



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AASHTO-93 İLE AASHTOWARE MEKANİSTİK-AMPİRİK ÜSTYAPI TASARIM
YÖNTEMLERİNİN ÜLKEMİZ KOŞULLARINDA KARŞILAŞTIRILMASI VE
EKONOMİK ANALİZİ

EBRU AVAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA 2024



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AASHTO-93 İLE AASHTOWARE MEKANİK-AMPİRİK ÜSTYAPI TASARIM
YÖNTEMLERİNİN ÜLKEMİZ KOŞULLARINDA KARŞILAŞTIRILMASI VE
EKONOMİK ANALİZİ

EBRU AVAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ORHAN KAYA

ADANA, 2024

JÜRİ ONAY SAYFASI

(AASHTO-93 İLE AASHTOWARE MEKANİSTİK-AMPİRİK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİNİN ÜLKEMİZ KOŞULLARINDA KARŞILAŞTIRILMASI VE EKONOMİK ANALİZİ)

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında 21801201009 numaralı Ebru AVAR tarafından ilgili yönetmeliklerin belirlediği şartlar doğrultusunda tamamlanan Yüksek Lisans aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca onaylanmıştır.

Doç. Dr. Mustafa KILIÇ

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

Anabilim Dalı Başkanı

Doç. Dr. Orhan KAYA

Danışman

Tez Jürisi

Doç. Dr. Orhan KAYA

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR

**Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji
Üniversitesi**

Doç. Dr. Sercan SERİN

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi

12/06/2024

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmada;

Bu tezin özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edilerek sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, tez kapsamında bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm veri ve bilgiler için bilimsel etik ve gelenek çerçevesinde kaynak gösterdiğimi; bu kaynakları da kaynakçada belirttiğimi beyan ederim. Çalışmam ile ilgili yaptığım beyana aykırı bir durum saptanması halinde tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

12/06/2024

[İmza]

Ebru AVAR

ÖZET

AASHTO-93 İLE AASHTOWARE MEKANİSTİK-AMPİRİK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİNİN ÜLKEMİZ KOŞULLARINDA KARŞILAŞTIRILMASI VE EKONOMİK ANALİZİ

Ebru AVAR

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Orhan KAYA

Haziran 2024, xv+80 sayfa

Bu tez çalışması kapsamında, ülkemizde esnek üstyapı tasarımı için kullanılan, AASHTO 1993 yöntemini esas alan Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi yardımıyla elde edilen bazı veriler, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemleri ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda 4 farklı iklim bölgesinde bulunan 4 farklı şehir kullanılmıştır. Bu çalışmada öncelikle, 3 farklı yol sınıfı, 3 farklı yıllık ortalama günlük trafik ve 3 farklı zemin dayanım durumu (toplam $3 \times 3 \times 3 = 27$ farklı senaryo) için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi kullanılarak aşınma, binder ve bitümlü temel tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Daha sonra ise bu 27 farklı tasarım senaryosu için her bir şehrin iklim verileri ve diğer tasarım parametreleri kullanılarak (toplam $4 \times 27 = 108$ tasarım senaryosu) AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ile performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Programda ihtiyacımız olan iklim verileri için, seçilen şehirlerin son 5 yıl içinde saatlik güneşlenme süresi, rüzgâr hızı, sıcaklık, yağış ve nispi nem değerleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden istenmiş olup programa bu veriler aktarılmıştır. Diğer veriler ise Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'nden seçilmiş olup elimizde olmayan ya da ülkemizde üstyapı tasarımında kullanılmayan veriler için ise programdan 3. veri düzeyi seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar doğrultusunda elde edilen sonuçlara göre seçilen trafik yoğunluğu, kullanılan malzeme türü, güvenilirlik katsayısı ya da başka parametreler değiştirilerek en son olarak AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak en uygun ve ekonomik kaplama kalınlıkları belirlenmiş ve değişen kalınlıkların yol maliyetine etkisi irdelenmiştir. Bu çalışma

kapsamında, karayolu üstyapıları tasarımında yeni bir yöntem olan ve ABD ve Kanada’da kullanımıyla ilgili çalışmalar yapılan ve yakın zamanda tamamen karayolu üstyapısı tasarımında kullanılacak olan AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ülkemiz koşullarında uygulanabilirliği test edilmiştir. Aynı zamanda, ülkemizdeki farklı iklim bölgeleri için iklimsel verilerin kaplama kalınlıklarına etkisi AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ülkemizde tam anlamıyla uygulanabilmesi için eksik olan veriler belirlenmiştir ve bu yöntemin kullanımına yönelik atılacak adımlar ve eksik verilerin nasıl temin edilmesi gerektiğiyle ilgili pratik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Üstyapı tasarımı, AASHTO 93, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi, ekonomik analiz

ABSTRACT

COMPARISON OF AASHTO-93 AND AASHTOWARE PAVEMENT ME DESIGN METHODS FOR THE PAVEMENT DESIGN IN TÜRKİYE AND THE ECONOMIC ANALYSIS

Ebru AVAR

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Orhan KAYA

June 2024, xv+80 pages

Within the scope of this thesis study, some data obtained with the help of the Turkish Highways Flexible Pavement Design Guide, based on the AASHTO 1993 method, used for flexible pavement design in Türkiye, were calculated with AASHTOWare Pavement ME Design. In these calculations, 4 different cities located in 4 different climate zones were used. In this study, first of all, wearing, binder and bituminous base layer thicknesses were determined using the Turkish Highways Flexible Pavement Design Guide for 3 different road classes, 3 different annual average daily traffic (AADT) and 3 different subgrade strength conditions (total of $3 \times 3 \times 3 = 27$ different scenarios). Then, performance analyzes were carried out with AASHTOWare Pavement ME Design using the climate data and other design parameters of each city for these 27 different design scenarios ($4 \times 27 = 108$ design scenarios in total). For the climate data needed include hourly sunshine duration, wind speed, temperature, precipitation and relative humidity values of the selected cities in the last 5 years were requested from the General Directorate of Meteorology of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, and these data were transferred to the program. Other data were selected from the Turkish Highways Flexible Pavement Design Guide, and for data that we did not have or were not used in pavement design in our country, calculations were made by selecting the 3rd data level from the program. According to the results obtained in line with these calculations, the most appropriate and economical pavement thicknesses were determined by changing the selected traffic density, the type of material used, the reliability coefficient or other parameters,

and finally using AASHTOWare Pavement ME Design, and the effect of the changing thicknesses on the pavement material cost was examined. Within the scope of this study, the applicability of AASHTOWare Pavement ME, which is a new method in highway pavement design and whose use has been studied in the USA and Canada and will soon be used entirely in highway pavement design, has been tested in our country's conditions. At the same time, the effect of climatic data on pavement thicknesses for different climatic regions in our country was analyzed using AASHTOWare Pavement ME. In order to fully implement the AASHTOWare Pavement ME design method in our country, the missing data have been determined and practical suggestions have been presented regarding the steps to be taken for the use of this method and how the missing data should be obtained.

Keywords: Pavement design, AASHTO 93, AASHTOWare Pavement ME Design, economic analysis



İthaf

Kıymetli Aileme

TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum bu tez çalışmasında, tez konusunun belirlenmesi ve çalışmaların sürdürülmesinde fikir, öneri ve desteklerini hiçbir zaman eksik etmeden sabır ve kararlılıkla çalışmanın gerçekleşmesine büyük katkıda bulunan tez danışmanım Doç. Dr. Orhan KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez sunumumda değerli katkılar sunan tez jürilerim Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR ve Doç. Dr. Sercan SERİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması aşamamda bana bu hakları tanıyan ve tüm gençlere destek olan Çukurova Belediye Başkanı Sayın Emrah KOZAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca benden desteğini asla esirgemeyen kendisini örnek aldığım inşaat mühendisi Sayın İmar ve Şehircilik Müdür V. Ayşem Nevruz BOYRAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda zorlandığım her anda yardım elini uzatan değerli arkadaşım Arş. Gör. Hüsamettin ÜRÜNVEREN'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu sürece başlamamdaki en büyük nedenim olan, tez çalışmamı ithaf ettiğim, teşvikleri ve maddi-manevi desteklerini her zaman gönülden hissettiren canım ailem Berem Avar, Emine Avar, Reha Can Avar'a sonsuz teşekkür ederim.

Benimle birlikte bu süreçte tüm zorluklarıma eşlik eden, her daim yanımda olan canım arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
<i>İthaf</i>	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması	1
1.1.1. Ulaştırma sistemleri ve karayolu ulaştırması	1
1.1.1.1. Türkiye’de karayolu ulaştırması tarihçesi	2
1.1.2. Karayolu üstyapıları	3
1.1.2.1. Karayolu esnek üstyapıları	4
1.1.2.2. Karayolu esnek üstyapılarındaki performans kriterleri ve bozulma türleri	5
Uluslararası düzgünsüzlük indeksi (International Roughness Index (IRI))	5
Kalıcı deformasyon	5
Yorulma çatlağı	6
Termal Çatlama	7
1.1.3. Karayolu esnek üstyapı tasarım metotları	8
1.1.3.1. AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) tasarım yöntemi	8
1.1.3.2. AASHTO-93 tasarım yöntemi	9
1.1.3.3. Karayolu esnek üstyapılar projelendirme rehberi	10
1.1.3.4. AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi	11
1.1.4. Ülkemizde mekanistik-ampirik tasarım yönteminin üstyapı tasarımında kullanımıyla ilgili yapılan çalışmalar	12
1.1.5. Çalışmanın amacı	12
2. MATERYAL VE METOT	14

2.1.	İklim Verileri	14
2.1.1.	Rüzgâr Hızı	15
2.1.2.	Güneşlenme Süresi	16
2.1.3.	Yağış	17
2.1.4.	Nispi Nem	17
2.1.5.	Sıcaklık	18
2.2.	YOGT (Yıllık Ortalama Günlük Trafik)	18
2.3.	Güvenilirlik	19
2.4.	Operasyonel Hız (km/sa)	19
2.5.	Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR, %)	19
2.6.	Proje Lokasyonu	20
2.7.	Tasarım Ömrü	20
2.8.	Tabaka Kalınlık Değeri	20
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	22
3.1.	AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi Performans Analizi Sonuçları	24
3.1.1.	Adana	24
3.1.2.	Erzurum	27
3.1.3.	İzmir	30
3.1.4.	Samsun	33
3.1.5.	Performans sonuçlarının iller bazında karşılaştırmalı analizi	35
3.2.	Farklı Tabaka Kalınlıkları İçin AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi Performans Analizi Sonuçları	41
3.2.1.	Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları	43
3.2.2.	Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon sonuçları	47
3.2.3.	Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları	51
3.2.4.	Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları	54
3.2.5.	Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları	58
3.2.6.	Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları	61
3.3.	Maliyet Analizi	65

4. SONUÇLAR	71
5. ÖNERİLER	75
KAYNAKÇA	76
ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Karayolu esnek üst yapı en kesiti (Bağdatlı, 2010)	4
Şekil 1.2. IRI ölçümünde kullanılan profilometre	5
Şekil 1.3. Kalıcı deformasyon oluşan yol (Kutluhan ve Ağar, 2011).....	6
Şekil 1.4. Asfalt yolda yorulma çatlağı örneği (KGM, 2021).....	7
Şekil 1.5. Asfalt yolda termal çatlama örneği	7
Şekil 2.1. Şehirlere göre aylık rüzgâr hızı grafiği	16
Şekil 2.2. Şehirlere göre aylık güneşlenme süresi grafiği.....	16
Şekil 2.3. Şehirlere göre aylık yağış grafiği	17
Şekil 2.4. Şehirlere göre aylık nispi nem grafiği.....	18
Şekil 2.5. Şehirlere göre sıcaklık grafiği.....	18
Şekil 3.1. AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi Program Örnek Çıktısı	23
Şekil 3.2. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları.....	44
Şekil 3.3. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları	45
Şekil 3.4. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları.....	46
Şekil 3.5. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon.....	48
Şekil 3.6. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon	49
Şekil 3.7. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon.....	50
Şekil 3.8. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları.....	52
Şekil 3.9. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları.....	53
Şekil 3.10. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları.....	54
Şekil 3.11. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları	55
Şekil 3.12. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları	56
Şekil 3.13. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları	57
Şekil 3.14. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları.....	59
Şekil 3.15. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları.....	60
Şekil 3.16. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları.....	61

Şekil 3.17. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları	62
Şekil 3.18. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları	63
Şekil 3.19. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları	64



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye güncel yol ağı (KGM, 2023).....	3
Tablo 1.2. Türkiye bölünmüş yol ağı (KGM, 2023)	3
Tablo 2.1. Tavsiye edilen güvenilirlik değerleri. (KGM, 2008).....	19
Tablo 2.2. Trafik yüküne göre belirlenen tabaka kalınlıkları	21
Tablo 3.1. Bozulma türleri ve hedef değer tablosu.....	24
Tablo 3.2. Adana ili için IRI tablosu (m/km)	25
Tablo 3.3. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için Adana ili Kalıcı Deformasyon tablosu (mm)	25
Tablo 3.4. Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması (%).....	26
Tablo 3.5. Adana ili için Termal Çatlama (m/km)	26
Tablo 3.6. Adana ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km)	27
Tablo 3.7. Adana ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm).....	27
Tablo 3.8. Erzurum ili için IRI tablosu (m/km).....	28
Tablo 3.9. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için Erzurum ili Kalıcı Deformasyon tablosu (mm)	29
Tablo 3.10. Erzurum ili için Aşağıdan Yukarıya Yorulma Çatlaması (%)	29
Tablo 3.11. Erzurum ili için Termal Çatlama (m/km).....	29
Tablo 3.12. Erzurum ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km)	30
Tablo 3.13. Erzurum ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm).....	30
Tablo 3.14. İzmir ili için IRI tablosu (m/km)	31
Tablo 3.15. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için İzmir ili kalıcı deformasyon tablosu kalıcı deformasyon (mm)	31
Tablo 3.16. İzmir ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması (%)	32
Tablo 3.17. İzmir ili için Termal Çatlama (m/km)	32
Tablo 3.18. İzmir ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km).....	32
Tablo 3.19. İzmir ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm)	33
Tablo 3.20. Samsun ili için IRI tablosu (m/km)	33
Tablo 3.21. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için Samsun ili Kalıcı Deformasyon tablosu (mm).....	34
Tablo 3.22. Samsun ili için Aşağıdan Yukarıya Yorulma Çatlaması (%).....	34
Tablo 3.23. Samsun ili için Termal Çatlama (m/km)	34
Tablo 3.24. Samsun ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km).....	35
Tablo 3.25. Samsun ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm)	35
Tablo 3.26. Sıkışmış tabaka kalınlıklarının m ² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024).....	65
Tablo 3.26. Sıkışmış tabaka kalınlıklarının m ² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024) (devamı)	66
Tablo 3.27. Sıkışmış değiştirilen tabaka kalınlıklarının m ² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024)	67
Tablo 3.27. Sıkışmış değiştirilen tabaka kalınlıklarının m ² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024) (devamı)	68

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway Transportation Officials
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
YOGT	: Yıllık Ortalamada Günlük Trafik
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
PMT	: Plent Miks Temel



1. GİRİŞ

Bir ülkenin sosyoekonomik yapısının en önemli bileşenlerinden biri ulaşımdır. Karayolları, ülkemizin en yoğun ulaşım sistemidir. Türkiye’deki karayollarının çoğu esnek üstyapıya sahip sathi ve asfalt betonu kaplamalar kullanılarak inşa edilmiştir. Uzun süredir esnek üstyapılar, karayolu inşaatlarında kullanılan bir kaplama türüdür. Türkiye’deki halihazırda mevcut yatırımlar, bu konuda uzmanlaşmış ekipler, tesisler ve makine sayısının yeterli olması gibi nedenlerle esnek üstyapı kaplamalarını tercih etmektedir (Bağdatlı, 2010).

Dünyanın her yerinde ülkelerin karayolu ulaştırması için ayırdıkları bütçelerin ülke ekonomisiyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Yeni yol inşaatları dışında bütçenin büyük bir kısmı da var olan yolların bakım onarımı için harcanmaktadır (Bağdatlı, 2010).

1.1. Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması

1.1.1. Ulaştırma sistemleri ve karayolu ulaştırması

Ulaştırma, insanların veya malların bir yerden diğerine taşınmasını ve ihtiyaçları karşılamak için zaman ve mekân avantajı sağlayan işlerin ve araçların tümü olarak tanımlanır. Ulaştırma sektörünün ana hedefi, müşterilerin taleplerini en hızlı ve en ekonomik şekilde güvenli bir şekilde taşımaktır. Daha geniş bir ifadeyle, ulaştırma, ülkenin ekonomik ve sosyal gelişiminin gerektirdiği hizmeti en uygun şekilde, en ucuza, güvenli ve çevre dostu olmak koşuluyla, ulusal güvenlik gereklerini yerine getirecek şekilde, çağın teknolojilerini kullanarak ve uluslararası kurallarla ve politikalarla uyum içinde kesintisiz olarak sağlamaktır.

Ulaşım sistemleri, bireylerin ihtiyaçları için çeşitli ulaşım araçlarını bir araya getirerek toplumsal yaşamda önemli bir rol oynar. Ulaşımın ilk ortaya çıkışından günümüze kadar, sanayi, ticaret ve toplumsal alanlarda meydana gelen değişiklikler nedeniyle ulaşım sistemleri de gelişmiştir. Ulaştırma işlemleri bir dizi alt sistem tarafından yürütülür. Karayolu ulaştırması, demiryolu ulaştırması, denizyolu ulaştırması, havayolu ulaştırması ve boru hattı ulaştırması, taşıyıcının türüne göre ulaştırma sisteminin beş ana bileşenini oluşturur. Bu alt sistemler ulaştırma işlemini yürütür.

Karayolu ulaştırması, eşyaların ve bireylerin bulundukları konumdan farklı bir konuma karayolu araçları vasıtası ile ulaşım ağıları kullanılarak aktarılmasıdır. Karayolu taşımacılığının şehir içi, uluslararası, yurt içi yük ya da yolcu taşımacılığı olarak belirtilebilir.

Ulaşımın alt yapısını oluşturan ilk faaliyet karayolu ulaştırmasıdır. Karayolu ulaşımının birçok avantajı vardır. Örneğın, bazı doğa koşullarının izin vermediğı durumlarda karayolu ulaşımının tercih edilmesi daha iyi bir seçenektir. Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, süre ve masraf açısından daha uygundur. Karayolu ulaşımının diğeri ulaşım yollarına göre daha geniş bir ulaşım şebekesi olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu ulaştırma sisteminin dezavantajları şunlardır: işletim maliyetleri yüksektir, taşıma maliyetleri bakımından birim maliyetleri denizyolu ve demiryolu alt sistemleriyle karşılaştırıldığında daha yüksektir, kitle taşımacılığı için uygun değildir ve sınır geçişlerinin fazla olması hem zaman kaybına hem de maliyetlere neden olur.

1.1.1.1. Türkiye’de karayolu ulaştırması tarihçesi

1923 yılında Türkiye Cumhuriyeti, Osmanlı İmparatorluğu’ndan 4000 km’si iyi durumda 18 000 km yol almıştır. Cumhuriyetin ilk yıllarında yapılan ulaşım çalışmalarında demiryoluna öncelik verilmiştir. İkinci Dünya Savaşı sonrası Türkiye, diğeri tüm ülkeler gibi karayollarına öncelik verdi. 1950’lerden sonra Türkiye, sanayi ve tarım ürünlerini daha etkili bir şekilde dağıtmak için karayolları inşa etmeye odaklandı (Kaplukan, 2014).

1 Mart 1950 yılında Şose ve Köprüler Reisliğı yapılandırılarak Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) haline getirilmiştir. Türkiye için planlı ve doğru karayolu ulaşım sistemi adımları bu yapılandırma ile başlamıştır (KGM, 2013).

Karayolları Genel Müdürlüğü’nün sorumluluğı altında bulunan karayolu uzunluğı 01.01.2024 tarihi itibarıyla toplam 68.689 km ve 3 sınıf yoldan oluşmaktadır (Tablo 1.1 ve Tablo 1.2):

- Otoyol
- İl Yolu
- Devlet yolu

Tablo 1.1. Türkiye güncel yol ağı (KGM, 2024a)

SATI H CİNSİNE GÖRE YOL AĞI (km) 01.01.2024 tarihi itibariyle							
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	Toplam
Otoyol	3726	-	-	-	-	-	3726
Devlet Yolları	20135	10387	45	22	-	275	30864
İl Yolları	6018	25182	225	276	299	2064	34064
Toplam	29879	35569	270	298	299	2339	68654

Tablo 1.2. Türkiye bölünmüş yol ağı (KGM, 2024a)

BÖLÜNMÜŞ YOLLAR (km) 01.01.2024 tarihi itibariyle	
Otoyollar	3726
Devlet Yolu	21680
İl Yolu	2294
Toplam	27700

1.1.2. Karayolu üstyapıları

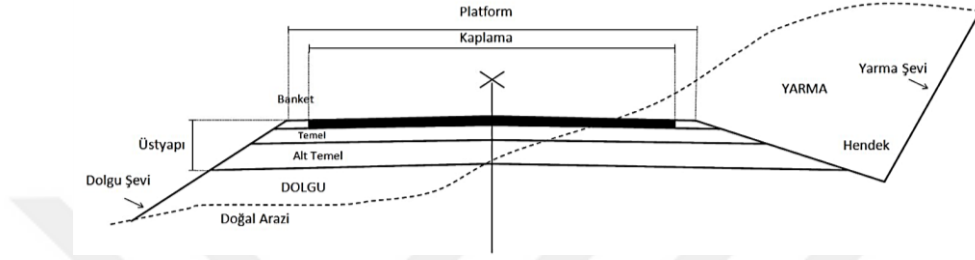
Modern ulaşım sisteminin önemli bir parçası olan karayolları, insanların güvenli ve hızlı bir şekilde seyahat etmelerini sağlar. Üstyapı, karayolu inşaatının karmaşık bir parçasıdır. Karayolu üstyapısı, yolun taşıma kapasitesini artırmak, dayanıklılığını sağlamak ve yolcu konforunu artırmak için tasarlanmıştır (Deniz, 2016).

Karayolu üstyapıları birçok parçadan oluşur. Yol tabanı, alt yapı, üst yapı ve yol yüzeyi bu grupta yer alır. Yol tabanı, zeminleri stabilize etmek ve yükleri taşımak için kullanılır. Yolun altındaki herhangi bir yapı, drenaj sistemini, köprüleri ve tünelleri içerir. Yolun üst yapısı ise çeşitli katmanlardan oluşur ve yük taşıma kapasitesini ve kullanıcıların rahatlığını sağlamak için tasarlanmıştır. Araçların hareket ettiği yol, güvenli ve pürüzsüz bir sürüş için dikkatle tasarlanmıştır (Ecevit, 2007).

Karayolu üstyapıları, tasarım ve yapım sürecinde dikkate alınan çok sayıda faktörden oluşur. Trafik miktarı, hız limitleri, araç türleri, iklim ve yerel çevresel faktörler bunlardan bazılarıdır. Sürdürülebilirlik, güvenlik ve maliyet gibi faktörler de önemlidir. Düşük bakım maliyetleri, uzun ömürlülük ve verimli ulaşım, yüksek kaliteli karayolu üstyapısının bir sonucudur (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

1.1.2.1. Karayolu esnek üstyapıları

En yaygın üstyapı sistemlerinden biri, karayolu esnek üstyapılarıdır. Esnek üstyapılar, çeşitli malzemelerin uygun bir şekilde sıralandığı katmanlı bir sistemdir. Birbirleriyle etkileşime giren bu katmanlar, yolun dayanıklılığını, yük taşıma kapasitesini ve sürüş konforunu artırır. Karayolu esnek üst yapı en kesitine örnek bir görsel Şekil 1.1.'de sunulmuştur.



Şekil 1.1. Karayolu esnek üst yapı en kesiti (Bağdatlı, 2010)

Esnek bir üstyapı sistemi tipik olarak üç ana katmandan oluşur. Esnek üstyapılar asfalt kaplama, temel ve alt temel tabakalarını içerir. Yolun temel tabanını oluşturmak ve zeminin stabilitesini sağlamak için en alt katmanda granüler malzemeler kullanılır. Zeminin taşıma kapasitesini artıran bu tabaka, geçişin stabilitesini sağlar.

