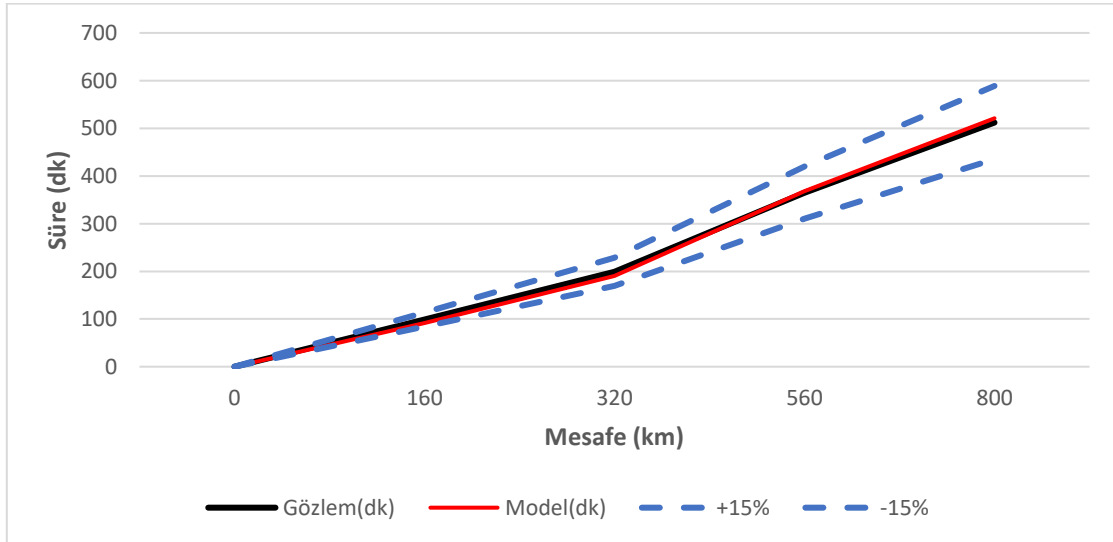
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Kırıkkale	Kırşehir	110	76	107	70
2	Kırşehir	Kayseri	130	83	132	82
3	Kayseri	Malatya	340	238	335	243
4	Malatya	Elazığ	100	78	102	66
5	Elazığ	Bingöl	140	98	137	110
6	Bingöl	Muş	110	80	111	85
7	Muş	Gevaş	180	126	179	135
8	Gevaş	Van	37	30	35	32
Toplam	Kırıkkale	Van	1147	809	1137	821



Şekil 5.10. Kırıkkale- Van

Tablo 5.9. Bursa- Adana

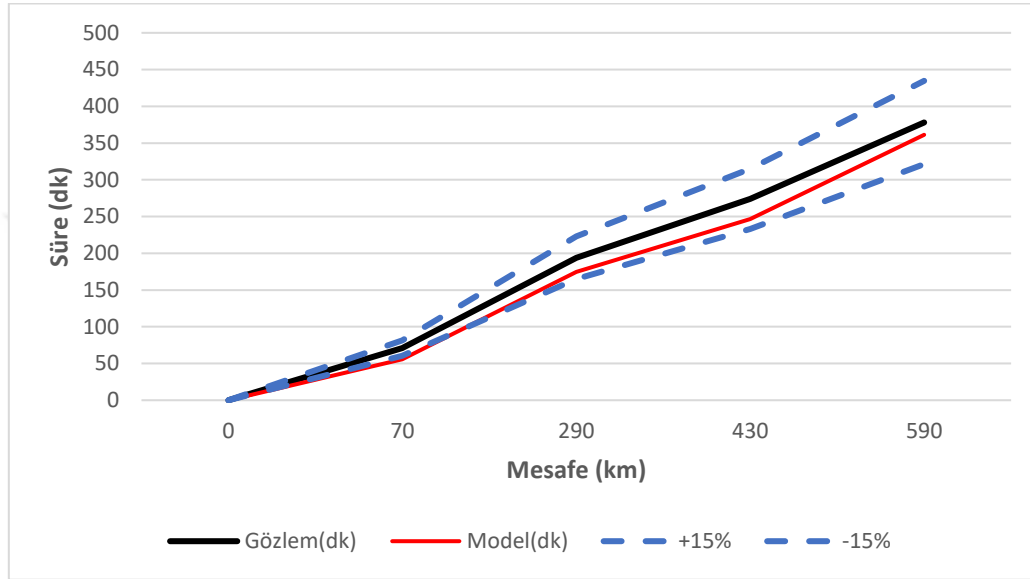
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Bursa	Eskişehir	160	99	154	91
2	Eskişehir	Polatlı	160	100	158	99
3	Polatlı	Aksaray	240	166	246	178
4	Aksaray	Adana	240	147	238	153
Toplam	Bursa	Adana	800	512	796	521



Şekil 5.11. Bursa- Adana

Tablo 5.10. Mersin- Diyarbakır

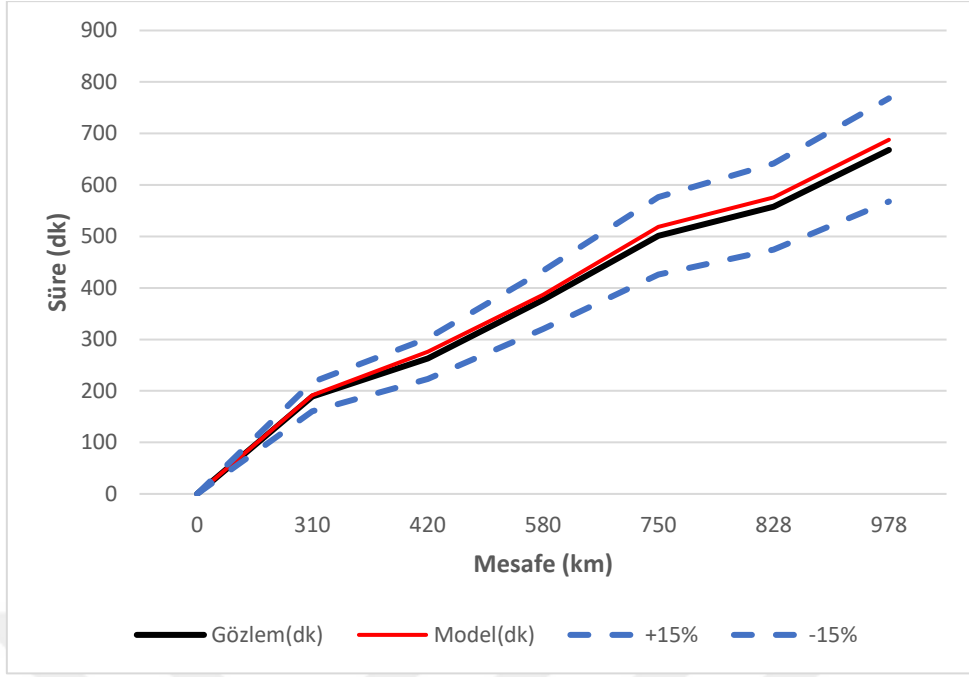
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Mersin	Adana	70	71	66	56
2	Adana	Gaziantep	220	123	217	119
3	Gaziantep	Şanlıurfa	140	80	141	72
4	Şanlıurfa	Diyarbakır	160	104	165	115
Toplam	Mersin	Diyarbakır	590	378	588	361



Şekil 5.12. Mersin- Diyarbakır

Tablo 5.11. Gerede- Artvin

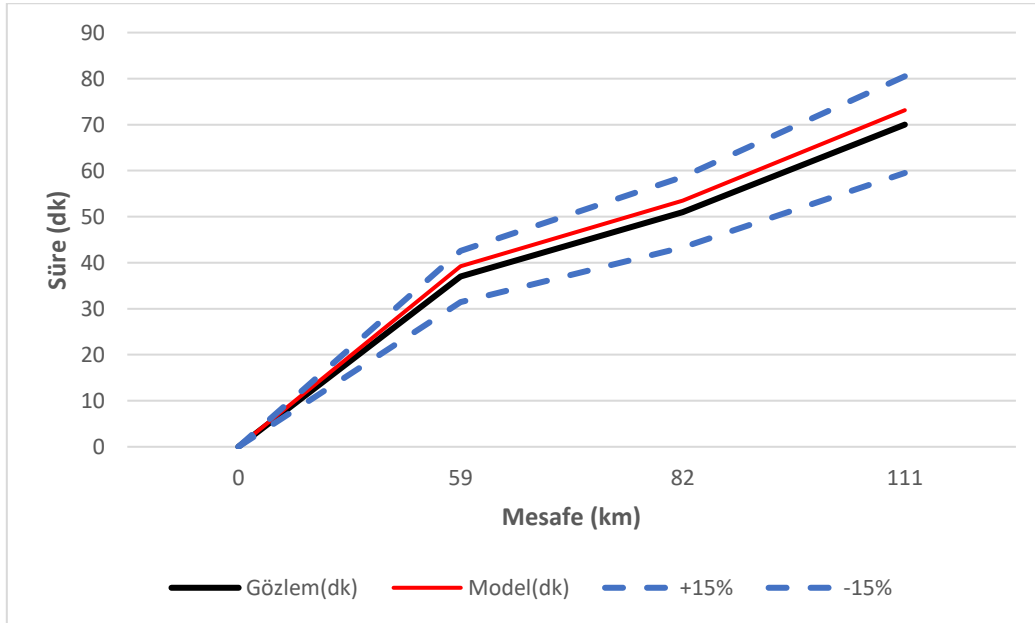
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Gerede	Merzifon	310	189	310	192
2	Merzifon	Samsun	110	74	117	85
3	Samsun	Ordu	160	114	160	111
4	Ordu	Trabzon	170	124	168	131
5	Trabzon	Rize	78	57	81	57
6	Rize	Artvin	150	110	146	112
Toplam	Gerede	Artvin	978	668	982	688



Şekil 5.13. Gerede- Artvin

Tablo 5.12. Tekirdağ- İpsala

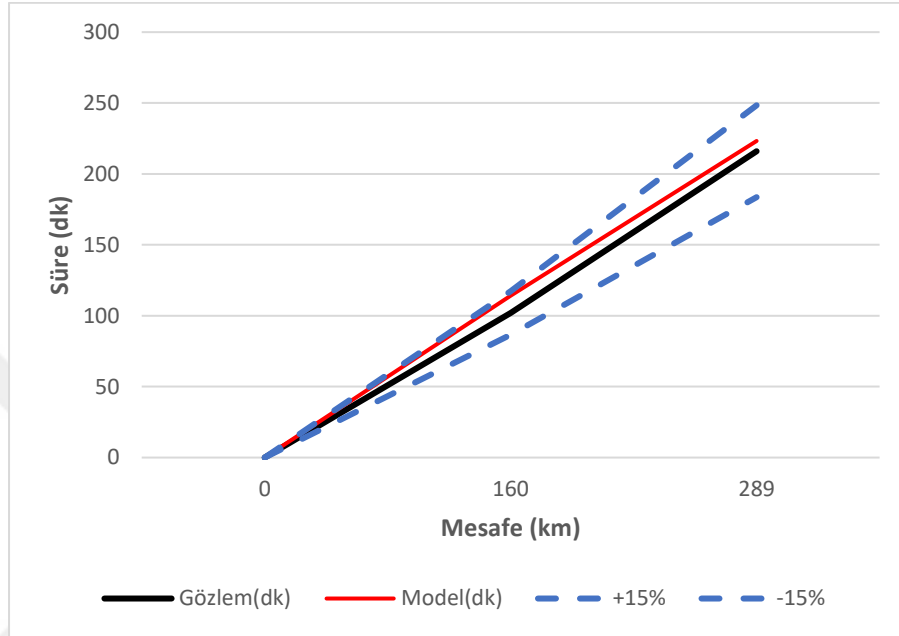
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Tekirdağ	Malkara	59	37	59	39
2	Malkara	Keşan	23	14	23	14
3	Keşan	İpsala	29	19	31	20
Toplam	Tekirdağ	İpsala	111	70	113	73



