

Karayolunun AASHTO Metoduna Göre Tasarımı ve Türkiye Kalibrasyonu

Kemal Armağın

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2019

AASHTO Design Method in Highways and TURKEY Calibration

Kemal Armağan

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Civil Engineering

May 2019

Karayolunun AASHTO Metoduna Göre Tasarımı ve Türkiye Kalibrasyonu

Kemal Armağan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmelięi Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalında

DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Nevzat KIRAÇ

İkinci Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

Mayıs 2019

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Kemal ARMAĞAN'ın DOKTORA TEZİ olarak hazırladığı “Karayolunun AASHTO Metoduna Göre Tasarımı ve Türkiye Kalibrasyonu” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nevzat KIRAÇ

İkinci Danışman : Prof. Dr. Mehmet SALTAN

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Nevzat KIRAÇ

Üye : Prof. Dr. Serdal TERZİ

Üye : Doç. Dr. Hasan SAVAS

Üye : Doç. Dr. Volkan Emre UZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şebnem KARAHANÇER

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof.Dr.Nevzat KIRAÇ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Karayolunun AASHTO Metoduna Göre Tasarımı ve Türkiye Kalibrasyonu” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.21.05/2019

Kemal ARMAĞAN

İmza

ÖZET

Karayolu üstyapılarının projelendirilmesinde, ülkemiz üstyapı projelendirme metodunun yeni teknoloji ve gelişmelere adaptasyonunun sağlanabilmesi için Karayolları Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK' ın Kamu Kurumları Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında; “Mekanistik-Ampirik Yol Üstyapı Tasarımında Esneklik Modülünün Şartnamelere Uyarlanması” ve “Bitümlü Sıcak Karışım Aşınma Tabakası İçin Performansı Yüksek Karışımların Belirlenmesi“ konulu projeleri üzerinde yoğun çalışmalar yapmışlar, üstyapı tasarım metotlarımızın Mekanistik-Ampirik Dizayn prensiplerine göre geliştirilmesi, aşınma tabakasında ülkemiz şartlarına uygun performanslı kaplamalar kullanılması amacıyla Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi 2008 yılında güncellenmiş ve Mekanistik-Ampirik Dizayn Metodu ile karayolu üstyapılarının projelendirilmesine yönelik ilk adımlar atılmıştır. Ancak şu anda kullanılan Karayolları Teknik Şartnamesi 2013 içerisinde Mekanistik-Ampirik Dizayn Metodu ile ilgili bir bölüm bulunmamaktadır.

ABD’de yapılan bilimsel çalışmalar sonucu Temmuz 2008’de Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Kılavuzuna göre bölgesel iklim ve trafik verileri ile kaplama özellikleri bir bilgisayar yazılımı üzerinde tanımlanıp transfer fonksiyonları uygulanarak kaplama modellenir ve kaplamada oluşabilecek kısa ve uzun vadeli bozulmalar incelenir. Ortaya çıkabilecek bozulmalara göre kaplama dizaynı yeniden şekillendirilip, analiz tekrarlanır ve yeni modele göre bozulmalar tekrar incelenir. Bu döngü optimum maliyetle en uzun vadede en optimum servis şartlarında kullanılabilecek kaplama özellikleri bulunana kadar devam etmektedir. ABD’nin çeşitli eyaletleri bu kılavuz ve yazılımı kendi bölge şartlarına göre kalibrasyonunu yapmış, yeni kaplama dizaynlarını ve mevcut kaplamaların bakımlarını da bu metoda göre uygulamaya başlamıştır.

Ülkemizde henüz hem bu anlamda çalışmalar yeterli düzeyde değildir hemde ülkemize ait bir kalibrasyon bulunmamaktadır. Bu çalışma, bu alandaki eksikliğin giderilmesine yönelik olmakla beraber aynı zamanda ülkemiz karayollarının hangi bozulma türüne karşı daha duyarlı olduğunu belirleyecek bir hassasiyet analizini de içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mekanistik-Ampirik Dizayn, Kalibrasyon, Düzgünsüzlük, Hassasiyet Analizi.

SUMMARY

In order to ensure the adaptation of the pavement design method to the new technologies and developments in the projecting of the highway pavements, General Directorate of Highways is in the scope of TUBITAK's Program for Supporting Public Institutions Research Projects; Performans Adaptation of the Flexibility Module in the Mechanistic-Empirical Road Pavement Design to the Specifications” and “Determination of High Performance Mixtures for Bituminous Hot Mix Asphalt Surface Layer Performance” have made intensive studies on our projects. Highways Flexible Pavement Project Planning Guide has been updated in 2008 with the aim of using high performance pavement layers. As a result of these studies, the first steps were taken for the projection of highway pavements in our country through the Mechanistic-Empirical Design Method. However, there is currently no spesific section on Mechanistic Empirical Design in the Highways Technical Specification 2013.

As a result of scientific studies conducted in USA, the Mechanistic Empirical Pavement Design Guide was published in July 2008. According to this manual, the regional climate and traffic data and pavement features are defined on a computer software and the transfer functions are applied and the pavement is modeled. Depending on the deterioration that may occur, the pavement design is reshaped, the analysis is repeated and the distortion is examined again according to the new model. This cycle continues to the optimum cost until the pavement properties, which can be used in the most optimum service conditions, in the long term. The various states of the USA have calibrated these manuals and software according to their regional conditions, and started to implement new pavement designs and maintenance of existing pavements according to this method.

In our country, studies are not sufficient and there is no calibration for our country yet. Although this study is aimed at the elimination of the deficiency in this area and a sensitivity analysis which will determine the type of deterioration of the roads of our country is also done.

Keywords: Mechanistic-Empirical Design, Calibration, IRI, Sensitivity Analysis.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım boyunca her daim desteğini hissettiren, karşılaştığım her problemde yanımda olan, beni motive eden, üzerimde çok büyük emekleri olan ve kişiliğime önemli katkılar sağlayan saygıdeğer tez danışmanım Prof.Dr. Nevzat KIRAC’a, engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, ulaştırma anabilim dalını sevdiren, her türlü zorluk ve olumsuzluğa rağmen tezimin bugünlere gelmesinde büyük pay ve emek sahibi olan saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet SALTAN’a, sorunlar karşısında desteğini hiçbir zaman esirgmeden çözüm üretmemde bana yol gösteren, iletişimin değerini her fırsatta daha iyi kavramama yardımcı olan, anabilim dalım ile ilgili ufkumu genişleten saygıdeğer tez izleme komisyonu üyesi Prof. Dr. Serdal TERZİ’ye, beni hep daha iyisini yapmak için çalışmaya motive etmeyi başaran, tezimin bu günlere gelmesinde büyük pay ve emek sahibi olan Doç.Dr.Mehmet AVCAR’a, ABD’de Iowa State Üniversitesi’ne beni kabul eden ve tezimle ilgili takıldığım konularda desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr.Halil CEYLAN’a, ABD’de beni çok güzel ağırlayan ve her konuda yardımcı olan değerli arkadaşım Araş.Gör.Orhan KAYA’ya, yaşadığım sıkıntılı süreçlerde desteğini hep hissettiren değerli tez izleme komisyonu üyesi Doç.Dr.Hasan SAVAŞ’a ve yaşadığım her problemde çözüm odaklı hareket ederek beni yönlendiren değerli Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürümüz Prof.Dr. Hürriyet ERŞAHAN’a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Doktora çalışmalarım sırasında manevi desteklerini her zaman hissettiren Osmangazi Üniversitesi ve Süleyman Demirel Üniversite’lerindeki tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi’nde başta değerli hocam Dr. Öğr. Gör.Sadık Alper YILDIZEL olmak üzere moral ve motivasyon kaynağı olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim. Her sorumu sabırla cevaplayan ve sorunlara çözüm üretmemde bana yardımcı olan Konya ve Antalya KGM çalışanlarına desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Ve son olarak, bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan canım annem Emine Hanım ARMAĞAN’a, merhum babam Sunal ARMAĞAN’a ve sevgili kardeşlerim Mehmet Arslan ARMAĞAN ile Bedriye Suna ARMAĞAN’a, bu süreçte en büyük destekçim sevgili eşim Merve YÜKSEL ARMAĞAN’a ve en büyük moral kaynağım sevgili oğlum Tunç ARMAĞAN’a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	<u>Sayfa</u> vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Karayolu Tanımı.....	4
2.1.1 Karayollarının tarihçesi ve gelişimi.....	4
2.1.2 Dünyada ilk karayolu uygulamaları.....	4
2.1.3 Türkiye’de karayollarının gelişimi.....	6
2.1.4 Karayolu yapısının tanımı.....	7
2.1.5 Karayolu altyapısı	7
2.1.5.1 <u>Karayolu altyapısının görevleri</u>	8
2.1.5.2 <u>Taban zemini</u>	9
2.1.5.3 <u>Alttemel</u>	9
2.1.5.4 <u>Temel</u>	9
2.1.6 Karayolu esnek üstyapısı	9
2.1.6.1 <u>Aşınma tabakası</u>	10
2.1.6.2 <u>Binder tabakası</u>	12
2.1.6.3 <u>Bitümlü temel tabakası</u>	12
2.1.7 Karayolu rijit üstyapısı.....	13
2.1.8 Karayolu kompozit üstyapı	14
2.2 Karayolu Esnek Üstyapılarında Gerilme Dağılımı	15
2.3 Karayolu Üstyapısı Tasarım Yöntemleri	18
2.3.1 Ampirik tasarım yöntemleri	18
2.3.2 Mekanistik tasarım yöntemleri	21
2.3.3 AASHTO tasarım yöntemleri	23

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.3.1 <u>AASHTO-1972 tasarım yöntemi</u>	23
2.3.3.2 <u>AASHTO-1986 tasarım yöntemi</u>	24
2.3.3.3 <u>AASHTO 1993 tasarım yöntemi</u>	24
2.3.3.4 <u>AASHTO-2002 tasarım yöntemi</u>	25
2.3.4 Mekanistik-ampirik tasarım yöntemleri	26
2.3.5 Dinamik Elastisite Modülü temel eğrilerinin çizimi.....	30
2.3.6 Dinamik Elastisite Modülünün MAKDM’na göre tahmini	32
2.3.6.1 <u>Laboratuvarda Dinamik Elastisite Modülü tayini</u>	32
2.3.6.2 <u>Asfalt Dinamik Elastisite Modülü temel eğrileri</u>	32
2.3.7 Witczak modellerini kullanarak Dinamik Elastisite Modülü tahmini	34
2.3.7.1 <u>Witczak ve Fonseca ’nın Dinamik Elastisite Modülü tahmin.</u> denklemleri (1996).....	34
2.3.7.2 <u>Andrei, Witczak ve Mirza’nın 1-37A revize edilmiş modeli (1999)....</u>	36
2.3.7.3 <u>The Witczak 1-37A modeli (2006)</u>	37
2.3.7.4 <u>Georgouli modeli (2015).....</u>	38
2.3.8 Esneklik Modülü ile Dinamik Elastisite Modülü arasındaki ilişki.....	39
2.3.9 Güvenirlik	40
2.4 Esnek Üstyapıda Bozulma Türleri	41
2.4.1 Düzensizlik	41
2.4.2 Yorulma çatlak oluşumu	43
2.4.2.1 <u>Timsah sırtı çatlak oluşumu</u>	44
2.4.2.2 <u>Boyuna çatlak oluşumu</u>	45
2.4.2.3 <u>Çimento Stabilizasyonlu Malzeme’lerde yorulma çatlak oluşumu ..</u>	45
2.4.3 Enine çatlak oluşumu	46
2.3.3.1 <u>Termal çatlak oluşumu</u>	46
2.3.3.2 <u>Isıl çatlama mekanizması</u>	47
2.3.3.3 <u>Termal çatlama modeli</u>	48
2.3.3.4 <u>Yukarıdan aşağı enine çatlama</u>	49

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.3.5 <u>Aşağıdan yukarı enine çatlama</u>	50
2.4.4 Tekerlek izi oluşumu.....	50
2.4.4.1 <u>BSK tabakalarında tekerlek izi oluşumu</u>	50
2.4.4.2 <u>Bağlayıcısız tabakalarda tekerlek izi oluşumu</u>	53
2.4.5 Yansıma çatlağı oluşumu	53
2.5. AASHTOWARE Pavement ME Design yazılımı ve gelişimi	54
2.5.1 Güvenirlik	57
2.5.2 Analiz yazılımında tanımlanan girdi verileri	57
2.5.2.1 <u>Trafik</u>	57
2.5.2.2 <u>Trafik verilerinin analizi</u>	61
2.5.2.3 <u>İklim</u>	65
2.5.2.4 <u>Geliştirilmiş Entegre İklim Modeli</u>	67
2.5.2.5 <u>Malzeme</u>	68
2.5.2.6 <u>MAKDM analizinde gerekli malzeme verisi</u>	71
2.5.3 MAKDM analizleri sonucu elde edilen çıktı verileri	72
2.6 Lokal Kalibrasyon Metodolojisi	73
2.6.1 Lokal kalibrasyon adımları.....	73
2.6.2 Hata kontrolü ve optimizasyon	79
2.7 Hassasiyet Analizi	80
3.MATERYAL VE YÖNTEM	83
3.1 Trafik verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesi	85
3.1.1 Araç hızı	88
3.1.2 İki yöndeki yıllık ortalama günlük kamyon trafiği	88
3.2 İklim verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesi	88
....3.3 Malzeme verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesi	90
3.3.1 Dinamik Elastisite Modülü temel eğrisinin oluşturulması	91
3.3.2 Viskozite ve dağıtma faktörlerinin bulunması	91
3.3.3 Yaşlanmış binder viskozitesinin bulunması	93

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.4 Etkili sıcaklık derinliği	93
3.3.5 Asfalt Dinamik Elastisite Modülünün bulunması	94
3.3.6 Dinamik Elastisite grafiğinin oluşturulması	95
3.3.7 Poisson oranını belirlenmesi	96
3.3.8 Sonlu Elemanlar Metodu kullanan bir programda analiz yapılması	96
3.4 AASHTOWare Pavement ME Design yazılımı	97
3.5 Kalibrasyon	98
3.6 Hassasiyet Analizi	99
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	101
4.1 İklim Verilerinin Tanımlanması	101
4.2 Trafik Verilerinin Tanımlanması	111
4.3 Malzeme Verilerinin Tanımlanması	121
4.4 AASHTO Pavement ME Design yazılımı ile yapılan ön analiz sonuçları	149
4.5 Hassasiyet Analizi	155
4.5.1 Kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi	155
4.5.2 Kalibrasyon ve hata analizi	159
4.5.3 Hassasiyet analizi yerel sonuçları	166
4.5.4 Hassasiyet analizi toplu sonuçları	176
4.5.4.1 <u>Isparta-Burdur yolu</u>	176
4.5.4.2 <u>Isparta-Eğirdir yolu</u>	180
4.5.4.3 <u>Eğirdir-Akşehir yolu</u>	185
4.5.4.4 <u>Yalvaç-Akşehir yolu</u>	189
4.5.4.5 <u>Akşehir-Konya yolu</u>	193
4.5.4.6 <u>Kadınhanı-Konya yolu</u>	197
4.5.4.7 <u>Konya-Çumra yolu</u>	202
4.5.4.8 <u>Çumra-Karaman yolu</u>	206
4.6 Tartışma	210
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	213
KAYNAKLAR DİZİNİ	218
ÖZGEÇMİŞ.....	225

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. İlk Roma yolu en kesiti	5
2.2. Eski İpek Yolu	5
2.3. Karayolu enkesiti.....	7
2.4. Pnömatik bandaj etkisi ile oluşan üstyapı deformasyonu	16
2.5. Tek bandaj etkisi altında meydana gelen gerilmeler	16
2.6. Tipik bir yol üstyapı kesiti ve gerilme dağılımı	17
2.7. Karayolu üstyapısı tasarım yöntemleri kronolojisi	18
2.8. MADM Seviye 1 Ölçme ve Değerlendirme	29
2.9. MADM Seviye 2 Analiz ve Seviye 3 Strateji Seçimi	30
2.10. MAKDM 2002 yazılımı ana menü ekranı	56
2.11. IOWA şehri için yapılan kalibrasyon çalışmasının kaplama performansının tahminine etkisi.....	77
2.12. Lokal kalibrasyon metodolojisi ilk adımlar	78
2.10. Lokal kalibrasyon metodolojisi son adımlar	79
3.1. Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu	83
3.2. Karayolları Genel Müdürlüğü 2015 yılı için bölgelere göre bakım onarım ihaleli harcama dağılımı tablosu.....	86
3.3. Analiz seviyelerine göre E* elde edilmesi için izlenen analiz adımları.....	94
3.4. Dinamik Elastisite Modülü Temel Eğrisi grafiği örneği.....	96
3.5. Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu Akım Şeması.....	99
4.1. Arazi düzgünsüzlük verisi çalışması.....	160

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. E* tahmin modelleri	31
2.2. ABD ulusal araç sınıfları	65
2.3. Malzeme sınıfına bağlı temel malzeme verileri.....	69
2.4. Asfalt E* değerinin analiz seviyesine göre belirlenme metodolojisi	70
2.5. Öncelikli malzeme özellikleri girdi verileri	71
3.1. Asfaltın PG'sine göre A ve VTS değerleri tablosu	93
4.1. Karaman şehri için günlük minimum sıcaklık verileri	102
4.2. Minimum sıcaklık hesap tablosu.....	103
4.3. Karaman şehri için günlük maksimum sıcaklık verileri.....	104
4.4. Karaman şehri için ortalama maksimum sıcaklık değeri verileri	105
4.5. Ortalama maksimum değeri oluşturan 7 gün.....	106
4.6. Maksimum sıcaklık değeri için sonuçlar.....	106
4.7. Tüm iller için performans dereceleri.....	107
4.8. Akşehir ilinin sıcaklık verileri dosyasında örnek kısım.....	109
4.9. Isparta 17240 nolu istasyona ait meteoroloji verilerinden örnek kısım.....	110
4.10. Isparta iline ait seçilen yolların trafik analizi.....	113
4.11: Konya iline ait seçilen yolların trafik analizi.....	116
4.12. Karaman iline ait seçilen yolların trafik analizi	120
4.13. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait model bilgileri.....	121
4.14. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler.....	122
4.15. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	123
4.16. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları	123
4.17. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	124
4.18. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yola ait model bilgileri	125
4.19. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler	125
4.20. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	126
4.21. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları.....	126
4.22. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	127