Temel tabakasının birincil işlevi, taşıtların geçişlerinden kaynaklanan gerilmeleri taban zemininin taşıma gücü sınırları dahilinde dağıtmaktır. Temel tabakanın durumuna göre, stabilize edilmiş veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme kullanılabilir. Trafik yoğun bölgelerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılır (Saltan ve Fındık, 2013).

Sıkıştırılmış agrega kullanılarak orta katmanda dayanıklı bir tabaka oluşturulur. Bu katmanın amacı, yük taşıma kapasitesini artırmak ve trafik yüklerini dağıtmaktır. Bu yüzey aynı zamanda sürücülerin rahatlığını artırır. Asfalt karışımı en üst katmanı oluşturur. Bu katman yolu pürüzsüz hale getirir ve araçların sürüş konforunu artırır. Su geçirgenliği ve dayanıklılığı gibi özellikleriyle de çok önemlidir.

Karayolu üstyapısının esnekliği, çok sayıda avantaja sahiptir. Esneklikleri yolun üzerindeki yükleri en iyi şekilde dağıtarak daha uzun ömürlü bir yol sağlar. Ek olarak, esnek üstyapılar donma ve çözülme döngülerine dayanıklı olduğundan, iklim değişikliklerinden

etkilenmezler. Sonuç olarak, çeşitli iklim koşullarında kullanılması yaygındır (Saltan ve Fındık, 2013).

1.1.2.2. Karayolu esnek üstyapılarındaki performans kriterleri ve bozulma türleri

Aşağıda Karayolu esnek üstyapılarının analizinde kullanılan performans kriterleri ve bozulma türleri özetlenmiştir:

Uluslararası düzgünsüzlük indeksi (International Roughness Index (IRI))

Yüzey düzgünlüğünün belirlenmesi için kullanılan en yaygın indistir. IRI birimi m/km'dir. Ülkemizde yol üstyapı tasarım kaplamalarının kalitesini arttırarak daha güvenli ve rahat bir sürüş sağlanabilmesi amacıyla hazırlanan şartname ile yürürlükte olan Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi içerisinde yer alan düzgünsüzlük kriterinin belirlenebilmesi için Yol Yüzey Profilometresi (Road Surface Profiler (RSP)) ölçüm cihazı kullanılmalıdır. IRI değeri kaplamanın genel durumunu gösterir. Üstyapı sistemlerinin yönetiminde ve yol performansında kullanılan önemli bir performans kriteridir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. IRI ölçümünde kullanılan profilometre

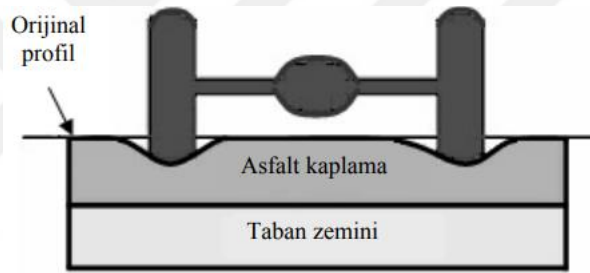
Kalıcı deformasyon

Kalıcı deformasyon, kaplamaya tekrarlanan yüklerin neden olduğu küçük deformasyonların birikmesiyle oluşur. Tekrarlanan trafik yükleri altında ötelenme ve tekerlek izinde oturma benzeri kalıcı deformasyona karşı direnç gösterme kapasitesi, kaplamanın stabilitesini oluşturur (Şekil 1.3). Trafik yüklerini karşılamak için stabilite yüksek olmalıdır. Bununla birlikte, çok yüksek stabilite nedeniyle çok sert bir karışım nedeniyle, bu tür

kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonları kaldıramayıp çatırlar. Sonuç olarak, karışımların belirli bir stabilitede olması gerekir (Çalışkan vd., 2021).

Hensley ve Leahy (1989)'in yapmış oldukları çalışmalarında yapısal tekerlek izinin nedenlerinin yapısal tasarım hatası, trafik hacminin ve yüklerin doğru olarak saptanamaması ve daha sonra yapılan takviye tabakalarında düşük hava boşluğu ve yüksek filler/asfalt oranı kullanılması olarak belirlemişlerdir.

Eisenmann ve Hilmer (1987)'de asfalt kaplamalarda tekerlek yükü ve şişirme basıncının tekerlek izine olan etkisini hem deneysel hem de teorik olarak araştırmış, hacim değişimi olmaksızın meydana gelen kayma deformasyonlarını tekerlek izi oluşumunun ana nedeni olarak belirtmişlerdir.



Şekil 1.3. Kalıcı deformasyon oluşan yol (Kutluhan ve Ağar, 2011)

Yorulma çatlağı

Yorulma çatlağı genellikle aşırı yüklenme veya yorulma nedenidir. Yetersiz drenaj nedeniyle rutubet alt tabakalara sızarak dayanım üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Su, bu çatlaklardan geçerken temeli kolayca zayıflatır ve araç yüklerinden dolayı bu çatlaklar zamanla hızla büyür. Çok yakın çatlakların timsah derisine benzemesinden dolayı, timsah sırtı çatlak olarak da isimlendirilir (KGM, 2021) (Şekil 1.4).

Asfalt kaplamalarda yorulma çatlaması, tekrarlı araç yükleri ve çevresel olaylardan kaynaklanmaktadır. Bu arada, uzun süreli yaşlanma ve test sıcaklığı gibi ortam koşulları da belirli bir asfalt bağlayıcının yorulma direncini etkiler. Yorulma hasarı, kaplamalarda uzun süreli hizmet sırasında genel performansı ve sürüş konforunu etkileyecektir (Moreno-Navarro ve Rubio-Gámez, 2016; Yang vd., 2023).



Şekil 1.4. Asfalt yolda yorulma çatlağı örneği (KGM, 2021)

Termal Çatlama

Yol yüzeyindeki aralıklı enine çatlaklar termal çatlaklar olarak adlandırılır. Sıcaklık önemli ölçüde düştüğünde asfalt karışımında çekme gerilmeleri meydana gelir. Soğuk havalarda kaplama büzülür ve büzülme ilerledikçe kaplama içinde çekme gerilmeleri oluşur. Çatlaklar, kaplamanın çekme dayanımını aştığı noktada oluşur. Düşük sıcaklıktaki enine çatlakların oluşumu ve yoğunluğu, sıcaklık düşüşünün büyüklüğü, sıklığı ve yüzeydeki asfalt karışımın sertliğinin bir sonucudur. Çatlak yüzeyden başlar ve aşağıya doğru genişler. Düşük sıcaklık çatlamlarında asfalt bağlayıcının en önemli özelliklerinden biri karışım sertliğidir. Asfalt yolda termal çatlama ile ilgili görsel aşağıda Şekil 1.5’te verilmiştir.



Şekil 1.5. Asfalt yolda termal çatlama örneği

Termal yorulma çatlakları, hava sıcaklığı arasında meydana gelen sürekli değişikliklerin bir sonucudur. En önemli nedenlerden biri, ülkemizin karasal iklime sahip Doğu Anadolu, İç Anadolu ve İç Batı Anadolu bölgelerinde meydana gelen çatlama bozulmalarıdır. Özellikle kış aylarında hava sıcaklığının -20°C ’nin altında düşmesi bu bölgelerde meydana gelen çatlama

bozulmalarının nedenidir. Bunun yanında, özellikle bu bölgelerde sonbahar ve ilkbaharın erken zamanlarında, gündüz ve gece hava sıcaklığının aşırı değişmesi, termal yorulma çatlakları olarak bilinen bozulmalara da neden olur.

Asfalt kaplamaların aşırı düşük sıcaklıktan kaynaklanan çatlaması ve tekrarlanan sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan termal yorulmanın zararları özellikle belirgindir (Luo vd., 2023). Mevcut testlerin ve tahmin modellerinin çoğu, asfalt betonunun düşük sıcaklıktaki çatlamaya karşı direncini yalnızca bitüm ve asfalt karışımı özelliklerine dayalı olarak değerlendirmekte ve tahmin etmektedir. Ancak asfalt betonunun çeşitli bileşenlerinin ve bunların özelliklerinin termal çatlamanın oluşmasındaki rolü çok önemlidir. Ayrıca bu başarısızlığın mekanizmaları genellikle asfalt betonunda kullanılan malzemelerin temel özelliklerine bağlıdır (Sanfilippo vd., 2023).

1.1.3. Karayolu esnek üstyapı tasarım metotları

Esnek üstyapıların matematiksel modellenmesi zor olduğu için farklı tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tasarım yöntemlerinden birisi olan ampirik yöntem, deney koşulları ile sınırlı kalan ve deneysel sonuçlara dayanan geleneksel tasarım yöntemidir. Bir diğer bir tasarım yöntemi olan mekanistik-ampirik yöntem ise, üstyapıda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, tahmini trafik yükü ve çevre koşulları dikkate alınarak tabaka kalınlıklarını hesaplamak için bilgisayar programlarını kullanılan bir yöntemdir.

1.1.3.1. AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) tasarım yöntemi

Ampirik yöntemlerden biri olan bu yöntem, Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği (AASHTO ((American Association of State Highway Transportation Officials))) tarafından 1956 ve 1958 yılları arasında geliştirilmiştir. Illinois eyaletinin Ottawa şehrinde tasarlanan, içerisinde farklı tip kalınlıklarda kaplamalar ve çeşitli köprüler kullanılarak inşa edilmiş olup, bunların özelliklerini test etmek amacıyla yapılmıştır. Yolların davranışı ve hizmet seviyesi iki yıl boyunca gözlemlenmiş ve veriler sonunda elde edilen ölçümler bilgisayar kullanılarak değerlendirilmiştir. 1961 yılında AASHTO tarafından yayınlanan karayolu üstyapısı tasarım yöntemi, 1972, 1986, 1993 ve 2002 yıllarında yenilenmiştir (Armağan, 2019).

Bu tasarım yöntemlerine göre, üstyapının kalınlığı, taban zemininin direncine, kullanılan malzemelere ve tasarım ömrü boyunca maruz kalacağı tahmin edilen trafik yüklerine bağlıdır.

Temel amacı, standartlaştırılmış güvenlik standartları, trafik yükleri, malzeme özellikleri ve çevresel faktörler gibi değişkenleri dikkate alarak yolların en iyi şekilde tasarlanmasını sağlamaktır.

AASHTO tasarım yöntemleri genellikle şu ana başlıklar altında incelenir:

- Trafik yükleri ve kapasite
- Yol geometrisi
- Malzeme seçimi ve dayanıklılık
- Güvenlik standartları
- Çevresel etkiler

Karmaşık algoritmalar, mühendislik hesaplamaları ve standartlar, AASHTO tasarım yönteminin bir parçasıdır. Karayolu mühendisliğinde güvenli ve sürdürülebilir altyapı oluşturmak için bu yöntem mühendislere yol göstermektedir.

Sonuç olarak, AASHTO tasarım yöntemi, çağdaş karayolu altyapısının temelini oluşturur ve aynı zamanda sürekli gelişen bir alan olarak kabul edilir. Bu yöntem sayesinde mühendisler güvenli, kullanışlı ve çevreye duyarlı yollar tasarlayabilmektedirler.

AASHTO tasarım yöntemi yıllar içinde incelenmiş, araştırılmış, kullanılmış ve güncellenmiş olup ülkemiz tarafından Karayolları Genel Müdürlüğü'nün Karayolu Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberinde AASHTO-93 projelendirme kriterleri esas alınmıştır. Başka ülkeler tarafından ise AASHTO yöntemi mekanistik-ampirik hale getirilip bilgisayar programı halinde kullanılabilmektedir.

1.1.3.2. AASHTO-93 tasarım yöntemi

1986 rehberinden sonra 1993 yılında AASHTO Tasarım Rehberi revize edilmiştir, lâkin esnek üstyapı tasarım yöntemi değişmemiştir. AASHTO-93 tasarım yöntemi, karayolu esnek üstyapıların yük etkilerini değerlendirmek ve bu üstyapıların güvenliğini sağlamak için kullanılan önemli bir mühendislik standardıdır. Bu yöntem, üstyapı tasarımında ve yük taşıma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılır. AASHTO-93 tasarım yöntemi, çeşitli parametreleri

göz önünde bulundurarak üstyapıların güvenliğini değerlendirmek için detaylı bir hesaplama ve analiz sürecini içerir (Kök, 2007).

1993'e kadar AASHTO'nun yol tasarım rehberinde ampirik (deneysel) yöntemler olarak yer almış fakat 1993'ten sonra AASHTO mekanistik ampirik yöntemlere yönelik çalışmalar yapıp yine bu yönde araştırmaları desteklemiştir. AASHTO Yol Testinde esnek üstyapılar için yük ve üstyapı parametreleri arasında ilişkileri içeren bir denklem çıkarılmıştır.

AASHTO Deney Yolu Denklemi (Denklem 1) geliştirilmiş ve denklem 1993 AASHTO Tasarım Rehberi'nde de kullanılmıştır.

$$\log W_{18} = Z_R x S_0 + 9.36(\log(SN + 1) - 0.20) + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07 \quad \text{Denklem (1.1)}$$

- W_{18} = 8,2 ton (18-kip) eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı
- Z_R = Standart sapma
- S_0 = Toplam standart sapma
- SN = Üstyapı sayısı
- ΔPSI = Toplam servis yeteneği kaybı
- M_R = Esneklik modülü (psi)

AASHTO yol deneyinden yararlanılarak üstyapı kalınlıklarının hesabında kullanılmak üzere üstyapıya etkiyen faktörleri içine alan AASHTO deney yolu denklemi oluşturulmuştur.

1.1.3.3. Karayolu esnek üstyapılar projelendirme rehberi

Karayolu esnek üstyapı tasarım rehberi, karayolu yüzeylerinin tasarımı, inşası, bakımı ve iyileştirilmesi ile ilgili kılavuzları içerir. Yolun üst kısmının uygun bir şekilde oluşturulması için bu rehber, karayolu mühendisleri, tasarımcıları ve altyapı planlamacıları için temel prensipleri, standartları ve yönergeleri sağlar (KGM, 2008).

Ülkemizde, karayolu esnek üstyapı tasarımı için Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından AASHTO 1993 ampirik tasarım yöntemi kullanılmaktadır ve bununla birlikte KGM, AASHTO 1993 yöntemini esas alan Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ni yayınlamıştır.

AASHTO-93 tasarım yönteminde kullanılmakta olan AASHTO Deney Yolu Denklemi ülkemiz projelendirme rehberinde de yer almakta olup üstyapı kalınlıklarının hesaplanması için W_{18} , Z_R , S_o , PSI değerleri yardımıyla denklem çözülerek SN değeri bulunmaktadır.

1.1.3.4. AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi

Yolların sağlamlığı ve uzun ömürlülüğü altyapı sistemlerinin temelini oluşturur. Bu durumda, güvenli ve uzun ömürlü bir ulaşım ağı sağlamak için mükemmel yol tasarımı çok önemlidir. AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi, günümüzde yol mühendisliğinde etkili ve yenilikçi bir yaklaşımdır (AASHTO, 2024).

AASHTO tarafından geliştirilen bir yol tasarım yazılımı AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi, mekanistik ve ampirik prensiplerini birleştirerek yol malzemelerinin davranışını daha gerçekçi bir şekilde modellemeyi amaçlamaktadır. Geleneksel yöntemlere göre bu yöntem daha hassas ve güvenilir tasarımlar sağlamaktadır.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi temel prensipleri

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi baz alınan temel prensipler aşağıda maddeler halinde kısa açıklamalar içerecek şekilde sunulmuştur.

- **Mekanistik Yaklaşım:** AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi, yol yapılarının davranışını anlamak için mekanik prensipler ve matematiksel modeller kullanır. Bu, yol malzemelerinin gerçek hayatta nasıl çalıştığını daha iyi anlamak için bize yardımcı olur.
- **DeneySEL Verilere Dayalı Tasarım:** Bu yaklaşım, saha verilerini kullanarak yol performansını gerçek zamanlı olarak değerlendirir. Tasarım sürecinde gerçek ölçümler ve laboratuvar deneyleri kullanılır.
- **Çoklu Faktörlerin Entegrasyonu:** AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi, trafik yükünü, iklimi ve malzeme özelliklerini bir araya getirerek daha kapsamlı bir tasarım yapılmasını sağlar.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi, her malzeme özelliği için mevcut verilerin kalitesine ve miktarına bağlı olarak üç giriş düzeyine sahiptir. Düzey 1 seçeneği, genellikle laboratuvar testleri ve/veya saha testi yoluyla elde edilen malzeme özellikleri hakkında özel veriler gerektirir. Bu veriler en yüksek doğruluk düzeyine sahiptir, güvenilir tasarım ve analiz sonuçları beklenir. Düzey 2 orta seviye doğruluğa sahiptir. Bu

girdiler genellikle laboratuvarda veya sahada yapılan sınırlı testlerle elde edilir veya diğer ölçülen özelliklerle dayalı olarak tahmin edilir. Düzey 3, asfalt kaplama bozulması hakkında tahminler oluşturmak için kullanılan veriler, standart kurumsal veriler veya yazılımda varsayılan verileridir.

Kaplama tasarımı ve analizinde laboratuvar veya saha test sonuçları olmaması durumunda Düzey 2 ve Düzey 3 kullanımı makul bir yaklaşım olarak görülmektedir.

1.1.4. Ülkemizde mekanistik-ampirik tasarım yönteminin üstyapı tasarımında kullanımıyla ilgili yapılan çalışmalar

Mekanistik-Ampirik tasarım yönteminin üstyapı tasarımında kullanımıyla ilgili yapılan akademik ve teknik çalışmalar çoğunlukla Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada merkezli olagelmıştır (Baus ve Stires, 2010; Darter vd. 2014; Haider vd., 2011; Kaya, 2015; Kim vd., 2014; Li vd. 2009; Li vd., 2011; Muthadi ve Kim, 2008; Swan vd., 2008). Bunun sebebi ise bu tasarım yönteminin çıkış yerinin ABD olmasından kaynaklı olduğu açıktır. Bununla birlikte bazı diğer ülkelerde de bu tasarım yönteminin kullanımı ve adaptasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Aguib, 2021; Caliendo 2012).

Ülkemizde halihazırda AASHTO-93 tasarım yöntemine dayanan Karayolları Esnek Üstyapı tasarım yöntemi kullanılarak üstyapı tasarımı gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte az sayıda da olsa mekanistik-ampirik tasarım yönteminin ülkemizde kullanımıyla ilgili son zamanlarda bazı akademik çalışmalar yapılmaktadır. Fakat bu çalışmalar incelendiğinde bu çalışmalar sadece bir deneme yol kesiminin incelendiği (Şengün vd., 2020), tek bir rijit üstyapı tipinin incelendiği (Öztürk vd., 2019) çalışmalar olup ülkemizdeki farklı iklim durumlarının üstyapı kalınlığına ve maliyetine Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verileri kullanılarak etkisinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamış olup bu tez kapsamındaki çalışma bu yönüyle bu ihtiyacı karşılayacaktır.

1.1.5. Çalışmanın amacı

Bu tez çalışması kapsamında, ülkemizde esnek üstyapı tasarımı için kullanılan, AASHTO 1993 yöntemini esas alan Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi (KGM, 2008) yardımıyla elde edilen bazı veriler, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi (AASHTO, 2024) ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda 4 farklı iklim bölgesinde bulunan 4 farklı şehir kullanılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle, 3 farklı yol sınıfı (il yolu, devlet yolu, otoyol), 3 farklı yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) ve 3 farklı zemin dayanım durumu (toplam $3 \times 3 \times 3 = 27$ farklı senaryo) için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi (KGM, 2008) kullanılarak aşınma, binder ve bitümlü temel tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Daha sonra ise bu 27 farklı tasarım senaryosu için her bir şehrin iklim verileri ve diğer tasarım parametreleri kullanılarak (toplam $4 \times 27 = 108$ tasarım senaryosu AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ile performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Programda ihtiyacımız olan iklim verileri için, seçilen şehirlerin son 5 yıl içinde saatlik güneşlenme süresi, rüzgâr hızı, sıcaklık, yağış ve nispi nem değerleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden istenmiş olup programa bu veriler aktarılmıştır. Diğer veriler ise Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'nden seçilmiş olup elimizde olmayan ya da ülkemizde üstyapı tasarımında kullanılmayan veriler için ise programdan 3. veri düzeyi seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar doğrultusunda elde edilen sonuçlara göre seçilen trafik yoğunluğu, kullanılan malzeme türü, güvenilirlik katsayısı ya da başka parametreler değiştirilerek en son olarak AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak en uygun ve ekonomik kaplama kalınlıkları belirlenmiştir. Bu çalışmanın amaçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Bu çalışma kapsamında, karayolu üstyapıları tasarımında yeni bir yöntem olan ve ABD ve Kanada'da kullanımıyla ilgili çalışmalar yapılan ve yakın zamanda tamamen karayolu üstyapısı tasarımında kullanılacak olan AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'nin ülkemiz koşullarında uygulanabilirliği test edilecektir.
- Çalışma sonucunda farklı tasarım senaryoları için hem ülkemizde mevcut olan tasarım yöntemi hem AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak elde edilen optimum tabaka kalınlıkları belirlenecek, birbirleriyle karşılaştırılacak ve eğer kalınlık sonuçlarında farklılıklar varsa, bunların yol malzeme maliyetine etkisi değerlendirilecektir.
- Ülkemizdeki farklı iklim bölgeleri için iklimsel verilerin kaplama kalınlıklarına etkisi AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak analiz edilecektir.

- AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ülkemizde tam anlamıyla uygulanabilmesi için eksik olan veriler belirlenecek ve bu yöntemin kullanımına yönelik atılacak adımlar ve eksik verilerin nasıl temin edilmesi gerektiğiyle ilgili pratik öneriler sunulacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

Yukarıda bahsedildiği gibi bu çalışmada AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak güvenilirlik katsayısı ya da başka parametreler değiştirilerek en uygun ve ekonomik kaplama kalınlığı seçilmiştir. Bu tasarım çalışmalarında elde ettiğimiz veriler ve tasarım senaryoları aşağıdaki gibi ilerlemektedir.

2.1. İklim Verileri

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi, öncelikle Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Bundan dolayı, bu ülkelere ait iklim verileri AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından otomatik olarak temin edilmektedir. Böylelikle Amerika ve Kanada kendi iklimsel verileri ile kullanabilir haldedir (AASHTO, 2024).