Şekil 5.14. Tekirdağ- İpsala

Tablo 5.13. Afyon- Antalya

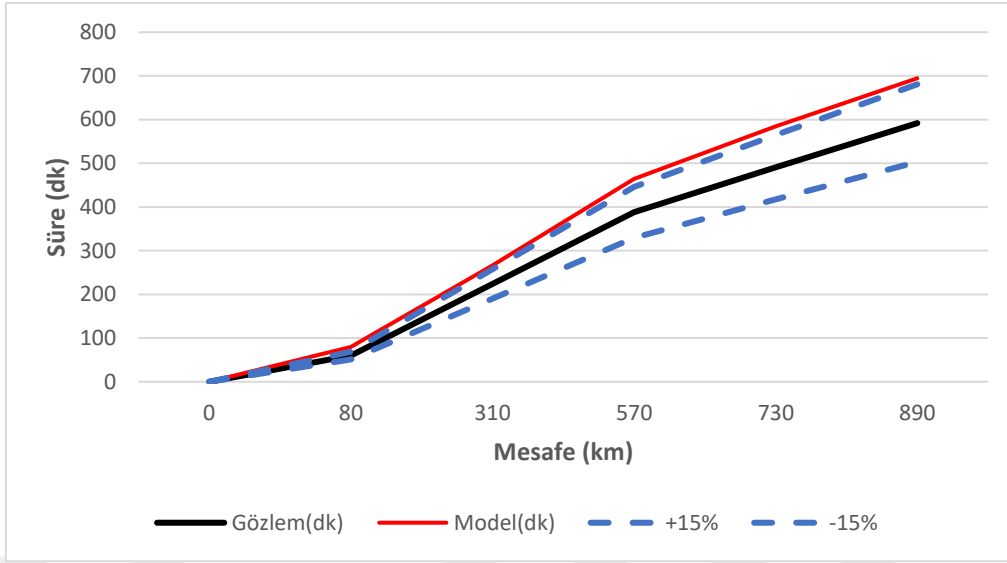
	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Afyon	Burdur	160	102	158	114
2	Burdur	Antalya	129	114	124	109
Toplam	Afyon	Antalya	289	216	282	223



Şekil 5.15. Afyon- Antalya

Tablo 5.14. Antalya- Samsun

	Başlangıç	Varış	Google		Model	
			Km	Süre(dk)	Km	Süre(dk)
1	Antalya	Manavgat	80	60	83	80
2	Manavgat	Konya	230	164	227	187
3	Konya	Kırıkkale	260	164	262	198
4	Kırıkkale	Çorum	160	103	178	120
5	Çorum	Samsun	160	101	166	110
Toplam	Antalya	Samsun	890	592	916	695



Şekil 5.16. Antalya- Samsun

Yukarıda verilen tablo ve grafiklerden de anlaşılacağı üzere, modeldeki seyahat sürelerinin ve mesafelerinin gerçek değerlere çok yakın olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum yapılacak hizmet düzeyi seçimlerinin doğruluğu açısından son derece olumlu karşılanmaktadır.

5.2. Talep Modelinin Test Edilmesi

Hizmet düzeyi seçimlerinin doğruluğu açısından önemli olan bir diğer önemli husus ise karayolu ağındaki hacim değerleridir. Bu sebeple modeldeki linklerde yer alan trafik hacimlerinin gerçeği iyi bir şekilde yansıtması gerekmektedir. Bu kapsamda modelde yer alan yolculukların ne kadarının karayolu, ne kadarının demiryolu ve ne kadarının havayolu sistemleri ile yapıldığı oldukça önemlidir. Ancak çalışma kapsamında amaçlanan şehirlerarası yolların hizmet düzeyi belirlenmesi karayolu hacim değerleri ile ilişkili olduğundan, talep modeli test edilirken karayolu trafiğine ilişkin test işlemleri gerçekleştirilmiştir.

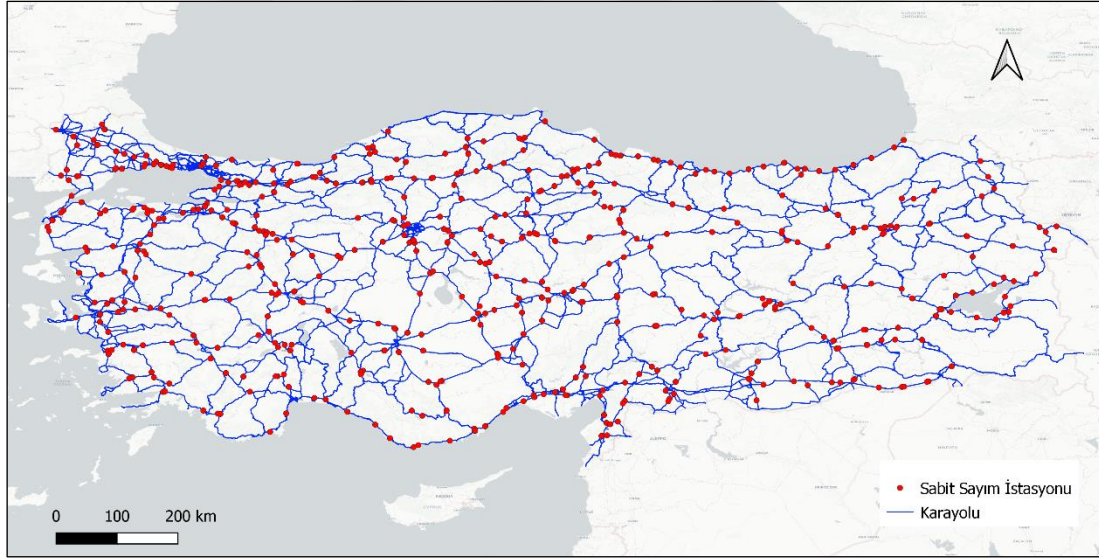
5.2.1. Karayolu trafiğinin doğrulanması

Karayolu trafiğinin test çalışmaları karayolu trafiği sabit sayım istasyonları (SSI) verileri ve model kapsamında tanımlanmış olan perde hatları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model çıktılarının test işlemlerinin gerçekleştirilmesinde Karayolu trafiği için GEH istatistiği ve gözlem ile tahmin (model çıktısı) değeri arasındaki farklılık kullanılmıştır. GEH (Geoffrey E. Havers) istatistiği trafik mühendisliği ve talep – tahmin modellerinde gözlem ve tahmin değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır (Crispin, 2018). GEH formülü aşağıda verilmiştir (5.1).

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (Model - Tahmin)^2}{Model + Tahmin}} \quad (5.1)$$

GEH değerlerinin hesabında saatlik trafik hacimlerinin kullanılmasından dolayı model ve gözlem değerleri saatlik olarak hesaplanarak kullanılmıştır. Gözlem değerleri KGM sabit sayım istasyonları verilerinden, model değerleri ise PTV VISUM model çıktılarından elde edilmiştir.

Türkiye genelinde 1080 Adet SSI bulunmaktadır. Bu SSI'lar 7 gün ve 24 saat boyunca trafik sayımı yapmakta ve veri tabanında depolanmaktadır. SSI verileri, Devlet Yolları üzerinde bulunmakta olup; Otomobil, Orta Yüklü Ticari Taşıt, Otobüs, Kamyon ve TIR olmak üzere 5 farklı araç tipi için ayrı ayrı sayım değerleri vermektedir. Ulaşım modeli şehirlerarası trafiği tahmin etmektedir. Şehir içi ile veya organize sanayi bölgesi, hal ve benzeri arazi kullanımlarının yoğun olduğu kesimlerde oluşan trafik tahminlerinde, şehir içi trafiğinin varlığından dolayı tahminlerde sapmalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle test işlemi yapılırken şehirlerarası yollarda bulunan 540 Adet SSI değerlendirmeye alınmıştır. Bu SSI'ların konumları Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Dikkate alınan sabit sayım istasyonlarının konumları

Şekilden de görüleceği üzere, sabit sayım istasyonları ülkemizin bütün bölgelerine dağılmış durumdadır. SSI'lardan temin edilen verilerin veri tabanında nasıl depolandığı ise Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Toplam Otomobil	Toplam Otokaravan	Toplam HafifYüklüTicariTaşıt (HYTT)	Toplam OrtaYüklüTicariTaşıt (OYTT)	Toplam Otobüs	Toplam Kamyon	Toplam Kamyon+Römork	Toplam Çekici_YarıRömork
1_0	2560543	2686	181072	205371	30674	264327	31873	438699
1_1	2201334	4021	164800	182943	10901	225838	20362	305028
10_0	319006	832	27680	22830	7783	37673	820	32020
10_1	328380	918	28399	23230	7365	36784	701	26198
100_0	424259	807	26992	19885	15621	31474	1792	54321
100_1	399838	556	25806	20082	14201	30627	1664	57194
101_0	289071	1779	39901	31416	16082	36509	3168	69037
101_1	265315	1943	44273	29730	13977	29683	3101	74559
102_0	1268828	2109	94783	93103	42926	98419	13776	232017
102_1	1276445	2047	91922	81762	42192	91690	19539	229027
104_0	233217	581	20856	25006	5804	27925	4808	87114
104_1	222158	540	21606	24871	6644	26084	4733	81699
105_0	497575	822	45057	44559	9866	32645	3432	104395
105_1	510760	702	42610	43233	10086	32082	4847	100857
106_0	1482136	2004	156469	88436	10107	61336	3424	61936
106_1	1484500	1545	153047	86475	9998	60510	3534	67608
107_0	3225386	2726	249065	187036	38161	203342	23059	313974
107_1	3179723	2668	250907	184524	35391	201612	21973	315344
108_0	1687275	2509	159232	132479	33546	112632	18400	235244
108_1	1690128	2129	142960	120308	35317	103090	19251	224922
109_0	608521	1078	50877	62925	11358	49216	3141	82895
109_1	676626	934	56009	64910	11181	46505	2737	65069