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.23. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait model bilgileri.....	129
4.24. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler.....	129
4.25. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	130
4.26. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları.....	130
4.27. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	131
4.28. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait model bilgileri.....	132
4.29. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler.....	132
4.30. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	133
4.31. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları.....	133
4.32. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	134
4.33. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait model bilgileri.....	135
4.34. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler.....	136
4.35. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	136
4.36. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları.....	137
4.37. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	138
4.38. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait model bilgileri.....	139
4.39. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler.....	139
4.40. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	140
4.41. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları.....	141
4.42. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	141
4.43. Konya-Çumra karayolunda seçilen yola ait model bilgileri.....	143
4.44. Konya-Çumra karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler.....	143
4.45. Konya-Çumra karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	144
4.46. Konya-Çumra arasındaki seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları.....	144
4.47. Konya-Çumra arasındaki seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	145
4.48. Çumra-Karaman karayolunda seçilen yola ait model bilgileri.....	146
4.49. Çumra-Karaman karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler.....	147
4.50. Çumra-Karaman karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri.....	147
4.51. Çumra-Karaman karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları.....	148

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.52. Çumra-Karaman arasındaki seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları.....	149
4.53. Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	150
4.54. Isparta-Burdur şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	150
4.55. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	150
4.56. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	151
4.57. Akşehir-Konya şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	152
4.58. Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	152
4.59. Konya-Çumra şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	153
4.60. Çumra-Karaman şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları.....	154
4.61. Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	155
4.62. Isparta-Burdur şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	156
4.63. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	156
4.64. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	157
4.65. Akşehir-Konya şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	157
4.66. Akşehir-Konya şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	158
4.67. Konya-Çumra şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	158
4.68. Konya-Çumra şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları.....	159

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.69. 8 ayrı yol kesimi için kalibrasyon katsayıları ile arazi düzgünsüzlük verileri.....	160
4.70. SPSS programından elde edilen değişkenler yapılan ön değerlendirme sonuçları....	161
4.71. Ortalama değerler ile yapılan düzgünsüzlük analizi sonuçları.....	162
4.72. Ortalama değerler ile yapılan düzgünsüzlük analizi sonuçları ile arazi verilerinin karşılaştırması.....	162
4.73. Ortalama değerler ile yapılan düzgünsüzlük analizi sonuçlarından elde edilen kalibrasyon katsayısı sonuçları.	163
4.74. Seçilen yolların tamamını temsine seçilen kalibrasyon katsayıları.....	163
4.75. Seçilen kalibrasyon katsayıları kullanılarak elde edilen analitik çözüm ve bu sonucun anazi değerlerinden farkı.....	164
4.76. Seçilen kalibrasyon katsayıları ile AASHTO Pavement ME Design yazılımında yapılan analiz sonuçları.....	164
4.77 Araziden ve analizlerden elde edilen IRI değerleri ve farkları.....	165
4.78. Çumra-Karaman arasındaki karayolu için hassasiyet analizi değişkenleri ve değişme miktarları.....	166
4.79. Çumra-Karaman arasındaki karayolunun YOGKT’ne hassasiyet derecesi örneği....	167
4.80. Aşınma tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği.....	168
4.81. Binder tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği.....	169
4.82. Bitümlü temel tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği.....	171
4.83. Temel tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği.....	173
4.84. Alttemel tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği.....	174
4.85. Taban zemini tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği.....	175
4.86. Isparta-Burdur arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	176
4.87. Isparta-Burdur arasında seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	178
4.88. Isparta-Eğirdir arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	181
4.89. Isparta-Eğirdir arasında seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	183

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.90. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	186
4.91. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	187
4.92. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	190
4.93. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	191
4.94. Akşehir-Konya şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	194
4.95. Akşehir-Konya için seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	196
4.96. Kadınhanı-Konya arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	198
4.97. Kadınhanı-Konya arasındaki yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban tabakalarının hassasiyet analizi sonuçları.....	200
4.98. Konya-Çumra arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	202
4.99. Kadınhanı-Konya arasındaki yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban Zemini tabakalarının hassasiyet analizi sonuçları.....	204
4.100. Çumra-Karaman şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları.....	207
4.101. Çumra-Karaman arasındaki yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakalarının hassasiyet analizi sonuçları.....	208

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
E^*	Asfalt karışımın Dinamik Elastisite Modülü, 10^5 psi
η	Bitüm viskozitesi, 10^6 poise
f	Yükleme frekansı, Hz
V_a	karışımındaki boşluk yüzdesi, hacimce
V_{beff}	% efektif bitüm oranı, hacimce
p_{34}	% cinsinden $\frac{3}{4}$ inç çaplı elekten geçen agrega oranı (kümülatif),
p_{38}	% cinsinden $\frac{3}{8}$ inç çaplı elekten geçen agrega oranı (kümülatif),
p_4	% cinsinden No.4 eleğinden geçen agrega oranı (kümülatif),
p_{200}	% cinsinden No.200 eleğinden geçen agrega oranı (kümülatif),
T_R	Sıcaklık, Rankine.
A	Regrasyon katsayısı.
VTS	Sıcaklığa duyarlı viskozitenin regresyon eğimi.
G^*	Kompleks kayma modülü, Pa.
δ	Faz açısı, derece
IRI_0	Yolun yapımından sonraki ilk IRI değeri, in./mi,
SF	Arazi faktörü
FC	Yorulma çatlağı
RD	Tekerlerk izi
COV_{RD}	Tekerlek izini varyans katsayısı
TC	Enine çatlak uzunluğu
BC	Blok halinde oluşan çatlak alanı
$SLCNWP_{MH}$	Tekerlek izinin dışında belirlenmiş boyuna çatlak uzunluğu
μ	Poisson oranı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
AASHTO	Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Görevlileri Topluluğu
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
MR	Esneklik Modülü
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
TMA	Taş Mastik Asfalt
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik
YOGKT	Yıllık Ortalama Günlük Kamyon Trafiği
ESDY	Eşdeğer Standart Dingil Yüğü
EDYTS	Eşdeğer Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı
NCHRP	Amerikan Ulusal Karayolu Araştırma Programı
FHWA	Amerikan Ulusal Karayolu Genel Müdürlüğü
IRI	Uluslararası Düzgünsüzlük Endeksi
MAKDM	Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu
LTPP	Düşük Trafikli Yolların Performansı
MAKDK	Mekanistik-Ampirik Kaplama Dizayn Kılavuzu
GEİM	Geliştirilmiş Entegre İklim Modeli
NEHI	Normalize Edilmiş Hassasiyet İndeksi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Karayolu ulaştırma yatırımları genel olarak hem yapım hem de bakım onarım bakımından oldukça maliyetli yatırımlardır. Ülkemiz ekonomik koşullarında bu maliyetler oldukça önem arz etmektedir. ABD, İngiltere, Japonya...vb. gelişmiş ve ekonomik koşulları iyi ülkeler, ulaştırma altyapılarını büyük ölçüde tamamlamış ülkeler olarak ön plana çıkmaktadır. ABD’de karayolu ulaştırma ağı oldukça geniş olmakla beraber yeni yol yapımı halen önemini korumakta, mevcut yolların bakım onarım maliyetlerini azaltmak ve sürdürülebilirlikte ise her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

Ulaştırma yatırımları için kullanılması planlanan bütçelerin daha doğru değerlendirilebilmesi, mevcut tasarım yöntemlerinin olumsuz yönlerinin giderilmesi, daha gerçekçi olarak öngörülebilir deformasyon tahminlerinin yapılabilmesi adına ABD’de 20.yy ‘nin başından beri birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar ampirik yöntemler olarak başlamış, daha sonra mekanistik yöntemler geliştirilmiş ve son olarak bu iki yöntemin birleşimi ile daha tutarlı, hassas ve gerçekçi sonuçlar verebileceği ortaya konmuştur.

Genel olarak bakıldığında ampirik tasarım yöntemleri, kaplama katmanlarının kalınlıkları, kullanılan malzeme özellikleri, kaplamaya uygulanan yüklerin sayısı ve büyüklüğüne bağlı kaplamanın gözlemlenen davranışlarına dayanmaktadır. Ampirik yöntemlerde, gözlenen bozulma karakteristiklerine bağlı olması avantaj olmakla beraber, kaplama içindeki gerilmelerin, kullanılan malzemelere ait mukavemet ve deformasyon gibi özelliklerin uygun bir şekilde değerlendirilmemesi de dezavantaj olmaktadır. Bu durum, ampirik yöntemleri, kullanılan malzeme türüne, iklim ve yükleme koşullarına bağlamaktadır.

Mekanistik yöntemlerin ise ampirik yöntemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Kaplama performansında araç yüklenmesinden dolayı meydana gelen değişikliklerin değerlendirilmesine olanak tanınması, yeni malzemelerin tasarım özellikleriyle değerlendirilebilmesi, kaplamanın yapımı sırasında oluşan değişkenliğin etkisinin değerlendirilebilmesi, kaplamada kullanılan malzemelere daha fazla özellikliğin tanımlanabilmesi, kaplamada oluşan bozulma karakteristiklerinin daha gerçekçi olarak

değerlendirilebilmesi, kaplama tasarımında girdi olarak kullanılan malzemelerin veritabanlarının geliştirilip, bilgi mevcut olduğunda güncellenebilir olması önemli bazı avantajlar olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak mekanistik tasarımın en büyük avantajı, malzeme ve trafikteki değişiklikler gibi girdi kalemlerinde meydana gelen değişikliklerin etkisinin, hızlı bir şekilde analiz edilmesini sağlamasıdır.

Mekanistik Ampirik Dizayn Metodu'nda ise bölgesel iklim ve trafik verileri ile kaplama özellikleri tanımlanıp kaplama modellenmekte, transfer fonksiyonları uygulanarak kaplamada oluşabilecek kısa ve uzun vadeli bozulmalar incelenmekte ortaya çıkabilecek bozulmalara göre kaplama dizaynı yeniden şekillendirilip, istenen şartlar sağlanana kadar bu işlem tekrarlanabilmektedir. Bu sayede optimum maliyetle en uzun vadede en optimum servis şartlarında kullanılabilecek kaplama özellikleri elde edilebilmektedir.

ABD'de tüm ülke bazında geçerli sayılabilecek şekilde bu metod geliştirilip, daha hassas sonuçlar elde edebilmek için bölgesel bazda nasıl işlem yapılabileceğine dair bir kılavuz yayınlanmıştır. Bu kılavuz ile ABD'deki çeşitli eyaletler kendi bölge şartlarına göre ulusal verileri güncelleyerek, yeni kaplama dizaynları ve mevcut kaplamaların bakımları için ulusal verilerin bölgesel kalibrasyonlarını yapmaya başlamıştır.

Ülkemizde henüz hem bu anlamda çalışmalar yeterli düzeyde değildir hem de ülkemize ait bir kalibrasyon bulunmamaktadır. Bu çalışma ile elde edilecek kazanımlar aşağıda verilmiştir;

- 1- Tüm şehirlere ait iklim verileri incelenerek birbirine yakın değerlere sahip bölgeler belirlenip, bölgesel iklim modelleri oluşturulacak ve yazılımda kullanılabilir veriler haline getirilecek.
- 2- Tüm şehirlerin ana güzergahlarına ait trafik verileri incelenip, trafik modelleri oluşturulacak ve yazılımda kullanılabilir veriler haline getirilecek.
- 3- Bölgelere göre en çok kullanılan kaplama çeşitleri incelenip modelleri oluşturulacak ve yazılımda kullanılabilir veriler haline getirilecek.
- 4- Sonlu elemanlar metodu kullanılan AASHTOWare Pavement ME Design yazılımında elde edilen verilerin analizi yapılacaktır.

5- Seçilen yollardan elde edilen düzgünsüzlük verileri ile programdan elde edilen düzgünsüzlük sonuçları karşılaştırılıp ortaya çıkan hata minimize edilecek şekilde programdaki kalibrasyon katsayıları güncellenerek, düzgünsüzlük parametresi için kalibrasyon çalışması yapılacaktır.

6- SEM analizi sonucu elde edilecek verilerle ülke çapında kullanılabilecek seçilmiş modeller kullanılıp, bölgesel verilerle yapılan analizler sonucunda Mekanistik Ampirik Kaplama Dizaynı Kılavuzuna göre düzgünsüzlük parametresi için Türkiye Kalibrasyonu yapılacak ve düzgünsüzlük parametresi için ulusal kalibrasyon katsayıları belirlenecektir.

7- Programda tanımlanan diğer bozulma türleri için bölgesel veriler kullanılarak bir hassasiyet analizi yapılacak, kullanılan modellerin proje ömrü boyunca hangi bozulma türüne karşı hassas olduğu incelenecektir.

8- Toplamda 1000'e yakın sayıda analiz yapılarak elde edilecek veriler sadeleştirilerek, sonuçları yorumlanacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Karayolu Tanımı

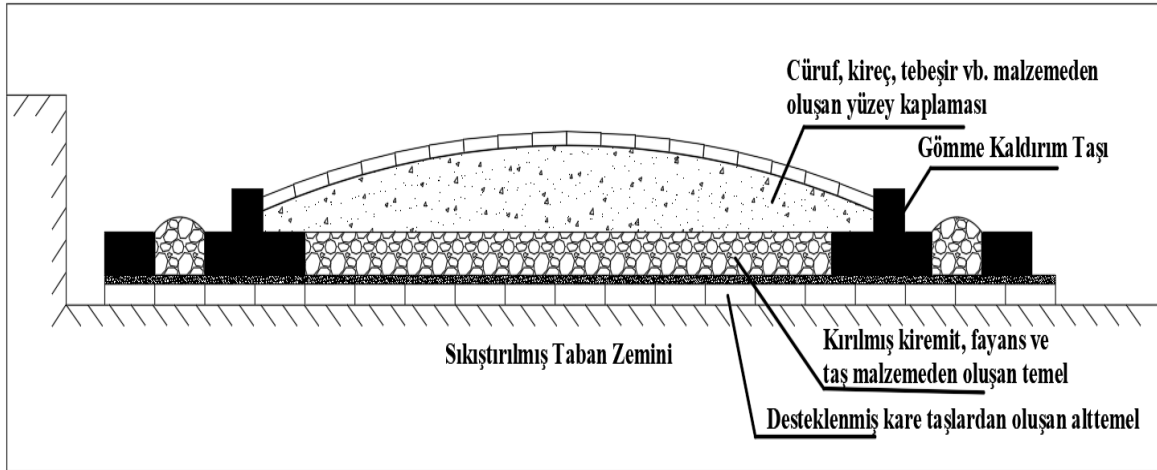
Arazinin ulaşım amacıyla belli standartlara uygun olarak şekillendirildiği bir kullanım biçimi olan karayolu, trafik için, kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeridi, köprüler, tüneller, her türlü sanat yapıları, koruma yapıları ve diğer alanlardır şeklinde tanımlanabilir (KTŞ, 2013; Hanlı, 2009). Ayrıca, binlerce yıl süren değişimlerle oluşan yeryüzü şekillerinin kazandığı temel arazi formlarının en hızlı ve uzun mesafede değiştirildiği tek alandır (Hanlı, 2009).

2.1.1 Karayollarının tarihçesi ve gelişimi

Günümüzde tekerleğin bir aksa bağlı ulaşım aracı olarak kullanıldığına ait bilgiler, MÖ.3500'lü yıllarda Sümerler tarafından tekerlekli bir kızıağın resmedildiği Sümer (Uruk) piktogramına kadar gitmektedir (McNeil, 1990). Tekerleğin icadıyla beraber yol yapımına ihtiyaç duyulmuştur. Tarihte farklı zaman dilimlerinde bu ihtiyacı karşılamaya yönelik çeşitli yol uygulamaları yapılmıştır.

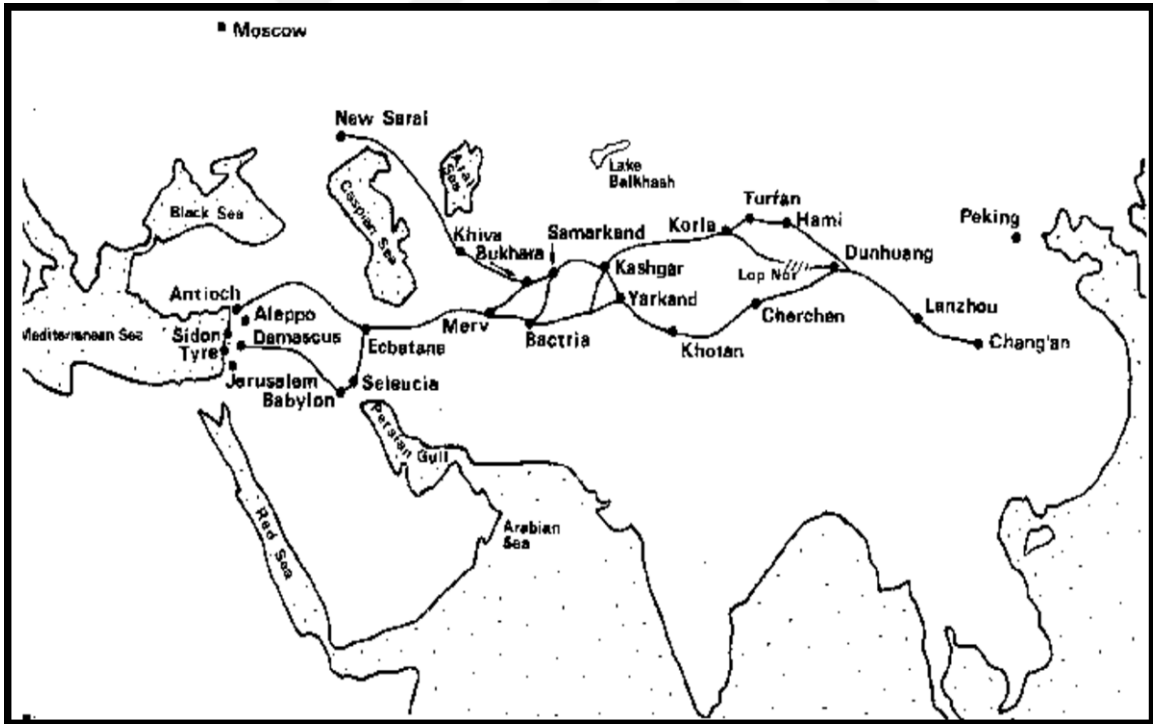
2.1.2 Dünyada ilk karayolu uygulamaları

Tarihte bilinen ilk kaplamalı yol MÖ 4000 yılında, Sümerlere ait eski Ur şehrinde keşfedilmiştir (Longfellow, 2017). Britanya' da geçmişi "Sweet Track" adlı M.Ö. 3807 yılına dayanan, yan yana sıralanmış ağaç kütükleri ile yapılmış bir yol keşfedilmiştir (Schwartz, 2015). Sümerlere ait eski Uruk şehrinde MÖ 3500'lü yıllarda yapıldığı düşünülen bir yol bulunmuştur. Tarihte Romalıların, ilk gerçek yol yapımcıları olarak görülmelerinin nedeni, Şekil 2.1'deki gibi yeterli drenaja, uygun bir temele ve bombeli, geçirimsiz bir yüzeye sahip ilk yolları yapmalarındandır (McNeil, 1990). Romalılar, tesviye edilmiş toprak yollar, çakıl satırlı yollar ve kaplamalı yollar olmak üzere inşa ettikleri yaklaşık 80.000 km'lik yol uzunluğu ile Avrupa'daki en büyük yol yapım çağını gerçekleştirmiştir (McNeil, 1990; Büyüksaraçoğlu, 2009).