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ni kullanabilmek için ülkemiz iklim verileri gerekli olmuştur. Gerekli olan bu iklim verileri tez çalışması kapsamında iklimsel farklılıkların etkisini yol tasarımı konusunda anlayabilmek için 4 farklı şehir için seçilmiştir. Bu şehirler Akdeniz Bölgesi için Adana, Ege Bölgesi için İzmir, Karadeniz Bölgesi için Samsun ve Doğu Anadolu Bölgesi için Erzurum seçilmiştir. Türkiye'nin 4 farklı bölgesinden seçilen bu şehirler için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden son 5 yıla ait saatlik hava sıcaklığı, saatlik yağış, saatlik rüzgâr hızı, saatlik nispi nem, saatlik güneş alma yüzdesi verileri istenmiştir. İstenilen verilerde bazı saatlerde ya da bazı aylarda ölçüm değerlerinde eksiklikler belirlenmiştir. Belirlenen bu eksikliklerin hangi saat aralığında olduğuna bakılarak çeşitli şekillerde veriler tamamlanmıştır. Örneğin eksik olan veri sadece belirli saatler arasında ise; o saatten öncesi ve sonrasının ortalaması alınıp eksik saat değerleri tamamlanmıştır. Eğer eksik veriler sadece saat aralığında değil de komple ölçüm yapılan ayda eksik ise; bir önceki yıl içerisinde aynı ayda bulunan saatlik değerler kullanılarak eksikler tamamlanmıştır. Eksikler tamamlandıktan sonra son 5 yılı içeren 4 farklı şehrin saatlik verileri tek tek tablo haline getirilerek düzenlenmiştir. Daha sonra bu

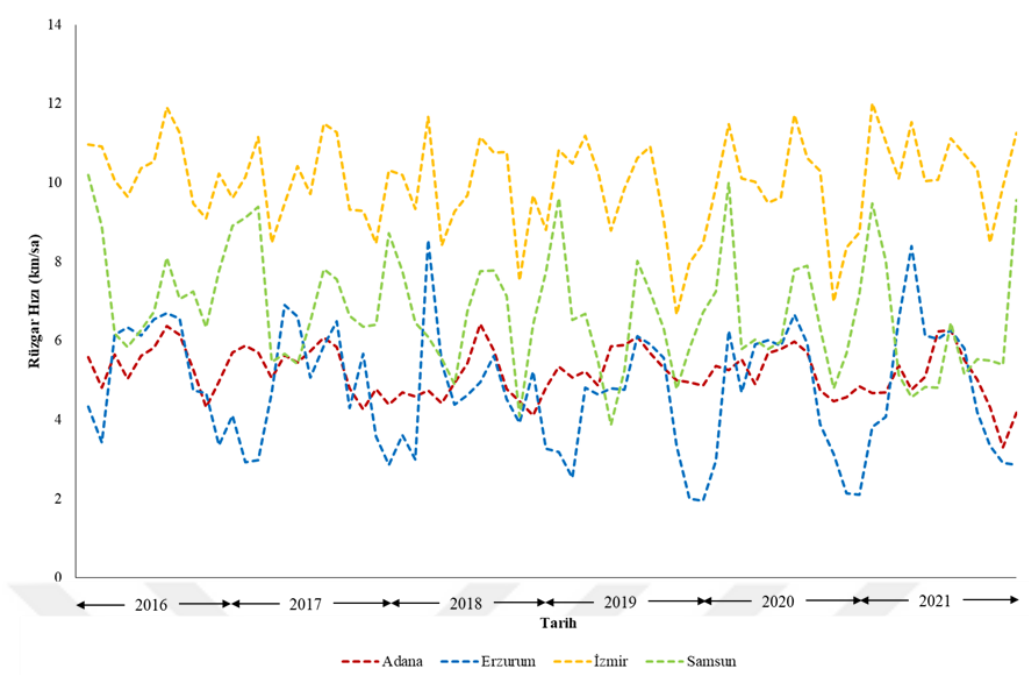
tablonun AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programında kullanılabilmesi için, verilerin programa nasıl aktarılacağı AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanım kılavuzundan yararlanılmıştır.

İklimsel veri arşivleri ".hcd" dosyalarını içerir. Bu veri dosyaları seçtiğimiz arşivden çıkarılmalı ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programının kurulu olduğu sistemdeki belirli bir klasöre manuel olarak yerleştirilmelidir. Belirli klasör konumu seçtiğimiz iklim verilerinin ABD birimi mi yoksa SI mı olduğuna ve ME Tasarım sisteminizin 32 bit mi yoksa 64 bit Windows mu kullandığına bağlı olarak farklı klasör konumları vermiştir. Input dosyası haline getirilen iklim verilerimiz AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programına aktarılmıştır (AASHTO, 2024). Tasarım programına eklenen iklim verileri sonucunda elde edilen grafikler aşağıda sunulmuştur.

2.1.1. Rüzgâr Hızı

Şekil 2.1’de yatay ekseninde bulunan aylık süre zarfını göstermekte olup, dikey ekseninde gösterilmekte olan rüzgâr hızını temsil etmektedir. Şekil 2.1’de 4 farklı şehir, farklı renklerle sembolize edilmiştir.

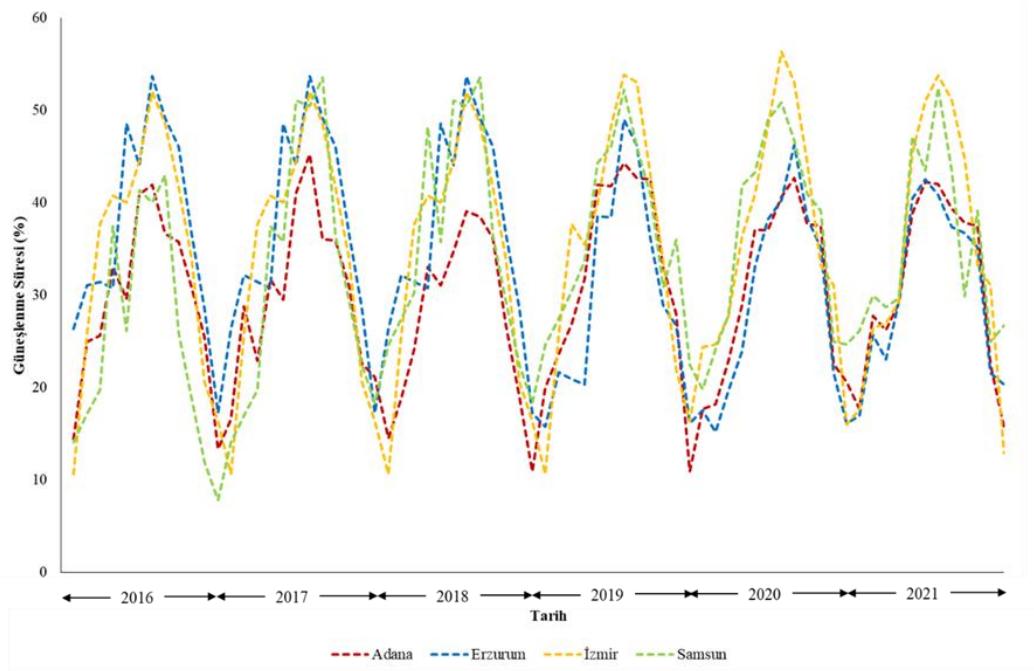
Şekil 2.1’de 2016-2021 yılları arasında 4 farklı şehirdeki ortalama rüzgâr hızı değerlerinin değişimi sunulmuştur. Bu grafik incelendiğinde ortalama rüzgâr hızı değerlerine göre en çok rüzgâr alan illerin sırasıyla İzmir ve Samsun olduğu, daha sonra da Erzurum ve Adana’nın benzer miktarlarda ve diğer iki ilden daha az rüzgâr aldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.1. Şehirlere göre aylık rüzgâr hızı grafiği

2.1.2. Güneşlenme Süresi

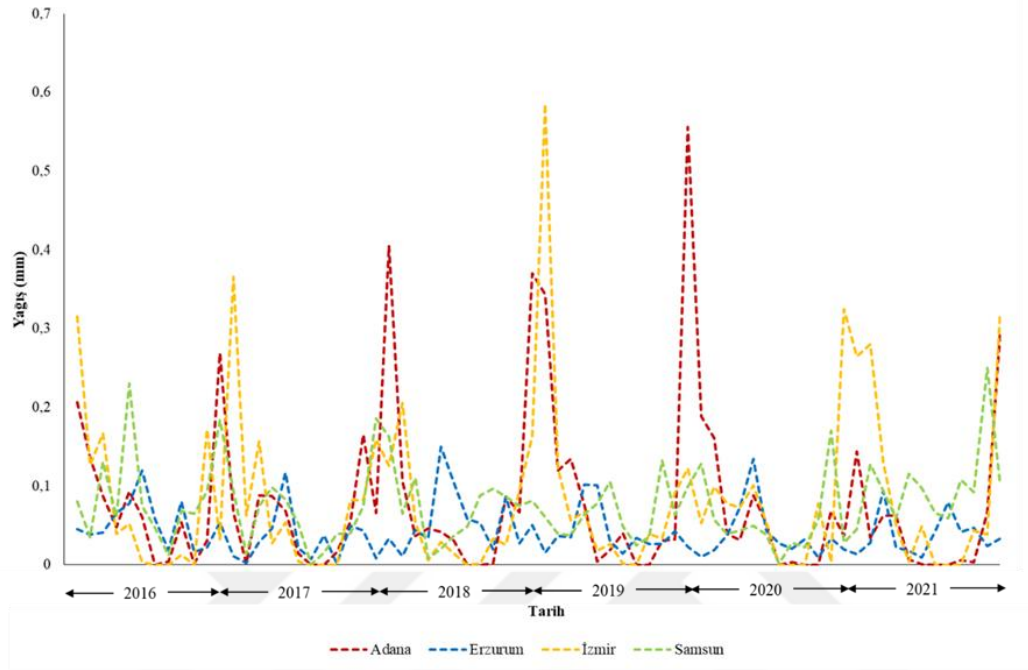
Şekil 2.2’de 2016-2021 yılları arasında 4 farklı şehirdeki ortalama yüzde güneşlenme süresi değerleri sunulmuştur.



Şekil 2.2. Şehirlere göre aylık güneşlenme süresi grafiği

2.1.3. Yağış

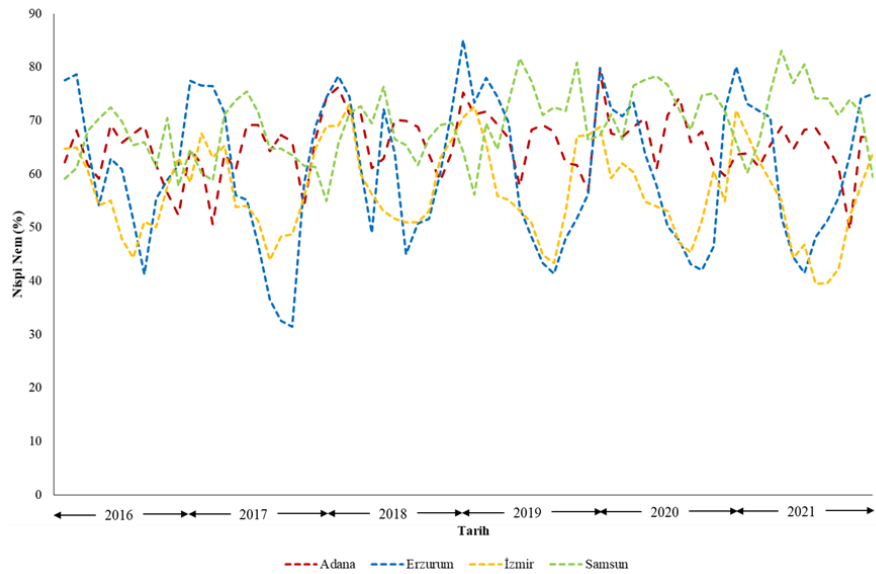
Şekil 2.3'te 2016-2021 yılları arasında 4 farklı şehirdeki ortalama yağış değerleri sunulmuştur.



Şekil 2.3. Şehirlere göre aylık yağış grafiği

2.1.4. Nispi Nem

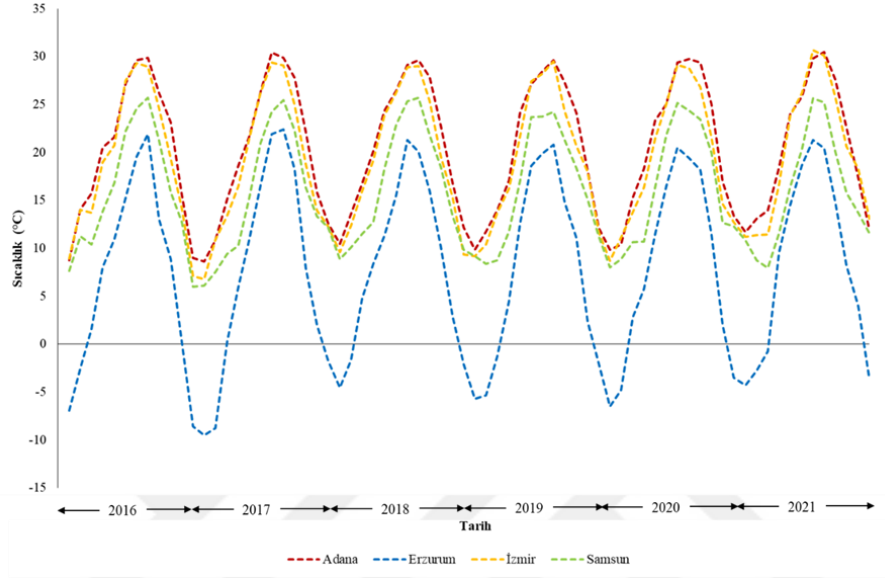
Şekil 2.4'te 2016-2021 yılları arasında 4 farklı şehirdeki ortalama yüzde nispi nem değerleri sunulmuştur.



Şekil 2.4. Şehirlere göre aylık nispi nem grafiği

2.1.5. Sıcaklık

Şekil 2.5'te 2016-2021 yılları arasında 4 farklı şehirdeki ortalama sıcaklık değerleri sunulmuştur.



Şekil 2.5. Şehirlere göre sıcaklık grafiği

2.2. YOGT (Yıllık Ortalama Günlük Trafik)

Yol projelerinin ana parametresi proje trafiği olup, karayolu planlama, projelendirme, yapım, üstyapı tasarımı, trafik güvenliği, çevresel değerlendirmeler vb. için gereklidir. Herhangi bir karayolu projesi başlamadan önce, proje yapılan kesime ait tahmini YOGT değerleri bilinmelidir. YOGT değeri doğrudan sürekli sayım istasyonlarından alınabilir. Ancak her yerde 365 gün boyunca sürekli sayım yapmak mümkün değildir, bu nedenle kısa süreli sayım istasyonlarından elde edilen ortalama günlük trafik, aylık değişim katsayıları kullanılarak YOGT değerine dönüştürülür (KGM, 2008).

Tez çalışması kapsamında AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programında trafik yoğunluklarındaki etkileri görebilmek için 3 farklı değer seçilmiştir. Değerler 1000, 2500 ve 4000 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu veriler trafiğin az, orta ve yüksek yoğunluğunu temsil etmektedir.

2.3. Güvenilirlik

Üstyapı projesinin kriterlerinin, proje süresi boyunca trafik ve çevre koşulları altında projenin beklenen şartlarını karşılama olasılığı, gelecekteki trafik tahminlerinin ve servis kabiliyetindeki sapmaların belirli bir sınır içinde tutulabilmesi için güvenilirliğinin belirlenmesi gerekmektedir. (KGM, 2008)

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi'ndeki güvenilirlik değerleri esas alınarak AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programına aktarılmıştır. Projelendirme rehberinde bulunan güvenlik değerleri Tablo 2.1'de belirtilmektedir.

Tablo 2.1. Tavsiye edilen güvenilirlik değerleri. (KGM, 2008)

Yolun Sınıfı	Şartname Güvenilirlik Değeri, R %
Otoyollar	95
Devlet Yolu	85
İl Yolu	70

2.4. Operasyonel Hız (km/sa)

Yollarda hız sınırları, Karayolları Trafik Kanunu'na göre trafik güvenliğini sağlamak ve can ve mal kayıplarını önlemek için önemlidir. Bu yüzden tez çalışmasında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu 2022 yılı için Türkiye'de araçların uyması gereken yasal hız sınırları kullanılmıştır. Bu hız sınırları il yolları için 90 km/sa, devlet yolları için 110 km/sa ve otoyollar için 120 km/sa kullanılmıştır.

2.5. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR, %)

Tabanın CBR değeri üstyapı tabakalarının kalınlıklarını belirleyen önemli faktörlerden birisidir. Bu yüzden programda zeminin taşıma gücü kapasitesini değerlendirebilmek için 3 farklı CBR değeri seçilmiştir. Değerler 20, 40 ve 60 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu veriler az, orta ve yüksek dayanım sınıflarına sahip zeminleri kapsayacak şekilde temsil etmektedir.

Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), dolgu barajlar, köprü ayakları, otoyollar ve havaalanları gibi mühendislik yapılarının alt taban ve taban malzemelerinin dayanımını değerlendirmek için kullanılır.

2.6. Proje Lokasyonu

Tez çalışması kapsamında kullanılacak olan AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programında ülkemiz lokasyonları olmadığı için iklim verileri kısmında da bahsedildiği üzere Amerika’da benzer hava durumu şartlarına sahip 4 farklı şehir belirlenmiştir. Bu şehirler Akdeniz Bölgesi için Adana, Ege Bölgesi için İzmir, Karadeniz Bölgesi için Samsun ve Doğu Anadolu Bölgesi için Erzurum seçilmiştir. Proje lokasyonunda kullanılan farklı bölge ve şehirler program üzerinde bölgesel farklılıkları ve sonuçları görmemizi sağlayacaktır. Proje lokasyonu için seçilen Adana, İzmir, Samsun ve Erzurum illeri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden 2016-2021 yılları arasındaki saatlik güneşlenme süresi, rüzgâr hızı, nispi nem ve sıcaklık değerleri temin edilmiştir.

2.7. Tasarım Ömrü

Esnek üstyapıların proje süresi, yolun kullanım biçimi ve finansal olanaklar tarafından belirlenir. Projenin başlangıç servis kapasitesinden son servis kapasitesine düşene kadar geçen yıl sayısı proje süresi olarak adlandırılır. (KGM, 2008)

Esnek Üstyapı Tasarım Rehberi esas alınarak tasarım ömrü bitümlü sıcak karışımli yollarda 20 yıl olarak seçilmiştir.

2.8. Tabaka Kalınlık Değeri

Öncelikle 3 farklı yol sınıfı (il yolu, devlet yolu, otoyol), 3 farklı YOGT ve 3 farklı zemin dayanım durumu (toplam 27 farklı senaryo) (Tablo 2.2) için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi (KGM, 2008) kullanılarak aşınma, binder ve bitümlü temel tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Tablo 2.2 incelendiğinde, tüm yol sınıfları ve tasarım senaryoları için aşınma tabaka kalınlığının 50 mm çıktığı, binder ve bitümlü temel tabaka kalınlıklarının ise yol sınıfı ve trafik yoğunluğuna göre değişik sonuçlar aldığı gözlemlenmektedir. Örneğin, YOGT değeri 1000 olan bir tasarım senaryosu için il yolu sınıfına sahip bir yolda binder ve bitümlü

temel kalınlıkları sırasıyla 60 ve 80 mm olarak tespit edilmişken bu değerler devlet yolu için 70 ve 90 mm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2.2. Trafik yüküne göre belirlenen tabaka kalınlıkları

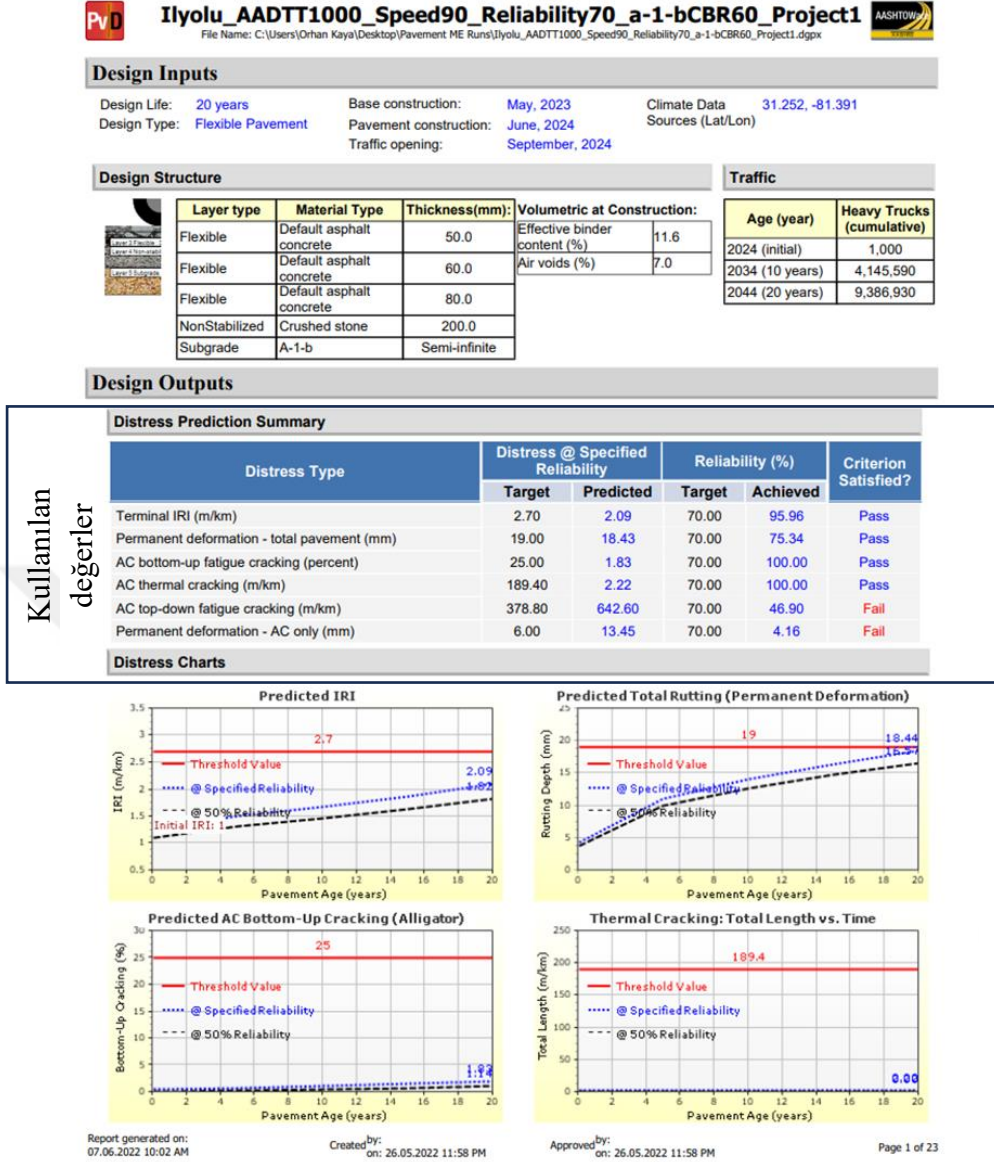
Yol Tipi	İl Yolu	Devlet Yolu	Otoyol
Trafik (YOGT)	1000; 2500; 4000		
Güvenilirlik (%)	70	85	95
Trafik Kategorileri (M: Milyon)	21.7M; 54.2M; 86.7M		
Aşınma Tabakası (mm)	50; 50; 50		
Binder Tabakası (mm)	60; 70; 80	70; 80; 100	80; 100;100
Bitümlü Temel (mm)	80; 90; 100	90; 10; 110	100; 120; 140
PMT, Kırmataş (mm)	200		
Taban Zemini			

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında öncelikle 27 farklı tasarım senaryosu için Türkiye’de kullanılan Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi’ne göre tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Daha sonra ise bu 27 farklı tasarım senaryosu ve Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi’ne göre belirlenen tabaka kalınlıkları baz alınarak AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programı tarafından 4 farklı şehir için iklim verileri de kullanılarak performans analizi gerçekleştirilmiştir. Performans analizleri sonucu 4 farklı şehirde il yolu, devlet yolu ve otoyol olmak üzere farklı trafik yoğunlukları ve hızlarına göre seçilen kalınlıkların yeterli olup olmamasının analizi yapılmıştır. Analizler; IRI, Kalıcı Deformasyon (tüm tabaka toplamı için), A.Y. (Aşağıdan Yukarıya) Yorulma Çatlama, Termal Çatlama, Y.A. (Yukarıdan Aşağıya) Yorulma Çatlama ve Kalıcı Deformasyon-AC (asfalt tabakası için) performans parametreleri üzerinden incelenip her bir şehir için tablo haline getirilmiştir.

Tablo oluşturulurken AASHTO AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programı üzerinden yaptığımız hesaplamaların tüm verileri data olarak alınıp, 4 farklı şehir için (Adana, Erzurum, Samsun ve İzmir) yapılan toplamda 108 adet kombinasyondaki analiz sonuçları incelenmiştir. Ülkemizde AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programı tarafından kullanılmış halihazırda mekanistik-ampirik tasarım yöntemi bulunmamaktadır bu yüzden programda yüklü bozulma tipleri için nihai izin verilebilir değerler belirlenememiştir. Belirlenemeyen bu değerler program tarafından önceden tanımlanmış (default) olup, aşağıdaki program çıktısında işaretlenen alanda yer alan “Target” değerleri hedef değer olarak alınmıştır. Hesaplamalar, oluşturulan yolun 20 senelik tasarım ömrünün analizinde işaretli değerleri sağlayıp sağlayamamasına göre tablolar haline getirilmiştir.