Şekil 5.18. Sabit sayım istasyon verilerinin depolanması

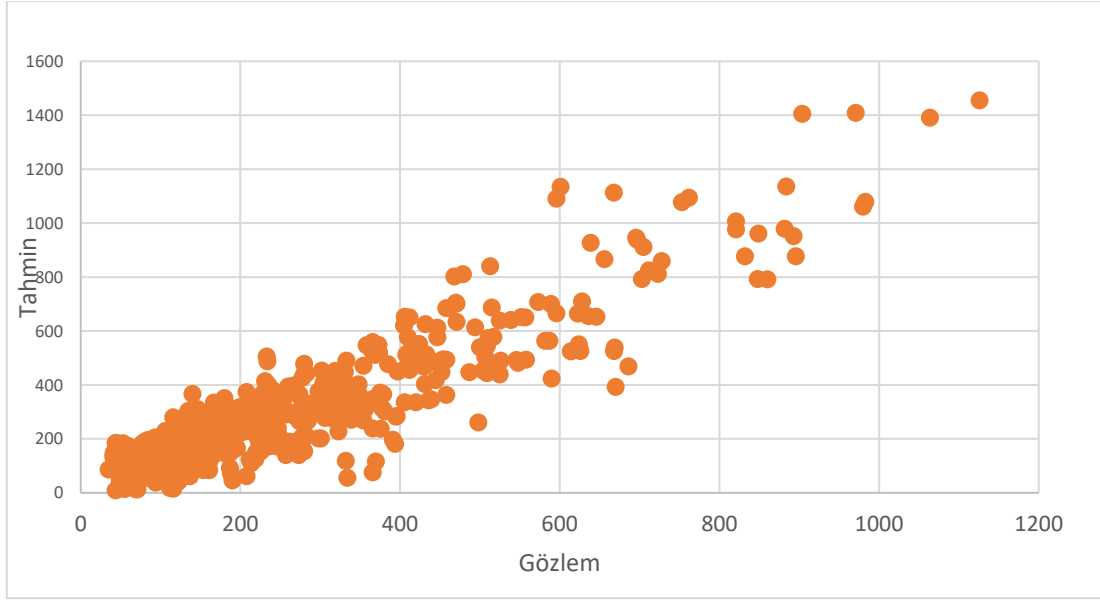
Şekilden de anlaşılacağı üzere SSI’larda depolanan veriler de taşıt sınıflandırılması yapıldığı da görülmektedir. Böylelikle özel araç ve diğer taşıt türleri için test işlemlerinin yapılması mümkün olmaktadır.

Bu kapsamda model ve gözlem GEH değerlerinin karşılaştırılmasında 10 değeri kritik eşik olarak kabul edilmiş ve buna göre başarılı ve başarısız model tahmin noktaları belirlenmiştir. Bu duruma göre model ve gözlem değerlerinden hesaplanan GEH değerlerini 10’dan küçük olanlar başarılı, 10’dan büyük olanlar başarısız olarak kabul edilmiştir (Tablo 5.15).

Tablo 5.15. Otomobil sayısı SSI model – gözlem karşılaştırması

		SSI Sayısı	Başarılı %
Otomobil	Başarılı (GEH < 10)	525	92%
	Başarısız (GEH > 10)	45	

Her bir SSI noktası Tahmin/Gözlem trafik hacimleri Şekil 5.19’da yer alan grafikte verilmiştir. Şekil incelenirse model ve gözlem değerlerinin birbirleriyle uyumlu olduğu ve modelin gözlem değerlerini yeterli düzeyde temsil ettiği görülmektedir.



Şekil 5.19. Tahmin/gözlem trafik hacimleri

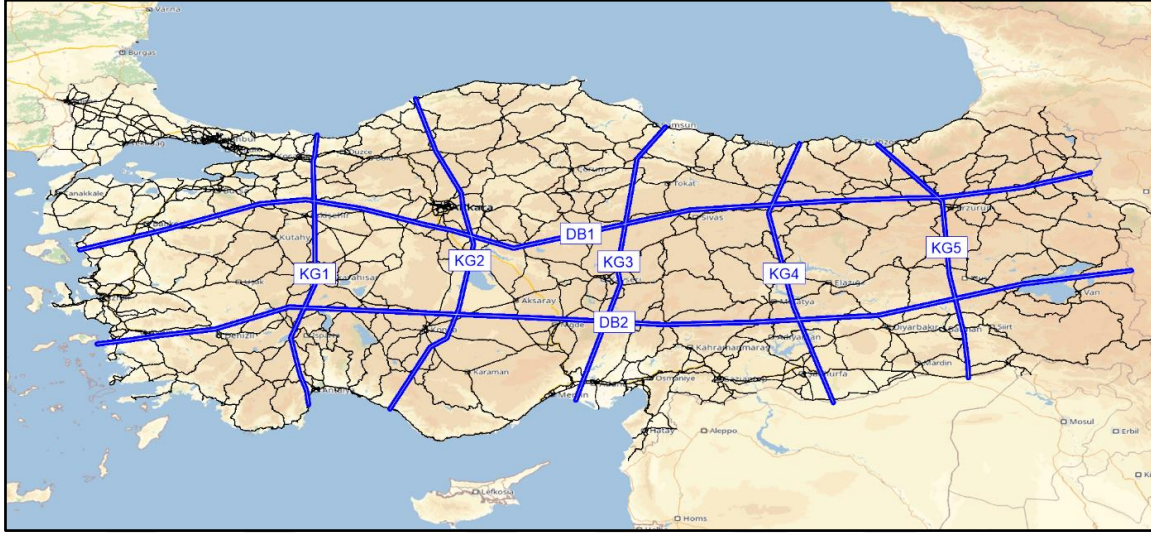
Modelde yer alan ağır taşıt trafik hacminin testi ise özel araç testindeki yaklaşım ile yapılmıştır. Buna göre model ve gözlem değerlerinden hesaplanan GEH değerlerini 10'dan küçük olanlar başarılı, 10'dan büyük olanlar başarısız olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.16. Ağır taşıt sayısı SSI model – gözlem karşılaştırması

		SSI Sayısı	Başarılı %
OGV1 (KAMYON)	Başarılı (GEH < 10)	558	98%
	Başarısız (GEH > 10)	12	
OGV 2 (TIR)	Başarılı (GEH < 10)	525	92%
	Başarısız (GEH > 10)	45	

Tablodan görüldüğü üzere model kapsamında gerçekleştirilen atamalar sonucu yol ağında meydana gelen ağır taşıt hacimleri, gerçekleşen değerler ile oldukça tutarlıdır. Daha önceden bahsedildiği üzere karayolu trafiği için test işlemleri SSI ve perde hatları bazında gerçekleştirilmiştir. Perde hatlarının test sürecinde, yolcu ve yük modeli ortak karayolu ağını kullandığından dolayı; karayolu ağı üzerinde oluşan yolcu ve yük taşımalarına ait test çalışmaları birlikte yapılmıştır. Ulaşım modeline ait karayolu ağı üzerinde Kuzey – Güney ve Doğu – Batı doğrultularında bulunan toplam 7 adet perde hattı oluşturulmuştur. Bu hatlar detaylı olarak Şekil 5.20 'de verilmiştir. Buna göre, Karayolları Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değerlerinin yer aldığı ve perdeler ile kesişen

linkler kullanılarak, gözlem perde hattı üzerindeki iki yönden geçen ağır ve hafif taşıt sayıları belirlenmiştir.



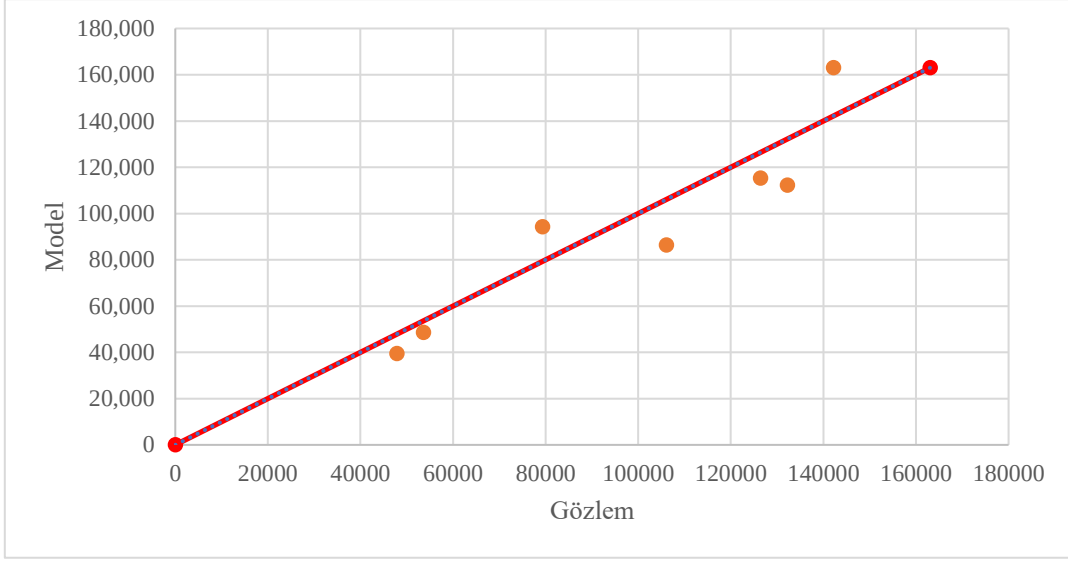
Şekil 5.20. Perde hatları (UUAP, 2022)

Perde hatlarında otoyolların YOGT değerlerinin Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Hafif ve Ağır Taşıt sayıları olarak verilmesinden dolayı modelden elde edilen Otomobil, LGV, OGV1 ve OGV2 taşıt sayıları Hafif ve Ağır Taşıt olarak toplulaştırılarak model çıktısı şeklinde perde hatlarıyla ilişkilendirilmiştir. Bu sebeple perde hatları doğrulaması yapılırken kritik değer 15 olarak kabul edilmiştir. Perde hatlarındaki Model ve Gözlem değerlerinin karşılaştırılması Tablo 5.17.'de verilmiştir.