Şekil 2.1. İlk Roma yolu en kesiti.

Bilinen en eski uygarlıklardan biri olan Çin'den Anadolu'ya kadar uzanan ve geçmişi MÖ.2600'lü yıllara kadar giden Şekil 2.2'deki İpek Yolu bulunmaktadır (Hanlı, 2009).



Şekil 2.2. Eski İpek Yolu (Akkaymak, 2009).

18.yy'da gelişmiş yol teknikleri ortaya çıkmaya başlamış, İskoçyalı J.L. McAdam (1756–1836) yol yapım malzemesi olarak kırma taş kullanarak bir ayrıcalık yaratmış ve böylece ülkemizde de kullanılmakta olan ve kendi ismini taşıyan Makadam tipi yollar ortaya

çıkmiştir. Aynı yıllarda Fransa’da Pierre Tresaguet (1716–1796) tarafından benzer bir yöntem geliştirilmiştir. 18.yy. başında İngiltere de kömür madenlerinin açılması ile fazla miktarda atık kömür katranı ortaya çıkmış ve bu malzemenin bağlayıcılık özelliğinin yol inşasında kullanılmaya başlanması modern yolların gelişiminde önemli rol oynamıştır. 19.yy’da lokomotifin icadı ile karayolu yapımında duraklama dönemine girilmiş ancak şehir merkezleri ile demiryolları arasındaki bağlantı yollarına ihtiyaç duyulması ve özellikle de 20.yy’da otomobilin icadı ile modern yol yapım teknikleri hızla önem kazanmaya başlamıştır (Büyüksaraçoğlu, 2009).

2.1.3 Türkiye’de karayollarının gelişimi

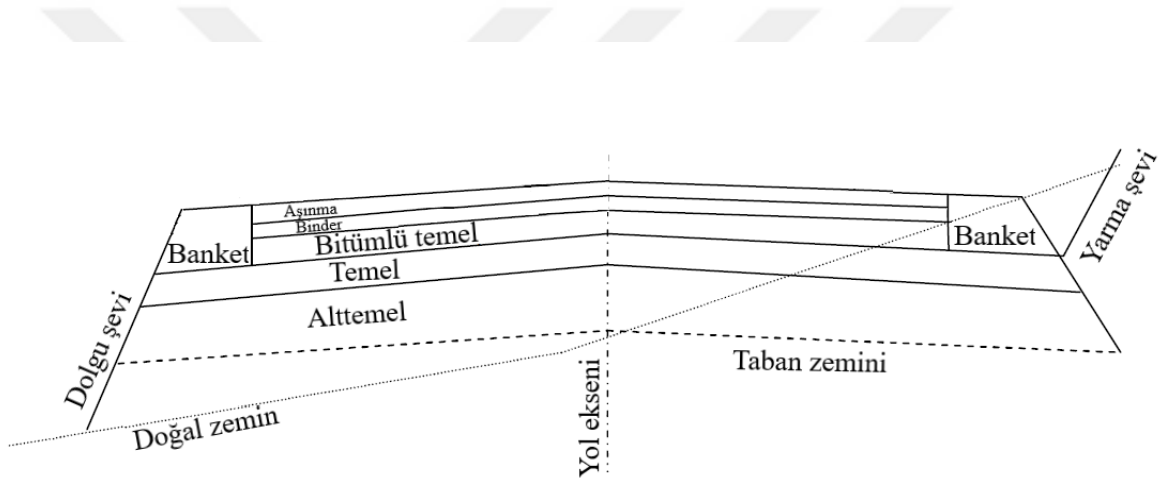
Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) üstyapı projelendirme yöntemindeki hedefini önce AASHTO 1993, daha uzun vadede ise mekanistik-ampirik yöntemlere geçiş olarak belirlemiş ve bu hedef doğrultusunda ilk basımı 2006’da yapılan, 2008’de ise revize edilen, AASHTO 1993 yöntemini esas alan Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi yayınlanmıştır (Güngör ve Sağlık, 2009).

AASHTO 93 üstyapı projelendirme kriterleri esas alınmış ve Mekanistik-Ampirik Kaplama Dizayn Metodu’na (MAKDM) geçiş için hazırlıklar yapılmıştır. Karayolları tarafından AASHTO 93 üstyapı projelendirme kriterleri baz alınarak kullanılan servis kabiliyeti-davranış ilişkisine bağlı yöntemde, üstyapı tabaka kalınlıkları; zemin taşıma gücü, trafik yükü, coğrafi konum, iklimsel koşullar ve yol malzemesinin davranış özellikleri göz önünde bulundurularak tayin edilir. Esnek üstyapı tasarımında öncelikli olarak taşıt dingil tipleri, sayıları ve ağırlıklarını belirlemek amacıyla, yolun inşa olunacağı güzergâhta “Lodometre” çalışması yapılır. Bu çalışmada bütün trafik yükleri, dingil eşdeğerlik faktörleri yardımıyla standart tek dingil yükü olan 8,2 ton’a çevrilir. Dingil ve tekerlek yükü altında yol tabakalarında basınç ve çekme gerilme-deformasyonları oluşur. Oluşan bu gerilme-deformasyonların büyüklüğü, dingil ve tekerlek tipleri ile yüklerinin tekerrürü ile birebir ilişkilidir. Taban zemininin taşıma gücü, üstyapı tabakalarının kalınlıklarını etkilemektedir. Bundan dolayı Lodometre çalışmasından sonra yol taban zemininin taşıma gücünü belirlemek amacıyla Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) ve Esneklik Modülü (MR) deneyleri yapılır. MR değeri; laboratuvar deneyi veya CBR değeri ile olan ilişkisinden abaklar veya formül yardımıyla tahmin edilebilmektedir. Esnek üstyapı tasarımında son olarak çevresel

ve iklimsel faktörler göz önünde bulundurularak yolun gerekli servis kabiliyetinin sağlanması amacıyla, yol drenaj altyapısı projelendirilir (Özcanan ve Akpınar, 2014).

2.1.4 Karayolu yapısının tanımı

Esnek üstyapı kaplamaları Şekil 2.3'te görüldüğü üzere 6 ayrı tabakadan meydana gelir. Bunlar; aşınma, binder, bitümlü temel, temel, alttemel ve taban zemini diye yukarıdan aşağıya sıralanırlar. Tabaka kalınlıkları da yukarıdan aşağıya bir artış göstermektedir. Yapılacak yolun zemin mukavemeti, trafik hacmi gibi özelliklerine bakılarak bu tabakaların hepsi ya da birkaçı birlikte kullanılır (ESOGU, 2008).



Şekil 2.3. Karayolu enkesiti.

2.1.5 Karayolu altyapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda tesviye yüzeyiyle doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerindeyse doğal zemindir. Ancak yarma kesimlerinde tesviye yüzeyini oluşturmak amacıyla yapılan dolgu çalışmaları da altyapıya dahildir. Ayrıca köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi yapılar da altyapı elemanı olarak kabul edilir. Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkenlerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapı oluşturulurken bitkisel toprak, çürük zemin

ve sıkıştırmaya elverişli olmayan zeminler kullanılmamalıdır. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir (Hanlı, 2009).

Esnek kaplamalarda kullanılan temel ve alttemel tabakaları, taban zemini olarak adlandırılan yol gövdesi üzerine yerleştirilir. Belli bir granülometriye sahip olan bu tabakaların amacı, diğer tabakalara oranla daha ucuza mal edildiklerinden ve daha kalın yapılabildiklerinden, yol kaplamasına yorulma direnci, rijitlik ve yük yayma kabiliyeti kazandırmaktır. Bu tabakalar yoldaki yük taşıma kabiliyetini artırır, drenajı sağlarlar, donma ve şişme etkilerine karşı koruma sağlarlar, deformasyonları azaltırlar ve kaplama tabakası için uygun bir yüzey oluştururlar. Bu tabakaların, özellikle kalite açısından düşük ancak drenaj kabiliyeti yüksek agregalardan oluşması istenmektedir. Tabakalar 5 farklı şekilde imal edilebilir. Bunlar; Plentmiks temel, Mekanik stabilizasyon temel, Çimento stabilizasyon temel, Bitümlü temel ve Alttemeldir (Ektaş, 2011).

2.1.5.1 Karayolu altyapısının görevleri

Adından da anlaşıldığı üzere bu tabakalar yolun temel görevini gören yapılardır. Sıkıştırılmış zemine göre daha kaliteli ve mukavemetlidirler ancak ekonomik olmaları bakımından kaplama tabakasına nazaran daha az kalitede imal edilir ve daha kalın yapırlar. Bu iki tabakanın görevleri şunlardır;

- Kaplama inşaatının maliyetini düşürmek,
- Kaplama tabakası için uygun bir platform oluşturmak,
- Trafik yüklerini kaplamadan alarak zemine yaymak,
- Deformasyonlara karşı direnç sağlamak,
- Şişme ve büzölmelere karşı koymak,
- Drenajı sağlamak.

Ancak bu tabakalardan beklenen en önemli iki işlev; yüksek drenaj kabiliyeti ve yüksek stabilitedir. Bu iki temel görevi sağlamak için kullanılacak agregaların, yüksek stabilite, maksimum yoğunlukta sıkışma gösteren, yoğun gradasyonlu, permeabil, içinde ince malzemesi az olan, don duyarlılığı az, işlenebilirliği yüksek ve fazla segregasyona uğramayan agregalar olması gerekmektedir (Tunç, 2004).

2.1.5.2 Taban zemini

Sıkıştırılmış doğal zeminden oluşur. Yapısal olarak en önemli tabakadır. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ihtiyacı vardır (Karaşahin, 1993).

2.1.5.3 Alttemel

Alttemel tabakası; tesviye yüzeyi üzerine serilen ve genellikle belli bir granülometrisi olan ve incesi az kum, çakıl, taş kırığı, yüksek fırın cürufu gibi daneli malzemeden inşa edilen tabakadır. Kaplama tabakasından gelen trafik yükünün taban üzerine yayılmasında üstünde bulunan temel tabakasına olan yardımı yanında su ve don tesirlerine karşı tampon bölge vazifesi de gören bu tabakanın teşkili ile daha seçme malzemeden inşa edilen temel tabakasının kalınlığı azaltılmış böylece maliyet de azaltılmış olur. Taban zemininin taşıma gücünün yeterli olduğu hallerde bu tabakanın teşkilinden vazgeçilebilir (Yoldaş, 2008).

2.1.5.4 Temel

Temel tabakası; alttemel tabakası ile kaplama tabakası arasına yerleştirilen ve granülometrisi ile malzemesinin fiziki özellikleri alttemel tabakasına göre daha iyi olan doğal kum, doğal çakıl veya kırmataş ile az miktarda bağlayıcı ince malzemeden oluşan tabakadır. Yol gövdesinde özel bir önemi olan bu tabakanın trafiğin darbe tesirlerini azaltmak ve kaplamadan intikal eden trafik yükünü alttemel tabakası ile birlikte taban üzerine yaymak gibi bir görevi vardır (Yoldaş, 2008). Temel tabakasının genel olarak plentmiks, kırmataş, penetrasyon makadam, asfaltlı makadam, çimentolu ve sıcak bitümlü temel olarak uygulamaları mevcuttur (Salta, 2010).

2.1.6 Karayolu esnek üstyapısı

Bir yol üstyapısı, değişik tabakalardan oluşur. Bu tabakalar proje ömrü boyunca emniyetli bir şekilde ve her türlü iklim koşulları altında hizmet verebilmelidir. Üstyapılar genel olarak iki temel sınıfa ayrılabilir. Bunlar, esnek üstyapılar ve rijit üstyapılardır.

Bunların dışında sathi kaplama ve kompozit kaplama üstyapı kaplama uygulamaları da tercih edilebilmektedir (Saltan, 2005).

Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan, trafik yüklerini kaplama temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup; stabilitesi, adezyonu, dane sürtünmesi ve kohezyonu kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (Karaşahin, 1993).

Kaplama tabakası üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalır. Üstyapıda oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en üst seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası diğer tabakalara göre daha yüksek bir Elastisite Modülüne sahip olmalıdır. Kaplama tabakasının trafik yüklerine karşı direnci kalınlığının artması ile artar. Kaplama tabakasının trafiği emniyetli ve konforlu bir şekilde geçirebilmesi için yeterli pürüzlülükte üniform bir yuvarlanma yüzeyine sahip olması gerekir (Umar ve Ağar, 1991).

Karayolu esnek üstyapıları genel olarak bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarından oluşan tabakalı bir sistemdir. Bu tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri üstyapının yüzeyinden tabanına inildikçe düşer (Saltan, 2005).

Bu tabakalarda kullanılan malzemelerin amaca uygun olarak gradasyon ve bağlayıcı özellikleri değiştirilerek farklı tip kaplamalar elde edilmiştir. Bu kaplama çeşitleri, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK), Taş Mastik Asfalt (TMA), Soğuk asfalt, Polimer modifiye bitümlü asfalt ve Renkli asfalt kaplama şeklinde sınıflandırılabilir.

2.1.6.1 Aşınma tabakası

Aşınma tabakası doğrudan trafik yükleriyle temas halinde olan tabakadır ve genellikle üstün kaliteli malzemeler içerir.

Genellikle yoğun dereceli BSK ile inşa edilirler. Bu katmanın işlevleri ve gereksinimleri:

- Sürtünme, pürüzsüzlük, drenaj vb. özellikler sağlar. Ayrıca, aşırı miktarda yüzey suyunun alt tabakalara girmesini önler,

- Trafik yükleri nedeniyle oluşan bozulma etkilerine dayanmak, pürüzsüz ve kaymaya karşı dayanıklı bir sürüş yüzeyi sağlamak zorundadır, (Mathew ve Rao, 2007).

Aşınma tabakasının kalınlığı; trafik şartlarına, çevre şartlarına, uygulanacak bölgeye ait deneyimlere ve ekonomik şartlara bağlı olarak değişmektedir. Aşınma tabakası, tekerlek izi oluşumuna ve yüzey çatlaklarına dayanımı, güvenli sürtünmeyi, gürültünün en alt seviyelere indirilmesini sağlayacak şekilde dizayn edilip uygulanmalıdır. Bu şartlar, TMA Superpave yaklaşımına uygun iyi derecelenmiş karışımlar ve açık gradasyonlu sürtünme tabakaları kullanılarak sağlanabilmektedir. Tekerlek izi dayanımı, durabilite, su geçirimsizliği ve su tesirlerine karşı dayanıklılığın zorunlu olduğu durumlarda TMA kullanılması zorunlu hale gelmektedir. TMA'nın kullanılması, özellikle kamyon trafik hacmi yüksek yollarda ve şehir içi yollarda gerekmektedir. Uygun şekilde dizayn etme ve uygulamada TMA özellikle yük taşıma kapasitesi için sert yapı iskeletini sağlamaktadır. Mastik ise (bağlayıcı ve filler karışımı) karışımın rijitlik ve su geçirmezliğinin artmasına yardımcı olmaktadır. TMA için karışım dizayn yöntemi NCHRP Rapor No: 425'te belirtilmiştir. Trafik hacmi düşük veya kamyon trafiği az olan yollarda durabilite, uygun Superpave karışımlarının kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. Tekerlek izi, geçirgenlik, hava tesiriyle bozulma ve aşınmaya karşı daha uygun dizayn yapılabilmesi için Superpave sistemine göre hazırlanan karışımlarda TMA kullanılabilir. Karışımlar Superpave tarafından belirtilen hacimsel özelliklere uygun olmalıdır. TMA, Superpave veya yoğun derecelenmiş asfalt karışımların dizayn aşamasında bazı tip performans deneylerine tabi tutulması, en azından tekerlek izi deneyinin yapılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca yine karışımdaki toplam boşluğun en aza indirilmesiyle karışımın geçirimsizliği sağlanmaktadır. Aşınma dayanımı ise düşük cilalanma değerine sahip yüksek dayanımlı agrega kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Düşük sıcaklık seviyesi ise genellikle arazideki termal çatlaklara karşı dayanımı yaklaşık olarak %95-99 oranında sağlayacak sıcaklık seçilmelidir. Açık gradasyonlu sürtünme tabakası, yol yüzeyindeki suyun tahliye edilmesine izin verecek boşluklara sahip şekilde dizayn edilmelidir. Açık gradasyonlu sürtünme tabakası fazla yağış alan bölgelerde ıslak zeminde sürtünmeyi artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle bu karışımlar %15 hava boşluğuna göre dizayn edilmesine rağmen %18-22 hava boşluğuna sahip karışımların uzun süreli performans değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Açık gradasyonlu sürtünme tabakaları için karışım dizaynı Kandhall ve Mallick tarafından 1999 yılında açıklanmıştır (Mathew ve Rao, 2007).

2.1.6.2 Binder tabakası

Bu katman, asfalt betonu yapının gövdesini oluşturur. Başlıca amacı, yükü temel tabakası üzerine yaymaktır. Binder tabakası genellikle içerisinde daha az asfalt bulunan agregalar içerir ve yüzey tabakası kadar yüksek bir kalite gerektirmez, bu nedenle yüzey tabakasının bir kısmının binder tabakası ile değiştirilmesi daha ekonomik bir tasarım sunar (Mathew ve Rao, 2007).

Binder tabakası, yüksek stabilite ve durabiliteye sahip olmalıdır. Bu tabakadaki stabilite, yüksek sıcaklık seviyelerine dayanıklı bağlayıcı kullanılmasıyla ve agregalar arasındaki temasının sağlanmasıyla elde edilebilmektedir. Agregalar tarafından sağlanan iç sürtünme, kırma taş veya çakıl kullanılmasıyla elde edilebilmektedir. İç sürtünmeyi sağlamak için diğer seçeneklerden biri büyük nominal maksimum boyutta agregalar (37.5 mm) kullanılmasıdır. Aynı etki küçük agregalar boyutlarıyla daneler arasındaki temasın sürdürülmesiyle oluşturulabilmektedir. Bu tabakada kullanılacak bitümün yüksek sıcaklık performans seviyesi yüzey tabakasında kullanılan ve tekerlek izi oluşumuna izin vermeyen bağlayıcı performans seviyesine eşit olmalıdır. Karışım dizaynı standart Superpave yaklaşımına uygun olarak yapılmalı ayrıca dizayn bitüm içeriği optimum seviyede olmalıdır. Binder tabakası için yapılması gereken performans deneyleri, tekerlek izi ve nem hassasiyeti deneylerini içermelidir (Ahmedzade ve Yılmaz, 2007).