Aşağıda örnek bir analiz sonucu ve bu analiz sonucuna göre elde edilen veriler sunulan Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.1. AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi Program Örnek Çıktısı

Şekil 3.1’de çerçeve içerisine alınmış olan tablodan IRI (m/km), Kalıcı Deformasyon (toplam katmanlardaki deformasyon (mm)), A.Y Yorulma Çatlama, Termal Çatlama (m/km), Y.A Yorulma Çatlama (m/km) ve Kalıcı Deformasyon-AC (asfalt yüzeyindeki deformasyon (mm)) değerlerinin hedeflenen değere ulaşip ulaşmadıkları kontrol edilerek 108 adet hesaplama çıktısı karşılaştırılmıştır. Program çıktısı olan tüm değerler şehirlere göre ayrıştırılıp, işaretli alanda gösterilen veriler Excel’de tablo haline getirilmiştir. Tablo haline getirilen veriler hedeflenen değere ulaşip, ulaşamamalarına göre tekrar tablo haline getirilip, hedefe ulaşamayan

ve yeterli kalınlığa sahip olmadığı tespit edilen değerler kırmızı renk, belirtilen hedefe ulaşılan değerler ise yeşil renk ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1’de AASHTOWare Pavement ME Design programında yer alan hedef değerler verilmiştir.

Tablo 3.1. Bozulma türleri ve hedef değer tablosu

Bozulma Türü	Birim	Sınır Değer
IRI	m/km	2.70
Kalıcı Deformasyon	mm	19.00
(Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için)		
A.Y Yorulma Çatlama	%	25.00
Termal Çatlama	m/km	189.40
Y.A Yorulma Çatlama	m/km	378.80
Kalıcı Deformasyon	mm	6.00
(Asfalt tabakası kalınlığı için)		

Aşağıda Adana, Erzurum, Samsun ve İzmir için IRI (m/km), Kalıcı Deformasyon (mm), A.Y Yorulma Çatlama (%), Termal Çatlama (m/km), Y.A Yorulma Çatlama (m/km), Kalıcı Deformasyon-AC (mm) tabloları alt başlıklar halinde her bir il için ayrı ayrı verilmiştir. Tablo 3.1’de sunulan bozulma türleri ve her bir bozulma türü için sınır değerlere göre yapılan hesaplamalar sonucunda trafik yükü, güvenilirlik katsayısı ve CBR değerine göre IRI değerlerini sağladığını belirtecek şekilde yeşil renk ile gösterilmiştir. Yine aynı tablolarda trafik yükü, güvenilirlik katsayısı ve CBR değerine göre belirtilen hesaplamalar sonucunda hedef değerlerin sağlamayan değerler kırmızı renk ile gösterilmiştir.

3.1. AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi Performans Analizi Sonuçları

3.1.1. Adana

Tablo 3.2 Adana ili için 3 farklı yol sınıfı (%70, %85 ve %95 güvenilirlik değerleri), 3 farklı trafik yoğunluğu (1000, 2000 ve 3000 YOGT değerleri) ve üç farklı zemin dayanım değeri (CBR 20, 40 ve 60 değerleri) kullanılarak elde edilen 27 farklı tasarım senaryosu için

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programı tarafından 20 yıllık tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerini göstermektedir.

Hesaplama sonuçlarına göre elde edilen veriler, trafik yükünün 1000 olduğu durumda güvenilirlik değerleri %70 ve %85 iken düzgünsüzlüğün sınırı aşmadığı fakat güvenilirliğin %95 olduğu durumda sınır değeri aştığı, trafik yükünün 2500 olduğu durumda ise güvenilirlik 70 iken düzgünsüzlüğün sınırı aşmadığı fakat güvenilirliğin %85 ve %95 olduğu durumda sınır değeri aştığı saptanmıştır. Son olarak trafik yükünün 4000 olduğu durumda sadece güvenilirliğin %70 ve CBR değerinin 20 ve 60 olduğu durumda sınır değeri aşmadığı diğer durumlarda ise sınır değerleri aştığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.2. Adana ili için IRI tablosu (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	2.23	2.29	2.23	2.60	2.65	2.60	2.64	2.74	2.69
% 85	2.48	2.54	2.48	2.77	2.83	2.77	2.97	3.02	2.96
% 95	2.79	2.86	2.78	3.11	3.17	3.10	3.32	3.37	3.31

Adana ili için Tablo 3.3 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı CBR değerlerinde güvenilirlik değerinin artması ile birlikte tüm tabaka kalınlıklarında oluşan toplam kalıcı deformasyonun da doğru orantılı bir şekilde arttığı ve izin verilebilir değerleri aştığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.3. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için Adana ili Kalıcı Deformasyon tablosu (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	28.67	27.8	27.13	41.04	39.99	39.32	44.14	44.54	44.25
% 85	30.17	29.18	28.78	40.63	39.62	38.97	48.17	46.94	46.66
% 95	32.76	31.73	31.34	43.85	42.65	42.36	52.16	50.86	50.62

Adana ili için Tablo 3.4 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı CBR değerlerinde ve aynı trafik yükü olan sütunlarda, güvenilirlik değerleri arttıkça doğru orantılı olarak tablo aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdece değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması (%)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	2.91	3.1	2.78	11.5	11.65	11.38	6.46	8.55	6.72
% 85	4.47	5.07	3.65	11.19	12.01	10.55	11.19	13.22	9.78
% 95	5.84	6.69	4.71	17.93	19.72	14.63	16.86	18.81	13.4

Adana ili için Tablo 3.5 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlak değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir. Tüm güvenilirlik değerlerinde trafik yükü artmış olsa bile termal çatlak değerlerinin sabit kaldığı belirlenmiştir. Bu şartlar altında Adana ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden almış olduğumuz hava durumu verileri üzerinden ilerleyecek olursak, bu tablo için Adana da rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, yağış ve nispi nem için kullanılan tabaka kalınlıklarının yeterli olduğu ve termal çatlak değerlerinin kabul edilebilir bir seviyede oluşacağı yorumu yapılabilir.

Tablo 3.5. Adana ili için Termal Çatlama (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22
% 85	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
% 95	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55

Tablo 3.6'da Adana ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.6. Adana ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	607.40	577.87	726.35	1209.23	1161.37	1379.39	898.38	975.34	1124.98
% 85	935.03	913.11	941.01	1140.10	1077.42	1319.17	1255.12	1171.30	1326.94
% 95	1197.57	1174.98	1205.74	1542.36	1488.94	1583.72	1516.64	1427.48	1589.58

Tablo 3.7’de Adana ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.7. Adana ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	22.04	21.69	21.86	33.83	33.28	33.55	37.55	38.35	38.94
% 85	23.48	23.04	23.45	33.81	33.29	33.54	41.49	40.73	41.34
% 95	25.29	25.48	25.92	36.94	36.28	36.86	45.4	44.59	45.24

Yukarıdaki tablolar incelendiğinde; Adana ili için, hesaplanan IRI (düzgünsüzlük) değerleri açısından bazı tasarım senaryolarında ilgili sınır değerin sağlandığı bazıları için ise sağlanmadığı gözlemlenmiştir. Kalıcı deformasyon sonuçları incelendiğinde tüm tasarım senaryolarında hem tüm tabakalar hem de asfalt tabakaları için hesaplanan kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili sınır değeri aştığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında, tüm tasarım senaryoları için tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlama ve termal çatlama değerlerinin ilgili sınır değerleri aşmadığı belirlenmiştir. Yukarıdan aşağıya çatlama sonuçları incelendiğinde ise tüm tasarım senaryoları için ilgili sınır değerlerin aşıldığı tespit edilmiştir.

3.1.2. Erzurum

Tablo 3.8 Erzurum ili için 3 farklı yol sınıfı (70, 85 ve 95 güvenilirlik değerleri), 3 farklı trafik yoğunluğu (1000, 2000 ve 3000 YOGT değerleri) ve üç farklı zemin dayanım değeri (CBR 20, 40 ve 60 değerleri) kullanılarak elde edilen 27 farklı tasarım senaryosu için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programı tarafından 20 yıllık tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerini göstermektedir. Tablo 3.8 incelenecek olursa

Erzurum için trafik yükü 1000 ve CBR değeri %40 olan tasarım senaryosu hariç diğer tüm senaryolarda, bununla birlikte trafik yükü 2500 ve 4000 durumları için sadece %70 ve %85 güvenilirlik değerlerinde yol tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerinin ilgili sınır değerin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bir yolun IRI değerinin artması, düzgünsüzlüğünün artması demektir. Bu değer artışıyla doğru orantılı olarak yolun düzgünsüzlüğü artar ve kaliteli sürüş sağlanamamış olur.

Tablo 3.8. Erzurum ili için IRI tablosu (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	2.11	2.17	2.11	2.33	2.39	2.33	2.35	2.43	2.38
% 85	2.35	2.42	2.35	2.52	2.58	2.52	2.64	2.70	2.64
% 95	2.65	2.73	2.65	2.84	2.90	2.83	2.96	3.03	2.96

Erzurum ili için Tablo 3.9 incelendiğinde, iki tasarım senaryosu hariç (%70 güvenilirlik, 1000 trafik yükü ve iki CBR değeri (40 ve 60)) diğer tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Tablo 3.9’da da gösterildiği gibi, trafik yükü değerleri arttıkça, CBR değerleri azaldıkça ve güvenilirlik değerleri arttıkça hesaplanan kalıcı deformasyon değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Aynı tasarım senaryoları için Adana ve Erzurum tabloları karşılaştırıldığında (Tablo 3.3 ve Tablo 3.9), aynı tasarım senaryolarında Erzurum’daki yol kesimlerinde Adana’dakilere göre ortalama 10 mm daha az tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon oluşacağı hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise Adana’da ortalama hava sıcaklıklarının yıl boyu Erzurum’a göre daha fazla olduğu ve özellikle asfalt tabakalarında buna bağlı olarak daha fazla kalıcı deformasyon gözlemlenebileceği olabilir. Bu da iklimsel verilerin yol performansına etkisinin önemli düzeyde olabileceğinin bir kanıtıdır.

Tablo 3.9. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için Erzurum ili Kalıcı Deformasyon tablosu (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	19.18	18.48	17.79	26.61	25.80	25.09	28.40	28.49	28.08
% 85	20.38	19.53	19.02	26.50	25.69	25.04	31.27	30.29	29.88
% 95	22.20	21.33	20.81	28.78	27.84	27.35	34.02	33.01	32.60

Erzurum ili için Tablo 3.10 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı CBR değerlerinde ve aynı trafik yükü olan sütunlarda, güvenilirlik değerleri arttıkça doğru orantılı olarak tablo aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdece değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Tablo 3.10. Erzurum ili için Aşağıdan Yukarıya Yorulma Çatlaması (%)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	1.56	1.6	1.52	7.63	8.03	7.16	2.04	2.55	2.06
%85	2.19	2.27	2.07	2.99	3.14	2.84	3	3.26	2.65
%95	2.89	2.98	2.75	4.18	4.66	3.62	3.82	4.15	3.4

Erzurum ili için Tablo 3.11 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlak değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir. CBR değerlerindeki değişimlerin yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerine etkisinin neredeyse hiç olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise termal çatlama bozulma tipinin asfalt tabakalarında gözlemlenen bir bozulma tipi olmasından ve asfalt malzeme özellikleri ve iklimsel verilerin bu bozulma tipinin miktarını belirleyen ana etmenler olmasından dolayıdır.

Tablo 3.11. Erzurum ili için Termal Çatlama (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	2.05	2.04	2.04	2.05	2.04	2.04	2.04	2.03	2.03
%85	4.04	4.02	4.02	4.01	4.01	4.01	4.02	4.01	4.01
%95	6.39	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37

Tablo 3.12’de Erzurum ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.12. Erzurum ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	423.55	392.96	492.48	865.61	796.11	1007.99	492.41	512.43	638.74
%85	683.01	655	698.1	779.54	721.31	895.11	777.33	704.36	834.66
%95	933.57	903.39	951.96	1106.27	1046.88	1152.26	1027.27	951.96	1087.44

Tablo 3.13’te Erzurum ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir. Tablo 3.9 için yapılan yorumlara benzer şekilde, aynı tasarım senaryoları için Adana ve Erzurum tabloları karşılaştırıldığında (Tablo 3.7 ve Tablo 3.13), aynı tasarım senaryolarında Erzurum’daki yol kesimlerinde Adana’dakilere göre toplam BSK tabakalarında toplam ortalama 9.5 mm daha az kalıcı deformasyon oluşacağı hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise Adana’da ortalama hava sıcaklıklarının yıl boyu Erzurum’a göre daha fazla olduğu ve özellikle asfalt tabakalarında buna bağlı olarak daha fazla kalıcı deformasyon gözlemlenebileceği olabilir.

Tablo 3.13. Erzurum ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	12.89	12.65	12.79	19.77	19.4	19.61	22.21	22.67	23.12
%85	13.92	13.63	13.92	20.04	19.69	19.89	24.95	24.42	24.88
%95	15.55	15.25	15.56	22.15	21.7	22.1	27.58	27.03	27.51

3.1.3. İzmir

Tablo 3.14 İzmir ili için 3 farklı yol sınıfı (70, 85 ve 95 güvenilirlik değerleri), 3 farklı trafik yoğunluğu (1000, 2000 ve 3000 YOGT değerleri) ve üç farklı zemin dayanım değeri (CBR 20, 40 ve 60 değerleri) kullanılarak elde edilen 27 farklı tasarım senaryosu için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programı tarafından 20 yıllık tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerini göstermektedir. Tablo 3.14 incelenecek

olursa İzmir için trafik yükü 1000 ve CBR değeri %40 olan tasarım senaryosu hariç diğer tüm senaryolarda, bununla birlikte trafik yükü 2500 için %70 ve %85 güvenilirlik değerlerinde ve trafik yükü 4000 için ise sadece %70 güvenilirlik değerlerinde yol tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerinin ilgili sınır değerin altında kaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.14. İzmir ili için IRI tablosu (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
% 70	2.12	2.18	2.12	2.42	2.48	2.42	2.45	2.54	2.49
% 85	2.37	2.43	2.36	2.60	2.66	2.60	2.75	2.81	2.75
% 95	2.66	2.74	2.66	2.92	2.99	2.92	3.09	3.15	3.08

İzmir ili için Tablo 3.15 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı CBR değerlerinde güvenilirlik değerinin artması ile birlikte tüm tabaka kalınlıklarında oluşan toplam kalıcı deformasyonun da doğru orantılı bir şekilde arttığı ve izin verilebilir değerleri aştığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.15. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için İzmir ili kalıcı deformasyon tablosu kalıcı deformasyon (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	23.9	23.16	22.48	33.81	32.93	32.22	36.26	36.4	36.05
%85	25.3	24.42	23.94	33.7	32.84	32.16	39.65	38.57	38.22
%95	27.54	26.63	26.14	36.54	35.5	35.07	43.05	41.92	41.6

İzmir ili için Tablo 3.16 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.16. İzmir ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması (%)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	2.12	2.21	2.04	10.46	10.64	10.28	3.91	5.73	4.03
%85	3.01	3.26	2.65	6.52	7.12	5.95	6.93	8.05	5.34
%95	3.86	4.22	3.43	10.48	12.21	7.83	9.24	10.89	6.96

İzmir ili için Tablo 3.17 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlak değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir. Tüm güvenilirlik değerlerinde trafik yükü artmış olsa bile termal çatlak değerlerinin sabit kaldığı belirlenmiştir.

Tablo 3.17. İzmir ili için Termal Çatlama (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22
%85	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
%95	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55

Tablo 3.18’da İzmir ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.18. İzmir ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	546.26	512.43	646.51	1107.72	1044.46	1268.55	759.34	805.79	961.87
%85	842.66	820.35	856.9	1018.33	948.95	1175.25	1077.36	998.55	1157.69
%95	1100.05	1076.66	1116.79	1385.59	1329.51	1437.42	1333.57	1252.75	1417.48

Tablo 3.19’da İzmir ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.19. İzmir ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	17.48	17.21	17.36	26.83	26.41	26.62	29.88	30.4	30.91
%85	18.75	18.44	18.75	27.09	26.7	26.88	33.11	32.53	33.05
%95	20.84	20.51	20.83	29.76	29.25	29.69	36.42	35.81	36.35

3.1.4. Samsun

Tablo 3.20 Samsun ili için 3 farklı yol sınıfı (70, 85 ve 95 güvenilirlik değerleri), 3 farklı trafik yoğunluğu (1000, 2000 ve 3000 YOGT değerleri) ve üç farklı zemin dayanım değeri (CBR 20, 40 ve 60 değerleri) kullanılarak elde edilen 27 farklı tasarım senaryosu için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programı tarafından 20 yıllık tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerini göstermektedir. Tablo 3.20 incelenecek olursa Samsun için trafik yükü 2500 ve 4000 durumlarında sadece %95 güvenilirlik değerlerinde yol tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerinin ilgili sınır değerinin altında kaldığı, diğer tüm tasarım senaryolarında ise ilgili kriterin sağlandığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.20. Samsun ili için IRI tablosu (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	2.03	2.09	2.03	2.28	2.33	2.28	2.29	2.38	2.32
%85	2.27	2.34	2.26	2.45	2.52	2.45	2.58	2.64	2.57
%95	2.56	2.63	2.55	2.76	2.83	2.76	2.9	2.96	2.89

Samsun ili için Tablo 3.21 incelendiğinde, bir tasarım senaryosu hariç (%70 güvenilirlik, 1000 trafik yükü ve 60 CBR değeri)) diğer tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Tablo 3.21’de da gösterildiği gibi, trafik yükü değerleri arttıkça, CBR değerleri azaldıkça ve güvenilirlik değerleri arttıkça hesaplanan kalıcı deformasyon değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.21. Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için Samsun ili Kalıcı Deformasyon tablosu (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	20.2	19.5	18.76	28.18	27.34	26.58	30.13	30.16	29.65
%85	21.46	20.66	20.07	28.14	27.37	26.66	33.06	32.09	31.56
%95	23.41	22.56	21.97	30.56	29.66	29.13	35.97	34.95	34.44

Samsun ili için Tablo 3.22 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir

Tablo 3.22. Samsun ili için Aşağıdan Yukarıya Yorulma Çatlaması (%)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	1.76	1.83	1.7	9.21	9.54	8.83	2.61	3.65	2.63
%85	2.45	2.58	2.26	3.97	4.38	3.64	4.1	4.72	3.34
%95	3.18	3.35	2.97	5.96	7	4.66	5.28	6.16	4.26

Samsun ili için Tablo 3.23 incelendiğinde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlak değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.23. Samsun ili için Termal Çatlama (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22
%85	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
%95	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55

Tablo 3.24'te Samsun ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.24. Samsun ili için Yukarıdan Aşağıya Yorulma Çatlaması (m/km)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	490.37	452.19	577.87	1000.32	927.25	1161.36	613.3	626.97	798.07
%85	765.1	729.8	785.54	893.15	822.33	1038.02	913.11	818.36	992.56
%95	1020.88	983.41	1040.36	1240.52	1164.64	1297.28	1164.75	1068.19	1246.64

Tablo 3.25'te Samsun ili için uygulanmış olan tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.25. Samsun ili için Kalıcı Deformasyon AC (Asphalt Concrete) (mm)

Güvenilirlik	Trafik / CBR								
	1000			2500			4000		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
%70	13.9	13.75	13.79	21.31	20.92	21.14	23.89	24.27	24.66
%85	15.03	14.74	15.01	21.64	21.3	21.52	26.67	26.14	26.54
%95	16.8	16.48	16.78	23.91	23.5	23.89	29.47	28.91	29.34

3.1.5. Performans sonuçlarının iller bazında karşılaştırmalı analizi

- **IRI sonuçları incelendiğinde;**

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için sırasıyla Tablo 3.2, Tablo 3.8, Tablo 3.14 ve Tablo 3.20'de sunulan IRI sonuçları iller bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlgili tablolarda sunulan sonuçlarda Tablo 3.1'de IRI için sınır değerin 2.70 m/km olduğu göz önüne alındığında;

- **Adana ili için;** Trafik yükünün 1000 olduğu durumda güvenilirlik değerleri %70 ve %85 iken düzgünsüzlüğün sınırı aşmadığı fakat güvenilirliğin %95 olduğu durumda sınır değeri aştığı, trafik yükünün 2500 olduğu durumda ise güvenilirlik 70 iken düzgünsüzlüğün sınırı aşmadığı fakat güvenilirliğin %85 ve %95 olduğu durumda sınır değeri aştığı saptanmıştır. Son olarak trafik yükünün 4000 olduğu durumda sadece güvenilirliğin %70 ve CBR değerinin 20 ve 60 olduğu durumda sınır değeri aşmadığı diğer durumlarda ise sınır değerleri aştığı gözlemlenmiştir.

- **Erzurum ili için;** Trafik yükü 1000 ve CBR değeri %40 olan tasarım senaryosu hariç diğer tüm senaryolarda, bununla birlikte trafik yükü 2500 ve 4000 durumları için sadece %70 ve %85 güvenilirlik değerlerinde yol tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerinin ilgili sınır değerin altında kaldığı gözlemlenmiştir
- **İzmir ili için;** trafik yükü 1000 ve CBR değeri %40 olan tasarım senaryosu hariç diğer tüm senaryolarda, bununla birlikte trafik yükü 2500 için %70 ve %85 güvenilirlik değerlerinde ve trafik yükü 4000 için ise sadece %70 güvenilirlik değerlerinde yol tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerinin ilgili sınır değerin altında kaldığı gözlemlenmiştir.
- **Samsun ili için;** Trafik yükü 2500 ve 4000 durumlarında sadece %95 güvenilirlik değerlerinde yol tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerlerinin ilgili sınır değerin altında kaldığı, diğer tüm tasarım senaryolarında ise ilgili kriterin sağlandığı gözlemlenmiştir.

Sürüş konforu açısından yol düzgünsüzlük değerinin (IRI) az olması daha tercih edilebilir bir durumdur. Bununla birlikte IRI fonksiyonel yol performansını gösteren bir parametre olmakla birlikte yapısal performansla da ilişkilidir. Yani, genel olarak daha fazla yapısal bozulmaya maruz kalan yollarda daha fazla yol düzgünsüzlüğü gözlemlenecektir.

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için analiz edilen tasarım senaryoları incelendiğinde genellikle Samsun için tasarlanan yollarda tasarım ömrü sonunda en küçük IRI değerleri hesaplandığı, Adana için tasarlanan yollarda ise tasarım ömrü sonunda en büyük IRI değerleri hesaplandığı, Erzurum ve İzmir için ise tasarlanan yollarda tasarım ömrü sonunda birbirlerine benzer IRI değerleri hesaplandığı gözlemlenmiştir.

• **(Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için) Kalıcı deformasyon sonuçları incelendiğinde;**

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için sırasıyla Tablo 3.3, Tablo 3.9, Tablo 3.15 ve Tablo 3.21’de sunulan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon sonuçları iller bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlgili tablolarda sunulan sonuçlarda Tablo 3.1’de tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon tablosu özelinde sınır değerinin 19.00 mm olduğu göz önüne alındığında;

- **Adana ili için;** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **Erzurum ili için;** İki tasarım senaryosu hariç (%70 güvenilirlik, 1000 trafik yükü ve iki CBR değeri (40 ve 60)) diğer tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **İzmir ili için;** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **Samsun ili için;** Bir tasarım senaryosu hariç (%70 güvenilirlik, 1000 trafik yükü ve 60 CBR değeri)) diğer tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Aynı tasarım senaryoları için Adana ve Erzurum tabloları karşılaştırıldığında (Tablo 3.3 ve Tablo 3.9), aynı tasarım senaryolarında Erzurum'daki yol kesimlerinde Adana'dakilere göre ortalama 10 mm daha az tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon oluşacağı hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise Adana'da ortalama hava sıcaklıklarının yıl boyu Erzurum'a göre daha fazla olduğu ve özellikle asfalt tabakalarında buna bağlı olarak daha fazla kalıcı deformasyon gözlemlenebileceği olabilir. Bu da iklimsel verilerin yol performansına etkisinin önemli düzeyde olabileceğinin bir kanıtıdır.