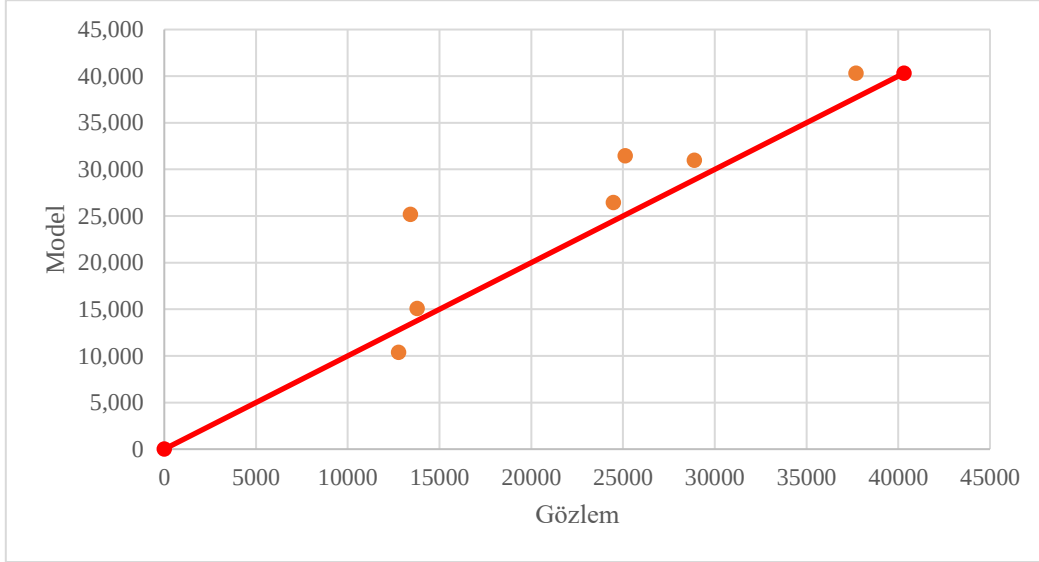
Tablo 5.17. Nötr dönem model ve perde hatlarına ait taşıt sayıları

Perde	Toplam Taşıt		
	Gözlem	Model	Model/Gözlem (%)
DB1	179.870	203.328	13%
DB2	155.278	146.302	-6%
KG1	156.699	138.720	-11%
KG2	131.209	117.799	-10%
KG3	92.693	119.477	29%
KG4	61.657	54.576	-11%
KG5	66.369	58.919	-11%

Hafif Taşıt Model çıktıları ve Gözlem karşılaştırması grafik olarak Şekil 5.21. ve Ağır Taşıt için ise Şekil 5.22.'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde Model değerlerinin Gözlem değerlerini yeterli düzeyde temsil ettiği görülmektedir.



Şekil 5.21. Perde hatları hafif taşıt model / gözlem karşılaştırması



Şekil 5.22. Perde hatları ağır taşıt model / gözlem karşılaştırması



6. ANALİZ ÇALIŞMALARI

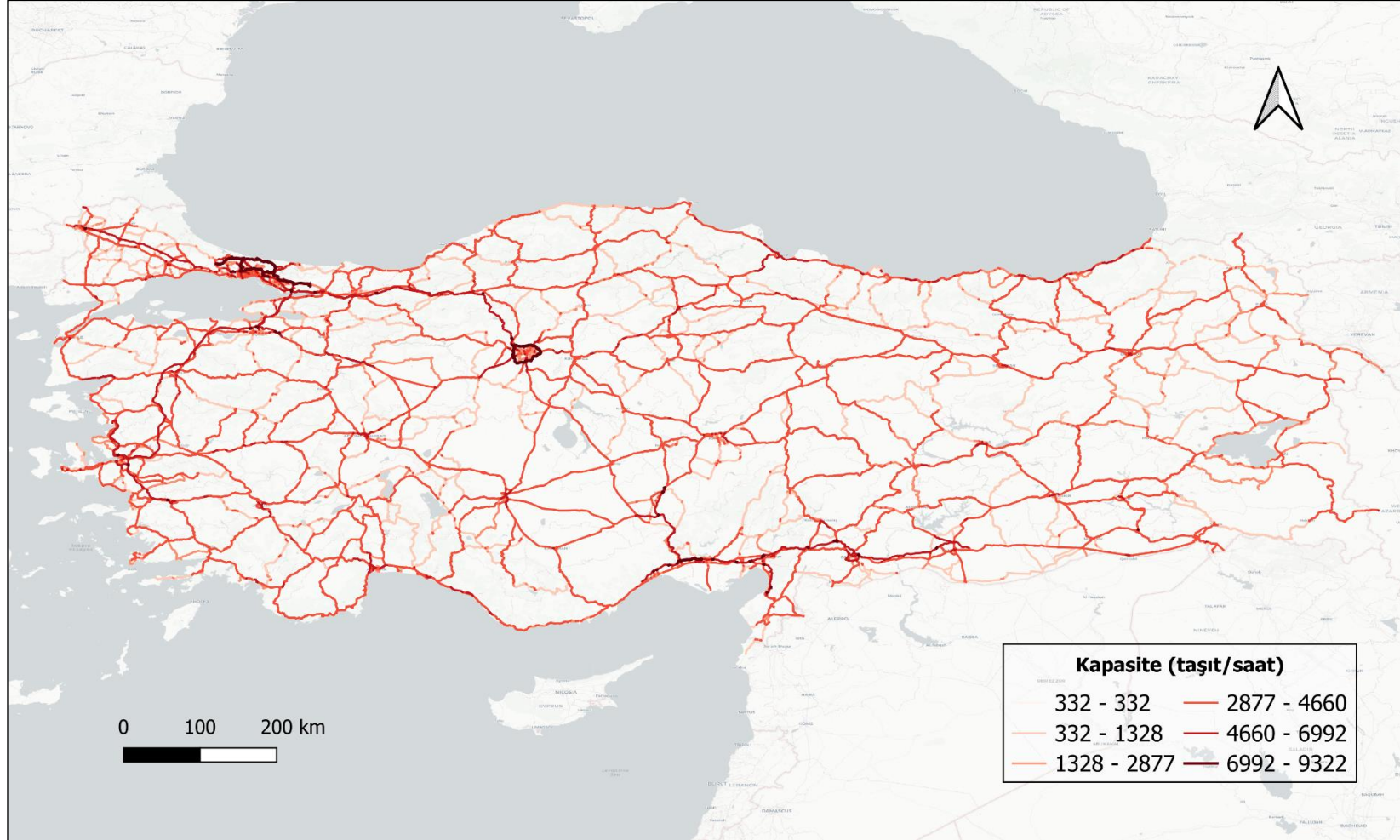
Türkiye genelindeki şehirlerarası yolların hizmet düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, uygulanan metodolojinin sonuçlarının analiz edilmesi için mevcut ulaşım modeli test edilmiş ve atama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde, atama işlemi gerçekleştirilmeden önce modelde kullanılan yol tipleri, yollara ait kapasite ve serbest akım hızları ve hacim-gecikme fonksiyonları verilmiştir. Çalışma kapsamında linklere ilişkin kapasite ve serbest akım hızlarında bir değişiklik yapılmamış, 2019 yılında yapılan çalışmada kullanılan değerler dikkate alınmıştır. Tablo 6.1’de modelde yer alan linklere ilişkin şerit başına günlük ve saatlik kapasite bilgileri verilmiştir.

Tablo 6.1. Modelde yer alan linklere ilişkin kapasite bilgileri

Yol Tipi	Şerit Başına Saatlik Kapasite (taşıt/saat)	Şerit Başına Günlük Kapasite (taşıt/gün)
Otoyol	2.329	34.000
Bölünmüş Devlet Yolu	2.096	30.600
Bölünmüş İl Yolu	2.096	30.600
Bölünmemiş Devlet Yolu	1.329	19.400
Bölünmemiş İl Yolu	1.329	19.400
Dalgalı Arazi Bölünmüş Devlet Yolu	1.678	24.500
Dalgalı Arazi Bölünmüş İl Yolu	1.678	24.500
Dağlık Arazi Bölünmüş Devlet Yolu	1.260	18.400
Dağlık Arazi Bölünmüş İl Yolu	1.260	18.400
Dağlık Arazi Bölünmemiş Devlet Yolu	329	4.800
Dağlık Arazi Bölünmemiş İl Yolu	329	4.800

Tabloda verilen günlük kapasite değerleri, saatlik kapasitenin zirve saat faktörü olan 0.07’ye (%7) bölünmesiyle elde edilmiştir. Şekil 6.1’de modelde yer alan linklere ilişkin saatlik kapasite bilgilerini gösteren harita verilmiştir.



Şekil 6.1. Modelde yer alan linklere ilişkin kapasite bilgileri

Şekil incelendiğinde, modelde yer alan linklerin kapasiteleri, kırmızı rengin koyuluğu arttıkça artmaktadır. Buna göre en koyu kırmızı renge sahip olan, dolayısıyla saatlik kapasitenin en fazla olduğu linklerin, İstanbul ve Kocaeli illerinde yer alan Kuzey Marmara Otoyolunda olduğu görülmektedir. Ayrıca Ankara çevre yolu kesimi de oldukça yüksek kapasiteye sahiptir. Modelde yer alan 1, 2, 3 ve 4 şeritli linklere ilişkin serbest akım hızları ve hacim gecikme fonksiyonlarında kullanılan katsayılar (a, b, c, d) ise sırasıyla Tablo 6.2, Tablo 6.3, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’te verilmiştir.



Tablo 6.2. Tek şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar

Şerit Sayısı	1				
Hız	30	50	70	90	110
Otoyol					
Bölünmüş Devlet Yolu		(0.67 1.48 1.00 0.77)		(0.61 1.56 1.00 0.77)	(0.40 2.75 1.00 0.77)
Bölünmüş İl Yolu		(0.43 1.53 1.00 1.22)	(1.00 1.60 1.00 0.77)	(0.61 1.56 1.00 0.77)	
Bölünmemiş Devlet Yolu	(1.00 1.11 1.00 1.22)	(0.43 1.53 1.00 1.22)	(1.00 2.39 1.00 1.22)	(0.70 2.04 1.00 1.22)	
Bölünmemiş İl Yolu	(1.00 1.11 1.00 1.22)	(0.43 1.53 1.00 1.22)	(1.00 2.39 1.00 1.22)	(0.70 2.04 1.00 1.22)	
Dalgalı Arazi Bölünmüş Devlet Yolu					
Dalgalı Arazi Bölünmüş İl Yolu					
Dağlık Arazi Bölünmüş Devlet Yolu					
Dağlık Arazi Bölünmüş İl Yolu					
Dağlık Arazi Bölünmemiş Devlet Yolu		(0.43 1.53 1.00 1.22)		(0.70 2.04 1.00 1.22)	
Dağlık Arazi Bölünmemiş İl Yolu		(0.43 1.53 1.00 1.22)		(0.70 2.04 1.00 1.22)	

Tablo 6.3. İki şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar

Şerit Sayısı	2					
Hız	30	50	70	90	110	120
Otoyol						(0.62 2.80 1.00 0.35)
Bölünmüş Devlet Yolu		(0.67 1.48 1.00 0.39)	(1.00 1.60 1.00 0.39)	(0.61 1.56 1.00 0.39)	(0.40 2.75 1.00 0.39)	
Bölünmüş İl Yolu		(0.43 1.53 1.00 0.61)	(1.00 1.60 1.00 0.39)	(0.61 1.56 1.00 0.39)	(0.40 2.75 1.00 0.39)	
Bölünmemiş Devlet Yolu		(0.43 1.53 1.00 0.61)	(1.00 2.39 1.00 0.61)	(0.70 2.04 1.00 0.61)		
Bölünmemiş İl Yolu	(1.00 1.11 1.00 0.61)	(0.43 1.53 1.00 0.61)	(1.00 2.39 1.00 0.61)	(0.70 2.04 1.00 0.61)		
Dalgalı Arazi Bölünmüş Devlet Yolu		(0.67 1.48 1.00 0.39)	(1.00 1.60 1.00 0.39)	(0.61 1.56 1.00 0.39)	(0.40 2.75 1.00 0.39)	
Dalgalı Arazi Bölünmüş İl Yolu		(0.43 1.53 1.00 0.61)		(0.61 1.56 1.00 0.39)		
Dağlık Arazi Bölünmüş Devlet Yolu		(0.67 1.48 1.00 0.39)			(0.40 2.75 1.00 0.39)	
Dağlık Arazi Bölünmüş İl Yolu		(0.67 1.48 1.00 0.39)			(0.40 2.75 1.00 0.39)	
Dağlık Arazi Bölünmemiş Devlet Yolu						
Dağlık Arazi Bölünmemiş İl Yolu						