2.1.6.3 Bitümlü temel tabakası

BSK üstyapı temel tabakasının, trafik yükleri altında eğilmeden kaynaklanan yorulma çatlaklarına karşı dayanımı yüksek olmalıdır. Yorulma çatlaklarına karşı korunmaya yardım eden karışımın esas karakteristiği yüksek asfalt içerikleridir. Bitüm, boşluk miktarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede durabiliteyi ve esnekliği sağlayan doğal agregalar boşluklarındaki bağlayıcının yüksek oranda bulunması sağlanmaktadır. Daha ince taneli agregalar gradasyonu kullanılması da yorulma dayanımının artmasını sağlayabilmektedir. Bu karakteristiklerin uygun üstyapı kalınlığıyla birleştirilmesiyle, tabandan yüzeye doğru oluşan yorulma çatlaklarının oluşumu engellenebilmektedir. Bu tabakaların karışım dizaynında Superpave sistemi dahilinde bulunan kaplama tabakaları tasarım şartları kullanılmaktadır. Temel tabakalarında kullanılan

bitümün Performans Derecesi (PG), bu tabakalardaki tekerlek izi oluşumuna karşı korunmaya yetecek seviyede olmalıdır. Bitüm cinsi, belirlenmiş olan maksimum ve minimum sıcaklık değerlerine uygun olmalıdır. Yorulma ömrünü arttırmak için diğer bir yaklaşım, asfalt tabakaların altında oluşan çekme gerilmelerinin etkisini azaltmak amacıyla sert bir yapı sağlayacak şekilde kalınlık dizaynı yapmaktır. Bu kalınlık dizaynı, temel veya orta tabakaların tek bir karışıma göre dizayn edilmesi ve uygulanması ile sağlanabilmektedir (Ahmedzade ve Yılmaz, 2007).

2.1.7 Karayolu rijit üstyapısı

Rijit kaplama genellikle bir temel tabakası ve bir beton tabakası içerir. Her iki sistem de yol tabanının alt zemini üzerine yerleştirilir. Kaplama yapısının en alt bölümü olan yol tabanı, yolun üst ve yan şevler arasında kalan ve kaplama yapısı ile banket için temel olarak hazırlanan kademeli yol bölümü olarak tanımlanır. Yol tabanının üst yüzeyine alt zemin adı verilir ve yük taşıma kapasitesini artırmak için mekanik veya kimyasal olarak stabil hale getirilebilir (Parveen vd., 2013).

Rijit Kaplama Tabakası: Rijit kaplamanın en üst tabakasında malzeme olarak beton kullanılır. Bu tabaka trafiğin etkilerine direnç göstermek için yeterli güç ve dayanıklılığa sahip olmalıdır; aynı zamanda yük dağıtımı için yeterli eğilme direncini sağlayabiliyor ve trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı yeterli kayma direncini gösterebiliyor olmalıdır. Yüke bağlı gerilmenin yanı sıra sürtünme, çekme ve ısıya bağlı gerilmelere karşı direnç için ısıya dayanıklı çelik, filiz demiri, yük transferi cihazları ve bağlama çubuğu gibi takviyeler kullanılır (Parveen vd., 2013).

Rijit kaplamalar, lastik yükü gerilmelerini aşağıdaki daha geniş bir alana aktaracak yeterli eğilme dayanımına sahiptir. Esnek kaplama ile karşılaştırıldığında rijit kaplamalar ya doğrudan hazırlanan alt zemin üzerine ya da tek katlı granüler veya stabilize edilmiş malzeme üzerine yerleştirilir. Beton ile alt zemin arasında sadece bir malzeme katmanı olması nedeniyle bu katmana taban ya da temel altı tabaka adı verilebilir. Rijit kaplamalarda yük tabliye yoluyla dağıtılır. Rijit kaplamalar Portland çimentosu kullanılarak inşa edilir ve viskoz temel üzerinde bulunan elastik bir plaka olduğu varsayılarak tabaka kuramı yerine plaka kuramına göre analiz edilmelidir. Lastik yükü ve sıcaklık değişikliği ve bunun

sonucunda oluşan çekme ve eğilme gerilmesine bağlı olarak tabliye eğilir (Mathew ve Rao, 2007).

Rijit kaplamalar dört sınıfa ayrılabilir:

- Derzli donatısız beton kaplama,
- Derzli donatılı beton kaplama,
- Derzsiz donatılı beton kaplama, ve
- Öngermeli beton kaplama (Mathew ve Rao, 2007).

2.1.8 Karayolu kompozit üstyapı

Uzun yıllardır kompozit kaplamalar üzerine araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Kompozit kaplamalar, yarı-rijit kaplama yapıları, birinci sınıf kompozit kaplamalar, uzun ömürlü kaplamalar ve esnek kompozit kaplamalar olarak sınıflandırılmaktadır (Flintsch vd., 2008).

Kompozit kaplama yapısı, farklı özellikleri bir araya getiren ve tek bir kompozit malzeme gibi hareket eden iki ya da daha fazla tabakadan oluşan yapı olarak tanımlanır. Bu kompozit yapıya sahip olan ve sıklıkla kullanılan iki malzeme, esnek bir tabaka ve rijit bir tabakadır: çimento stabilizasyonlu zemin, silindirle sıkıştırılmış beton ya da grobeton. Çimento uygulamalı zemin üzerine sıcak uygulama asfalt tabakasının ve benzer şekilde sıcak uygulama asfalt tabakası üzerine beton kaplama olarak bilinen tabakanın bir kompozit kaplama kabul edilebilecek olması nedeniyle kompozit kaplamanın tek bir tanımı bulunmamaktadır. Bununla birlikte, alt tabakayı oluşturan bir beton tabakası kurumadan onun üzerine uygulanan beton yüzey tabakası ise kompozit “ıslak üstüne ıslak” kaplama kabul edilebilir. Bu çalışmada analiz edilen kompozit kaplama sistemi, rijit taban üzerine esnek tabaka içeren ve şekilde kesit örneği gösterilen kaplamadır (Flintsch vd., 2008).

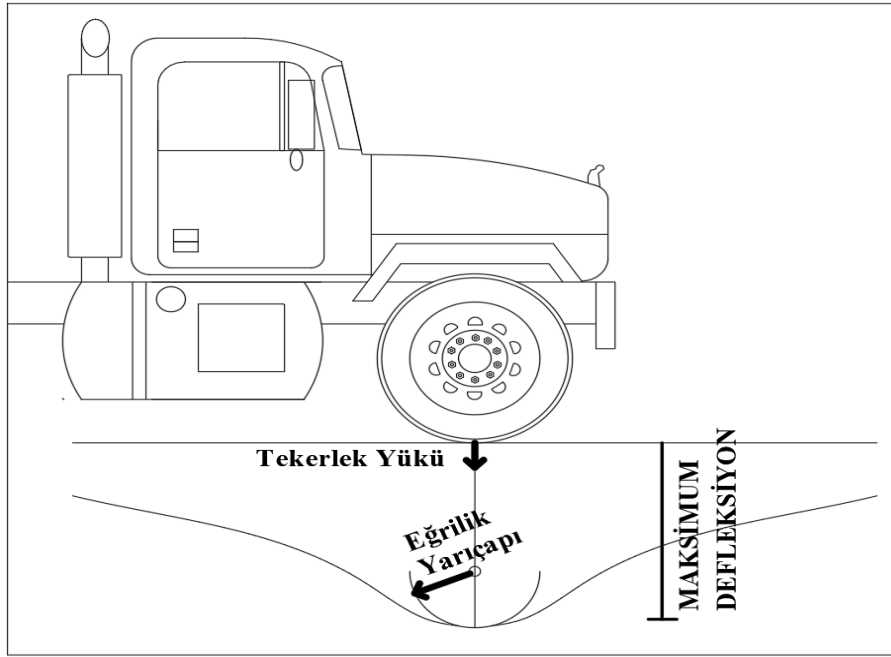
Geleneksel esnek ya da rijit kaplamalarla karşılaştırıldığında kompozit kaplamalar hem yapısal hem de fonksiyonel olarak daha iyi performans düzeyleri ortaya koyma potansiyeline sahip olmakla birlikte geleneksel esnek ya da rijit kaplama tasarımları için ekonomik açıdan sürdürülebilir bir alternatiftir. Kompozit kaplamaların sunabileceği genel avantajlardan bazıları şu şekildedir:

- Rijit zemin tabakasının, esnek tabakaya sağladığı güçlü destek,
- Pürüzsüz ve sessiz bir sürüş yüzeyi sağlayarak elde edilen iyi kaplama sürüşü ve sürücü konforu seviyeleri,
- Uygun kaplama yüzey sürtünmesi özellikleri,
- Periyodik olarak değiştirilebilecek asfalt yüzey tabakası ile rijit tabanın yapısal bütünlüğünün korunması,
- Asfalt tabaka sayesinde sağlanan koruma ile buz çözücü tuzlar ve yüzey sularının rijit tabana girişinin önlenmesi,
- Üstte bulunan asfalt yüzey tabakasının sağladığı izolasyon ile rijit tabakanın sıcaklık gradyanında azalma (Flintsch vd., 2008).

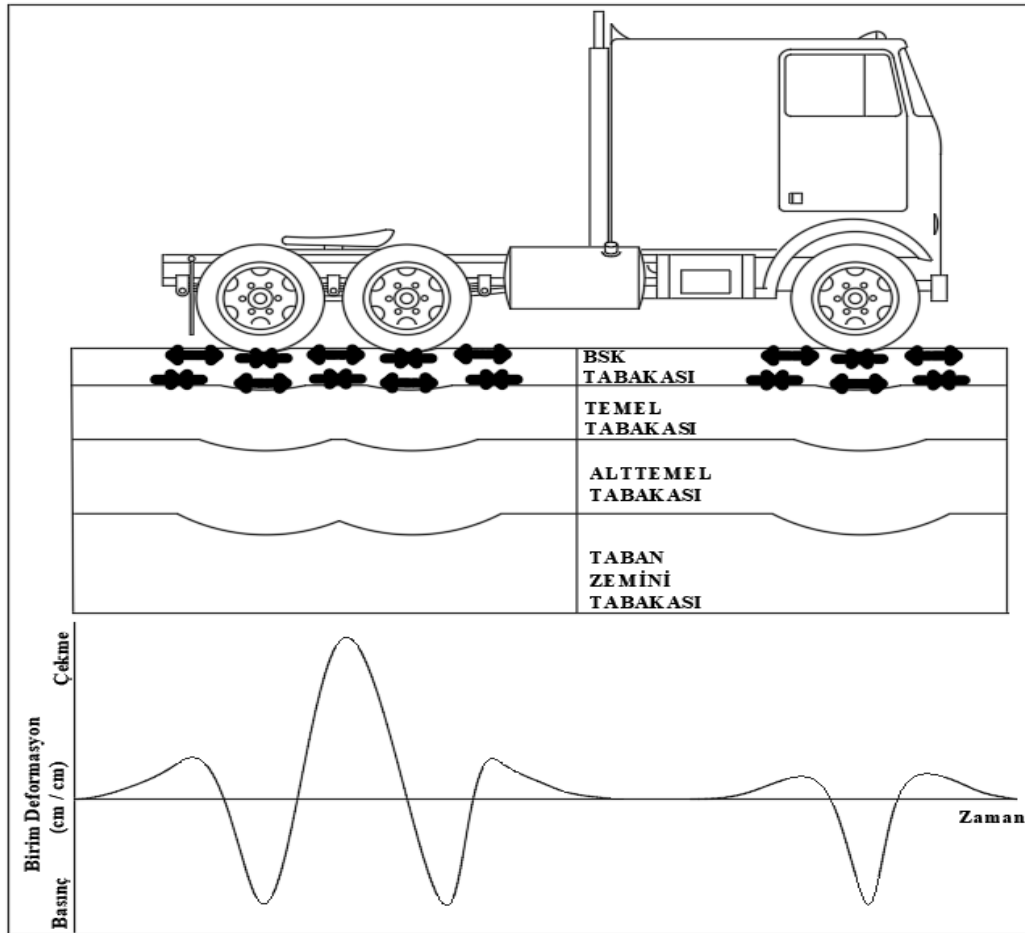
Geleneksel ağır sanayi tipi kaplamanın, bağlayıcısız agrega temel ve granüler temel altı tabaka üzerine yerleştirilmiş kalın bir asfalt kaplama olduğunu belirtmiştir. Bu tip geleneksel esnek kaplama yapılarında rijitlik için büyük oranda BSK'ya güvenilir, çünkü yapısal kapasitenin büyük bölümünü sağlayan tabaka BSK'dır. Dolayısıyla, Esnek bir kaplama tasarlarken BSK tabakasının altında oluşan çekme gerilmesi analiz edilmelidir. Bu da BSK tabakasının altında başlayan ve yukarı yönde yayılan yorulma çatlamları riski anlamına gelir. Bir kompozit yapıda çekme gerilmesi için kritik gerilme yeri, rijit tabakanın altındaki bir çekme gerilmesi noktasına kayar (Flintsch vd., 2008).

2.2 Karayolu Esnek Üstyapılarında Gerilme Dağılımı

Esnek üstyapı aşınma, binder, bitümlü temel, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarından oluşan bir sistemdir. Duran veya hareketli araçların yola uyguladığı gerilmeler, dingil yükü, aracın hızı ve bandajdaki yiv ve setlere bağlıdır. Literatürde, araç hızı arttıkça gerilmenin azaldığını gösteren araştırmalar bulunmaktadır. Yük altında üstyapının uğradığı deformasyon Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Buna göre tek bandaj etkisi ile üstyapıda oluşan gerilme değişimi ve deformasyonlar da Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Umar ve Ağar, 1991).

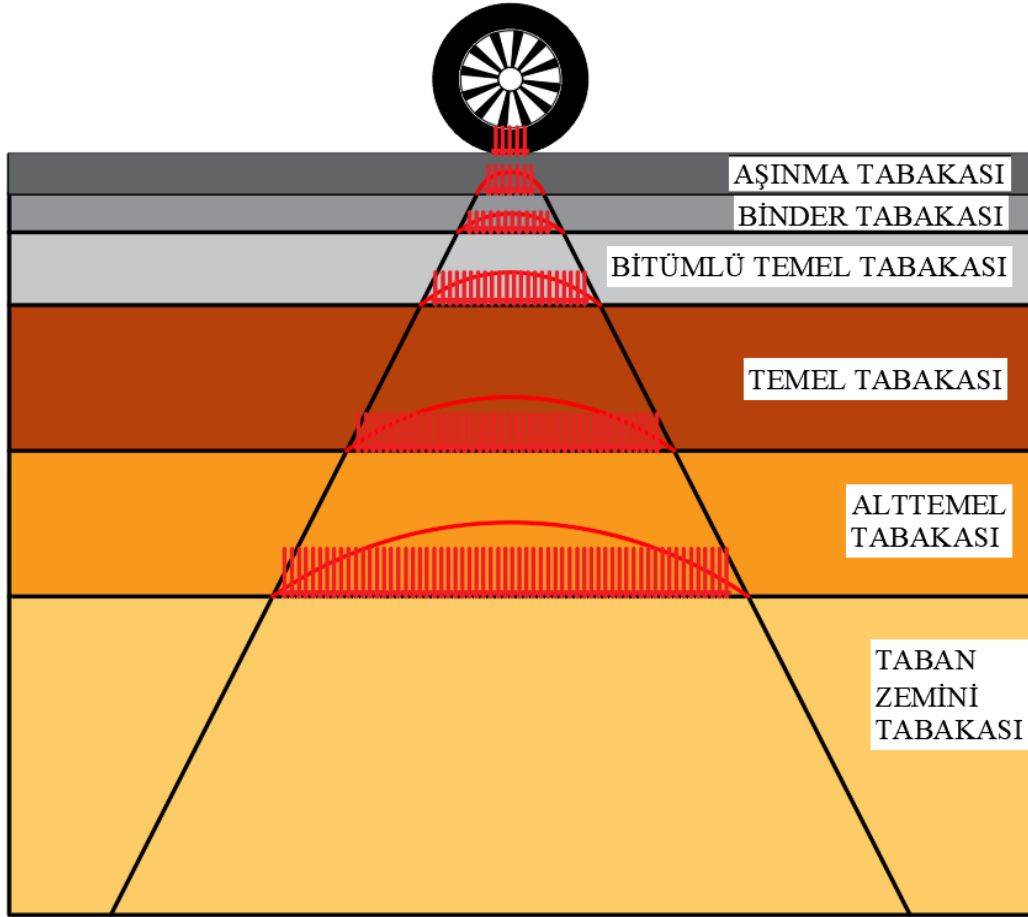


Şekil 2.4. Pnömatik bandaj etkisi ile oluşan üstyapı deformasyonu.



Şekil 2.5. Tek ve çift bandaj etkisi altında meydana gelen gerilmeler.

Esnek üstyapılarda trafik yüklerinin yüzeyden alt tabakalara iletimi Şekil 2.6'da görüldüğü gibidir. Yük yayılarak iletiildiğinden alt tabakalarda daha az gerilme meydana gelir, bu kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler bu dağılıma uygun seçilir (Umar ve Ağar, 1991).

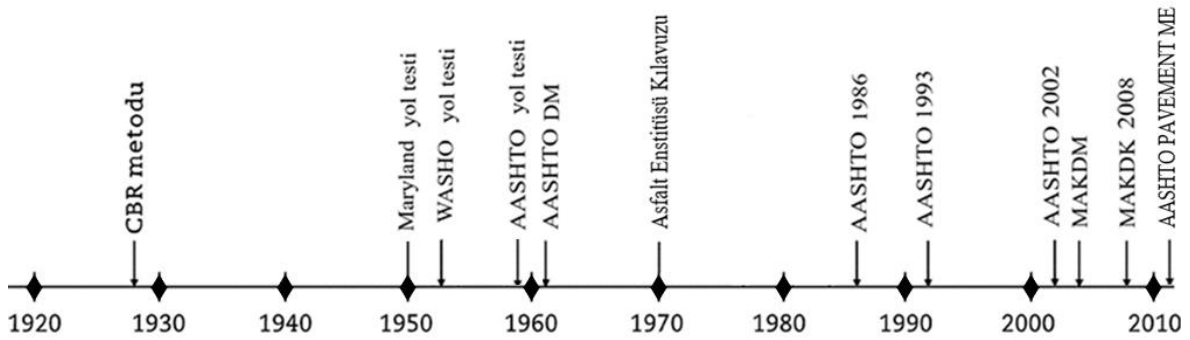


Şekil 2.6. Tipik bir yol üstyapı kesiti ve gerilme dağılımı.

Esnek üstyapıların analizinde tabakalı sistemlerin çözümleri ile ilgili olarak 1943 yılında Burmister iki tabakalı sistemler için bir çözüm geliştirmiştir. Daha sonra 1945 yılında üç tabakalı bir sistem için çözüm yapmıştır. Bilgisayar programları ile analizlere uygun olarak Huang çok tabakalı sistemlerin çözümü için önce iki tabakalı sistemlere yönelik abaklar hazırlamış, ardından bunlara bağlı çözümler geliştirmiştir. Bu abakları kullanarak Jones iki ve üç tabakalı sistemler için tablolar geliştirmiştir (Umar ve Ağar, 1991; Huang, 1993).