- **Aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları incelendiğinde;**

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için sırasıyla Tablo 3.4, Tablo 3.10, Tablo 3.16 ve Tablo 3.22'de sunulan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları iller bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlgili tablolarda sunulan sonuçlarda Tablo 3.1'de aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması özelinde sınır değerinin %25 olduğu göz önüne alındığında;

- **Adana ili için;** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.

- **Erzurum ili için;** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.
- **İzmir ili için** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.
- **Samsun ili için;** tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için analiz edilen tasarım senaryoları incelendiğinde genellikle Erzurum için tasarlanan yollarda tasarım ömrü sonunda en küçük aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerleri hesaplandığı, Adana için tasarlanan yollarda ise tasarım ömrü sonunda en büyük aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerleri hesaplandığı gözlemlenmiştir.

- **Termal çatlama sonuçları incelendiğinde;**

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için sırasıyla Tablo 3.5, Tablo 3.11, Tablo 3.17 ve Tablo 3.23'te sunulan termal çatlama sonuçları iller bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlgili tablolarda sunulan sonuçlarda Tablo 3.1'de termal çatlama özelinde sınır değerinin 189.40 m/km olduğu göz önüne alındığında;

- **Adana ili için;** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlama değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.
- **Erzurum ili için;** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlama değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.
- **İzmir ili için** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlama değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.

- **Samsun ili için;** Tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlama değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.

Tüm güvenilirlik değerlerinde trafik yükü artmış olsa bile termal çatlak değerlerinin sabit kaldığı belirlenmiştir. Bu şartlar altında Adana ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden almış olduğumuz hava durumu verileri üzerinden ilerleyecek olursak, incelenen tüm illerde rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, yağış ve nispi nem için kullanılan tabaka kalınlıklarının yeterli olduğu ve termal çatlak değerlerinin kabul edilebilir bir seviyede oluşacağı yorumu yapılabilir.

- **Yukarıdan aşağıya yorulma çatlama sonuçları incelendiğinde;**

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için sırasıyla Tablo 3.6, Tablo 3.12, Tablo 3.18 ve Tablo 3.24'te sunulan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama sonuçları iller bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlgili tablolarda sunulan sonuçlarda Tablo 3.1'de yukarıdan aşağıya yorulma çatlama özelinde sınır değerinin 378,80 m/km olduğu göz önüne alındığında;

- **Adana ili için;** Tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **Erzurum ili için;** Tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **İzmir ili için;** Tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **Samsun ili için;** tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.6, Tablo 3.12, Tablo 3.18 ve Tablo 3.24 incelendiğinde, sabit trafik yükleri altında aynı CBR değerlerinde güvenilirlik değerleri arttıkça oluşan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama değerlerinin doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu artışın sebebi ise

güvenilirlik değerlerinin il yolu, devlet yolu ve otoyol olması ile doğru orantılı olup, yol üzerinde kullanılan araç hızı ve araç sayısı ile bağlantılı olduğu söylenebilir.

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için analiz edilen tasarım senaryoları incelendiğinde genellikle Erzurum için tasarlanan yollarda tasarım ömrü sonunda en küçük yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri hesaplandığı, Adana için tasarlanan yollarda ise tasarım ömrü sonunda en büyük yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri hesaplandığı gözlemlenmiştir.

- **Asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları incelendiğinde;**

Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için sırasıyla Tablo 3.7, Tablo 3.13, Tablo 3.19 ve Tablo 3.25'te sunulan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları iller bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlgili tablolarda sunulan sonuçlarda Tablo 3.1'de asfalt tabakasında kalıcı deformasyon özelinde sınır değerinin 6.00 mm olduğu göz önüne alındığında;

- **Adana ili için;** Tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **Erzurum ili için;** Tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **İzmir ili için;** Tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- **Samsun ili için;** Tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Aynı tasarım senaryoları için Adana ve Erzurum tabloları karşılaştırıldığında (Tablo 3.7 ve Tablo 3.13), aynı tasarım senaryolarında Erzurum'daki yol kesimlerinde Adana'dakilere göre toplam BSK tabakalarında toplam ortalama 9.5 mm daha az kalıcı deformasyon oluşacağı hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise Adana'da ortalama hava sıcaklıklarının yıl boyu Erzurum'a göre daha fazla olduğu ve özellikle asfalt tabakalarında buna bağlı olarak daha fazla kalıcı deformasyon gözlemlenebileceği olabilir.

3.2. Farklı Tabaka Kalınlıkları İçin AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi Performans Analizi Sonuçları

Bu tezin bir önceki bölümünde (Bölüm 3.1) yapılan AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri 4 şehir ve farklı tasarım senaryoları için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak hesaplanan tabaka kalınlıkları kullanılarak yapıldı. Fakat AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri sonucu bazı tasarım senaryoları için bazı performans parametrelerinin yol tasarım ömrü sonunda ilgili sınır değeri sağlayamadığı, dolayısıyla da Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak hesaplanan tabaka kalınlıklarının bu senaryolar için yeterli olmadığı gözlemlenmiştir.

Bilindiği gibi Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre üstyapı kalınlık tasarımı proje lokasyonun iklim verilerinden bağımsız olarak gerçekleşmektedir. Diğer bir deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi farklı olarak, iklimsel verilerin tabaka kalınlık tasarımında direk bir etkisi bulunmamaktadır.

Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak il yolu için tabaka kalınlıkları aşınma, binder ve bitümlü temel kalınlıkları sırasıyla 50 mm, 60mm, 80mm; 50 mm, 70 mm, 90 mm; 50 mm, 80 mm, 100 mm olacak şekilde trafik yükü 1000, 2500 ve 4000 için 3 farklı kombinasyonla Adana, İzmir, Erzurum ve Samsun için hesaplanmıştır. Devlet yolu için tabaka kalınlıkları sırasıyla 50 mm, 70mm, 90mm; 50 mm, 80 mm, 110 mm; 50 mm, 100 mm, 110 mm olacak şekilde trafik yükü 1000, 2500 ve 4000 için 3 farklı kombinasyonla Adana, İzmir Erzurum ve Samsun için hesaplanmıştır. Otoyol için tabaka kalınlıkları sırasıyla 50 mm, 80 mm, 100 mm; 50 mm, 100 mm, 120 mm; 50 mm, 100 mm, 140 mm olacak şekilde trafik yükü 1000, 2500 ve 4000 3 farklı kombinasyonla Adana, İzmir Erzurum ve Samsun için hesaplanmıştır. Fakat AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri sonucu yukarıda ifade edilen bazı tabaka kalınlık değerlerinin bazı şartları sağlayamayıp izin verilenden daha fazla tekerlek izi oluşumu, çatlama ve fazla düzgünsüzlük değerleri ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu yüzden yukarıda belirtilen tabaka kalınlıkları artırılarak farklı senaryolar oluşturulmuştur.

Her bir bitümlü sıcak karışım tabakasının (aşınma, binder ve bitümlü temel) kalınlıkları daha önce Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak hesaplanan değerlere ilave olarak hesaplanan değerlerden 1,5 ve 3 cm daha da arttırılarak tüm tasarım kombinasyonları için tekrar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizleri gerçekleştirilmiştir. Yani 50 mm, 60 mm, 80 mm olan tabaka kalınlıkları; 50 mm, 75 mm, 80 mm; 50 mm, 90 mm, 80 mm; 65 mm, 75 mm, 95 mm; 65 mm, 75 mm, 95 mm; 65 mm, 90 mm, 95 mm; 80 mm, 75 mm, 110 mm; 80 mm, 90 mm, 110 mm; 65 mm, 95 mm, 115 mm; 65 mm, 110 mm, 115 mm; 80 mm, 95 mm, 130 mm; 80 mm, 110 mm, 130 mm değerleri haline getirilip tekrar hesaplamalar yapılmıştır. Bu şekilde daha önce tek bir şehir, güvenilirlik, trafik yükü, CBR değeri ve tabaka kalınlığına sahip bir tasarım senaryosu ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizi için bu sefer (her bir tabaka kalınlığı için üç farklı değer kullanıldığından (orijinal kalınlık, (1,5 ve 3 cm arttırılmış kalınlık)), her bir tasarım senaryosu için $3 \times 3 \times 33 = 27$ farklı analiz yapılmıştır. Bunun yanında, bir önceki bölümde Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak hesaplanan tabaka kalınlıkları kullanıldığında AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak her bir şehir için (üç farklı güvenilirlik, trafik yükü ve CBR değeri için) 27 farklı tasarım senaryosu analiz edilmişken, bu sefer her bir şehir için $27 \times 27 = 729$ farklı tasarım senaryosu analiz edilmiştir. 4 farklı şehir için toplamdan $4 \times 729 = 2.916$ AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak toplamda farklı tasarım senaryosu analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde çok fazla veri olduğundan, bu kadar yüksek miktarda verinin sunumunun bu tezde gerçekleşemeyeceğinden ve de her bir şehir için veri analiz yaklaşımının benzer olacağından bu tez kapsamında sadece Adana ili için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak yapılan 243 farklı tasarım senaryosunun (3 farklı güvenilirlik, 3 farklı trafik yoğunluğu ve 27 farklı tabaka kalınlığı kombinasyonu ve CBR=40 için) performans analizleri detaylı şekilde sunulacaktır. Değiştirilen kalınlıklara göre Adana ili içinde yer alan il yolu, devlet yolu ve otoyol için IRI sonuçları, (tüm tabaka kalınlıkları toplamı için) kalıcı deformasyon sonuçları, aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları, termal çatlama sonuçları, yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları ve asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları aşağıda detaylıca sunulacak ve her bir performans parametresi için Tablo 3.1’de yer alan sınır değer de grafiklerde ayrıca gösterilecektir ve bu şekilde bir analiz gerçekleştirilecektir.

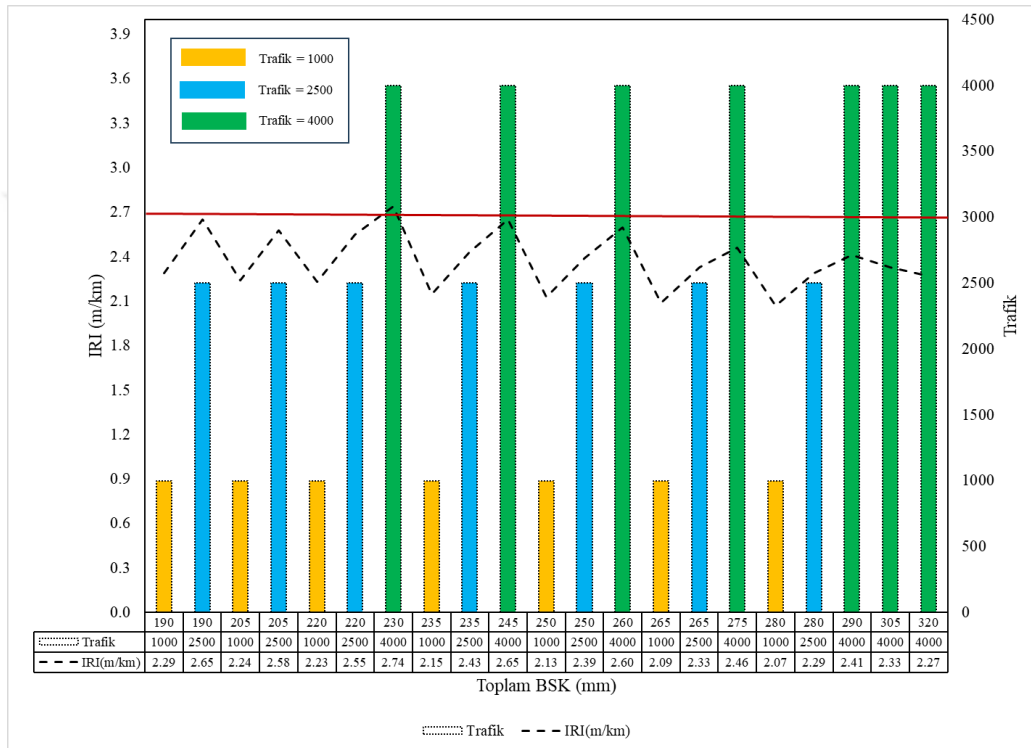
3.2.1. Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları

Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik), devlet yolu (%85 güvenilirlik) ve otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından hesaplanan IRI değerleri sırasıyla Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te sunulmuştur. Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te yer alan yatay çizgi, IRI için (Tablo 3.1) sınır değer olan 2.7 m/km değerinde çizilmiştir.

Şekil 3.2'da Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerleri sunulmuştur. Şekil 3.2'da görüldüğü gibi, her bir trafik yoğunluğu kategorisi için BSK kalınlıkları arttıkça hesaplanan IRI değerleri azalmış, trafik yoğunlukları arttıkça ise hesaplanan IRI değerleri artmıştır.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değeri yalnızca trafik yoğunluğu 4000 ve toplam BSK kalınlığı 230 cm olan il yolu senaryosunda 2.7 m/km olan sınır değeri aşmıştır. Bu durumda bu trafik kategorisinde toplam BSK kalınlığı 230 cm ve aşağısında olan yollar için ilgili IRI kriterinin sağlanamadığı sonucu çıkarılabilir. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan il yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 190, 210 mm ve 230 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, trafik yoğunluğu 1000 ve 2500 olan il yolu tasarım senaryolarında Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarım yapıldığında elde edilen toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi sonucu elde edilen kalınlıkların üstünde kalmıştır. Diğer bir deyişle, trafik yoğunluğu 1000 ve 2500 olan il yolu tasarım senaryolarında Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre yapılan tasarım AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre daha güvenli tarafta kalmıştır. Örneğin, trafik yoğunluğu 2500 olan il yolu tasarım senaryosunda Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre 210 mm toplam BSK kalınlığı gerekiyorken, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre ise 190 mm toplam BSK kalınlığı yeterli olmuştur.

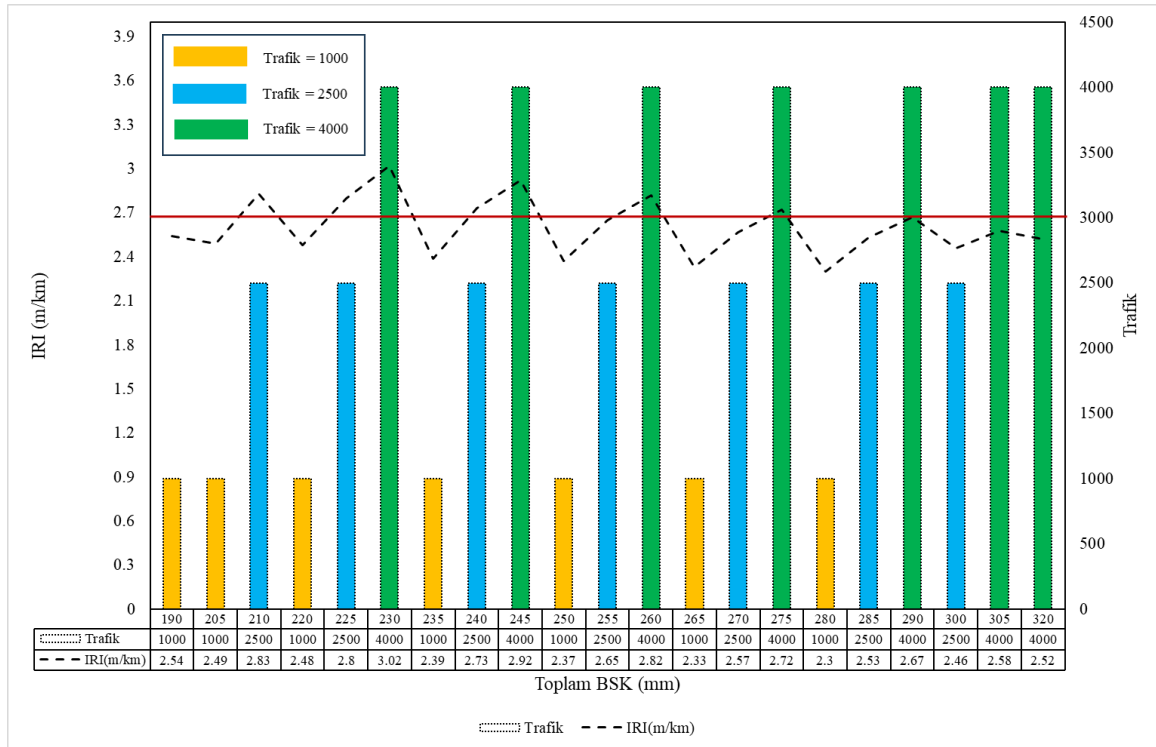
Bu bakımdan IRI sonuçları incelendiğinde trafik yoğunluğu 4000 olan il yollarının üstyapı tasarımında Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, daha düşük trafik yoğunluklarında ise, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre yapılan tasarımlar, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi yöntemi ile yapılanlara göre daha güvenli tarafta kalmıştır.



Şekil 3.2. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları

Şekil 3.3'te Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip devlet yolu (%85 güvenirlilik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerleri sunulmuştur. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, trafik yoğunluğu 1000 olan tüm BSK kalınlık senaryolarında, trafik yoğunluğu 2500 olan tasarım senaryoları için toplam BSK kalınlığı 255 mm ve üzerindiyken ve trafik yoğunluğu 4000 olan tasarım senaryoları için toplam BSK kalınlığı 290 mm ve üzerindiyken IRI kriteri sağlanmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan devlet yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 210, 230 mm ve 260 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Bu bakımdan IRI sonuçları incelendiğinde, devlet yollarının üstyapı tasarımında YOGT değeri 2500 olan

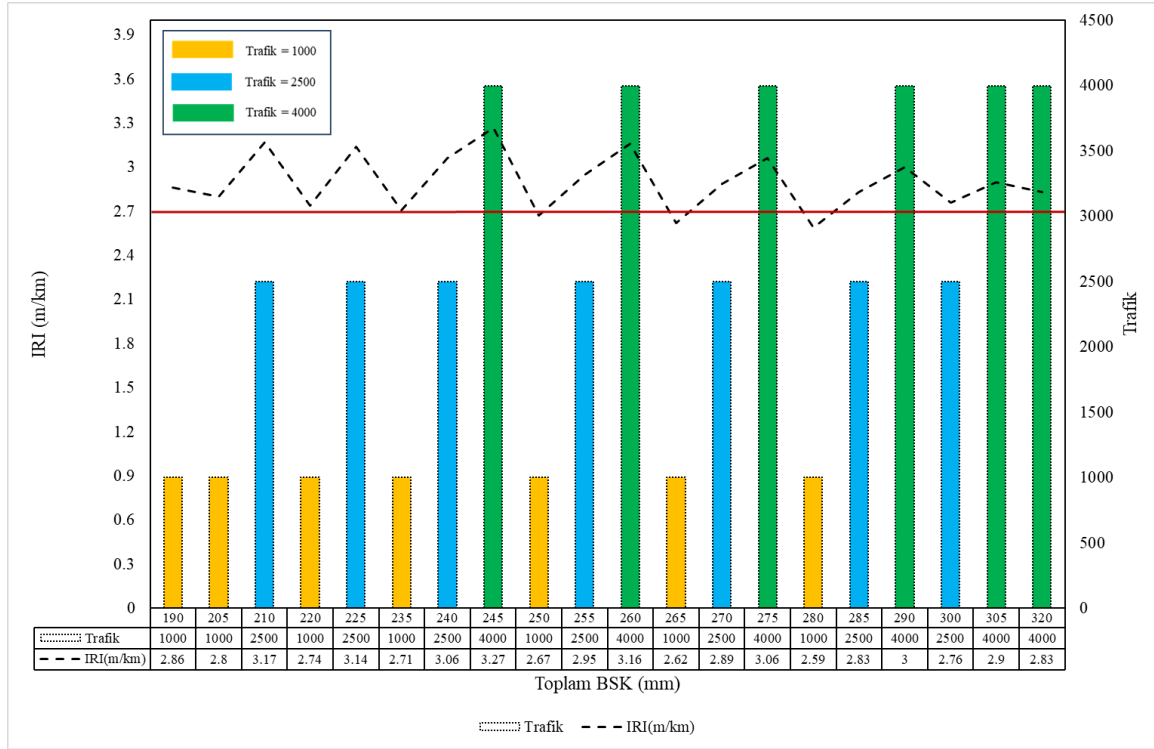
yollar için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, YOGT değeri 4000 olan yollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre yaklaşık 3 cm daha ince bir BSK tabakasına sahip olmuş, YOGT değeri 1000 olan il yolları için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre tasarlanana göre daha fazla kalınlığa sahip olmuştur.



Şekil 3.3. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları

Şekil 3.4'te Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan IRI değerleri sunulmuştur. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, IRI için sınır değer trafik yoğunluğu 2500 ve 4000 olan tüm BSK kalınlık senaryolarında ve trafik yoğunluğu 1000 olan ve BSK kalınlığı 235 mm altındaki tüm tasarım senaryolarında IRI kriteri sağlanamamıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan otoyollar için toplam BSK kalınlıkları sırasıyla 230, 270 mm ve 290 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Bu bakımdan IRI sonuçları incelendiğinde, otoyolların üstyapı tasarımında YOGT değeri 1000 olan yollar için

Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, YOGT değeri 2500 ve 4000 olan yollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre ortalama 4 cm daha ince bir BSK tabakasına sahip olmuştur.



Şekil 3.4. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları

Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçlarına ait grafikler toplu olarak değerlendirildiğinde trafik yoğunluğu 4000 olan il yollarının üstyapı tasarımında Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, daha düşük trafik yoğunluklarında ise, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre yapılan tasarımlar, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ile yapılandırılanlara göre daha güvenli tarafta kalmıştır. Devlet yollarının üstyapı tasarımında YOGT değeri 2500 olan yollar için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, YOGT değeri 4000 olan yollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre yaklaşık 3 cm daha ince bir BSK tabakasına sahip olmuştur.

Otoyolların üstyapı tasarımında YOGT değeri 1000 olan yollar için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, YOGT değeri 2500 ve 4000 olan yollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre ortalama 4 cm daha ince bir BSK tabakasına sahip olmuştur.

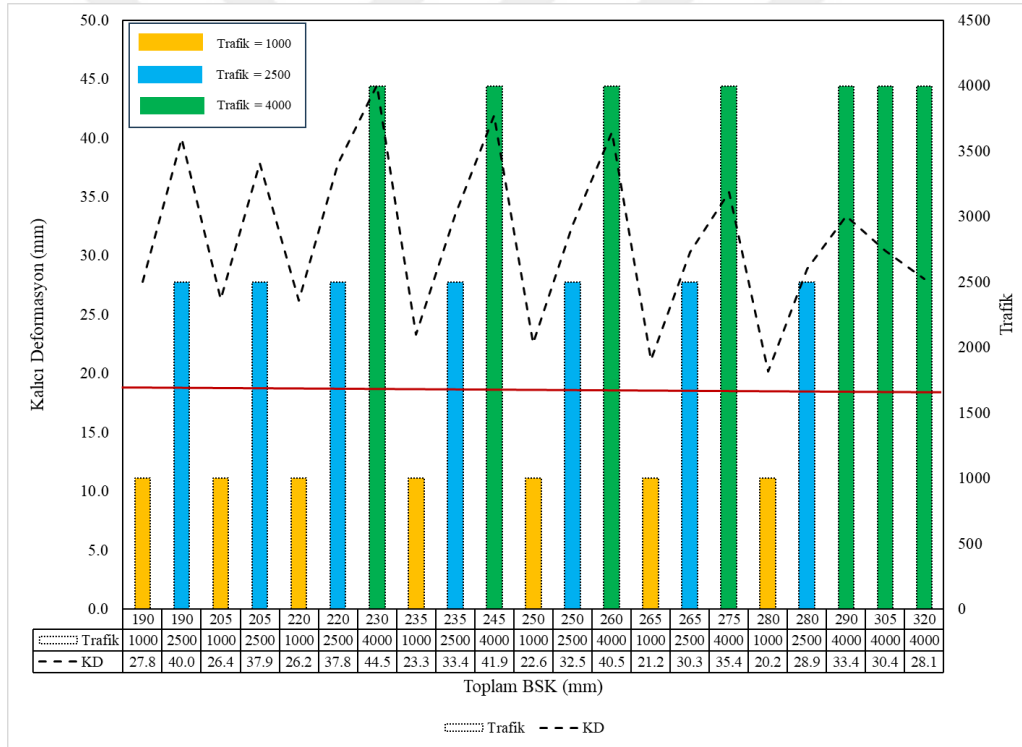
3.2.2. Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon sonuçları

Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik), devlet yolu (%85 güvenilirlik) ve otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri sırasıyla Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7'de sunulmuştur. Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7'de yer alan yatay çizgi, tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon için (Tablo 3.1) sınır değeri olan 19 mm değerinde çizilmiştir.