Tablo 6.4. Üç şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar

Şerit Sayısı	3				
Hız	50	70	90	110	120
Otoyol			(0.37 2.80 1.00 0.23)		(0.48 2.80 1.00 0.23)
Bölünmüş Devlet Yolu	(0.67 1.48 1.00 0.39)	(1.00 1.60 1.00 0.26)	(0.61 1.56 1.00 0.26)	(0.40 2.75 1.00 0.39)	
Bölünmüş İl Yolu	(0.43 1.53 1.00 0.41)	(1.00 1.60 1.00 0.26)			
Bölünmemiş Devlet Yolu					
Bölünmemiş İl Yolu					
Dalgalı Arazi Bölünmüş Devlet Yolu					
Dalgalı Arazi Bölünmüş İl Yolu					
Dağlık Arazi Bölünmüş Devlet Yolu	(0.67 1.48 1.00 0.39)				
Dağlık Arazi Bölünmüş İl Yolu	(0.67 1.48 1.00 0.39)				
Dağlık Arazi Bölünmemiş Devlet Yolu					
Dağlık Arazi Bölünmemiş İl Yolu					

Tablo 6.5. Dört şeritli yol tiplerine ilişkin serbest akım hızları ve hacim/gecikme fonksiyonlarına ilişkin katsayılar

Şerit Sayısı	4
Hız	120
Otoyol	(0.48 2.80 1.00 0.17)
Bölünmüş Devlet Yolu	
Bölünmüş İl Yolu	
Bölünmemiş Devlet Yolu	
Bölünmemiş İl Yolu	
Dalgalı Arazi Bölünmüş Devlet Yolu	
Dalgalı Arazi Bölünmüş İl Yolu	
Dağlık Arazi Bölünmüş Devlet Yolu	
Dağlık Arazi Bölünmüş İl Yolu	
Dağlık Arazi Bölünmemiş Devlet Yolu	
Dağlık Arazi Bölünmemiş İl Yolu	

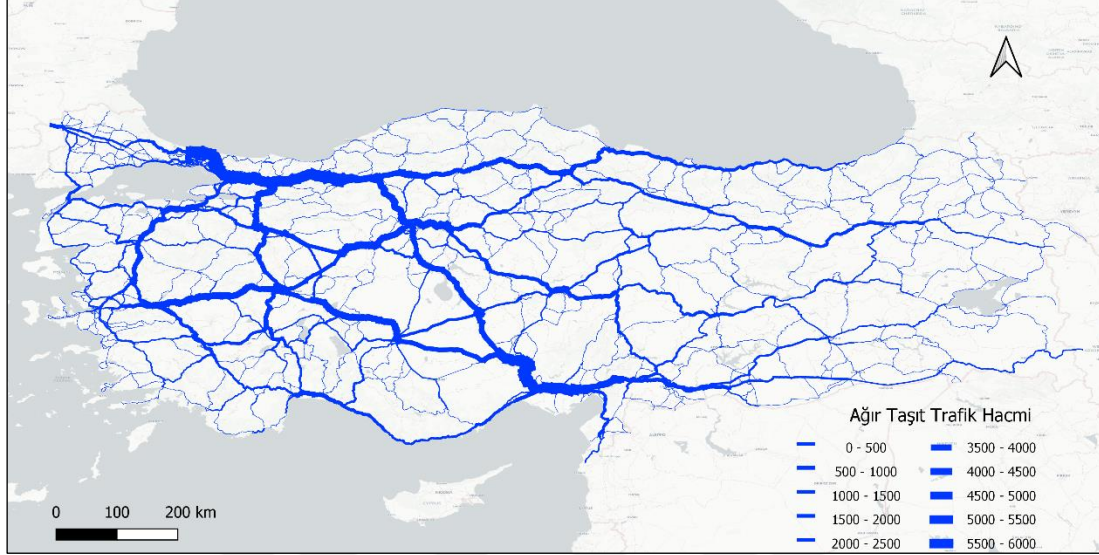
Yukarıda verilen hacim gecikme fonksiyonları kullanılarak modelde özel araç ve ağır taşıt ataması yapılmıştır. Böylelikle modelde yer alan linklerin hacimleri ve seyahat süreleri ve atanmış durumdaki mevcut trafik hızları belirlenmiştir. Atama işlemlerinden sonra ise her bir linkin hizmet düzeyine ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda karayolu ataması gerçekleştirildikten sonra, atanmış ulaşım ağındaki hacim değerleri Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Karayolu özel araç atama sonuçları

Şekil incelendiğinde, en yüksek yoğunluğun yaşandığı bölgenin, İstanbul – Kocaeli – Sakarya illerinde yaşandığı görülmektedir. Yine İstanbul merkezinde kuzey-güney güzergahında ise Bursa – Balıkesir – İzmir istikametinde trafik yoğunluğu yaşandığı; bu güzergah üzerinde ise en yüksek hacimlerin Bursa İli civarında olduğu anlaşılmaktadır.

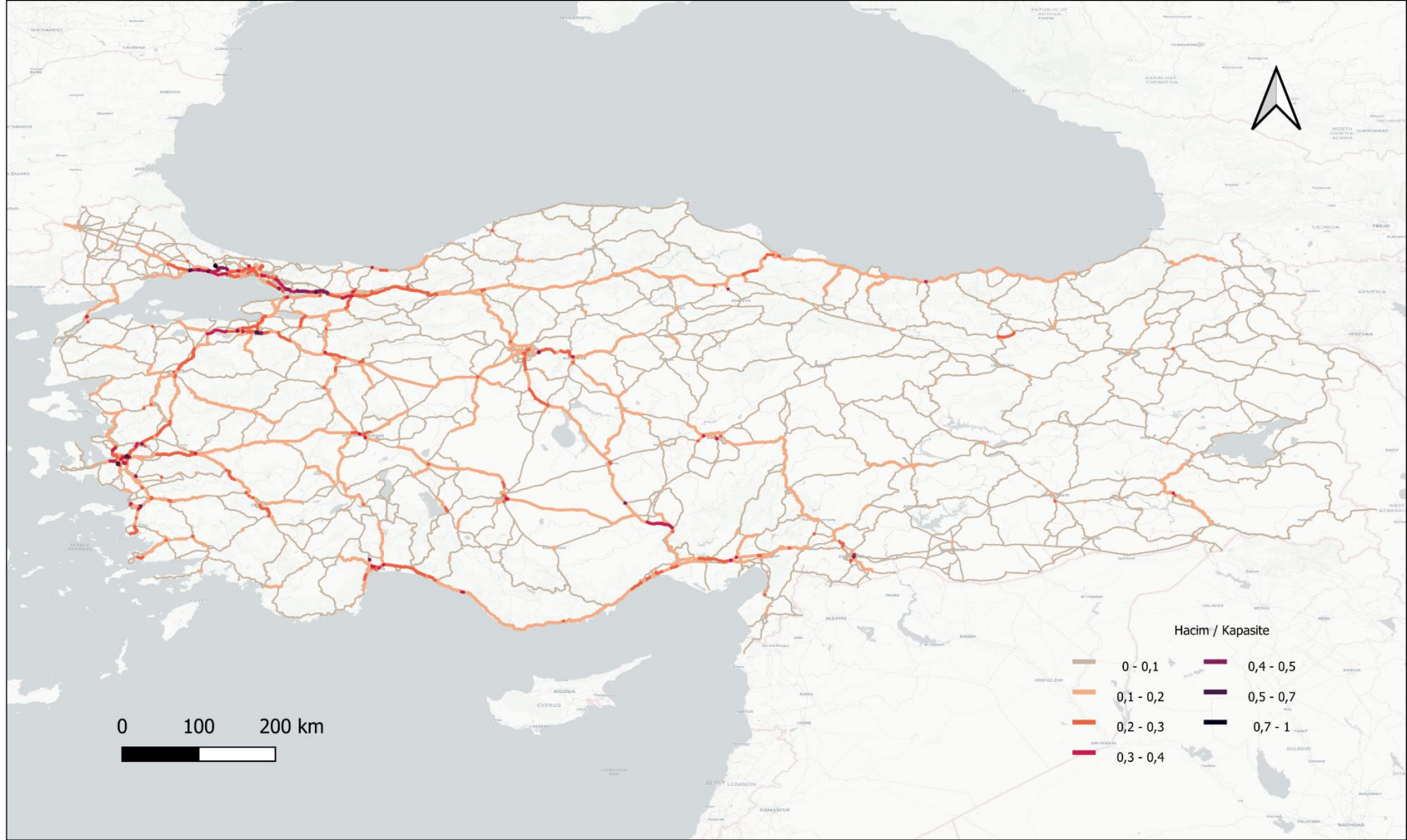
Ege Bölgesi incelendiğinde ise İzmir ili ve çevresinde trafik hacminin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Akdeniz Bölgesinde, Antalya – Alanya, Mersin - Adana illeri arası güzergahta yüksek yoğunlukların yaşandığı görülmektedir. Karayolunda yapılan ağır taşıt atamasının sonuçları ise Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Karayolu ağır taşıt atama sonuçları

Şekil incelendiğinde, ağır taşıt hacminin en yüksek olduğu güzergahın İskenderun - Mersin – Ankara – İstanbul güzergahı olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi ise ülkemizin en yüksek ticaret hacmine sahip olan limanlarının bu noktalarda bulunmasıdır. Bir diğer yüksek hacme sahip güzergah ise İzmir – Konya – Mersin olduğu görülmektedir.