2.3 Karayolu Üstyapısı Tasarım Yöntemleri

Geçmişte yoğun uğraşlar sonunda ortaya konan pek çok çalışma vardır. Her bir çalışma dönemin belli problemlerine çözüm getirmiş, teknoloji ve çağın gereklerine göre geliştirilme ihtiyacı duyulmuştur. Bu yöntemler ile ilgili genel bir kronoloji Şekil 2.7’de verilmiştir. Genel olarak karayolu üstyapısı tasarım yöntemlerinin günümüzde 3 başlık altında incelendiğini söylemek mümkündür. Bunlar; Ampirik tasarım yöntemleri, Mekanistik tasarım yöntemleri ve Mekanistik-Ampirik tasarım yöntemleridir.



Şekil 2.7. Karayolu üstyapısı tasarım yöntemleri kronolojisi.

2.3.1 Ampirik tasarım yöntemleri

Ampirik tasarım yöntemleri, tabaka kalınlıkları farklı yol üstyapılarının, bu tabakalarda kullanılan malzemelerin bazı basit dayanım karakteristikleri, kaplamaya uygulanan yüklerin sayısı ve büyüklüğü ile ilgili olarak gözlenen davranışlarına dayanmaktadır. Her ne kadar bu ampirik yöntemler, gözlenen hasar gelişmelerine dayanma konusunda büyük bir avantaja sahiptir. Ancak bu yöntemlerdeki asıl eksiklikler, kaplama içindeki gerilmelerin uygun bir şekilde değerlendirilmemesi ve kullanılan malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme özelliklerinin doğru tanımlanmamasıdır. Bu durum, ampirik yöntemleri, geliştirildikleri malzemelere, iklimsel ve yükleme koşullarına bağlamaktadır. Bu yöntemlerin başka koşullar altında kullanılması yanlış veya güvenilir tasarımlarla sonuçlanabilir (Span ve Lytton, 1983).

Ampirik prosedürler sıklıkla tek başına deneyimler ya da gözlemlerden türetilmiştir ve genellikle sistem davranışı veya kaplama kuramını dikkate almaz. Bu ampirik tasarım

yaklaşımının temelinde, belirli bir coğrafi konum ve iklim şartına göre performans, yük ve kaplama kalınlığı arasındaki ilişkilerden ampirik olarak türetilmiş sonuçlar yer alır. Bu ilişkilerden elde edilen gerekli kaplama kalınlığı, yük uygulamaları sayısı veya bozulma görülme oranları ise kaplama malzemesi özellikleri, alt zemin tipi, trafik yükü ve iklim gibi faktörlerin bir fonksiyonudur. Bunların bu ülkede kaplama tasarımında kullanılmaya devam edilmesi konusunda bir dizi sınırlama söz konusudur. Bu sınırlamalar arasında şunlar yer alır:

- AASHTO Rehberi 1950'lerin AASHO Yol Testi verilerine dayanmaktadır ve koşullar sahaya özeldir ve sadece aynı toprak tipi, kaplama malzemesi tipi ve iklim tipi gibi benzer özelliklere sahip bölgelere uygulanabilir.
- AASHO Yol Testinde, yaklaşık 1.114.000 dingil yükü düzeyinde trafik yükleri uygulanmıştır. Kaplama hesaplamaları için bunun örneğin 10 milyon EDYTS ile ekstrapolasyonu, yüksek yükleme tekrar sayısı ve farklı alt zemin değeri gibi farklı koşullar düşünülecek olursa gerçekçi olmayacaktır (Arshad, 2007).

Ampirik tasarım yöntemlerinde, taban zemini dışındaki hiçbir tabakada plastik deformasyon oluşmadığı kabul edilmektedir. Ayrıca, esnek üstyapı tabakalarının proje ömürleri boyunca deforme olmadığı kabul edilir. Yol yapım ve kontrol kurumları, CBR, tane boyutu dağılımı, plastisite indeksi, yassılık indeksi, kırılmışlık yüzdesi ve aşınma dayanımı gibi testler ile bunu kontrol ederler. Ancak bu testlerin hiçbirisi agregaların tekrarlı yük altındaki deformasyon davranışı hakkında detaylı bilgi vermemektedir. Tabaka kalınlıkları ise değişik kaplama tipleri için geliştirilen tasarım abakları kullanılarak belirlenmektedir. Bu abaklarda genellikle; taban zemini taşıma gücü (CBR/MR) ve genellikle Eşdeğer Standart Dingil Yükü (ESDY) tekrarı cinsinden ifade edilen tasarım trafik hacmi verileri kullanılır. CBR, taban zemini ve bağlayıcısız granüler malzemelerin taşıma gücünü tanımlamada yaygın olarak kullanılan bir parametredir. ESDY, birçok farklı dingil tipine ve ağırlığa sahip taşıtları standart bir dingil ve ağırlık tipinden ifade edebilmek için kullanılan bir tasarım parametresidir ve Denklem 2.1 kullanılarak belirlenir (Uz, 2012).

$$ESDY = \left[\frac{\text{Dingil Yükü}}{\text{Standart Dingil Yükü (80 kN)}} \right]^4 \quad (2.1)$$

Bu bağıntı genel olarak 4. kuvvet kanunu olarak bilinir ve 1962 yılında AASHO tarafından yürütülen yol testlerinden elde edilmiştir. Kuvvet katsayısı 4, yol testlerinde üstyapı ömrünü tamamlayıncaya kadar geçen farklı dingil ağırlıklarına sahip araçların geçiş sayıları dikkate alınarak elde edilmiştir. Yol testlerindeki üstyapı ömrü tekerlek izi, düzgünsüzlük ve çatlak oluşumu gibi bozulmaların dikkate alınarak üstyapı servis indeksinin belirli bir değere ulaşması olarak tanımlanmıştır. Bu kuvvet katsayısının değeri ile ilgili birçok kurum ve araştırmacı çalışmalar yapmış ve farklı bozulma ve üstyapı tipleri için 2 ile 9 arasında değişen değerler alabileceği belirtilmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde ampirik tasarım metotlarının halen yaygın bir şekilde kullanılıyor olmasının nedenleri;

- Granüler malzemelerin gerilme bağımlı mekanik davranışını tanımlamada kullanılan dinamik üç eksenli (DÜE) testi gibi test aletlerinin karmaşık yapıları ve maliyetleri nedeniyle yaygınlaşamaması,
- Bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesine karşın malzemelerin mekanik özelliklerini kullanarak üstyapıyı modellemede veya üstyapı performans tahmininde kullanılan bilgisayar programlarının (doğrusal olmayan tabakalı sistemler ya da sonlu elemanlar) karmaşık bulunması, olarak gösterilebilir (Uz, 2012).

Esnek kaplama tasarımı, uygun malzeme seçimi, dayanım ya da yük taşıma özelliklerinin belirlenmesi ve tabaka kalınlığı tayini gibi yapısal boyutları ele almaktadır. İskandinav ülkeleri ve dünyanın diğer birçok ülkesinde günümüzde kullanılan tasarım yöntemleri tasarım stratejisi seçiminde çoğunlukla tarihsel performanstan elde edilen ampirik korelasyonlar, R-değeri ya da CBR değeri gibi indeks-değer tabanlı malzeme özelliği tayininin yanı sıra mühendislik muhakemesine başvurmuştur. Elbette mühendislik muhakemesini doğrulamak için araştırmalar gerçekleştirilmiş ve tasarım prosedüründe bazı değişiklikler yapılmıştır, ancak bu tasarım yöntemleri ABD'nin Illinois eyaletine bağlı Ottawa şehrinden 1950'lerde elde edilmiş AASHO Yol Testi verileri kullanılarak geliştirilmiş ampirik performans denklemlerine dayanmaktaydı. O tarihten bu yana ağır taşıt trafiği önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte, AASHO Yol Testi programı sadece bir coğrafi bölge için gerçekleştirilmiştir, bu nedenle de alınan bu sonuçların farklı iklim koşullarında yorumlanması oldukça zordur. Tüm yol bölümlerinde yapılan testler sadece bir alt zemin tipi ile sınırlı kalmış ve sınırlı sayıda farklı temel tabakaları ve yüzey malzemeleri

kullanılmıştır. İnşaat tekniklerindeki gelişmeler, farklı toprakaltı drenaj koşulları ve iklim ve yaşlanmanın kaplama üzerindeki uzun süreli etkileri gibi diğer faktörlerle birlikte bu sınırlamalar bu ampirik tasarım yaklaşımını belirsiz hale getirmekte ve uygulamasını zorlaştırmaktadır (Erlingsson, 2004).

Fi ve Szentpéteri, eğilme ölçümü ile tabaka kalınlığı arasındaki ampirik ilişkiyi esas alan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, zayıf kaplama ve alt zeminin eğilme ölçümleri ile başlar. Bu adımdan sonra, trafik yüküne bağlı olarak gerekli tabaka kalınlığı tahmin edilebilir; tabakanın eğilmeyi tolere edilebilir düzeyde azaltacak kadar kalın olması gerekir (Fi ve Szentpéteri, 2014).

2.3.2 Mekanistik tasarım yöntemleri

Etkili kalınlık yaklaşımının temel konsepti, kaplamanın gereken kalınlığının, yeni bir tabakanın gereken kalınlığı ile mevcut tabakanın etkin kalınlığı arasındaki farka eşit olacağıdır. Etkili kalınlık, kaplamanın kalan ömrü ile orantılıdır. Bu yöntem kullanılarak, yeni ve mevcut malzemelerin tüm kalınlıkları, türlerine ve özelliklerine göre eşdeğer bir sıcak karışım asfalt katmanı kalınlığına dönüştürülmelidir. (Fi ve Szentpéteri, 2014).

Ampirik tasarım yöntemleri, farklı tabakaların kalınlıklarına ilişkin olarak gözlemlenen kaplama davranışına, kullanılan malzemelerin bazı basit dayanım özelliklerine ve kaplamaya uygulanan yüklerin sayısı ve büyüklüğüne dayanmaktadır. Bu ampirik yöntemlerin gözlemlenen hasar gelişimini esas alması büyük bir avantaj olsa da buradaki başlıca dezavantaj, bu yöntemin kaplamadaki gerilmelerin gereğince değerlendirilmesine dayanmıyor olması ve dayanım ve deformasyon gibi kullanılan malzeme özelliklerinin gereğince tanımlanmamış olmasıdır. Böylece ampirik yöntemler, kullanılmak üzere geliştirildikleri malzeme, iklim ve yükleme koşulları ile bağdaştırılmaktadır (Span ve Lytton, 1983).

Ampirik tasarım yöntemlerinin dezavantajlarının üstesinden gelebilmek amacıyla 1963-1983 yılları arasında mekanistik tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Mekanistik yöntemler dediğimiz zaman bundan anlaşılması gereken, kaplama yapılarının gerilme ve gerilimlerinin hesaplanmasında “sağlam temelli” yaklaşımlar kullanılması ve bu yaklaşımlar

kapsamında deformasyon ve kırılma özellikleri gibi malzeme özelliklerinin “sağlam temelli” tanımlarının yapılmasıdır. 1983 yılına kadar yapılan tüm hesaplamalar dinamik trafik yüklerini, bir statik yükleme varsayımı üzerine kurulu hesaplama teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sahip olduğu dinamik yapı, dinamik yükleme koşulları için sık sık kullanılan Elastisite Modülü değerleri kullanılarak simüle edilmiştir. Bunlara ek olarak, gerilim ve gerilme hesaplamalarını makul bir süre ve bütçe ile gerçekleştirebilmek amacıyla deformasyon özellikleri gibi malzeme özellikleri için sıklıkla kapsamlı varsayımlarda bulunulması gerekir. Bu yöntemlerin en büyük avantajı ise özel koşullara bağlı olmamaları ve her zaman her yerde uygulanabilmeleridir. Neredeyse tüm mekanistik yöntemler için geçerli en büyük dezavantaj ise sadece kırılma ile sonuçlanan yükleme uygulamalarının hesaplanabilmesidir. İnşaat ile kırılma arasındaki süreçte kaplama performansı için hiçbir tahminde bulunulamaz (Span ve Lytton, 1983).

MAKDM, lastik yükü gibi girdilere ve gerilme gibi bir kaplama tepkisine ilişkin olarak malzeme mekanik özelliklerine dayanmaktadır. Bu tepki değerleri, laboratuvarla elde edilen gerilme ve saha performansı verilerine bağlı olarak kalıcı deformasyon ve yorulma çatlama gibi kaplama bozulmalarını öngörmek için kullanılır. Mekanistik tasarım yöntemleri, ampirik yöntemlere göre birçok avantaj sunmaktadır; en büyük avantajı, malzeme ve trafikteki değişim gibi girdilerdeki değişimin etkilerinin hızla analiz edilmesine imkân tanınmasıdır diğer avantajlarından bazıları şu şekildedir:

- i. Taşıt yüklemesinin kaplama performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine imkân tanır;
- ii. Yeni malzemeler, tasarım özellikleri kullanılarak değerlendirilebilir;
- iii. İnşaat işlerinde seçeneklerin etkileri değerlendirilebilir;
- iv. Kaplama yapımında kullanılan malzemelerin gerçek mühendislik özellikleri tanımlanır;
- v. Gerçek kaplama bozulmalarına ilişkin olarak kaplama tepkileri değerlendirilir;
- vi. Kaplama tasarımında girdi olarak kullanılan malzeme veri tabanları geliştirilebilir ve yeni bilgiler edindikçe güncellenebilir (Arshad, 2007).

Kaplama değerlendirme programları geliştiren yazılımcılar, doğrusal olmayan davranışı ortaya koyacak zaman eğrilerinin kullanılmasını tavsiye etmiştir. Ayrıca

maksimum değere erişildikten sonra gerçekleşen hızlı toparlanma da dikkate alınmalıdır (Lenngren, 2009).

2.3.3 AASHTO tasarım yöntemleri

AASHTO tasarım yöntemi 1950’li yılların sonlarına doğru ABD ‘nin Illinois eyaletinin Ottawa şehrinde, değişik tip ve kalınlıklarda inşa edilen kaplamalar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ile 1961 yılında AASHTO tarafından yayınlanan bu karayolu üstyapısı tasarım yöntemi, 1972, 1986, 1993 ve 2002 yıllarında revize edilmiştir (İncegöl, 2004).

2.3.3.1 AASHTO-1972 tasarım yöntemi

Bu tasarım yönteminde yapısal tasarım (tabaka kalınlıkları ve cinsi) ve yükleme şartlarının (dingil yükü ve tekerrür sayısı) kaplamaya olan etkileri ve kaplama performansının yük tekerrürleri altındaki değişimi esas alınmaktadır. Kaplama kalınlığını veren formül AASHTO yol testlerindeki gözlem ve ölçümlere dayandırılarak elde edilmiştir. Bu tasarım yönteminde bir kaplamanın performansı, taşıtların emniyetli ve konforlu olarak seyahat edebilmelerinin bir göstergesidir ve kaplamanın performansı “servis yeteneği” kavramı ile tanımlanmaktadır. AASHTO yol testinde kaplamanın başlangıçta sahip olduğu ve belirli bir kullanım sonunda azalan servis yeteneğine göre kaplamanın performansının nasıl değiştiği saptanmaya çalışılmış ve buna göre tasarım formülleri geliştirilmiştir.

AASHTO-72 tasarım yönteminde sırasıyla şu işlemler yapılır: Üstyapı tasarımı yapılacak yolun oturacağı CBR belirlenir. Proje trafiği belirlenir. Hizmet ve işletme periyodu sonundaki trafik belirlenir. Projelendirmede kullanılacak dingil yüküne (8,2 ton) göre eşdeğer trafik tespit edilir. Bölge faktörü, şerit faktörü ve yolun son hizmet kabiliyeti indeksi belirlenir. SN belirlenir. Tabaka kalınlıkları ile izafi mukavemet katsayılarının çarpımının en az SN değerini verecek kalınlıklar tespit edilir. Her bir tabakanın CBR değerlerine göre kalınlıkları tekrar kontrol edilir. Yetersiz olan kalınlıklar artırılır (Kök ve Kuloğlu, 2007).

2.3.3.2 AASHTO-1986 tasarım yöntemi

Bu tasarım yöntemi 1972 tasarım yöntemine göre daha gerçekçi yaklaşımlar getirmiştir. 1986 tasarım yönteminde zemin taşıma gücü yerine zemin MR, bölgesel faktör R yerine rasyonel değerlere dayalı çevre etkileri kullanılmaktadır. Ayrıca trafik tahminine bağlı hata risklerini azaltmak amacıyla bir güvenilirlik katsayısı, kademeli inşaat kavramı söz konusudur. Bu tasarım yönteminde de ilk etapta mevcut servis yeteneği indeksi daha önce olduğu gibi tespit edilmektedir. Bu yöntemde zemindeki şişme ve donma özelliklerinin etkisinden kaynaklanan servis yeteneği kaybı da dikkate alınmaktadır (Kök ve Kuloğlu, 2007).

1986 yılındaki AASHTO yöntemi hazırlanırken gelecekte analitik ve ampirik formüllerin kullanımının artacağı öngörülmüştür. Hesaplamaların yapılmasında bilgisayarların yoğun olarak kullanılması günümüzde gerçekleşmiş ve bu tasarım ile ilgili formüllerin bilgisayarlara aktarımıyla, tasarımda, analitik-ampirik olmasından dolayı meydana gelebilecek hata riski azaltılmıştır (Avcı, 2006).

2.3.3.3 AASHTO 1993 tasarım yöntemi

1986 rehberinden sonra, 1993 yılında AASHTO Tasarım rehberinin gözden geçirilmiş hali yayınlanmış, ancak, esnek üstyapı tasarım yöntemi konusunda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Hizmet yeteneği-davranış ilişkisine dayalı bu yöntem; zemin taşıma gücüne, trafik yüküne, bölge ve iklim koşullarına ve üstyapı tabakalarının özelliklerine bağlı olarak tabaka kalınlıklarını vermektedir. Taban zeminin taşıma gücü, üstyapı kalınlıklarını etkileyen önemli bir faktördür. Zemin taşıma gücü, zeminin MR ile belirlenmektedir. MR, laboratuvar deneyleri ile veya CBR değeri ile olan ilişkisinden, abaklar ya da formüller yardımıyla belirlenmektedir. İklim ve çevre koşulları, üstyapı tabakalarının kalınlık hesabında dikkate alınan diğer etkenlerdir. İklim ve çevre verilerinin etkisi, zemin şişmesi ve donma kabarmasından kaynaklanan hizmet yeteneği kaybı hesaplanarak belirlenmektedir (Kök, 2008).