Şekil 3.5'te Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri sunulmuştur. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, her bir trafik yoğunluğu kategorisi için BSK kalınlıkları arttıkça hesaplanan kalıcı deformasyon değerleri azalmış, trafik yoğunlukları arttıkça ise hesaplanan kalıcı deformasyon değerleri artmıştır.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri analiz edilen tüm il yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan il yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 190, 210 mm ve 230 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre il yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.

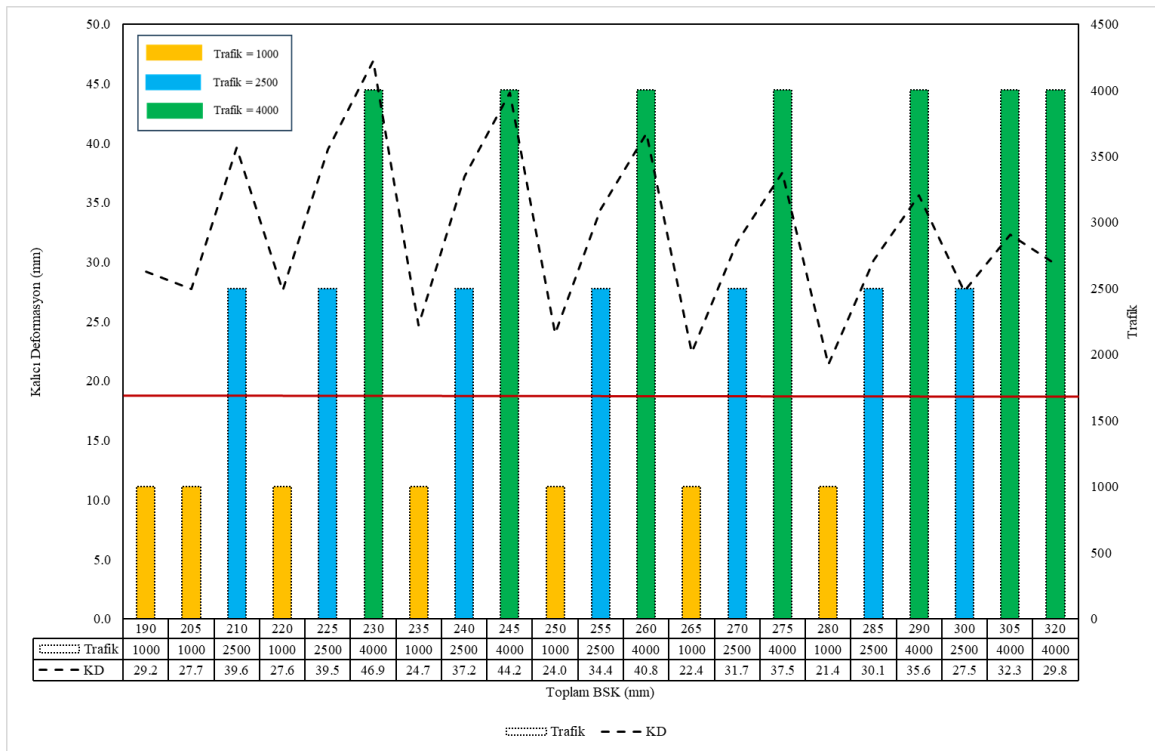
Şekil 3.5 yorumlanırken şu husus unutulmamalıdır ki tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon için kullanılan sınır değer olan 19 mm bu performans parametresi için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından otomatik (default) atanan bir değer olup bu değerın yol tasarımcısı tarafından değiştirilmesi mümkündür. Bu değerin değiştirilmesi durumunda AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri değişmemekle birlikte hesaplanan değerin ilgili sınır değeri aşıp aşmama durumu değişebilmektedir. Ülkemizde yol üstyapı tasarımı için ileriki dönemlerde AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılacaksa her bir performans parametresi için ilgili sınır değerler mutlaka belirlenmelidir.



Şekil 3.5. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon

Şekil 3.6'da Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip devlet yolu (%85 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri sunulmuştur. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi,

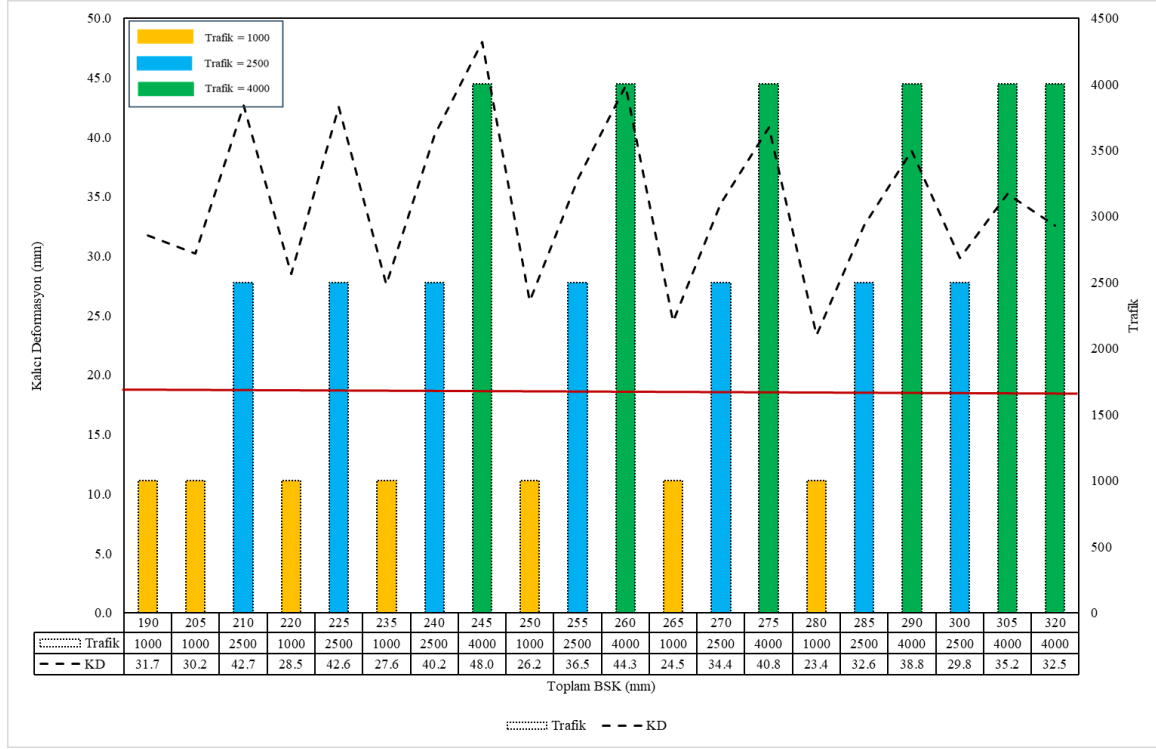
AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri analiz edilen tüm devlet yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan devlet yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 210, 230 mm ve 260 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre devlet yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.



Şekil 3.6. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon

Şekil 3.7'de Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri sunulmuştur. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri analiz edilen tüm otoyol tasarım senaryoları için ilgili sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek

Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan otoyollar için toplam BSK kalınlıkları sırasıyla 230, 270 mm ve 290 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre otoyollar için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.



Şekil 3.7. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon

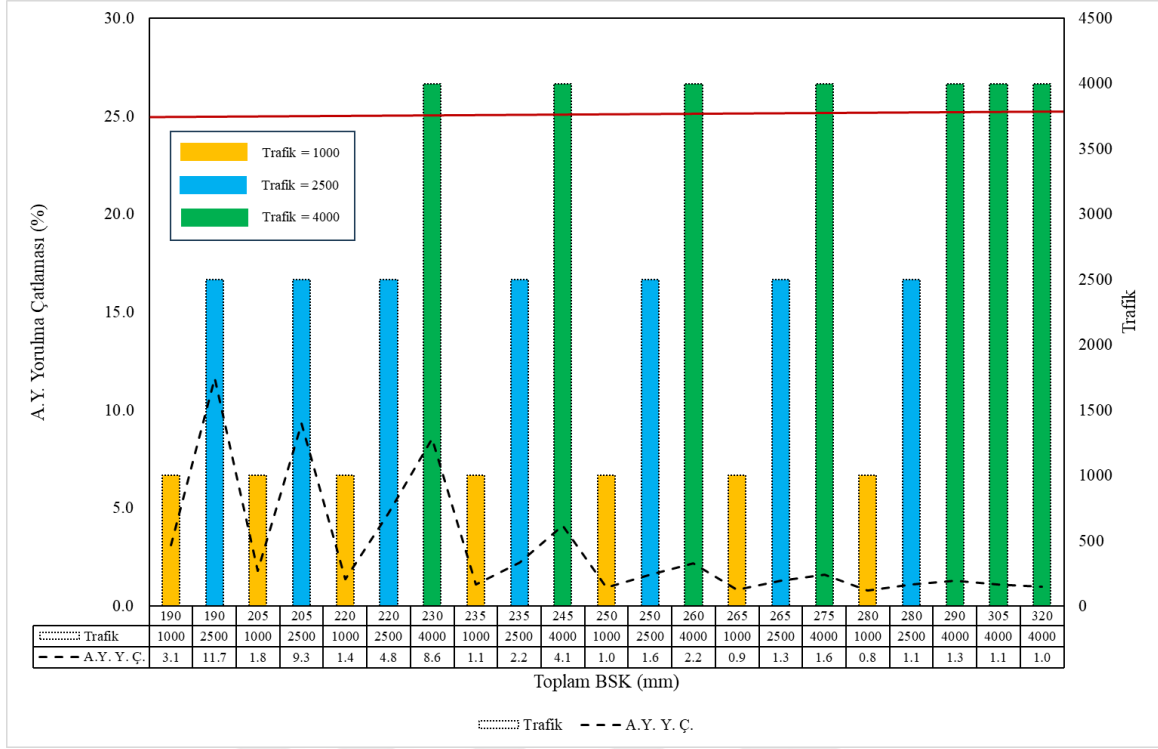
Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon sonuçlarına ait grafikler toplu olarak değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değeri aşmıştır. Bir başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.

3.2.3. Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları

Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik), devlet yolu (%85 güvenilirlik) ve otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi değerleri sırasıyla Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'da sunulmuştur. Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'te yer alan yatay çizgi, aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi için (Tablo 3.1) sınır değer olan %25 değerinde çizilmiştir.

Şekil 3.8'de Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi değerleri sunulmuştur. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, her bir trafik yoğunluğu kategorisi için BSK kalınlıkları arttıkça hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi değerleri azalmıştır.

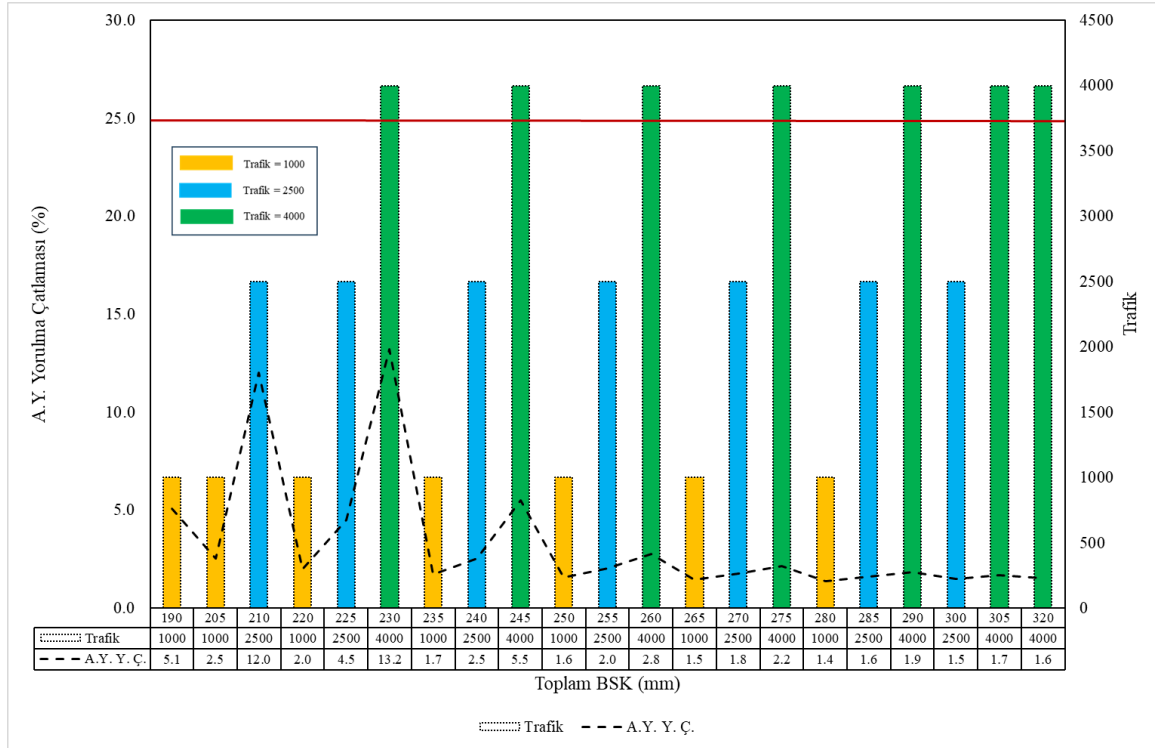
AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi değerleri analiz edilen tüm il yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değer in altında kalmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan il yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 190, 210 mm ve 230 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.12'da görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre il yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi kriteri açısından yeterlidir.



Şekil 3.8. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlama sonuçları

Şekil 3.9’da Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip devlet yolu (%85 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi değerleri sunulmuştur.

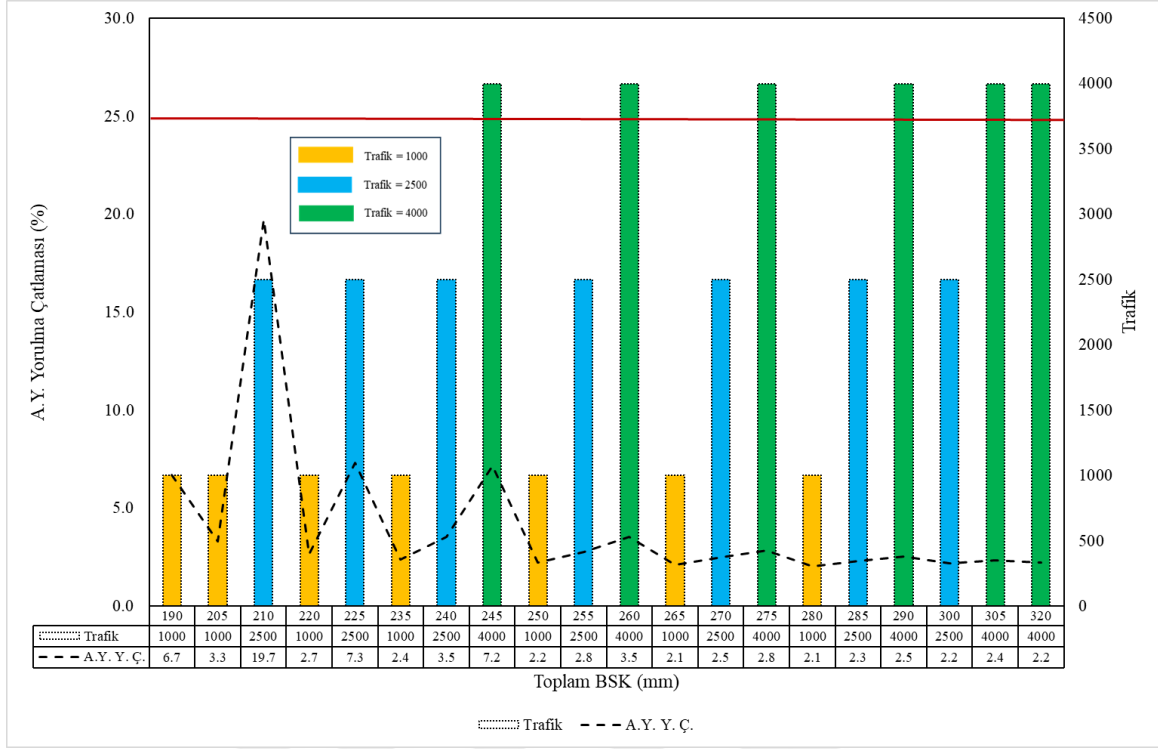
AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi değerleri analiz edilen tüm devlet yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değerinin altında kalmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan devlet yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 210 mm, 230 mm ve 260 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.9’te görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre devlet yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi kriteri açısından yeterlidir.



Şekil 3.9. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlama sonuçları

Şekil 3.10'te Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip otoyol (% 95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi değerleri sunulmuştur.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi değerleri analiz edilen tüm otoyol tasarım senaryoları için ilgili sınır değerinin altında kalmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan otoyollar için toplam BSK kalınlıkları sırasıyla 230 mm, 270 mm ve 290 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.10'te görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre otoyollar için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi kriteri açısından yeterlidir.



Şekil 3.10. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için aşağıdan yukarıya yorulma çatlama sonuçları

Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi sonuçlarına ait grafikler toplu olarak değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değerinin altında kalmıştır. Bir başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre aşağıdan yukarıya yorulma çatlama yüzdesi kriteri açısından yeterlidir.

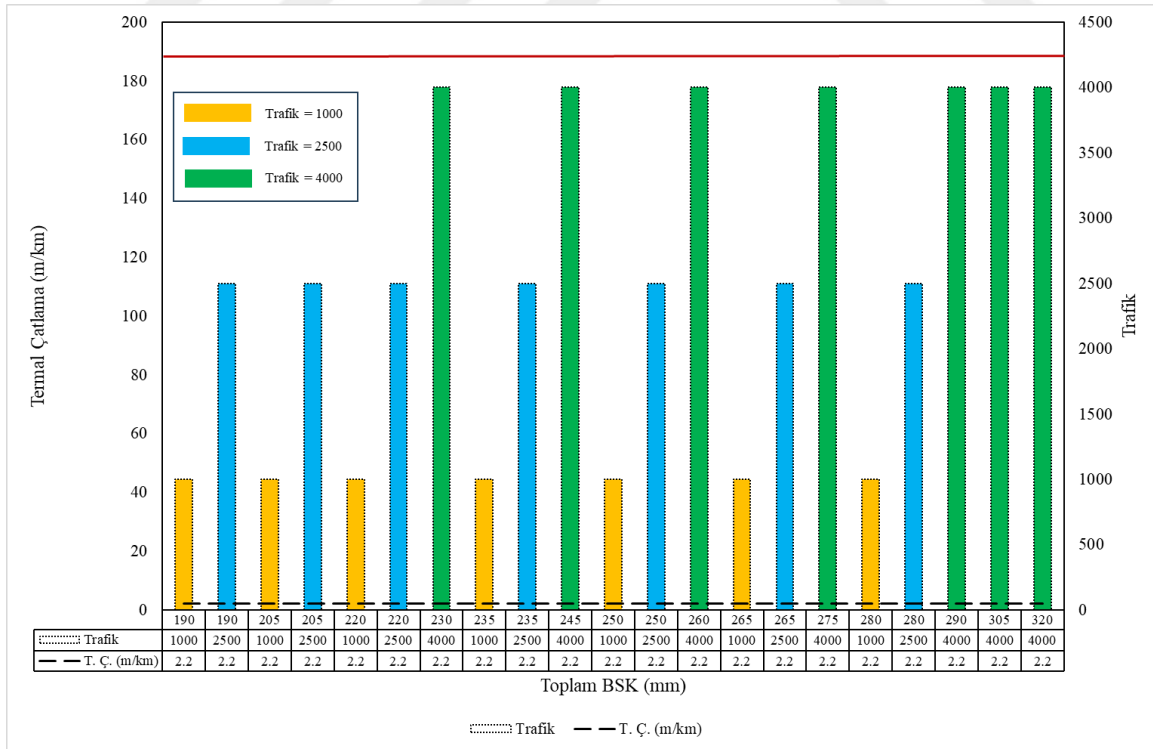
3.2.4. Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları

Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik), devlet yolu (%85 güvenilirlik) ve otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından hesaplanan termal çatlama değerleri sırasıyla Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13'te sunulmuştur. Şekil 3.11, 3.12 ve

3.13’de yer alan yatay çizgi, termal çatlama için (Tablo 3.1) sınır değer olan 189.4 m/km değerinde çizilmiştir.

Şekil 3.11’de Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (% 70 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerleri sunulmuştur.

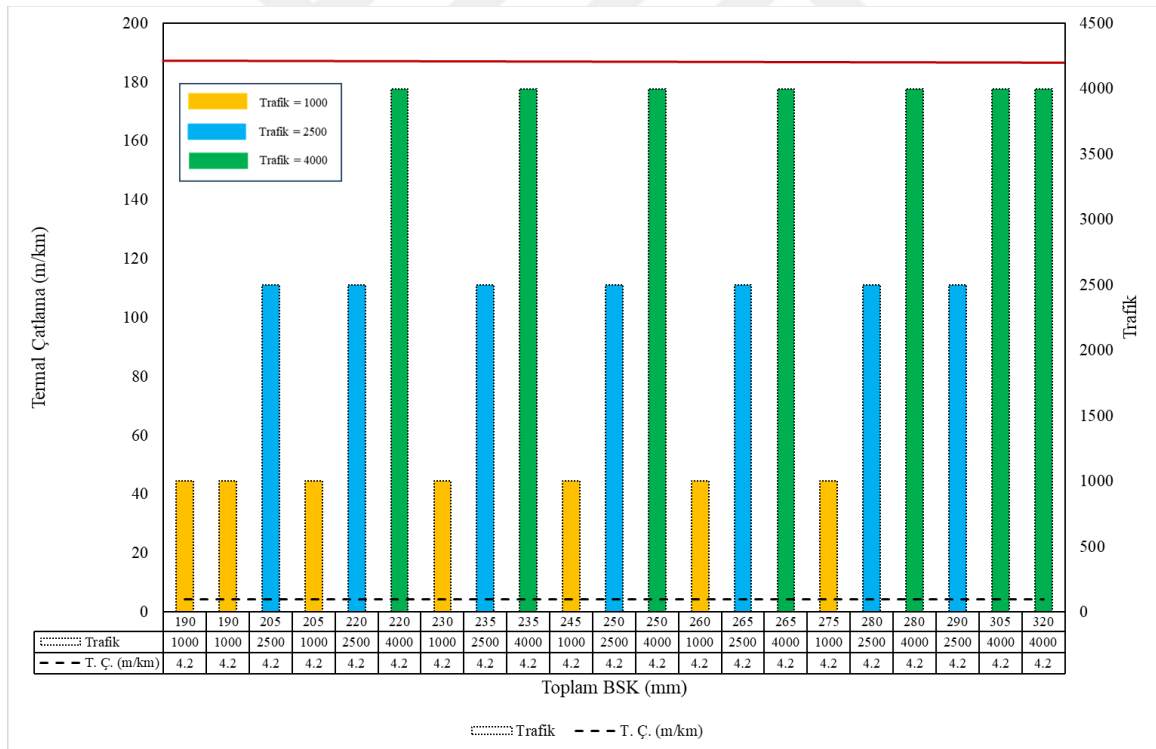
AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerleri analiz edilen tüm il yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değerın altında kalmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan il yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 190, 210 mm ve 230 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre il yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre termal çatlama kriteri açısından yeterlidir.