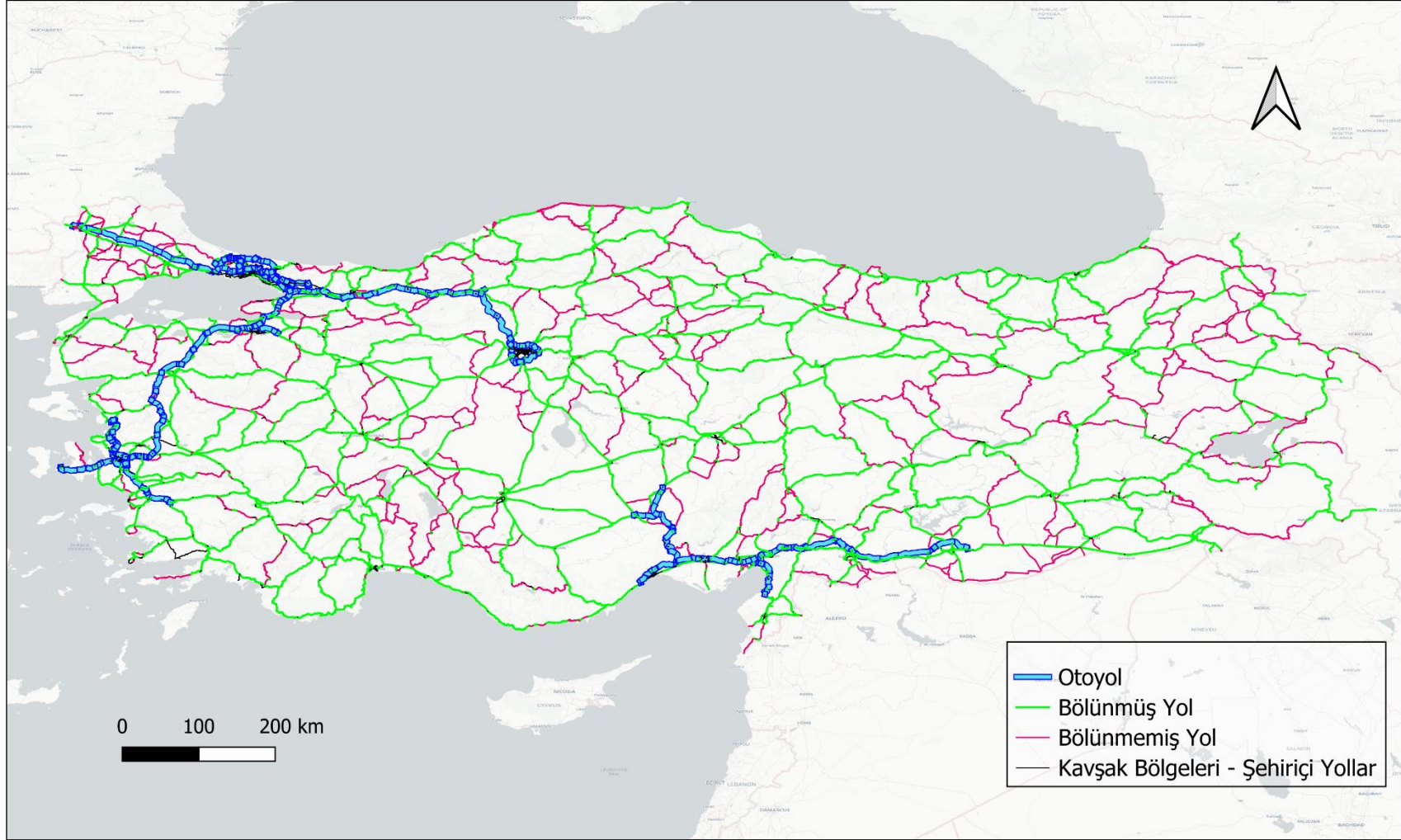
Özel araç ve ağır taşıt atamasının ardından, karayolu linklerinde meydana gelen hacim/kapasite değerleri incelendiğinde ise Şekil 6.4'teki harita ortaya çıkmaktadır. Haritada yer alan linklerin rengi koyulaştıkça hacim/kapasite değeri 1'e yaklaşmaktadır. Bu da ilgili karayolundaki trafik sıkışıklığını ifade etmektedir.



Şekil 6.4. Kapasite kullanım oranı (q/c)

Şekil 6.4 incelendiğinde, İstanbul, Bursa, Ankara, İzmir, Antalya ve Mersin illerindeki linklerin hacim / kapasite değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ülkenin doğu kısmındaki yollarda ise genellikle serbest akım koşullarının hakim olduğu söylenebilmektedir.

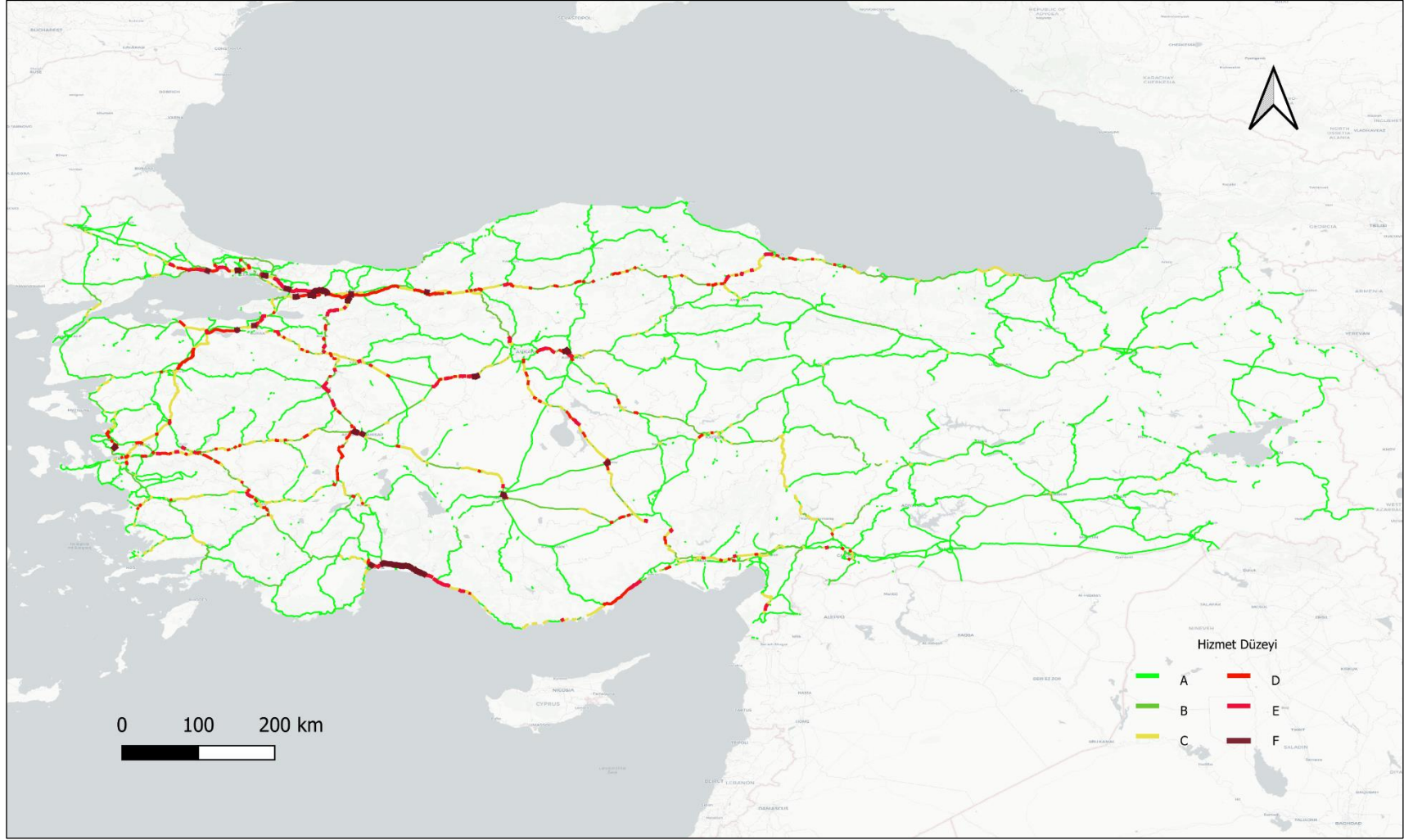
Modelde gerçekleştirilen trafik atamalarından sonra, trafik hacim yoğunluğunun ülkenin bölgelerine dağılımı net şekilde analiz edilmiştir. Yukarıda verilen şekillerde de görülebileceği üzere, en yüksek trafik hacmine sahip olan bölgelerin, ülkenin en yoğun nüfusuna sahip illerinin bulunduğu Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgeleri olduğu görülmüştür. Bu noktadan sonra çalışma kapsamında amaçlanan şehirlerarası yolların hizmet düzeylerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bölüm 4'te açıklandığı üzere, hizmet düzeyleri otoyollar-bölünmüş yollar, bölünmemiş yollar ve şehir içi yollar – Kavşak Bölgeleri olmak üzere 3 ayrı yol tipi için farklı parametreler kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 6.5'te ülke genelindeki yolların, yol tiplerine göre ayrımını gösteren harita verilmiştir



Şekil 6.5. Ulaşım ağında yolların tiplerine göre dağılımı

Şekilde yer alan mavi linkler otoyolları, yeşil linkler bölünmüş il ve devlet yollarını, pembe linkler bölünmemiş il ve devlet yollarını, siyah linkler ise kavşak bölgeleri ile şehir içi ana arterleri göstermektedir. Buna göre, ülke genelinde bölünmüş yolların hakim olduğu, Doğu Anadolu Bölgesinde ise nispeten bölünmemiş yolların bulunduğu da görülmektedir.

Otoyol ve bölünmüş yollardaki hizmet düzeylerinin belirlenmesi için linkler üzerindeki yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Yoğunluk değerleri hesaplanırken Bölüm 4'te verilen denklemlerden yararlanılmış, ağır taşıt sayıları ve otobüs sayıları için birim otomobil (passenger car unit – pcu) eşdeğeri kullanılmıştır. Bu değerler kamyonlar için 1,9, TIR'lar için 2,9 ve otobüsler için 2,5 olarak dikkate alınmıştır. Modelde yer alan tüm linkler için bu hesaplamalar yapıldıktan sonra VISUM programına gömülü olan Python script dosyası çalıştırılarak, bölünmüş yollar için hizmet düzeyleri belirlenmiştir. Sadece bölünmüş yolların hizmet düzeylerini gösteren harita Şekil 6.6'da verilmiştir.