2.3.3.4 AASHTO-2002 tasarım yöntemi

1993 yılından sonra, taşıt teknolojilerinde büyük gelişmeler olmuş ve trafikteki ağır taşıt miktarında 10–20 kat artış meydana gelmiştir. Bu nedenle, mevcut üstyapılar özellikle kalıcı deformasyonlara cevap veremez hale gelmişlerdir. AASHTO 1993'te sadece belirli bir coğrafya dikkate alındığından, farklı iklim koşullarında üstyapıda oluşan etkilerin belirlenmesi mümkün değildir. Önceki tasarım rehberlerinde, taşıt süspansiyonu, dingil tipleri ve lastik tipleri 1980'li yılları temsil ediyordu. Günümüzde ise değişik lastik tipleri, artan lastik basınçları kullanılmaktadır. Eskiden, ağır taşıtlar için lastik basıncı 80 psi iken şu anda 120 psi olmuştur. AASHTO Yol testi zamanında hiçbir drenaj uygulaması kullanılmamıştır. Daha önce, üstyapı kalınlığı ile performansı arasında bir bağlantı olduğu düşünülüyordu, fakat, uygulamalar sonucunda bunun böyle olmadığı anlaşılmıştır. Yol performansının değerlendirilmesinde, termal çatlaklar, yorulma çatlakları, tekerlek izi gibi parametrelerde değerlendirmeye dahil edilmeye başlanmıştır. Performans ile problemlerin azaltılması için, üstyapı geometrik düzgünlüğü ve sürüş kalitesinin bir ölçütü olan Uluslararası Düzgünsüzlük Endeksi'nin de (IRI) kullanımı gerekmektedir (Avcı S., 2006).

AASHTO 2002 yöntemi, AASHTO 1993 yönteminden farklı olarak, tasarımcılara, değişik girdi seviyeleri, yani değişik veri setleri için, yeni yaklaşım sunarak, tasarımlarını yapmalarını sağlar. AASHTO 2002 yöntemi, detaylı verilerin yanında ampirik formüllerinde tasarımda kullanılmasını sağlar ve yol gösterir. AASHTO 2002 yöntemi tasarımcıya uzman sistem yaklaşımıyla cevap verir. Tasarımda değişik malzemelerin (modifiye malzemelerin) kullanılmasına olanak sağlar. Geliştirilen Entegre İklim Modeli ile çevre etkileri daha detaylı olarak göz önüne alınmıştır. Taşıt kompozisyonu, aks açıklıkları ve tekerlek lastiği özellikleri de tasarımda göz önüne alınmıştır. Pratikte karşılaşılan ve yol işletme kriterleri ile ilgili olan IRI de bir performans kriteri olarak tasarımda yer almıştır. Tasarımın yerel bazda kalibrasyonu yapılabilmektedir (Avcı, 2006).

1986 ve 1993 AASHTO Tasarım Kılavuzlarının aksine, 2002 Tasarım Kılavuzu, hiyerarşik seviye şemasında, karayolu üstyapısının tüm BSK katmanları için dinamik modül (E^*) kullanılmaktadır. 2002 Tasarım Kılavuzu metodolojisi, üç analiz seviyesinin hepsinde belirli bir sigmoidal formda model ve 2. ve 3. seviyelerde belirli bir öngörüsül denklem (Witczak E^* Predictive Equation) kullanılır (Bari, 2005).

2.3.4 Mekanistik-ampirik tasarım yöntemleri

45 yıldan uzun bir süredir kaplama tasarımlarının geliştirilmesi AASHTO tasarım rehberi esas alınarak yapılmıştır. Bu rehber, 1950'lerin sonu ve 1960'ların başında ABD'nin Illinois eyaletinin Ottawa şehrinde gerçekleştirilen kapsamlı AASHTO Yol Testi baz alınarak geliştirilmiş ve 1986 ve sonra da 1993 senelerinde revize edilmiştir. Sınırlı çevresel faktörler, taban zemininin özellikleri, kaplama yapıları ve trafik verisinin göz önünde bulundurulması nedeniyle bu tasarım prosedürlerinin bazı sınırlamaları olmuştur. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek amacıyla 2004 Şubat ayında bir Mekanistik-Ampirik Kaplama Dizayn Kılavuzu (MAKDK), 1-37A proje numarası ile ABD'nin araştırma programı olan NCHRP programına sunulmuştur. Bu araştırma projesi kaplama tasarımında büyük bir gelişme sağlamış ve kaplama topluluğunu mevcut deney tabanlı prosedürlerden mekanistik-ampirik tabanlı prosedürlere taşımıştır. AASHTO 1993 rehberinin aksine MAKDK'de üç girdi düzeyi bulunur. Bu girdi düzeyleri birbiriyle karıştırılabilir ve eşleştirilebilir. Girdi düzeyi fark etmeksizin hasar modelleri değişmeden kalmaktadır (Siraj vd., 2009)

NCHRP, mekanistik-ampirik yaklaşıma dayalı yeni ve rehabilite edilmiş kaplamalar için yeni bir kaplama tasarım rehberi geliştirmek amacıyla 1-37A projesini hayata geçirmiştir. Bunun sonucunda elde edilen MAKDK ise esnek ve rijit kaplamaların hem yeni hem de rehabilite edilmiş bölümlerinin tasarlanmasına imkân tanıyan bir yazılım eşlik etmiştir. Araştırmacılar, tasarımın trafik verileri için her bir dingil konfigürasyonunun ayrıntılarını ve nem ve sıcaklığın malzeme özellikleri üzerindeki etkilerini açıklayabilen son derece büyük bir veri bankası geliştirmiştir (Ji ve Nantung, 2009).

MAKDM, sadece ampirik ya da deneyime dayalı yöntemler ile karşılaştırıldığında bilim ve mühendislik bakımından daha gelişmiş bir esas çerçevesinde performans dayalı bir tasarım sunar. Bu bakımdan son derece güçlü ve kapsamlı bir analiz aracı sağlamaktadır. Bununla birlikte makul ve hassas bir tasarıma ulaşmak için zaman ve kaynaklara ve MAKDK kullanılarak analizlere ihtiyaç vardır. Bu adımlar ve süreçler arasında kalibrasyon ve doğrulama gereklilikleri, uygulama esasları, kaynak tahsisi, ekipman, eğitim, girdi verisi gereklilikleri ve karmaşıklık/kapsam genişliğini anlaşılabilirlik ve pratiklik ile dengeleme yer alır (Ji ve Nantung, 2009).

BSK Dinamik Elastisite Modülü (E^*), tabakalı yapılarının gerilimi ve yer değiştirmesini (eğilme) belirlemekte kullanılan en önemli parametrelerden biridir. E^* , BSK'nın malzeme özelliklerini, yükleme oranı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlar ve kaplama tasarımı ile analiz süreçlerinde sıklıkla kullanılır. Bu aynı zamanda kaplama tasarım sürecinde saha performansı tahmini için de önemli bir parametredir. Sıcak karışımın dinamik modülü, kalıcı deformasyon, düşük sıcaklık çatlağı, yorulma çatlağı ve diğer bozulma tipleri oluşumu nedeniyle kaplamada oluşan bozulma ile yüksek korelasyona sahiptir. Örneğin, düşük frekanslarda göreceli olarak düşük bir dinamik modülü, kalıcı deformasyona karşı daha düşük direnç ile ilişkilendirilir. Bununla birlikte, yüksek frekanslardaki yüksek bir rijitlikte yorulma çatlamları ve düşük sıcaklık çatlamlarına karşı düşük direnç ile ilişkilendirilir. Dolayısıyla, esnek kaplamaların kalıcı deformasyona, yorulma çatlamları ve düşük sıcaklık çatlamlarına karşı direncini değerlendirebilmek için asfalt karışımlarının geniş bir sıcaklık ve frekans aralığındaki dinamik modülünü doğru bir şekilde belirlemek gerekmektedir.

MAKDK üç hiyerarşi seviyesinde girdi sunmaktadır. 1. Seviye için dinamik modül değerleri laboratuvar, seçili sıcaklık ve yükleme sıklığı kombinasyonları için ölçülür. Ancak, gerekli ekipmanın mevcut olmaması, yüksek maliyetler ve zaman kısıtları nedeniyle dinamik modül (1. Seviye) ölçümleri her zaman mümkün olmamaktadır. 2. Seviye ve 3. Seviye için dinamik modül, asfalt bağlayıcı ve sıkıştırılmış örneklerin hacimsel özelliklerine bağlı olarak tahmin edilir. Tahmini E^* değerleri ile gerçek E^* değerlerinin karşılaştırılması ile bir modelin 1. Seviye testlerinin yapılamadığı durumlarda ve 2. ve 3. Seviyede E^* tahminleri için ne derecede kullanılabileceğini makul bir şekilde bilmek mümkün olur. MAKDK, esnek kaplamaların performansını tahmin etmek için her üç tasarım seviyesinde asfalt karışımlarının dinamik modülünün kullanımını vurgulamaktadır. Dolayısıyla da kaplama tasarımı ve analizinde Seviye 2 ve Seviye 3 kullanımı makul bir yaklaşım olarak görülmektedir (Hou vd., 2016)

Her bir malzeme özelliği için mevcut verinin niteliği ve niceliğine bağlı olarak AASHTO Pavement ME Design programında üç girdi seviyesi seçeneği bulunmaktadır. 1. Seviye girdi seçeneği genellikle laboratuvar veya saha testleriyle elde edilmiş sahaya özel malzeme özelliği verilerini gerektirir. Bu veriler en üst düzey doğruluğa sahiptir ve en

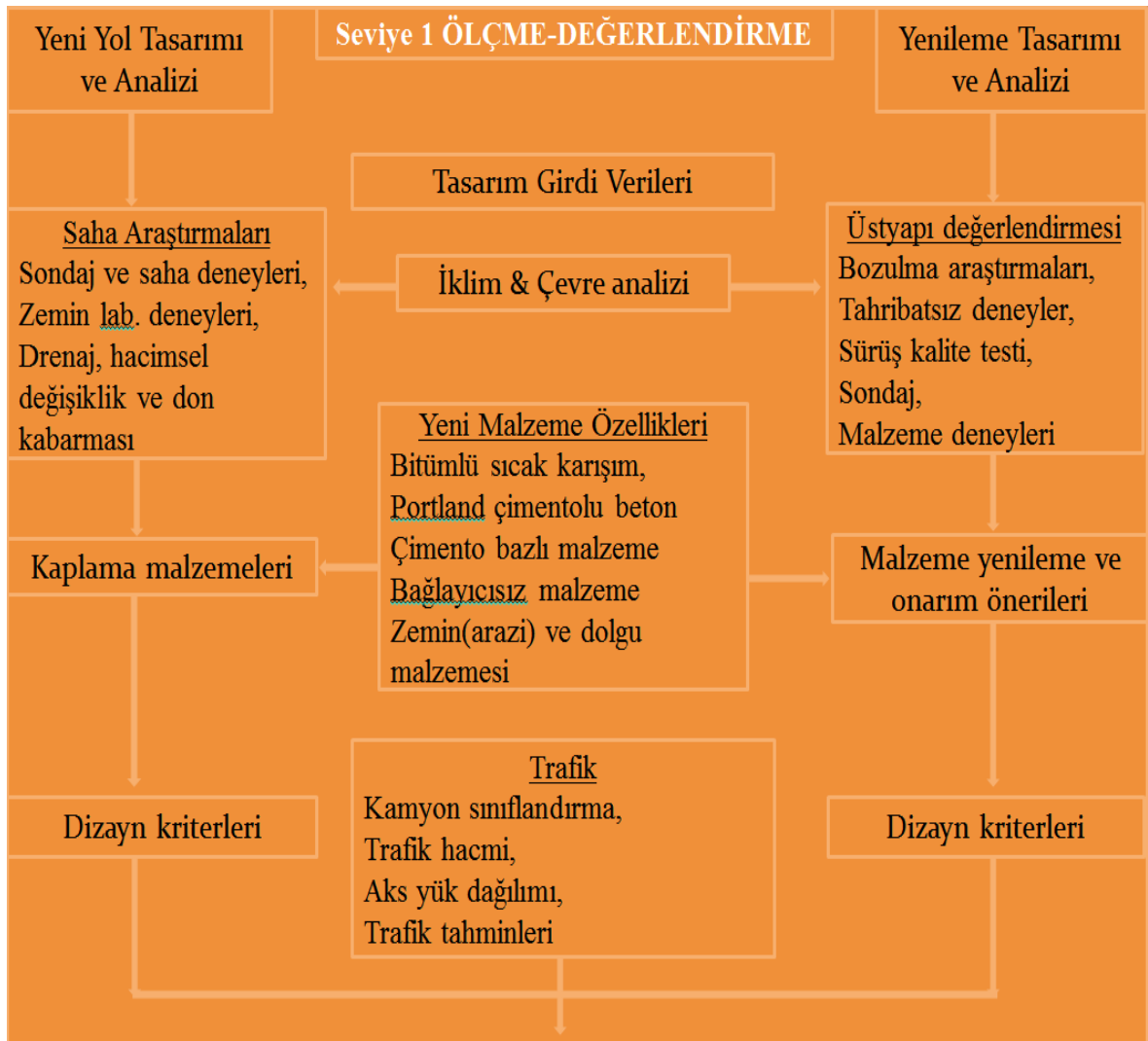
güvenilir tasarım ve analizleri sunmaları beklenir. 2. Seviye girdiler orta düzey doğruluğa sahiptir. Bu girdiler genellikle sınırlı laboratuvar veya saha testleri ile elde edilir ya da ölçülmüş diğer özelliklere olan korelasyonlarına göre tahmin edilir. 3. Seviye girdiler, standart kurum verileri ya da yazılım varsayılan verileri kullanıldığı için en düşük düzeyde doğruluğa sahiptir. Her üç girdi düzeyinde kalıcı deformasyon ve yorulma çatlakları gibi asfalt kaplama bozulmalarının tahmini için asfalt karışımının dinamik modülü kullanılır. Asfalt karışımı için 1. Seviye girdilerde dinamik modül ölçümlerinin laboratuvarda AASHTO T342 test yöntemine göre gerçekleştirilmesi gerekir. Bu test genellikle beş farklı sıcaklık ve altı farklı frekans kullanılarak gerçekleştirilir. Bu test, kullanımdaki bir asfalt karışımı kaplamanın maruz kalacağı olası sıcaklık aralığı ve trafik hızının hesaba katılabilmesi için düşük sıcaklık ve yüksek frekansta başlar ve yüksek sıcaklık ve düşük frekansta sonlanır. Asfalt karışımı için 1. Seviye girdiler, 2. Seviye ve 3. Seviye girdilere kıyasla daha güvenilir sonuçlar verse de bunları elde etmek için gerekli laboratuvar testleri zaman alıcı ve maliyetlidir. Asfalt karışımı için 1. Seviye girdiler ekipman yokluğu ve/veya zaman ve bütçe kısıtları nedeniyle temin edilemediği zaman, dinamik modül Asfalt karışımının diğer özellikleri ile korelasyonları kullanılarak tahmin edilebilir. Asfalt karışımı ve asfalt bağlayıcı için tasarım ve analizlerde 2. Seviye ve 3. Seviye girdiler kullanıldığı zaman E* tahmini için AASHTO Pavement ME Design programına Witczak modeli dahil edilmiştir (Esfandiarpour vd., 2015).

MAKDM, bir dizi tasarım koşulu için gerekli kaplama kalınlığını belirleyebilmek için mekanik modellemenin unsurları ile performans gözlemlerini bir araya getirmektedir. Bu mekanik model temel fizik kuralları üzerine kuruludur ve gerilme, gerilim ve yer değiştirme bakımından lastik yüküne karşı kaplama tepkilerini belirler. Bu tasarımın ampirik kısmı ise kaplama tepkilerini kullanarak, gerçek saha performansına bağlı olarak kaplama ömrünü belirler. M-E tasarımının geleneksel ampirik prosedürlere göre bazı avantajları şu şekildedir:

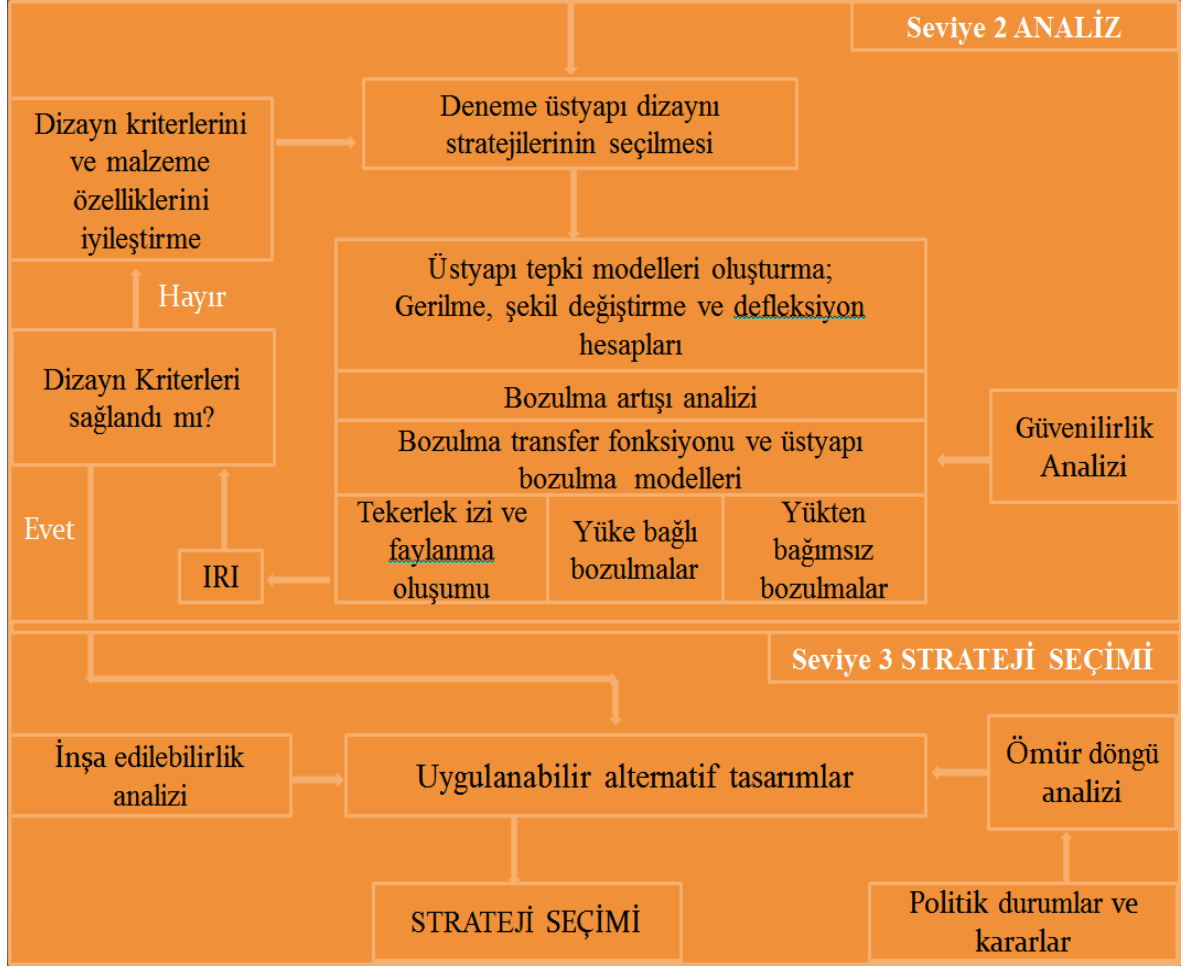
- Değişen yük tiplerinin göz önünde bulundurulması
- Mevcut malzemelerin daha iyi kullanımı ve karakterizasyonu
- Kaplama performansı üzerinde en çok etki eden parametrelerin belirlenmesiyle inşaatın rolünün tanımının iyileştirilmesi
- Malzeme özelliklerinin gerçek kaplama performansı ile ilişkilendirilmesi

- Mevcut kaplama tabaka özelliklerinin daha iyi tanımlanması ve
- Malzemeler üzerinde çevresel ve yaşa bağlı etkilerin belirlenmesi (Ameri ve Khavandi, 2009).

Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da belirtildiği üzere 3 analiz adımı bulunmaktadır. Bu adımlar izlenerek yeni yol dizaynı yapılabileceği gibi mevcut yolun bakım-onarım çalışmaları yapılarak performans artışı da sağlanabilmektedir (AASHTO, 2008).



Şekil 2.8. MADM Seviye 1 Ölçme ve Değerlendirme (AASHTO, 2008).



Şekil 2.9. MADM Seviye 2 Analiz ve Seviye 3 Strateji Seçimi (AASHTO, 2008).

2.3.5 Dinamik Elastisite Modülü temel eğrilerinin çizimi

Geçtiğimiz 50 sene içerisinde Çizelge 2.1.'deki gibi çok sayıda E^* öngören model ve ilgili denklem geliştirilmiştir. Bu model ve denklemler, laboratuvar test verilerinin geleneksel çok değişkenli doğrusal regresyon ya da doğrusal olmayan regresyon analizi ve belirlenmiş ya da beklenen temel mühendislik davranışı ve/veya asfalt karışımı ve/veya bileşenlerinin özellikleri baz alınarak geliştirilmiştir. Bu modeller genel anlamda şu kategorilerde değerlendirilebilir:

- Bitüm sertliği modülü için E^* 'nin logaritması için doğrusal polinom.
- Shook ve Kallas modeli gibi E^* 'nin logaritması için doğrusal polinom.
- Witczak E^* modeli gibi sigmoid fonksiyon kullanan E^* 'nin logaritması için doğrusal olmayan polinom.

- E* modelleri öncelikli olarak Hirsch E* modelinde olduğu gibi karışım kanunlarına dayanmaktadır.

AASHTO PP 62'ye göre E* temel eğrileri (master curve) oluşturulmuştur. Asfalt karışımları için E* temel eğrileri oluşturmak için birçok geçerli neden bulunmaktadır. İlk olarak, E* temel eğrisi sayesinde ekipman ya da zaman kısıtlamaları nedeniyle laboratuvar da belirlemek zor ya da imkânsız olan sıcaklıklar ve/veya frekanslarda E*'nin tahmin edilmesi mümkün olur. İkinci olarak, mevcut tüm kaplama iklim ve yükleme koşulları altında kaplama modellemeleri temel eğri ile ilişkilidir. E* temel eğrisi, MAKDM ve değerlendirmesi için gerekli temel girdilerden biridir. Üçüncü olarak, karışım performansının yorulma ve kalıcı deformasyon direnci bakımından belirlenmesinde temel eğri kullanışlıdır. Örneğin, çoğu karışımlarda daha yüksek E* değerleri sıklıkla daha yüksek kalıcı deformasyon direnci ile ilişkilendirilir (Apeagyei ve Diefenderfer, 2011).

Çizelge 2.1. E* tahmin modelleri (Bari, 2005)

Model No.	E* Tahmin Modeli	Yayınlandığı yıl
1	Van der Poel Modeli	1954
2	Bonnaure Modeli	1977
3	Shook ve Kallas'ın Modelleri	1969
4	Witczak'ın İlk Modeli	1972
5	Witczak ve Shook Modeli	1978
6	Witczak 1981 Modeli	1981
7	Witczak, Miller ve Uzan'ın Modeli	1983
8	Witczak ve Akhter'ın Modeli	1984
9	Witczak, Leahy, Caves ve Uzan'ın Modeli	1989
10	Witczak ve Fonseca'nın Modeli	1996
11	Andrei, Witczak and Mirza's Revised Modeli	1999
12	Christensen, Pellinen ve Bonaquist'ın Hirsh Modeli	2003
13	Witczak ve Bari'nin 1-37 A Modeli	2006
14	Witczak (NHCRP) 1-40D	2007
15	Georgouli Modeli	2015

2.3.6 Dinamik Elastisite Modülünün MAKDM'na göre tahmini

E^* temel eğrileri hakkında takip eden bilgiler, MAKDK ile kaplama tasarımı için E^* 'nin elde edilmesi amacıyla mevcut en doğru prosedürü ortaya koymaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere buna 1. Seviye girdi adı verilmektedir ve belirli projelerde bu girdinin elde edilmesi zor ve hatta imkansızdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla, 2. Seviye ve 3. Seviye girdilerle ve kıyaslandığında daha düşük doğruluk düzeyinde iki ampirik yaklaşım geliştirilmiştir. 3. Seviyenin en düşük doğruluk oranını verdiği düşünülür ve en düşük miktarda bilgiyi gerektirir, belirli sınıflandırma parametreleri, hacimsel özellikler ve bağlayıcının PG ile sınırlıdır. Tıpkı 1. Seviye girdi için gerekli olan gibi daha karmaşık kayma modülü bağlayıcı verisi gerektirmesi nedeniyle beklendiği üzere 2. Seviyenin 3. Seviyeden daha doğru sonuçlar verdiği düşünülür (Apeagyei ve Diefenderfer, 2011).

2.3.6.1 Laboratuvarda Dinamik Elastisite Modülü tayini

E^* tayini için en sık kullanılan laboratuvar testi ASHTO T342-11 (2011) standart yöntemdir. Bu yöntemde yoğurmalı sıkıştırıcı kullanılır. 150 mm çapı ve 170 mm yüksekliğinde silindirik örnekler alınır. Örnekler, son boyutları 100 mm çap ve 150 mm yükseklik olacak şekilde kesilir. Bu örneklerle belirli sıcaklık ve frekansta sinüzoidal eksenel basınç gerilmesi uygulanır. Standarda göre, testler için beş sıcaklık (-10, 4, 21, 37 ve 54 °C) ve altı frekans (0.1, 0.5, 1, 5, 10 ve 25 Hz) belirlenmiştir (Plati vd., 2013).

2.3.6.2 Asfalt Dinamik Elastisite Modülü temel eğrileri

Kaplama ME Tasarımı (AASHTO 2012), tüm sıcaklık ve yükleme oranlarında E^* tayini için referans sıcaklığı kullanarak E^* temel eğrisini oluşturur. E^* temel eğrileri, değişme faktörleri ile temsil edilen frekans-sıcaklık (ya da zaman-sıcaklık) dönüşüm formülleri kullanılarak oluşturulur. Sıcaklık ve yükleme oranının birleştirilmiş etkileri, bir sigmoidal fonksiyon ile E^* ve azalan frekans ya da azalan zaman arasındaki ilişkiyi ifade eden temel eğri formunda ifade edilebilir. Parametrelerin her biri E^* temel eğrisinin bir sigmoidal fonksiyon denklemini kullanır. Bununla birlikte, E^* temel eğrisinin sigmoidal fonksiyonunun çeşitli denklemleri literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada, azalan frekans kullanan sigmoidal fonksiyon bir dinamik modülü E^* temel eğrisi denklemi olarak

tanımlanırken azalan zaman kullanan sigmoidal fonksiyon bir gevşeme modülü $E(t)$ temel eğrisi denklemi olarak tanımlanmıştır. Viskoelastisite teorisi kullanılarak E^* ve $E(t)$ sayısal prosedürler yoluyla birbirine dönüştürülebilir. Azalan frekans (f_r) kullanan dinamik modülü E^* temel eğrisi Denklem 2.2 'deki gibi tanımlanmıştır: (Gopalakrishnan vd., 2014)

$$\text{Log}|E^*| = C_1 + \frac{C_2}{(-C_3 - C_4 \log(f_r))} \quad (2.2)$$

burada,

f_r = referans sıcaklığında azaltılmış yükleme frekansı

C_1 = minimum E^* değeri

$C_1 + C_2$ = maksimum E^* değeri

C_3 ve C_4 = sigmoidal fonksiyonun şeklini tanımlayan parametreler

C_1 ve C_2 fonksiyon parametreleri genellikle agrega tane boyut dağılımına ve karışımın hacimsel özelliklerine bağlı iken C_3 ve C_4 parametreleri daha ziyade asfalt bağlayıcının özelliklerine dayanmaktadır. Azalan frekans (f_r) Denklem 2.3'teki gibi gösterilebilir: (Gopalakrishnan vd., 2014)

$$f_r = (f)a_T(T) \quad (2.3)$$

burada,

f = istenen sıcaklıktaki yükleme frekansı

T = ilgili sıcaklık

$a_T(T)$ = sıcaklığa bağlı dağıtma faktörü (Gopalakrishnan vd., 2014).

Dağıtma faktörü Denklem 2.4 'teki gibi gösterilebilir: (Witczak M., 2005).

$$a(T) = \frac{t}{t_r} \quad (2.4)$$

burada,

$a(T)$ = sıcaklığa bağlı dağıtma faktörü

t = istenen sıcaklıktaki yükleme süresi

t_r = referans sıcaklıktaki yükleme süresi

T = sıcaklık

Klasik viskoelastisitenin esasları $\log a(T)$ ve T (Fahrenheit derece cinsinden) arasında doğrusal bir ilişki olduğunu söylese de deneyimlerden elde edilen bilgiler ışığında görülmüştür ki, değişme faktörünün logaritması (yani $\log a(T_i)$) ve Fahrenheit cinsinden sıcaklık (T_i) arasındaki ikinci dereceden polinom ilişki kullanılmalıdır. Eğer değişken değerleri sıfır olursa, Denklem 2.5 lineer bir denklem haline gelir. Bu ilişki Denklem 2.5'teki gibi gösterilebilir: (Witczak M., 2005).

$$\text{Log } a(T_i) = aT_i^2 + bT_i + c \quad (2.5)$$

burada,

$a(T_i)$ = sıcaklığa bağlı dağıtma faktörü T_i

T_i = ilgili sıcaklık, °F

a , b ve c = ikinci derece polinom katsayısı

2.3.7 Witczak modellerini kullanarak Dinamik Elastisite Modülü tahmini

2.3.7.1 Witczak ve Fonseca 'nın Dinamik Elastisite Modülü tahmin denklemi (1996)

Mevcut tüm dinamik modülü tahmin denklemleri arasında, geçtiğimiz 25 sene içerisinde Maryland Üniversitesinden Witczak ve ekibi tarafından 1996'da geliştirilen denklem en mantıklı ve kapsamlı olanı kabul edilmektedir. Fonseca ve Witczak tarafından kısa süre önce geliştirilen model, diğer modellerden üstündür ve çok çeşitli asfalt karışımları/özellikleri için dinamik modülü değerlendirmelerine imkân tanır ve bunu yaparken aynı zamanda kısa ve uzun süreli yaşlanmayı da hesaba katar. Matematiksel yapısı nedeniyle (sigmoid eğri) ekstrem sıcaklık koşullarında (çok sıcak ya da çok soğuk), yük ile ilişkili bozulmalar için karışımın modülünün tahmin edilmesinde kullanılabilir (Bu denklem Termal Çatlak oluşumu analizi için kullanılamaz.). Bu ekstrem sıcaklıklarda birçok diğer model son derece irrasyonel hale gelmektedir. Witczak-Fonseca tahmin denklemi Denklem 2.6'da verilmiştir (Final Document Appendix CC-1, 2001).

E^* değerini tahmin etmek ve bir referans sıcaklığında temel eğriler oluşturmak için Denklem 2.6'daki gibi bir sigmoidal denklem kullanılır.

$$\log|E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma(\log T_r)}} \quad (2.6)$$

burada,

T_r = referans sıcaklıktaki azaltılmış yükleme süresi;

δ = minimum E^* değeri ve $\delta + \alpha$ = maksimum E^* değeri.

Witczak ve Fonseca, E^* tahmin denkleminin güvenilirliğini, modelin kalibre edilmiş olduğu veritabanından farklı yeni bir veritabanı üzerinde değerlendirmiştir. Herhangi tahmin denkleminde olduğu gibi, modeli geliştirmek için kullanılan değişken aralığı dışındaki model ekstrapolasyonuna ilişkin klasik istatistiksel ilkeler geçerli olmuştur. Bu bağlamda Witczak-Fonseca'nın Denklem 2.7'de gösterilen tahmin denkleminin sınırlamalarından biri, modelin geliştirilmesi ve kalibrasyonu için kullanılan orijinal veritabanının tamamının (1430 veri noktası, 149 karışım) sadece geleneksel asfalt betonu kullanılarak elde edilmiş olmasıdır. Dolayısıyla, modifiye edilmiş asfalt betonlarında, model tahmininin doğruluğu bilinmemektedir (Final Document Appendix CC-1, 2001).

$$\begin{aligned} \log E^* &= -0,261 + 0,008225 \cdot p_{200} - 0,00000101 \cdot (p_{200})^2 + 0,00196 \cdot p_4 - 0,03157 \cdot V_a \\ &- 0,415 \cdot \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) \\ &+ \frac{1,87 + 0,002808 \cdot p_4 + 0,0000404 \cdot p_{38} - 0,0001786 \cdot (p_{38})^2 + 0,0164 \cdot p_{34}}{1 - e^{(-0,716 \cdot \log(f) - 0,7425 \cdot \log(\eta))}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

burada,

E Asfalt karışımının dinamik modülü, 10^5 psi

η Bitüm viskozitesi, 10^6 poise

f Yükleme frekansı, Hz

V_a % karışımındaki boşluk yüzdesi, hacimce

V_{beff} % efektif bitüm oranı, hacimce

p_{34} % cinsinden $\frac{3}{4}$ inç çaplı elekten geçen agrega oranı (kümülatif),

- p38 % cinsinden 3/8 inç çaplı elekten geçen agrega oranı (kümülatif),
 p4 % cinsinden No.4 eleğinden geçen agrega oranı (kümülatif),
 p200 % cinsinden No.200 eleğinden geçen agrega oranı (kümülatif), (Final Document Appendix CC-1, 2001; Clyne vd., 2003)

2.3.7.2 Andrei, Witczak ve Mirza'nın 1-37A revize edilmiş modeli (1999)

Bu model, karışımın hacimsel özelliklerinden elde edilmiş verileri kullanarak çok geniş aralıklı sıcaklık ve yükleme frekansları için karışım sertliğini tahmin eder. Bu model, içinde 34 modifiye bağlayıcı bulunan 205 asfalt karışımı için 2750 kompleks modülü ölçümü içeren oldukça büyük bir veritabanı kullanılarak geliştirilmiştir. Bu ampirik model, Denklem 2.8'de görüldüğü gibi bağlayıcı sertliği viskozite yani beklenen sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ifade edilmiş bir sigmoidal fonksiyon kullanmaktadır (Plati vd., 2013; Hou vd., 2016).

Laboratuvarda gerçekleştirilen viskozite testleri sadece asfalt bağlayıcıların akışkan olduğu yüksek sıcaklıklarda yapılabilir. Asfalt bağlayıcıları düşük sıcaklıklarda doğrudan test etmek zordur. Viskozite-sıcaklık duyarlılığı (VTS) yöntemi asfaltın herhangi sıcaklıktaki viskozitesinin, laboratuvarda kolaylıkla gerçekleştirilebilen çeşitli sıcaklıklarda laboratuvarda test edilmiş viskoziteler ile tahminine imkân tanır. Superpave Performans Sınıflama sisteminin kullanılmaya başlanmasıyla geleneksel kıvam testleri (viskozite, yumuşama noktası ve penetrasyon) verileri artık düzenli olarak toplanmamaktadır. Viskoziteler DSR test sonuçları ile yaklaşık olarak hesaplanabilir (Hou vd., 2016).

$$\begin{aligned}
 \log E^* &= 3.750063 + 0.029232 \cdot p_{200} - 0.001767 \cdot (p_{200})^2 + 0.002841 \cdot p_4 - 0.058097 \cdot V_a \\
 &- 0.802208 \cdot \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) \\
 &+ \frac{3.871977 - 0.0021 \cdot p_4 + 0.003958 \cdot p_{38} - 0.000017 \cdot (p_{38})^2 + 0.00547 \cdot p_{34}}{1 + e^{(-0.603313 - 0.313351 \cdot \log(f) - 0.393532 \cdot \log(\eta))}} \quad (2.8)
 \end{aligned}$$

2.3.7.3 Witczak 1-37A modeli (2006)

Witczak ve ekibi tarafından 2006 yılında geliştirilen model, 2. Seviye ve 3. Seviye asfalt karışımı ve bağlayıcı verilerinin ME Tasarım programına girilmesi halinde tahmini E^*

değerini vermektedir. Bu model, modifiye edilmemiş asfalt bağlayıcılar içeren asfalt karışımları ve modifiye asfalt bağlayıcılar içeren AC karışımlarından elde edilmiş çok sayıda dinamik modülü veri noktası kullanılarak geliştirilmiştir. Witczak modeli, asfalt karışımı için mevcut girdilerin bir sigmoid fonksiyonudur. Bu model, asfalt bağlayıcı viskozitesi (sıcaklığa bağlıdır) ve asfalt karışımının hacimsel özellikleri üzerine kurulmuştur. Denklem 2.9'da Witczak 1-37A modeline ait E^* tahmin denklemi gösterilmektedir (M-E Pavement Design Manual, 2015; Clyne vd., 2003).

$$\begin{aligned} \log E^* &= -1.249937 + 0.029232 \cdot p_{200} - 0.001767 \cdot (p_{200})^2 + 0.002841 \cdot p_4 - 0.058097 \cdot V_a \\ &- 0.802208 \cdot \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) \\ &+ \frac{3.871977 - 0.0021 \cdot p_4 + 0.003958 \cdot p_{38} - 0.000017 \cdot (p_{38})^2 + 0.00547 \cdot p_{34}}{1 + e^{(-0.603313 - 0.313351 \cdot \log(f) - 0.393532 \cdot \log(\eta))}} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Üç girdi seviyesi için de asfalt bağlayıcı verisi gerekmektedir. Asfalt bağlayıcı üzerinde gerçekleştirilen testler genellikle şunlardır: kompleks kayma modülü ve faz açısını belirlemek için çeşitli sıcaklıklarda (kısa süreli ve uzun süreli yaşlanma sonrasında) viskozite dinamik kayma reometresi (DSR), düşük sıcaklıkta kırılgan eğme reometresi, penetrasyon sınıfı ve performans sınıfı. ASTM D2493M-09 viskozite-sıcaklık ilişkisi kullanılarak herhangi sıcaklıkta viskozitenin belirlenmesi için bağlayıcı deney verileri kullanılır.