Şekil 3.11. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları

Şekil 3.12’de Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip devlet yolu (%85 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerleri sunulmuştur.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerleri analiz edilen tüm devlet yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değerinin altında kalmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan devlet yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 210, 230 mm ve 260 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.12’de görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre devlet yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre termal çatlama kriteri açısından yeterlidir.

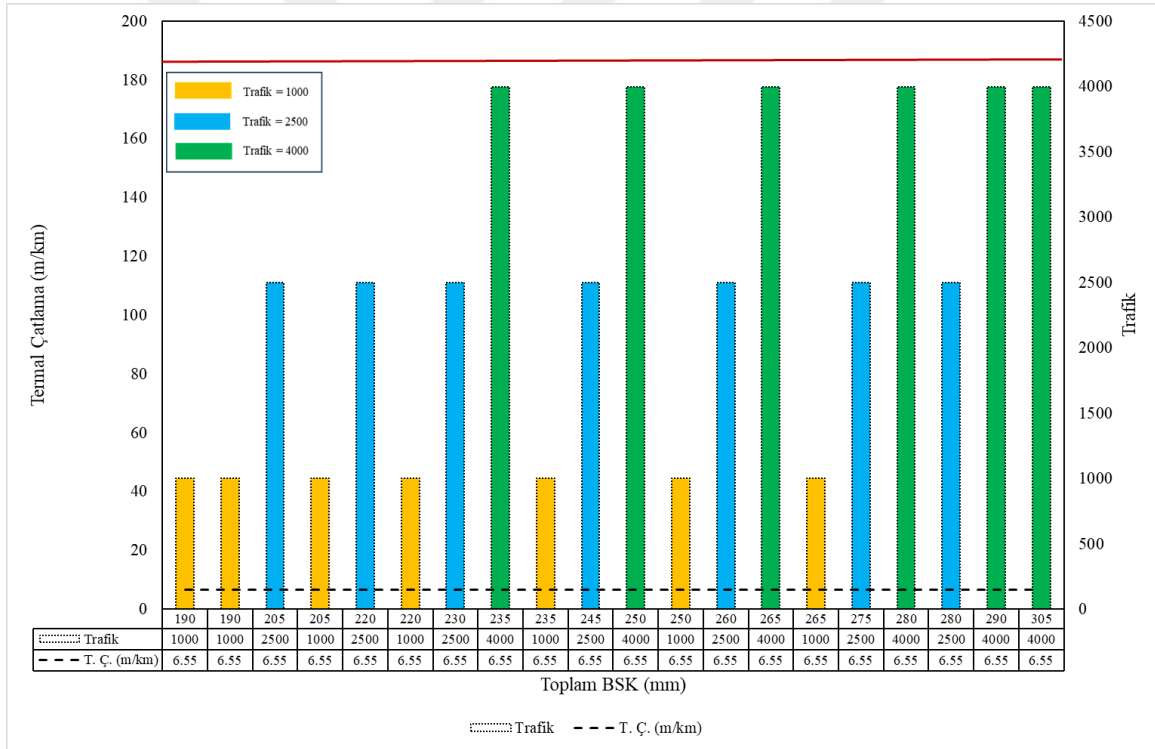


Şekil 3.12. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları

Şekil 3.13’te Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı

Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerleri sunulmuştur.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerleri analiz edilen tüm otoyol tasarım senaryoları için ilgili sınır değerın altında kalmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan otoyollar için toplam BSK kalınlıkları sırasıyla 230, 270 mm ve 290 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.13'te görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre otoyollar için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre termal çatlama kriteri açısından yeterlidir.



Şekil 3.13. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için termal çatlama sonuçları

Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili termal çatlama sonuçlarına ait grafikler toplu olarak değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan termal çatlama değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değerın altında kalmıştır. Bir

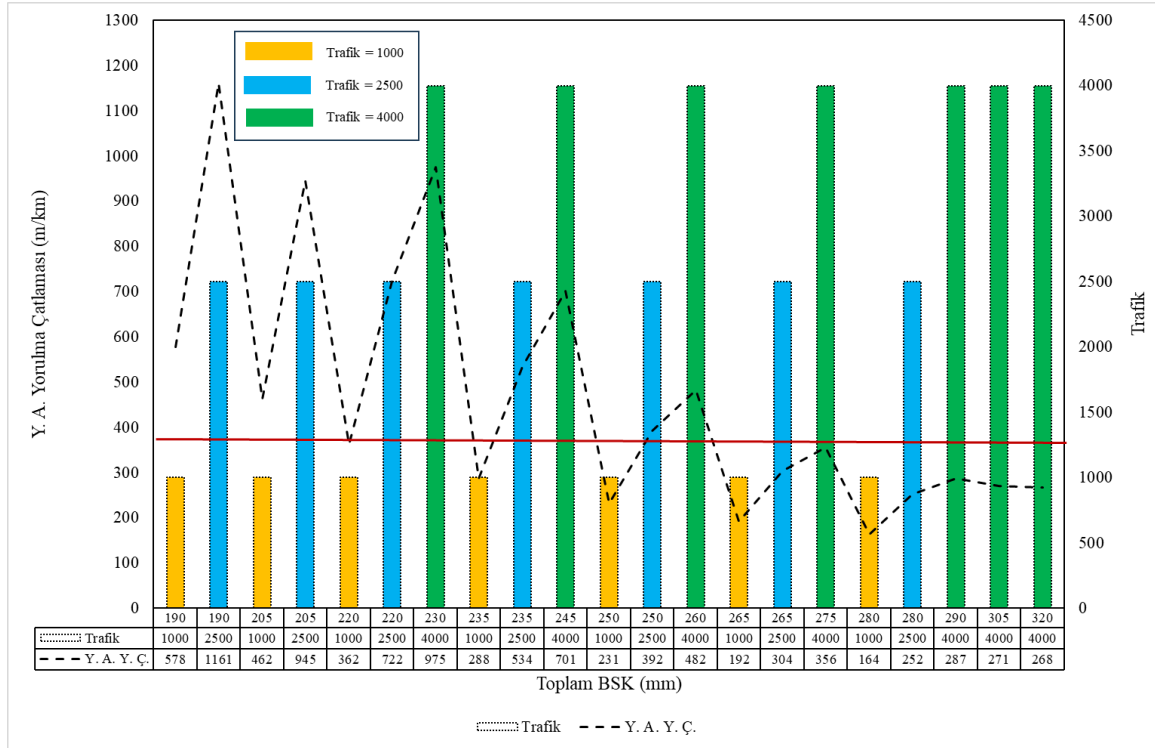
başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre termal çatlama kriteri açısından yeterlidir.

3.2.5. Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları

Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik), devlet yolu (%85 güvenilirlik) ve otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri sırasıyla Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'de sunulmuştur. Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'de yer alan yatay çizgi, yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması için (Tablo 3.1) sınır değer olan 378.8 m/km değerinde çizilmiştir.

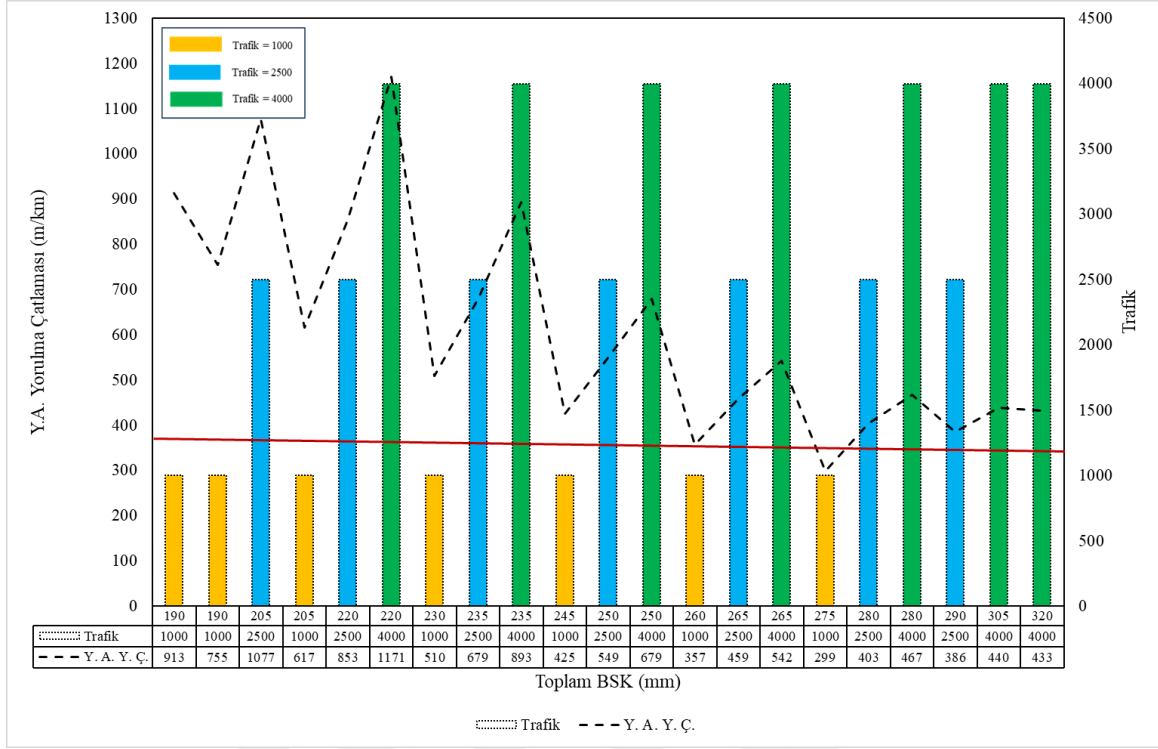
Şekil 3.14'te Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri sunulmuştur. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi, her bir trafik yoğunluğu kategorisi için BSK kalınlıkları arttıkça hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri azalmış, trafik yoğunlukları arttıkça ise hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri artmıştır.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri sırasıyla trafik yoğunluğu 1000 ve toplam BSK kalınlığı 220 cm ve üzerinde olan il yolları, trafik yoğunluğu 2500 ve toplam BSK kalınlığı 250 cm ve üzerinde olan il yolları ve trafik yoğunluğu 4000 ve toplam BSK kalınlığı 275 cm ve üzerinde olan il yolları senaryolarında 378.8 m/km olan sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan il yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 190, 210 mm ve 230 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Bu bakımdan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları incelendiğinde, Adana için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması kriteri dikkate alınarak tasarlanan il yolları, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak tasarlanana göre ortalama 40 mm daha kalın çıkmıştır.



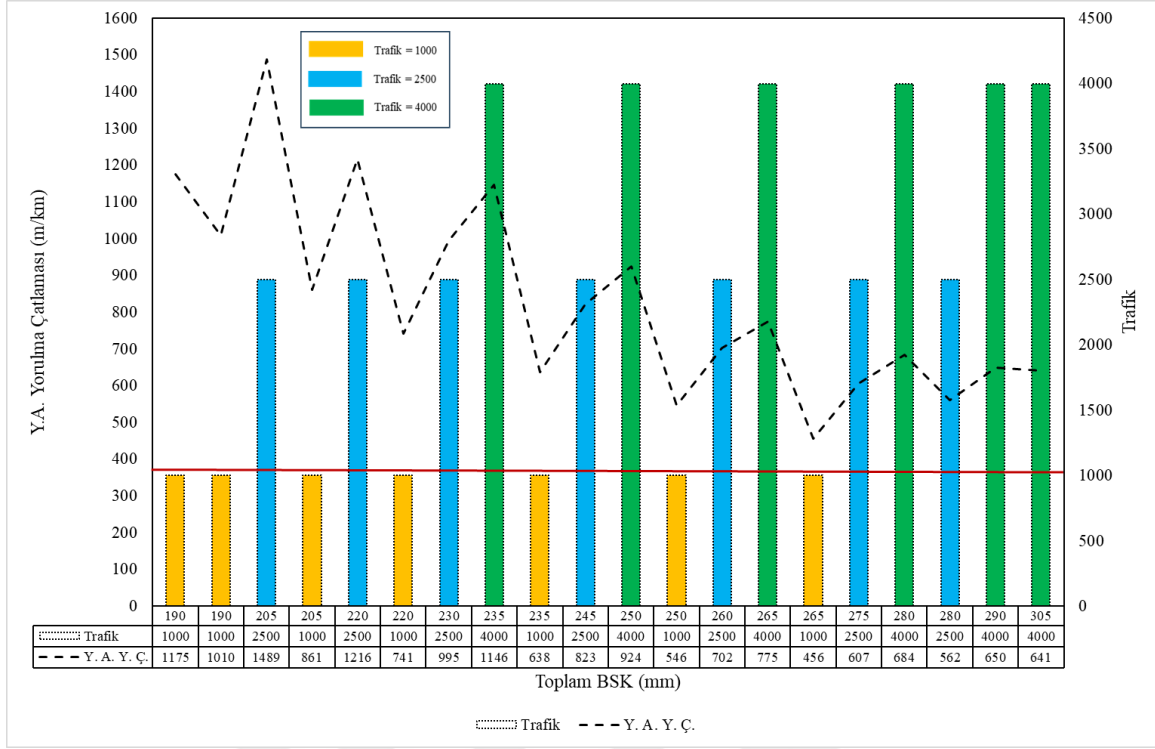
Şekil 3.14. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları

Şekil 3.15'te Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip devlet yolu (%85 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri sunulmuştur. Şekil 3.15'te görüldüğü gibi, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerleri trafik yoğunluğu 1000 ve toplam BSK kalınlığı 265 mm ve üzerinde olan devlet yolları senaryolarında 378.8 m/km olan sınır değeri aşmış, trafik yoğunluğu 2500 ve 4000 olan tüm devlet yolu tasarım senaryolarında ise ilgili sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan devlet yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 210, 230 mm ve 260 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Bu bakımdan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları incelendiğinde, Adana için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması kriteri dikkate alınarak tasarlanan devlet yolları, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak tasarlanana göre daha yüksek kalınlıklara sahip olmuştur.



Şekil 3.15. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlama sonuçları

Şekil 3.16’da Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama değerleri sunulmuştur. Şekil 3.16’da görüldüğü gibi, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama değerleri tüm devlet yolları senaryolarında 378.8 m/km olan sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan otoyollar için toplam BSK kalınlıkları sırasıyla 230, 270 mm ve 290 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Bu bakımdan yukarıdan aşağıya yorulma çatlama sonuçları incelendiğinde, Adana için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yukarıdan aşağıya yorulma çatlama kriteri dikkate alınarak tasarlanan otoyollar, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak tasarlanana göre daha yüksek kalınlıklara sahip olmuştur.



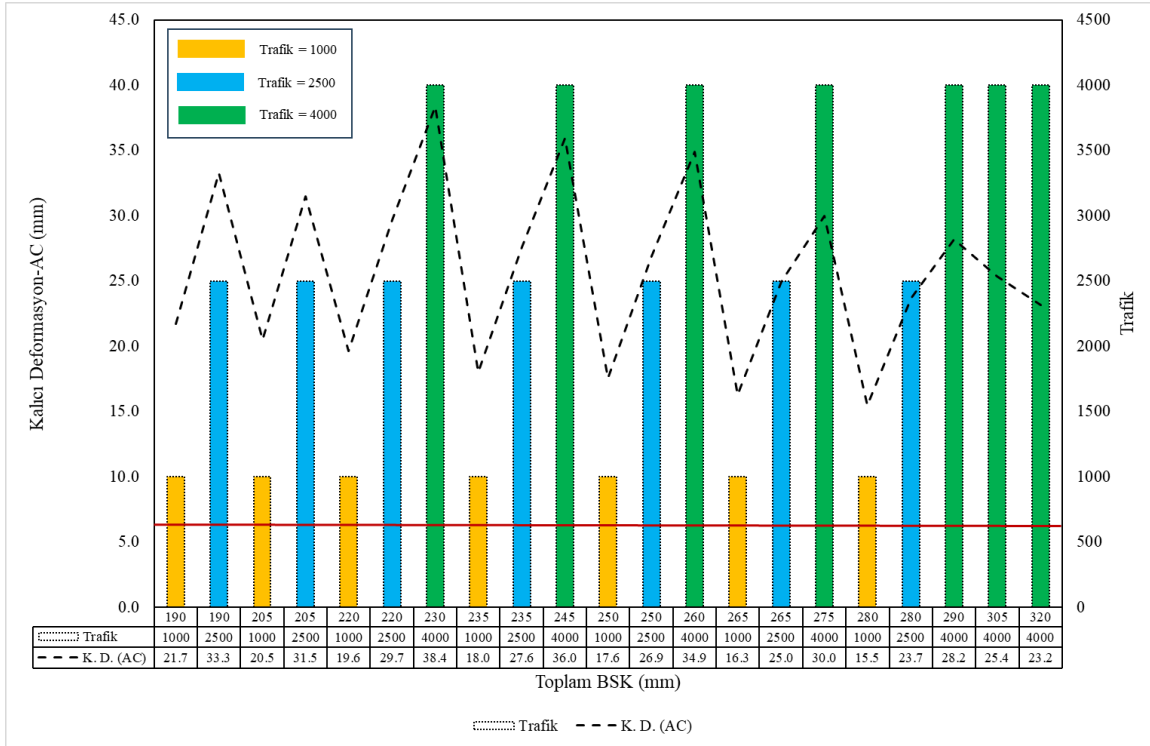
Şekil 3.16. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yolurma çatlaması sonuçları

3.2.6. Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları

Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik), devlet yolu (%85 güvenilirlik) ve otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri sırasıyla Şekil 3.17, 3.18 ve 3.19’da sunulmuştur. Şekil 3.17, 3.18 ve 3.19’da yer alan yatay çizgi, asfalt tabakası için kalıcı deformasyon için (Tablo 3.1) sınır değeri olan 6 mm değerinde çizilmiştir.

Şekil 3.17’de Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip il yolu (%70 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri sunulmuştur. Şekil 3.17’de görüldüğü gibi, her bir trafik yoğunluğu kategorisi için BSK kalınlıkları arttıkça hesaplanan kalıcı deformasyon değerleri azalmış, trafik yoğunlukları arttıkça ise hesaplanan kalıcı deformasyon değerleri artmıştır.

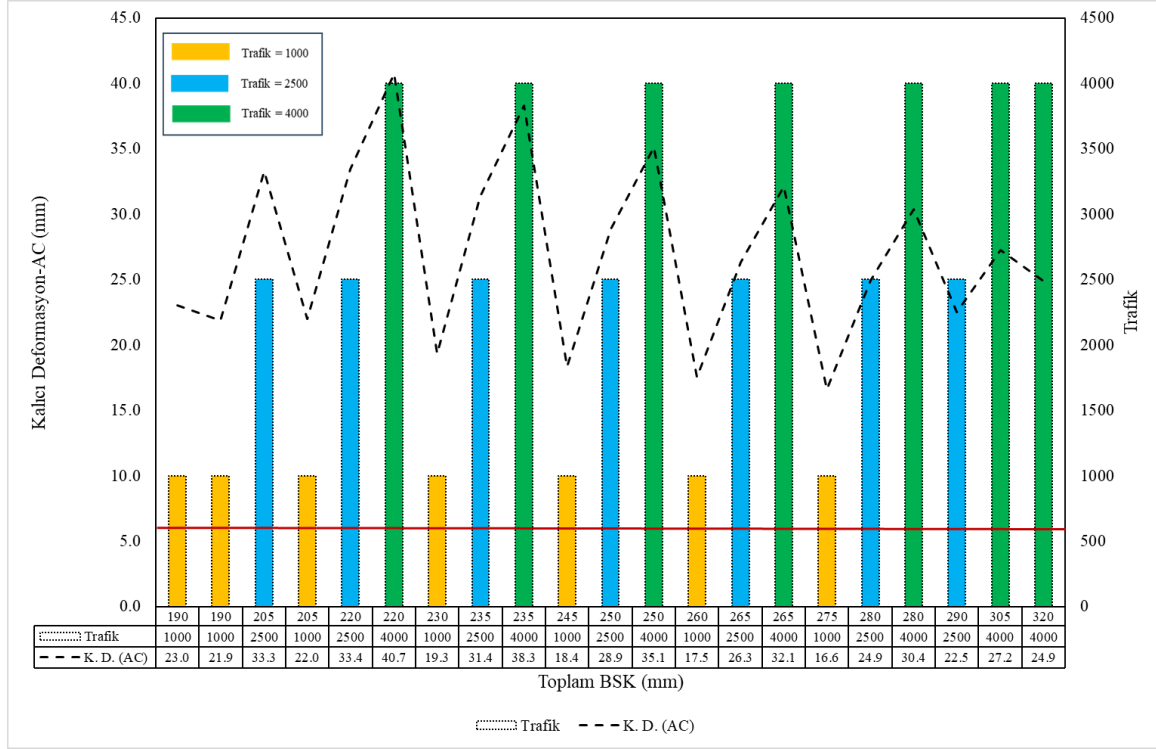
AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri analiz edilen tüm il yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan il yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 190, 210 mm ve 230 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.17'de görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre il yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre asfalt tabakası için kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.



Şekil 3.17. Değiştirilen il yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları

Şekil 3.18'de Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip devlet yolu (%85 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri sunulmuştur. Şekil 3.18'de görüldüğü gibi, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri analiz edilen tüm devlet yolu tasarım senaryoları için ilgili sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan devlet yolları için toplam BSK kalınlığı sırasıyla 210, 230 mm

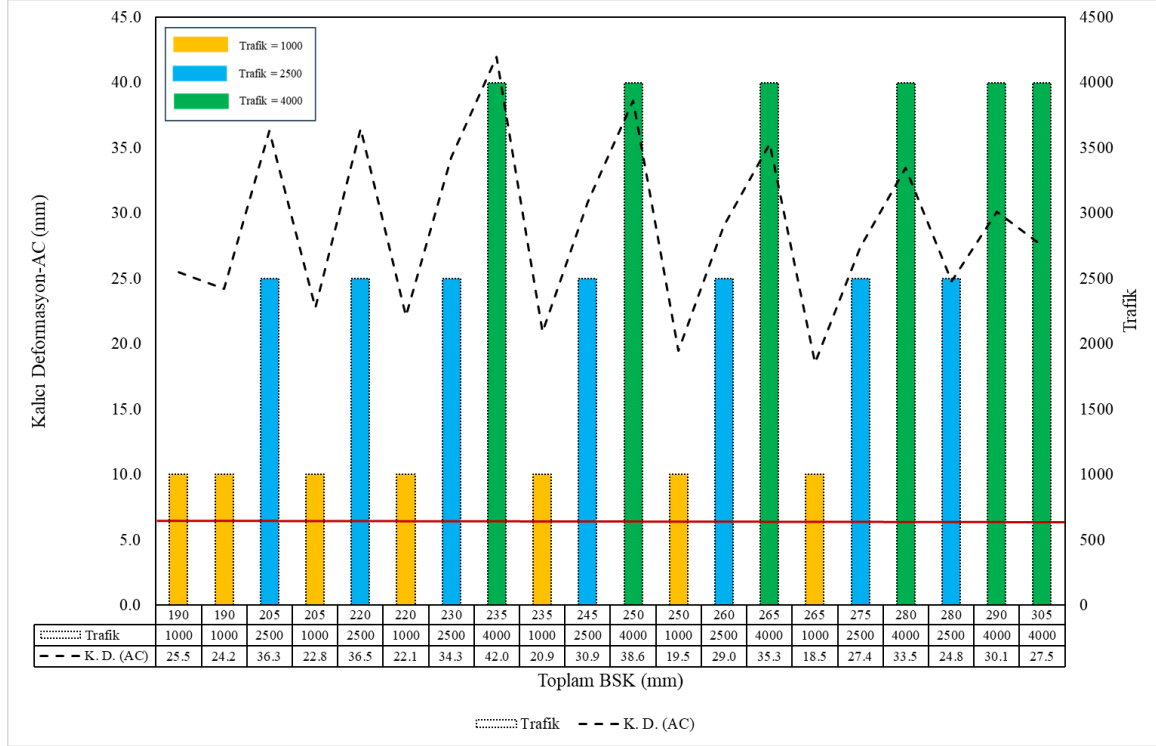
ve 260 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.18’de görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre devlet yolları için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre asfalt tabakası için kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.