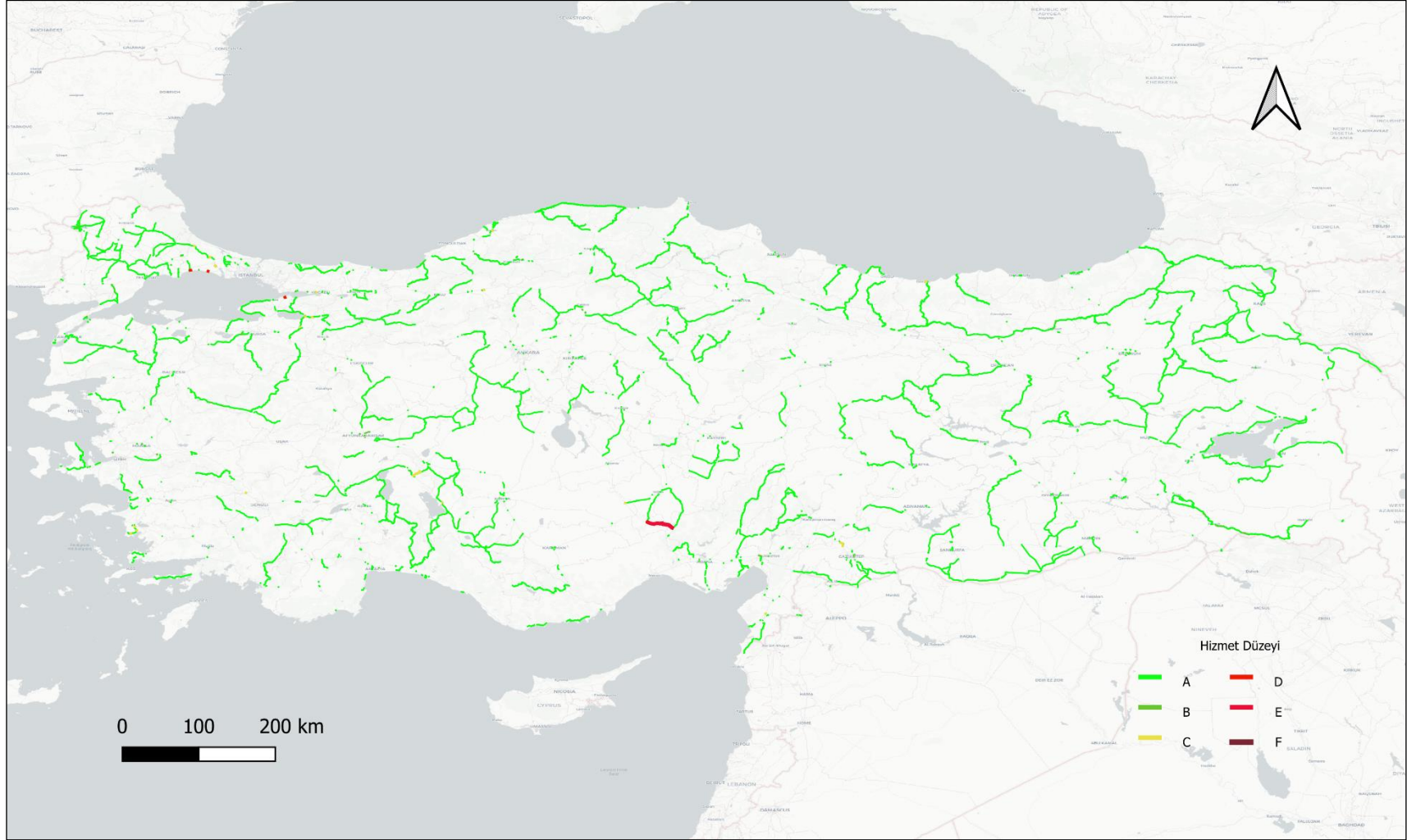


Şekil 6.6. Yoğunluğa göre hizmet düzeyi

Şekil incelendiğinde, yeşil renkli linklerin hizmet düzeyinin A – B, sarı renkli linklerin hizmet düzeyinin C ve kırmızı renkli linklerin hizmet düzeylerinin ise D – E – F olduğu görülmektedir. Ayrıca kırmızı renk koyulaştıkça hizmet düzeyi F'ye yaklaşmaktadır. Buna göre, özellikle Anadolu Otoyolunun Kocaeli – İstanbul kesiminde tıkanıklık yaşandığı, hizmet düzeyinin F olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Antalya – Alanya arasındaki bölünmüş yollarda da F hizmet düzeyine sahip yolların olduğu görülmektedir. Karadeniz bölgesine bakıldığında, Samsun'dan başlayarak, Bolu'ya kadar olan bölünmüş yollarda hizmet düzeylerinin genellikle D ve E olduğu zaman zaman da C hizmet düzeyi olduğu anlaşılmaktadır.

Bölünmemiş yollardaki hizmet düzeyleri belirlenirken ise serbest akım hızındaki azalma oranı göz önüne bulundurulmuş olup, hizmet düzeyleri ise Şekil 6.7'de verilmiştir.



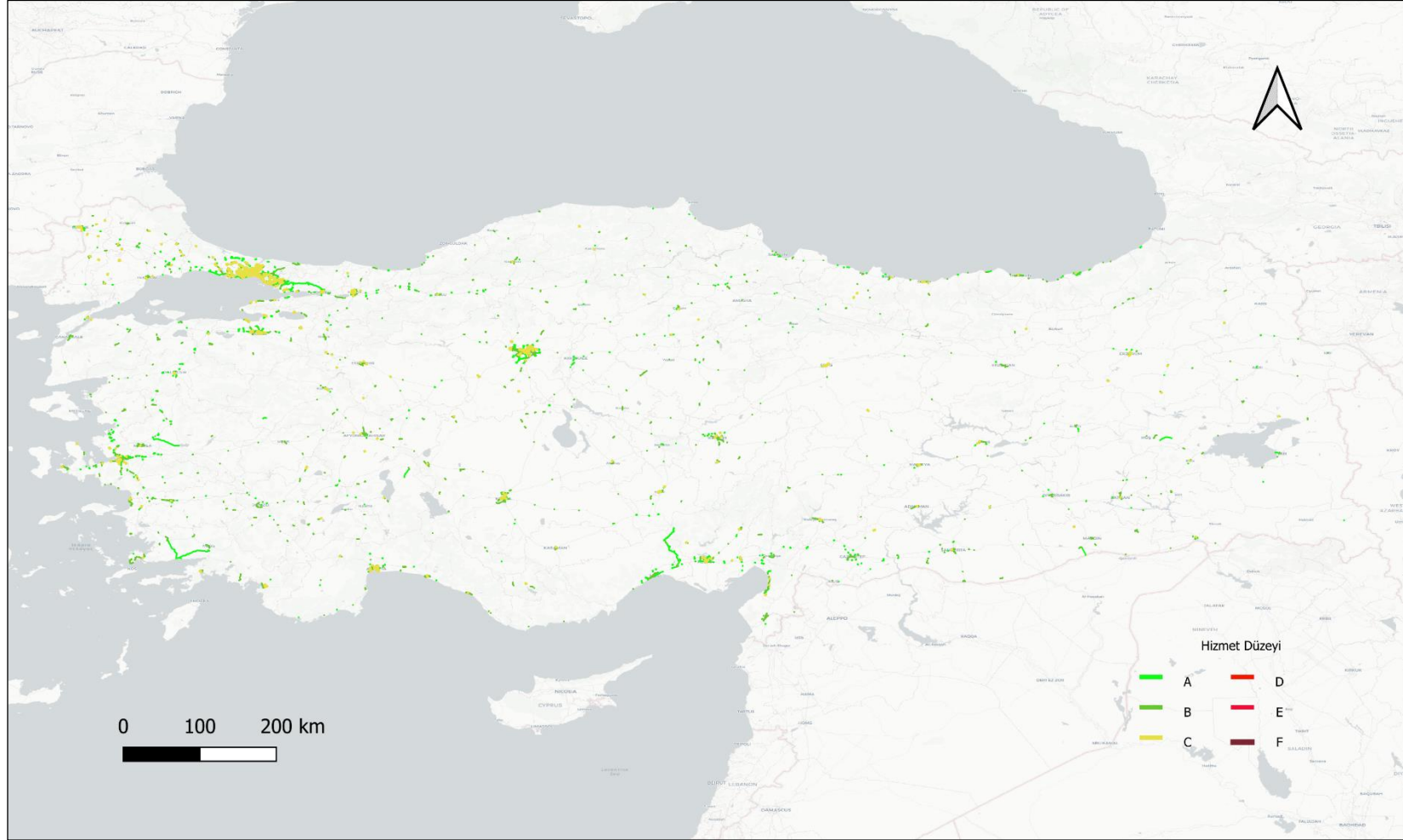


Şekil 6.7. Serbest akım hızındaki azalma oranına göre hizmet düzeyi

Şekil incelendiğinde, bölünmemiş yollardaki hizmet düzeylerinin genellikle A ve B düzeyinde olduğu, bu yollarda şehirlerarası yolculuklardan dolayı trafik yoğunluğu yaşanmadığı anlaşılmaktadır. Ancak, Mersin ilinin Pozantı ilçesinde yer alan bölünmemiş yolda, hizmet düzeyi E olarak görülmektedir.

Hizmet düzeyinin belirlenmesi için çalışma kapsamında dikkate alınan diğer yol tipleri olan şehir içi ana arterler ve kavşak bölgelerinin hizmet düzeyleri ise Şekil 6.8’de verilmiştir. Söz konusu yol tiplerindeki hizmet düzeyi, ortalama hız değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.



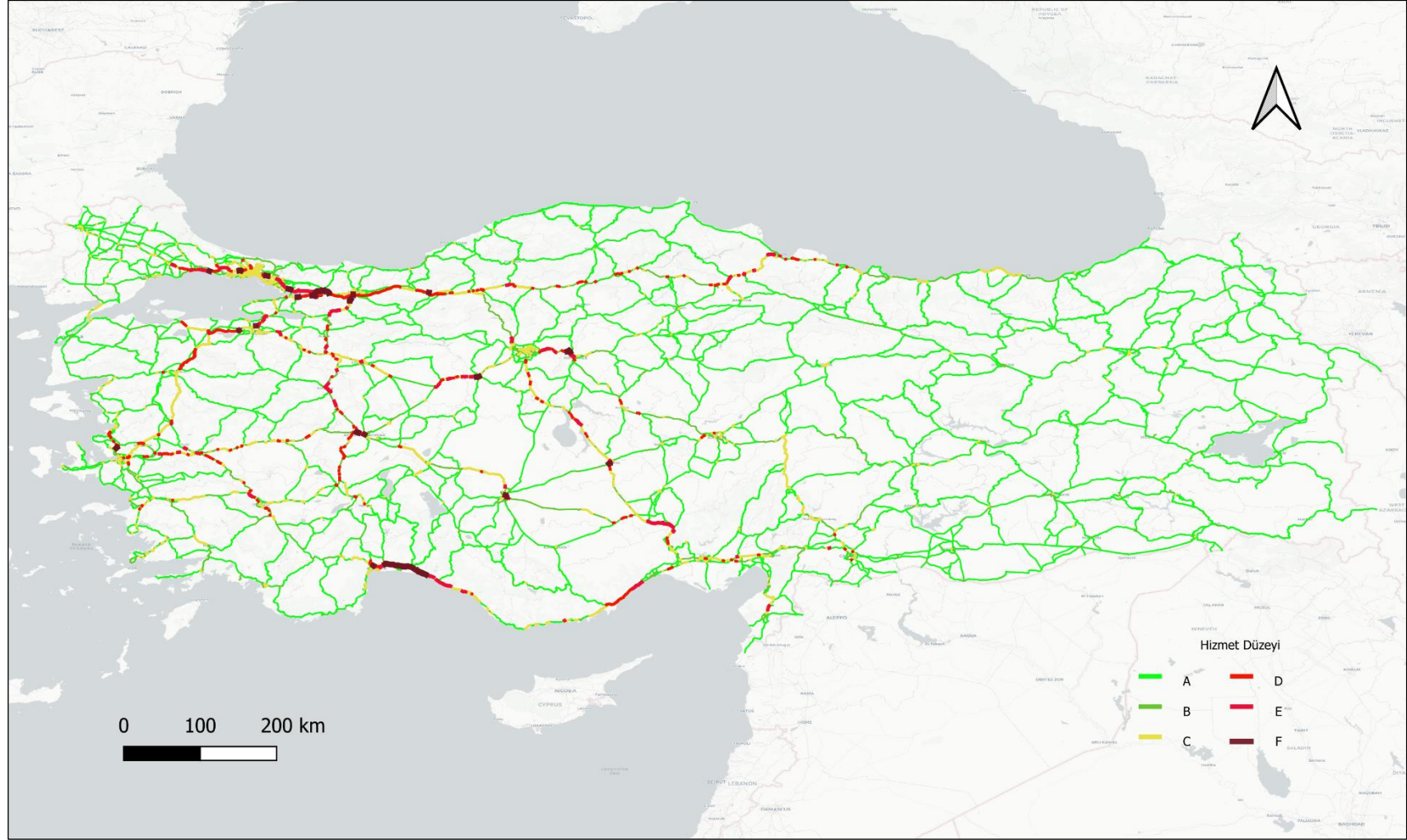


Şekil 6.8. Ortalama hıza göre hizmet düzeyi

Şekil incelendiğinde, bazı bölgelerde hizmet düzeyinin A ve B olduğu görülse de, genel itibariyle hizmet düzeyinin C seviyesinde olduğu görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, UUAP kapsamında hazırlanan modelin şehir içi trafiğini yansıtmadığıdır. Ancak İstanbul, Ankara ve İzmir illerine bakıldığında C hizmet düzeyine sahip linklerin yoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu da şehirlerarası yolculukların bu illerdeki trafiğe önemli derecede etki ettiğini göstermektedir.

Tüm hizmet düzeyi kategorilerinin ülke genelinde konsolide olarak gösterildiği harita Şekil 6.9’da verilmiştir.





Şekil 6.9. Türkiye geneli hizmet düzeyi

Şekil incelendiğinde, meydana gelen darboğazların yani kırmızı renklerin, karayolu hacim değerlerinin en yüksek olduğu kesimlerde oluştuğu görülmüştür. Buna göre, Hizmet Düzeyi değerlendirmesi yapılırken E ve F hizmet düzeyine sahip kesimlerin sorunlu kesimler olduğu D düzeyinin ise potansiyel darboğazları oluşturabileceği söylenebilmektedir. Bu durumda, özellikle büyükşehirlerin kent içi transit geçişlerinde sorun yaşandığı, başlıca, İstanbul, Kocaeli, Bursa, İzmir, Ankara, Antalya ve Mersin ile Samsun'da benzer sorunların yaşandığı görülmektedir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hizmet düzeyi, trafik sıkışıklığının en önemli göstergelerinden biri olup, yolcuların veya sürücülerin deneyimlediği genel yol kalitesi, güvenlik, erişilebilirlik gibi unsurları içeren bir performans göstergesidir. Hizmet düzeyi, A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı farklı kategoriyle tanımlanmaktadır. A seviyesi en iyi hizmet düzeyini ifade ederken, F seviyesi en kötü hizmet düzeyini ifade etmektedir. Hizmet düzeyi belirlenirken, yol tipleri, trafik koşulları, lokasyon koşulları, yolcu karakteristikleri vb. etkenlerin de dikkate alınarak farklı yaklaşımların ele alınabilmektedir.

Bu çalışmada Türkiye genelinde şehirlerarası yolculuklarda kullanılan otoyollar, il yolları, devlet yolları ve il merkezlerinde bulunan bazı ana arterler için makro simülasyon programı kullanılarak hizmet düzeyleri belirlenmiştir. Bu kapsamda Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen Ulusal Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı'na (UUAP) ait ulaşım modeli kullanılmıştır. Buna göre ilk olarak UUAP ulaşım modelinin şehirlerarası yollardaki trafik hacimleri, seyahat uzunlukları ve süreleri çalışma kapsamında test edilmiştir. Testler yapılırken, Google Harita verileri, Karayolları Genel Müdürlüğüne ait sabit sayım istasyonu verileri ve model kapsamında tanımlanmış olan perde hatları sayım verilerinden yararlanılmıştır. Test işlemlerinden sonra trafik hacimlerinin, seyahat uzunlukları ve sürelerinin tutarlı olduğu görülmüş, analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analizler neticesinde yol türlerine göre her bir yol tipi için hizmet düzeyleri belirlenerek ülke genelindeki darboğazlar ortaya konulmuştur. Böylelikle bu çalışmanın ana amacı olan hizmet düzeylerinin sınır değerleri belirlenmiş ve bu sınır değerlere göre elde edilen darboğazlar ortaya konulmuştur. Buna göre, ülke genelinde belirlenen darboğazlar Ankara – Kırıkkale, Antalya – Alanya, İstanbul – Antalya, İzmir – Denizli aksları olarak belirlenmiştir. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığının yatırım programı incelendiğinde söz konusu karayolu güzergahlarının yatırım programında öncelikli olarak yer alması, hizmet düzeyi belirlenirken dikkate alınan metodolojinin bir doğrulması niteliğindedir. Bugüne kadar yapılan teknik analizler HCM sınır değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, ülke karakteristiği dikkate alınarak belirlenen sınır değerler, bundan sonra yapılacak çalışmalar için önemli bir veri kaynağı ve dayanak oluşturacaktır.



KAYNAKLAR

- Abdurrahman, U. T., Puan, O. C., & Ibrahim, M. N. (2014). Comparison Of Free Flow Speed Estimation Models. In *National Seminar on Civil Engineering Research (SEPKA)* (p. 69). Malaysia: At UTM.
- Aftabuzzaman, M. (2007). Measuring Traffic Congestion- A Critical Review. In *30th Australasian transport research forum* , 1-16.
- Ahmed, U. (2010). Passenger Car Equivalent Factors for Level Freeway Segments Operating under Moderate and Congested Conditions. *Master Thesis*. Milwaukee, United States of America: Marquette University.
- Başkan, Ö., Ceylan, H., Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2007). Kentiçi Yollarda Hız Yoğunluk Kapasite İlişkisi Ve Kentiçi Yollarda Hız Yoğunluk Kapasite İlişkisi Ve Kapasite Kullanım Oranının Belirlenmesi. *Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, 147-58.
- Bharadwaj, N., Kumar, P., Arkathar, S. S., & Joshi, G. (2020). Deriving Capacity and Level-of-Service Thresholds. *Transportation Letters*, 12(3), 182-196.
- Biswas, S., Singh, B., & Saha, A. (2016). Assessment of Level-of-Service on Urban Arterials: A Case Study in Kolkata Metropolis. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 6(3), 303-312.
- Brilon, W., & Estel, A. (2010). Differentiated Analysis of Level of Service F within the German Highway Capacity Manual. *Transportation research record*, 2173(1), 36-44.
- Brilon, W., & Ponzlet, M. (1996). Variability of Speed-Flow Relationships on German Autobahns. *Transportation Research Record*, 1555(1), 91-98.
- Bui, T. T., Ha, D. T., Tran, T., & Trab, P. V. (2018). An Approach to Representing Traffic State on Urban Roads Used by Various. *10th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*, (pp. 179-188). Dong Hoi City, Vietnam.
- Crispin, C. H. (2018). Predictive Spatial Network Analysis For High-Resolution Transport Modeling, Applied To Cyclist Flows, Mode Choice, And Targeting Investment. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(10), 714-724.
- FDOT 2023. (2023). *Quality / Level of Service Handbook* . Florida: State of Florida Department of Transportation.
- Friedrich, M., Pestel, E., Schiller, C., & Simon, R. (2019). Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation. *Transportation Research Record*, 2673(4), 722-732.
- Gerlough, D. L., & Huber, M. J. (1976). *Traffic Flow Theory*. Washington Dc: Transportation Research Board.
- Golledge, R. G., & Garling, T. (2001). Spatial Behavior in Transportation Modeling and Planning. *UC Berkeley: University of California Transportation Center*.
- Hamdar, S. H., & Schorr, J. (2013). Interrupted Versus Uninterrupted Flow: A Safety Propensity Index for Driver Behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 22-33.
- HCM. (2010). *Highway Capacity Manual* (5 ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board.

- Hoogendoorn, S., & Knoop, V. (2013). Traffic Flow Theory and Modelling. In *The transport system and transport policy: an introduction* (pp. 125-159).
- Huntsinger, L. F., & Roupail, N. M. (2011). Bottleneck And Queuing Analysis: Calibrating Volume–delay Functions Of Travel Demand Models. *Transportation Research Record*, 2255(1), 117-124.
- Kerner, B. S. (2004). Three-Phase Traffic Theory and Highway Capacity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 333, 379-440.
- Medina, A. M., & Tarko, A. P. (2005). Speed Factors on Two-Lane Rural Highways in Free-Flow Conditions. *Transportation Research Record*, 1912(1), 39-46.
- Murray-Tuite, P., & Wolshon, B. (2013). Evacuation Transportation Modeling: An Overview Of Research, Development, And Practice. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 25-45.
- Olstam, J., & Tapani, A. (2011). A Review of Guidelines for Applying Traffic Simulation. *6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service* (pp. 771-780). Stockholm: Procedia Social and Behavioral Sciences 16.
- Othayoth, D., Krishna Rao, K., & Bhavath, B. (2020). Perceived Level of Service at Signalized Intersections under Heterogeneous Traffic Conditions. *Transportmetrica A: Transport Science*, 16(3), 1294-1309.
- Saracoglu, A., Ozen, H., & Apay, M. S. (2021). New Approach to Determine Traffic Peak Periods to Utilize in Transportation Planning. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-10.
- Shalanova, N. (2017). Beylikdüzü-Şirinevler E-5 Karayolu Hizmet Düzeyi İncelenmesi. *YÜKSEK LİSANS TEZİ*. Türkiye: İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ.
- UAB. (2022). *UUAP*. Ulaştırma Bakanlığı.
- Yayla, N. (2006). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimini İstanbul’da, orta ve lise öğrenimini Kastamonu’da tamamladı.2015 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Ulaştırma Mühendisliği Bölümünden 2020 yılında mezun oldu. 2021 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği Bölümünde halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Ayrıca 2020 yılından itibaren ulaştırma mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Becerikli, M., & Delice, Y. (2023). Türkiye Geneline Karayolu Hizmet Düzeylerinin Belirlenmesi. 4. *Ispc International Congress On Contemporary Scientific* (pp. 499-500). Ganja: ISPEC INSTITUTE.

DİĞER YAYIN VE ESERLER

Becerikli, M., & Gürsel, B., & Sarısoy, G., & Delice, Y. (2021). Eşdüzey Kavşak Düzenleme Projelerinde Bir Algoritma Önerisi: Yalova İli Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3), 665-678.