Şekil 3.18. Değiştirilen devlet yolu tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları

Şekil 19’da Adana ili için farklı BSK kalınlıkları ve trafik yoğunluklarına sahip otoyol (%95 güvenilirlik) tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri sunulmuştur. Şekil 3.19’da görüldüğü gibi, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri analiz edilen tüm otoyol tasarım senaryoları için ilgili sınır değeri aşmıştır. Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre YOGT değeri 1000, 2500 ve 4000 olan otoyollar için toplam BSK kalınlıkları sırasıyla 230, 270 mm ve 290 mm olmalıdır (Tablo 2.2). Şekil 3.23’te görüldüğü gibi, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’ne göre otoyollar için hesaplanan toplam BSK kalınlıkları

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre asfalt tabakası için kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.



Şekil 3.19. Değiştirilen otoyol tabaka kalınlıklarına göre Adana ili asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları

Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçlarına ait grafikler toplu olarak değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değeri aşmıştır. Bir başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre asfalt tabakası için kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.

3.3. Maliyet Analizi

Bu tez çalışması kapsamında üstyapı tasarımında mevcut Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak hesaplanan BSK tabaka kalınlıkları yerine AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri sonucu elde edilen BSK tabaka kalınlıkları kullanılırsa bunun yol malzeme maliyetine etkisi Karayolları 2024 birim fiyatları (KGM, 2024b) kullanılarak değerlendirilecektir. Bu kapsamda öncelikle Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak Adana ili için 3 farklı güvenilirlik, 3 farklı trafik yoğunluğu ve CBR=40 olan tasarım senaryoları için elde edilen tabaka kalınlıkları hesaplanmış ve bu tabakaların malzeme maliyetleri ve bu maliyetlere karşılık gelen poz numaraları Karayolları 2024 birim fiyatları (KGM, 2024b) kullanılarak Tablo 3.26’da sunulmuştur.

Tablo 3.26. Sıkışmış tabaka kalınlıklarının m² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024b)

Poz Numarası	İşin Tanımı	Birim	m ² Birim Fiyatı (TL)	m ² /cm Fiyatı (TL)	m ² Fiyatı (Maliyet) (TL)
KGM/6405	5 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-1)	m ²	41.97	8.394	41.97
KGM/6306	6 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	49.26	8.21	49.26
KGM/6307	7 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	57.19	8.17	57.19
KGM/6308	8 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	65.11	8.13875	65.11
KGM/6305 *2	10 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)* 2	m ²	82.68	8.268	82.68

Tablo 3.26. Sıkışmış tabaka kalınlıklarının m² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024b) (devamı)

KGM/6208	8 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	62.03	7.75375	62.03
KGM/6209	9 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	69.57	7.73	69.57
KGM/6210	10 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	77.11	7.711	77.11
KGM/6211	11 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	84.64	7.69454	84.64
KGM/6212	12 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	92.18	7.68166	92.18
KGM/6214	14 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	107.27	7.66214	107.27
KGM/6100/3	Plentmix temel yapılması (Yoğunluk : 2.4 g/cm ³) (20cm sıkışmış kalınlıkta)	ton	188.45	4.52	90.46

Daha sonra ise bir önceki bölümde (Bölüm 3.2) detaylıca anlatıldığı şekilde Adana ili için 3 farklı güvenilirlik, 3 farklı trafik yoğunluğu ve CBR=40 olan tasarım senaryoları için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri sonucu elde edilen BSK tabaka kalınlıkları belirlenmiş ve bu tabakaların malzeme maliyetleri ve bu maliyetlere karşılık gelen poz numaraları Karayolları 2024 birim fiyatları (KGM, 2024b) kullanılarak Tablo 3.27’de sunulmuştur.

Tablo 3.27. Sıkışmış değiştirilen tabaka kalınlıklarının m² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024b)

Poz Numarası	İşin Tanımı	Birim	m ² Birim Fiyatı (TL)	m ² /cm Fiyatı (TL)	m ² Fiyatı (Maliyet) (TL)
KGM/6405	5 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-1)	m ²	41.97	8.394	41.97
KGM/6405 *6.5/5	6.5 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-1)	m ²	54.561	8.394	54.561
KGM/6404*2	8 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-1) (4 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-1))*2	m ²	67.84	8.48	67.84
KGM/6305 *7.5/5	7.5 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)*7.5/5	m ²	62.01	8.268	62.01
KGM/6305 *9/5	9 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) *9/5	m ²	74.412	8.268	74.412
KGM/6305 *9.5/5	9.5 sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)*9.5/5	m ²	78.546	8.268	78.546
KGM/6305 *11/5	11 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) * *11/5	m ²	90.948	8.268	90.948

Tablo 3.27. Sıkışmış değiştirilen tabaka kalınlıklarının m² cinsinden maliyetleri (KGM, 2024b) (devamı)

KGM/6208	8 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	62.03	7.75375	62.03
KGM/6208 *9.5/8	9.5 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	73.660625	7.75375	73.660625
KGM/6211	11 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	84,64	7.694545	84,64
KGM/6210*11.5/10	11.5 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)*11.5/10	m ²	88.6765	7.711	88.6765
KGM/6213	13 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) (Tip-A)	m ²	99,73	7.671538	99,73
KGM/6100/3	Plentmix temel yapılması (Yoğunluk : 2.4 g/cm ³) (20cm sıkışmış kalınlıkta)	ton	188.45	4.52	90.46

Bu tez çalışmasının önceki bölümünde (Bölüm 3.2) Adana ili için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak yapılan 243 farklı tasarım senaryosunun (3 farklı güvenilirlik, 3 farklı trafik yoğunluğu ve 27 farklı tabaka kalınlığı kombinasyonu ve CBR=40 için) performans analizleri detaylı şekilde sunulmuş, değiştirilen kalınlıklara göre Adana ili içinde yer alan il yolu, devlet yolu ve otoyol için IRI sonuçları, (tüm tabaka kalınlıkları toplamı için) kalıcı deformasyon sonuçları, aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları, termal çatlama sonuçları, yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları

ve asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları aşağıda detaylıca sunulmuştur. Bu analizler sonucu bazı performans kriterleri sonuçlarına göre Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarım yapıldığında elde edilen toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi sonucu elde edilen kalınlıklardan farklılık göstermiştir. Dolayısıyla, eğer Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre değil de AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi sonuçlarına göre kalınlık tasarımı yapılırsa, yol maliyetlerinde de farklılık oluşacaktır. Bu kısımda Tablo 3.27'deki birim fiyatlar kullanılarak bu yol maliyetlerindeki (sadece yolda kullanılan malzeme maliyetleri (aşınma, binder ve bitümlü temel tabakası ile PMT tabakası maliyetleri) dikkate alınacak olup işçilik, kar ve yol yapım maliyetleri dikkate alınmayacaktır) farklılıklar irdelenecektir:

- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları incelendiğinde: (1) il yolları ve devlet yollarının üstyapı tasarımında Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, daha düşük trafik yoğunluklarında ise, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre yapılan tasarımlar, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ile yapıldığına göre daha güvenli tarafta kalmıştır; (2) otoyolların üstyapı tasarımında YOGT değeri 1000 olan yollar için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi benzer sonuçlar vermiş, YOGT değeri 2500 ve 4000 olan yollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi göre ortalama 4 cm daha ince bir BSK tabakasına sahip olmuştur. Dolayısıyla il yolu ve devlet yolu tasarımlarında AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi yapılan tasarım, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre yapıldığına göre maliyet açısından farklılık göstermemiş, YOGT değeri 2500 ve 4000 olan otoyollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi göre ortalama 4 cm daha ince bir BSK tabakasına sahip olmuştur (maliyette yaklaşık %15'lik bir fark oluşmuştur) (Tablo 3.27).
- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon ve asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi

tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon ve asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değeri aşmıştır. Bir başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır. Dolayısıyla yol malzeme maliyetlerinde ciddi farklar gözlemlenmiştir. Bu durumda, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından kullanılan sınır değerler kalibre edilerek yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan kalıcı deformasyon değerleri değişmemekle birlikte hesaplanan değerlerin ilgili sınır değeri aşıp aşmama durumu değişebilmekte dolayısıyla tasarımda kullanılacak minimum BSK kalınlıkları değişebilmektedir.

- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi ve termal çatlama sonuçlarına ait grafikler toplu olarak değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi ve termal çatlama değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değerinin altında kalmıştır. Bir başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre bu iki performans kriteri açısından yeterlidir.
- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları incelendiğinde: (1) Adana için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması kriteri dikkate alınarak tasarlanan il yolları, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak tasarlananlara göre ortalama 40 mm daha kalın çıkmıştır (maliyette yaklaşık %16'lık bir fark oluşmuştur) (Tablo 3.27); (2) devlet yolları ve otoyollar için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması kriteri dikkate alınarak tasarlanan yollar, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak tasarlananlara göre daha yüksek kalınlıklara sahip olmuştur.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasının temel amaçları: (1) ülkemizdeki farklı iklim bölgeleri için iklimsel verilerin kaplama kalınlıklarına etkisi AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak analiz edilmesi, (2) karayolu üstyapıları tasarımında yeni bir yöntem olan ve ABD ve Kanada’da kullanımıyla ilgili çalışmalar yapılan ve yakın zamanda tamamen karayolu üstyapısı tasarımında kullanılacak olan AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi’nin ülkemiz koşullarında uygulanabilirliği test edilmesi ve (3) çalışma sonucunda farklı tasarım senaryoları için hem ülkemizde mevcut olan tasarım yöntemi hem de AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılarak elde edilen optimum tabaka kalınlıkları belirlenmesi, birbirleriyle karşılaştırılması, ve eğer kalınlık sonuçlarında farklılıklar varsa, bunların yol malzeme maliyetine etkisinin değerlendirilmesiydi.

Bu çalışmada öncelikle, 3 farklı yol sınıfı, 3 farklı yıllık ortalama günlük trafik ve 3 farklı zemin dayanım durumu (toplam $3 \times 3 \times 3 = 27$ farklı senaryo) için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi (KGM, 2008) kullanılarak aşınma, binder ve bitümlü temel tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Bu rehber baz alınarak tasarım gerçekleştirildiğinde tüm yol sınıfları ve tasarım senaryoları için aşınma tabaka kalınlığının 50 mm çıktığı, binder ve bitümlü temel tabaka kalınlıklarının ise yol sınıfı ve trafik yoğunluğuna göre değişik sonuçlar aldığı gözlemlenmektedir.

Daha sonra ise bu 27 farklı tasarım senaryosu için her bir şehrin iklim verileri ve diğer tasarım parametreleri kullanılarak (toplam $4 \times 27 = 108$ tasarım senaryosu) AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ile performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

- Adana, Erzurum, İzmir ve Samsun illeri için analiz edilen tasarım senaryoları incelendiğinde genellikle Samsun için tasarlanan yollarda tasarım ömrü sonunda en küçük IRI değerleri hesaplandığı, Adana için tasarlanan yollarda ise tasarım ömrü sonunda en büyük IRI değerleri hesaplandığı, Erzurum ve İzmir için ise tasarlanan yollarda tasarım ömrü sonunda birbirlerine benzer IRI değerleri hesaplandığı gözlemlenmiştir.
- Tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon sonuçları incelendiğinde, aynı tasarım senaryoları için Adana ve Erzurum karşılaştırıldığında, aynı tasarım senaryolarında Erzurum’daki yol kesimlerinde Adana’dakilere göre ortalama 10 mm

daha az tüm tabaka kalınlıkları toplamı için kalıcı deformasyon oluşacağı hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise Adana'da ortalama hava sıcaklıklarının yıl boyu Erzurum'a göre daha fazla olduğu ve özellikle asfalt tabakalarında buna bağlı olarak daha fazla kalıcı deformasyon gözlemlenebileceği olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu da iklimsel verilerin yol performansına etkisinin önemli düzeyde olabileceğinin bir kanıtı olarak düşünülmüştür.

- Aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması sonuçları incelendiğinde, genellikle Erzurum için tasarlanan yollarda tasarım ömrü sonunda en küçük aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerleri hesaplandığı, Adana için tasarlanan yollarda ise tasarım ömrü sonunda en büyük aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması değerleri hesaplandığı gözlemlenmiştir.
- Termal çatlama sonuçları incelendiğinde, tüm illerde, tüm güvenilirlik katsayıları, trafik yükü ve CBR değerleri senaryolarında hesaplanan termal çatlama değerlerinin ilgili kriteri aşmadığı tespit edilmiştir.
- Yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları incelendiğinde, tüm illerde ve tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.
- Asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları incelendiğinde, tüm illerde ve tüm tasarım senaryolarında tasarım ömrü sonunda hesaplanan BSK tabakalarındaki toplam değerlerinin ilgili kriteri aştığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu hesaplamalar doğrultusunda AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri sonucu bazı tasarım senaryoları için bazı performans parametrelerinin yol tasarım ömrü sonunda ilgili sınır değeri sağlayamadığı, dolayısıyla da Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak hesaplanan tabaka kalınlıklarının bu senaryolar için yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden yukarıda belirtilen tabaka kalınlıkları artırılarak farklı senaryolar oluşturulmuş ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri sonucu en uygun ve ekonomik kaplama kalınlıkları belirlenmiştir. En son olarak da bu tez çalışması kapsamında üstyapı tasarımında mevcut Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak hesaplanan BSK tabaka kalınlıkları yerine AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi performans analizleri sonucu elde edilen BSK tabaka kalınlıkları kullanılırsa

bunun yol malzeme maliyetine etkisi Karayolları 2024 birim fiyatları (KGM, 2024) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucu:

- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon ve asfalt tabakası için kalıcı deformasyon sonuçları değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan tüm tabaka kalınlıkları toplamında oluşan kalıcı deformasyon ve asfalt tabakası için kalıcı deformasyon değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değeri aşmıştır. Bir başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre kalıcı deformasyon kriteri açısından yetersiz kalmıştır.
- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi ve termal çatlama sonuçlarına ait grafikler toplu olarak değerlendirildiğinde, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan aşağıdan yukarıya yorulma çatlaması yüzdesi ve termal çatlama değerleri, analiz edilen tüm yol sınıflarında ve tasarım senaryolarında ilgili sınır değerinin altında kalmıştır. Bir başka deyişle, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre hesaplanan toplam BSK kalınlıkları AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi analizlerine göre bu iki performans kriteri açısından yeterlidir.
- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için IRI sonuçları incelendiğinde: (1) il yolları ve devlet yollarının üstyapı tasarımında Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi yöntemi benzer sonuçlar vermiş, daha düşük trafik yoğunluklarında ise, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre yapılan tasarımlar, AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi yöntemi ile yapılarına göre daha güvenli tarafta kalmıştır; (2) otoyolların üstyapı tasarımında YOGT değeri 1000 olan yollar için Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi ve AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi yöntemi benzer sonuçlar vermiş, YOGT değeri 2500 ve 4000 olan yollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre ortalama 4 cm daha ince bir BSK

tabakasına sahip olmuştur. Dolayısıyla il yolu ve devlet yolu tasarımlarında AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ile yapılan tasarım, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre yapılarına göre maliyet açısından farklılık göstermemiş, YOGT değeri 2500 ve 4000 olan otoyollar için ise Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'ne göre tasarlanan yollar AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre ortalama 4 cm daha ince bir BSK tabakasına sahip olmuştur (maliyette yaklaşık %15'lik bir fark oluşmuştur) (Tablo 3.27).

- Değiştirilen tabaka kalınlıklarına göre Adana ili için yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması sonuçları incelendiğinde: (1) Adana için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması kriteri dikkate alınarak tasarlanan il yolları, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak tasarlananlara göre ortalama 40 mm daha kalın çıkmıştır (maliyette yaklaşık %16'lık bir fark oluşmuştur) (Tablo 3.27); (2) devlet yolları ve otoyollar için AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yukarıdan aşağıya yorulma çatlaması kriteri dikkate alınarak tasarlanan yollar, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi baz alınarak tasarlananlara göre daha yüksek kalınlıklara sahip olmuştur.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amaçlarından biri AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi ülkemizde tam anlamıyla uygulanabilmesi için eksik olan veriler belirlenmesi ve bu yöntemin kullanımına yönelik atılacak adımlar ve eksik verilerin nasıl temin edilmesi gerektiğiyle ilgili pratik önerilerin sunulmasıydı.

Bu çalışma sonucu iklim verilerinin yol üstyapı tasarımına etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ülkemiz iklim verilerinin AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi programında direk olarak kullanılabilmesi için bu verilerin eksiksiz ve programın gerektirdiği formatta hazırlanması ve kullanıcılara sunulması gerekmektedir.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi'ne göre daha detaylı ve gerçekçi tasarım yapılabilmesi için ülkemiz karayollarında kullanılan malzemelere ait verilerin, detaylı trafik sayım verilerinin ve diğer verilerin üstyapı tasarımcılarıyla paylaşılması gerekmektedir.

Ülkemizde KGM'nin sorumluluğundaki tüm yolların düzenli olarak performans verileri toplanmalı ve bu verilerin talep eden üstyapı mühendisleriyle paylaşılması gerekmektedir.

AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi farklı performans parametreleri için otomatik (default) atanan sınır değerler kullanıyor olup bu değerlerin yol tasarımcısı tarafından değiştirilmesi mümkündür. Bu değerlerin değiştirilmesi durumunda AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi tarafından yolun tasarım ömrü sonunda hesaplanan performans değerleri değişmemekle birlikte hesaplanan değerlerin ilgili sınır değeri aşıp aşmama durumu değişebilmektedir. Ülkemizde yol üstyapı tasarımı için ileriki dönemlerde AASHTOWare Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Yöntemi kullanılacaksa her bir performans parametresi için ilgili sınır değerler mutlaka belirlenmelidir.

KAYNAKÇA

- AASHTO (1993). American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D.C.
- AASHTO (2024). AASHTOWare Pavement ME Design - Climatic Data. (n.d.). Retrieved March 28, 2024, from <https://me-design.com/MEDesign/ClimaticData.html?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
- Aguib, A. A. (2021). Flexible pavement design AASHTO 1993 versus mechanistic-empirical pavement design.
- Armağan, K. (2019). Karayolunun AASHTO metoduna göre tasarımı ve Türkiye kalibrasyonu.
- Aydemir, H., & Çubuk, M. K. (2016). Karayollarının Türkiye’de genel durumunun araştırılması ile yaşanan değişimler ve gelecek stratejilerine dair tavsiyeler. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(3), 129-146.
- Bağdatlı, M. (2010). *Esnek üst yapı kaplamalarındaki hasar özelliklerinin bakım maliyetleri üzerine etkisi* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Bağdatlı, M. E. C., & Yıldırım, M. Ş. (2017). Karayolu üstyapılarındaki bozulmaların bakım maliyetlerine etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 102-111.
- Baus, R. L., & Stires, N. R. (2010). *Mechanistic-empirical pavement design guide implementation* (No. FHWA-SC-10-01). University of South Carolina. Dept. of Civil & Environmental Engineering.
- Caliendo, C. (2012). Local calibration and implementation of the mechanistic-empirical pavement design guide for flexible pavement design. *Journal of Transportation Engineering*, 138(3), 348-360.
- Çalışkan, K. K., Öztürk, A., & Tutan, S. N. (2021). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı*.
- Darter, M. I., Von Quintus, H., Bhattacharya, B. B., & Mallela, J. (2014). *Calibration and implementation of the AASHTO mechanistic-empirical pavement design guide in Arizona* (No. FHWA-AZ-14-606). Arizona. Dept. of Transportation. Research Center.

- Deniz, T. (2016). Türkiye’de Ulaşım Sektöründe Yaşanan Değişimler Ve Mevcut Durum. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 135-156.
- Ecevit, O. (2007). Karayollarında rijit üstyapı uygulamaları ve tasarımı.
- Eisenmann, J., & Hilmer, A. (1987). Influence of wheel load and inflation pressure on the rutting effect at asphalt-pavements: experiments and theoretical investigations. In *International conference on the structural design*.
- Haider, S. W., Buch, N., Chatti, K., & Brown, J. (2011). Development of traffic inputs for mechanistic–empirical pavement design guide in Michigan. *Transportation Research Record*, 2256(1), 179-190.
- Hensley, M. J., & Leahy, R. B. (1989). Asphalt concrete mixtures as related to pavement rutting: case studies. *Transportation Research Record*, (1217).
- Kapluhan, E. (2014). Ulaşım coğrafyası açısından Türkiye’de karayolu ulaşımının tarihsel gelişimi ve mevcut yapısı. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(33), 426-439.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2008). Karayolları Esnek Üstyapıları Projelendirme Rehberi, KGM Yayını, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2013). Karayolları Teknik Şartnamesi, KGM Yayını, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2024a). <https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx>
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2024b). Yol, Köprü, Tünel, Bitümlü Kaplamalar, Bakım ve Trafik İşlerine Ait Birim Fiyat Listesi. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/ProgramIzlemeDairesiBaskanligi/2024YiliBirimFiyatListesi.pdf>
- Kaya, O. (2015). *Investigation of AASHTOWare Pavement ME Design/Darwin-ME TM performance prediction models for Iowa pavement analysis and design* (Master’s dissertation, Iowa State University).

- Kim, S., Ceylan, H., Ma, D., & Gopalakrishnan, K. (2014). Calibration of pavement ME design and mechanistic-empirical pavement design guide performance prediction models for Iowa pavement systems. *Journal of Transportation Engineering*, 140(10), 04014052.
- Kök, E. (2008). Karayolu ve havaalanı üstyapı tasarım yöntemleri, karşılaştırması ve Türkiye uygulamaları.
- Kutluhan, S., & Açar, E. (2011). Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunu etkileyen faktörler ve azaltmaya yönelik öneriler. *İTÜDERGİSİ/d*, 8(6).
- Li, J., Pierce, L. M., & Uhlmeier, J. (2009). Calibration of flexible pavement in mechanistic–empirical pavement design guide for Washington state. *Transportation Research Record*, 2095(1), 73-83.
- Li, Q., Xiao, D. X., Wang, K. C., Hall, K. D., & Qiu, Y. (2011). Mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG): a bird’s-eye view. *Journal of Modern Transportation*, 19, 114-133.
- Luo, Y., Wu, H., Song, W., Yin, J., Zhan, Y., Yu, J., & Wada, S. A. (2023). Thermal fatigue and cracking behaviors of asphalt mixtures under different temperature variations. *Construction and Building Materials*, 369, 130623.
- Moreno-Navarro, F., & Rubio-Gámez, M. C. (2016). A review of fatigue damage in bituminous mixtures: Understanding the phenomenon from a new perspective. *Construction and Building Materials*, 113, 927-938.
- Muthadi, N. R., & Kim, Y. R. (2008). Local calibration of mechanistic-empirical pavement design guide for flexible pavement design. *Transportation Research Record*, 2087(1), 131-141.
- Öztürk, H. I., Tan, E. B., Şengün, E., & Yaman, İ. Ö. (2019). Farklı trafik, zemin, malzeme ve iklim koşulları için mekanistik-ampirik (ME) yöntemle tasarlanan derzli donatısız rijit üstyapı sistemlerinin karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 771-784.
- Saltan, M., & Fındık, F. S. (2013). Geniş tabanlı ve çift tekerlekli ağır taşıtların karayolu esnek üstyapıları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Nondestructive Testing*.

- Sanfilippo, D., Ghiassi, B., & Alexiadis, A. (2023). Peridynamic modelling and simulation of asphalt at low and high temperature. *Construction and Building Materials*, 367, 130170.
- Swan, D. J., Tardif, R., Hajek, J. J., & Hein, D. K. (2008). Development of regional traffic data for the mechanistic–empirical pavement design guide. *Transportation research record*, 2049(1), 54-62.
- Şengün, E., Öztürk, H. İ., & Yaman, İ. Ö. (2020). Mekanistik-ampirik ve geleneksel beton yol tasarım yöntemlerinin karşılaştırılması: Afyon-Emirdağ deneme kesimi. *Teknik Dergi*, 31(5), 10251-10274.
- Yang, K., Cui, H., Ma, X., & Zhu, M. (2023). Understanding and characterizing the fatigue cracking resistance of asphalt binder at intermediate temperature: A literature review. *Construction and Building Materials*, 407, 133432.