Regresyon parametrelerinin elde edilmesi için doğrusal regresyon gerçekleştirilir. Bağlayıcı viskozitesi, ASTM standartlarında (ASTM D2493, 2009) tanımlanan Denklem 2.10'da verilen log-log viskozite ve log sıcaklık arasındaki doğrusal ilişki ile belirlenir (M-E Pavement Design Manual, 2015; Plati vd., 2013).

$$\log \log \eta = A + VTS \log T_R \quad (2.10)$$

burada,

η = binder viskozitesi, cP.

T_R = sıcaklık, Rankine.

A = Regresyon katsayısı.

VTs = sıcaklığa duyarlı viskozitenin regresyon eğimi.

1. Analiz Seviyesinde, asfalt bağlayıcısı olarak kullanılan bitüme ait farklı sıcaklıklardaki kompleks kayma modülü ve faz açısının bilinmesi gerekmektedir. Farklı sıcaklıklardaki bitümün viskozitesinin hesaplanabilmesi için Denklem 2.11 kullanılmaktadır (M-E Pavement Design Manual, 2015; Witczak, 2005).

$$\eta = \frac{G^*}{10} \left(\frac{1}{\sin \delta} \right)^{4.8628} \quad (2.11)$$

Burada,

G^* = kompleks kayma modülü, Pa.

δ = faz açısı, derece.

η = binder viskozitesi, cP.

Asfalt çimentosu karışımlarının 2. Analiz Seviyesinde, 1. Analiz Seviyesindeki bağlayıcı deney verileri ve asfalt karışımlarının hacimsel özelliklerinin gerekli olduğu (3. Seviye girdileri için de aynısı söz konusudur) unutulmamalıdır (M-E Pavement Design Manual, 2015; Witczak, 2005).

2.3.7.4 Georgouli modeli (2015)

Georgouli ve ekibi 2015 yılında, asfalt karışımlarının E^* değerlerini doğru bir şekilde tahmin edebilmek için Witczak 1-37A modeli üzerine kurulmuş bir tahmin modeli geliştirmiştir. Ulusal olarak kullanılan çeşitli asfalt karışımları ele alınmış ve modelin geliştirilmesinde toplam 1350 veri noktası kullanılmıştır. Geliştirilen modelin matematiksel ifadesi Denklem 2.12'de verilmiştir. Bu model yüksek istatistik kesinlik ile doğrulanmış ve geçerliliği kanıtlanmıştır ve bu bulgular E^* değerleri bakımından yerel karışımların performansını ortaya koymakta modelin uygunluğunu destekler niteliktedir (Georgouli vd., 2016).

$$\begin{aligned}
& \log E^* \\
& = 3,9 + 3,7437 \cdot p_{200} - 0,0298 \cdot (p_{200})^2 - 0,01221 \cdot p_4 - 0,08686 \cdot V_a \\
& - 0,94215 \cdot \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) \\
& + \frac{3,04483 - 0,01124 \cdot p_4 + 0,0024 \cdot p_{38} + 0,00025 \cdot (p_{38})^2 + 0,00111 \cdot p_{34}}{1 + e^{(-1,07682 - 0,47006 \cdot \log(f) - 0,62593 \cdot \log(\eta))}} \quad (2.12)
\end{aligned}$$

2.3.8 Esneklik Modülü ile Dinamik Elastisite Modülü arasındaki ilişki

Karışımın MR değeri, ölçülen yatay ve dikey deformasyonlar kullanılarak hesaplanır ve uygulanan gerilim ile telafi edilir gerilme arasındaki oran olarak tanımlanır. Asfalt beton karışımlarının MR değerlerini belirlemek için çeşitli test protokolleri ve veri azaltımı yöntemleri geliştirilmiştir. Kompleks dinamik modülü, malzeme üzerindeki hem elastik hem de viskoz etkileri açıklayan farklı test sıcaklıkları ve yükleme frekansları altında asfalt beton karışımının viskoelastik tepkisidir. Asfalt beton karışımlarının dolaylı dinamik kompleks modülünü belirlemek için de çeşitli farklı test protokolleri ve yöntemleri geliştirilmiştir. Buna ek olarak, bitümlü malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla kısa süre önce Avrupa’da da dinamik kompleks modülü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Asfalt karışımları için dinamik kompleks modülü testi ile MR testi arasındaki başlıca farkların detaylı bir karşılaştırması, NCHRP 1-37A 2002 proje ekibi tarafından hazırlanan makalede özetlenmiştir. Asfalt beton karışımları için dinamik kompleks modülü testi ile MR testi arasındaki başlıca fark, dinamik kompleks modülü testinin verilen dinlenme süresi için herhangi dalga biçimindeki yüklemeyi kullanması; MR testinin ise hiçbir dinlenme süresi olmaksızın sinüsoidal yükleme kullanmasıdır, böylelikle test sırasında gecikmeli elastik sönme meydana gelmez. Esnek kaplama yapıları için MR testinden dinamik kompleks modülü testine geçiş hiçbir zaman kolay olmamıştır (Xiao, 2009).

Yeni AASHTO M-A Tasarım Kılavuzu’nun uygulanması için dinamik kompleks modülünün kullanılmaya başlanmasının potansiyel etkisi, Florida Ulaştırma Bakanlığı gibi devlet ulaştırma kurumları için son derece büyüktür. Florida’da esnek kaplama tasarımı için BSK karışımlarının özelliklerinin belirlenmesinde geleneksel olarak indirekt çekme deneyi kullanılmıştır ve bu test yönteminin sahadan alınan örneklerin karışım özelliklerini

belirlemekte hem kolay hem de güvenilir olduğu kanıtlanmıştır. İhtiyaca yanıt vermek için dinamik kompleks modülü kullanılarak Florida'da bulunan BSK karışımlarının özelliklerini belirlemek amacıyla Florida Ulaştırma Bakanlığı tarafından yoğun çabalar sarf edilmiştir. MR ve E* arasındaki temel farklılıklara rağmen bir dizi araştırma çalışması, asfalt beton karışımlarının MR ile E* arasında doğrudan bir korelasyon kurmayı denemiştir. E* ve MR testleri üzerine gerçekleştirilen daha önceki çalışmalar, 5 Hz'te gerçekleştirilen E* ile güçlü bir ilişki ortaya koymuştur (Xiao, 2009).

Viskoelastisite teorisi kullanılarak modifiye yükleme koşulları ile IDT testi kullanılarak dinamik kompleks modülün belirlenmesi için başka alternatif yaklaşımlar da denenmiştir. Kısa süre önce dinamik kompleks modülünden MR'nin hesaplanması için analitik bir yöntem ortaya koyuldu. Ortaya koyulan bu teorik kestirim, çok eksenli doğrusal viskoelastik teoremin dolaylı çekme deneyi için doğrusal elastik çözümlere uygulanmasını kapsamaktadır. Bu yaklaşım ile asfalt beton karışımlarının dinamik kompleks modülünden MR'nin makul bir şekilde tahmin edilmesi mümkün olabilir. Bu kestirimin hassasiyeti, sabit bir Poisson oranı alınmasından etkilenmemiştir (Xiao, 2009).

2.3.9 Güvenirlilik

1993 AASHTO rehberi, güvenilirliğin kaplamaların performansı üzerindeki etkilerini tanıtmıştır. Özetle, güvenilirlik arttıkça performans da artmaktadır. Bu da yüksek güvenilirliğe sahip kaplamaların daha fazla kalınlığa sahip olduğu anlamına gelir. Güvenirliğin o tarihte sadece kaplama performansının genel düzeyi ve bunun değişkenliği bakımından ele alınmış olması nedeniyle 1993 rehberinde yer alan güvenilirlik çok genel anlamıyla düşünülmelidir.

O tarihten bu yana güvenilirlik, Monte Carlo ve diğer simülasyon analizleri ile mekanik tasarımda kullanılmaya başlanmıştır. Kaplama performansının değişkenliğini hesaplamak için girdi parametrelerinin değişkenliğinden yararlanılmıştır. Ürün tutarlılığının sağlanmasının bir yolu kalite kontrolü ya da taban zemini taşıma gücünün daha az değişken olmasının sağlanmasıdır. Daha iyi kontrol süreçleri ile girdilerin değişkenliğinin azaltılması kaplama tasarımının güvenilirliğini artırır ve bu tasarım sürecine yansıtılmalıdır. Bu, performansa ilişkin özelliklerin esaslarından biridir.

Güvenilirliğin sadece “genel” bir yaklaşımla ele alınması yerine bunun tam olarak değerlendirilmesini sağlamak MAKDM için önemli olacaktır. Yeniliklerin kaplamanın uzun süreli performans sağlama kabiliyeti bakımından ölçülebilmesi, süreçler ve malzemelerde yenilik yapmak da kolaylaşır (Newcomb, 2004).

2.4 Esnek Üstyapıda Bozulma Türleri

2.4.1 Düzensizlik

Birçok araştırma çalışması, başlıca kaplama bozulması tiplerini kullanarak düzensizliği başarıyla modellemiştir. Bu çalışmalarda, kalıcı deformasyon, kalıcı deformasyon derinlik değişimi ve yorulma çatlaklarının esnek kaplama düzensizliğini etkilediği ortaya konulmuştur.

Düzensizlik ile ilişkilendirilen bozulmaların birçoğu (yorulma çatlak oluşumu, kalıcı deformasyon ve termal çatlak oluşumu) yük ve iklim ile ilişkilidir ve bunlar mekanistik-ampirik modelleme teknikleri ile hesaplanabilir. Yol çukurları, blok çatlama ve boyuna çatlama gibi diğer bozulmalar da düzensizliği etkiler. Bununla birlikte, mevcut uygulamalar mekanistik-ampirik ilkeler kullanarak bu bozulmaları modellememize izin vermediği için Tasarım Rehberi prosedüründe pürüzsüzlük modellemesi yaparken bu bozulmaların ortaya çıkma potansiyelini doğrudan girme seçeneği tasarımcılara verilmiştir. Buna ek olarak, toprak hareketleri ve diğer iklim faktörlerine (çökme, donma kabarması, oturma) bağlı pürüzsüzlük kaybı da “saha faktörü” ögesi kullanılarak pürüzsüzlük hesaplamalarına dahil edilir (bunlar temel ve iklim özelliklerine dayalı bir küme olarak temsil edilir) (Final Report Part 3, 2004).

NCHRP'nin 2002 yılı tasarım Rehberi'nde yayınladığı IRI hesaplamasında Denklem 2.13 kullanılmaktadır.

$$IRI = IRI_0 + \beta_1 SF(e^{yas/20^{-1}}) + \beta_2 FC + \beta_3 \left(\frac{COV_{RD}}{100} \right) + \beta_4 TC + \beta_5 BC + \beta_6 SLCNWP_{MH}$$

(2.13)

burada;

IRI_0 = yolun yapımından sonraki ilk IRI değeri, in./mi,

SF= Arazi faktörü

FC= Yorulma çatlakları

RD= Tekerler izi

COV_{RD} = Tekerlek izini varyans katsayısı

TC= Enine çatlak uzunluğu

BC= Blok halinde oluşan çatlak alanı

$SLCNWP_{MH}$ = Tekerlek izinin dışında belirlenmiş boyuna çatlak uzunluğu

$\beta_1 - \beta_6$ = regresyon parametreleri (Agardh, 2005).

Pürüzsüzlük kaybı tahmini için AASHTOWare Pavement ME Design yazılımına dahil edilen tasarım çerçevesinde, yüzey bozulmalarının görülmesi ile birlikte pürüzsüzlükte azalma (artan IRI değeri) görüleceği kabul edilir. Denklem 2.14 ile 2.16 arası denklemler, BSK yüzeyli kaplamalar için zaman içerisinde IRI tahmini amacıyla LTPP programı ile toplanan ve AASHTOWare Pavement ME Design yazılımında kullanılan veriler kullanılarak geliştirilmiştir. Yeni BSK kaplamalarda ve Esnek üstyapılar üzerine yapılacak yeni BSK tabakalarında Denklem 2.14, SF, arazi faktörü için denklem 2.15, Rijit kaplama üzerine BSK tabakası ilave edimisse Denklem 2.16 kullanılmaktadır (AASHTO, 2015).

$$IRI = IRI_0 + C_1(RD) + C_2(FC_{Toplam}) + C_3(TC) + C_4(SF) \quad (2.14)$$

$$SF = Yaş^{1.5} \{ \ln[(Precip + 1)(FI + 1)p_{02}] \} + \{ \ln[(Precip + 1)(PI + 1)p_{200}] \} \quad (2.15)$$

$$IRI = IRI_0 + PCC.C_1(RD) + PCC.C_2(FC_{Total}) + PCC.C_3(TC) + PCC.C_4(SF) \quad (2.16)$$

burada:

FC_{Toplam} = Yorulma çatlakları alanı (tekerlek izi boyunca timsah sırtı, boyuna ve yansıma çatlaklarının birleşimi), toplam şerit alanı yüzdesi. Yüke bağlı tüm çatlaklar alan cinsinden toplanır ve alan cinsine dönüştürmek için çatlak uzunlukları 1 ft ile çarpılır.

$C_{1,2,3,4}$ = ABD ulusal kalibration faktörleri; $C_1 = 40.0$, $C_2 = 0.400$, $C_3 = 0.008$, $C_4 = 0.015$

Yaş = Kaplama yaşı, yıl,

PI = Kullanılan malzemenin plastisite indeksi yüzdesi,

FI = Ortalama yıllık donma indeksi, °F gün,

Precip = Yıllık ortalama yağış, inch,

p_{02} = 0.02 mm elekten geçen malzeme yüzdesi

p_{200} = 0.075 mm elekten geçen malzeme yüzdesi

PCC.C_{1,2,3,4} = Kalibrasyon katsayıları sırasıyla 40.8, 0.575, 0.0014, 0.00825.

2.4.2 Yorulma çatlağı oluşumu

İki farklı yorulma çatlağı oluşumu bulunmaktadır. Bunlar klasik aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı çatlak oluşumlarıdır. Yorulma çatlama hesaplamaları, kümülatif hasar için Denklem 2.17'deki Miner kuralı kullanılmaktadır (Final Document Appendix II-1, 2004).

$$D = \sum_{i=1}^T \frac{n_i}{N_i} \quad (2.17)$$

Yorulma hasarı tahmin modelinin genel formu başlangıçta Denklem 2.18'deki gibi tanımlanmıştır (Final Document Appendix II-1, 2004).

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{k_2} \left(\frac{1}{E} \right)^{k_3} \quad (2.18)$$

Yorulma çatlağı oluşumu için mekanistik-ampirik tahmin, kapsamlı bir tekrarlı hasar birikimi algoritması içerir. Hem gündüz hem de gece saatlik termal gradyanlar göz önüne alındığında hasar aylık bazda biriktirilir (Final Document Appendix KK, 2003).

Asfalt Enstitüsü MS-1 yorulma modelinde yorulma modelini kalibre etmek için Denklem 2.19, Denklem 2.20 ve Denklem 2.21 denklemleri kullanılmakta hem timsah hem de boyuna çatlak oluşumunda kullanılan üç kalibrasyon katsayısı, β_{f1} , β_{f2} ve β_{fa} , aşağıdaki denklemde verilmiştir (Souliman vd., 2010; Final Document Appendix II-1, 2004).

$$N_f = 0,00432 * C * \beta_{f1} k_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_1} \right)^{k_2 \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E} \right)^{k_a \beta_{fa}} \quad (2.19)$$

$$C = 10^M \quad (2.20)$$

$$M = 4,84 \left(\frac{V_a}{V_a + V_b} - 0,69 \right) \quad (2.21)$$

burada:

N_f = Yorulma çatlağı oluşumunda tekrarlı yüklemenin tekrar sayısı,

ϵ_t = Kritik yerdeki çekme gerilmesi, in/in

E = BSK malzemesinin Elastisite Modülü, psi

$\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$ = Lokal kalibrasyon katsayıları

V_b = Efektif binder oranı, %

V_a = Boşluk oranı, %

k_1, k_2, k_3 = ABD ulusal kalibrasyon katsayıları sırasıyla 0.007566, 3.9492, ve 1.281.

2.4.2.1 Timsah sırtı çatlak oluşumu

Aşağıdan yukarı çatlamlar: bu tarz çatlamlar geleneksel timsah sırtı çatlakları ile ilişkili olduğu kabul edilir. Timsah sırtı çatlakları, toplam kaplama alanının bu çatlaklara sahip yüzdesi olarak ifade edilir. Toplam kaplama alanı 12 ft (3,6 m) genişliğinde ve 500 ft (152 m) uzunluğunda bölümlere ayrılmış bir şerit olarak tanımlanmıştır (LTPP veritabanından alınmış geometrik boyutlar). Bu maksimum timsah sırtı çatlakları yüzdesi 6000 ft²'lik (557 m²) bir alan ile ilişkilendirilmiştir. Timsah sırtı çatlaklarının, asfalt tabakalarının altında meydana gelen yatay çekme gerilmeleri sonucunda başladığı varsayılır. Nihai kalibre edilmiş timsah sırtı çatlak oluşumu modeli denklem F'deki gibidir (Final Document Appendix II-1, 2004).

$$FC = \left(\frac{6000}{1 + e^{C_1 - C_2 * D}} \right) \left(\frac{1}{60} \right) \quad (2.22)$$

burada;

FC = yorulma çatlağı (% alan)

D = hasar yüzdesi

C_1, C_2 = regrasyon katsayıları.

2.4.2.2 Boyuna çatlak oluşumu

İkinci yorulma çatlak oluşumu tipi ise yukarıdan aşağı çatlama değildir. Bu bozulma, kaplama sistemindeki boylamasına çatlamlar ile ilişkilendirilir. Bu yorulma bozunması tipi, boylamasına çatlamların ft/mi cinsinden büyüklüğü olarak ifade edilip denklem 2.23 ile hesaplanmaktadır. Saha gözlemleri ile en iyi uyumu sağladığı için seçilmiş olan bu mekanizma, asfalt tabaka sisteminin yüzeyinde meydana gelen çekme gerilmesine ilişkin bir yorulma modelidir. Maksimum çekme gerilmesi değerleri (ve dolayısıyla da yorulma hasarı) her zaman, tek, ikili, üçlü veya dördü dişli konfigürasyonuna sahip ikili tekerlek seti arasındaki yüzey çekme gerilmesi ile ilişkilendirilmiştir (Final Document Appendix II-1, 2004).

$$FC_{Toplam} = \left(\frac{C_4}{1 + e^{(C_1 + C_2 * \log_{10}(D))}} \right) * 10.56 \quad (2.23)$$

burada;

FC_{Toplam} = toplam yorulma çatlak (% alan)

D = hasar yüzdesi

C_1, C_2, C_4 = regresyon katsayıları.

2.4.2.3 Çimento Stabilizasyonlu Malzeme’lerde yorulma çatlak oluşumu

Temel, alttemal veya taban zemini tabakalarının çimento stabilizasyonu, stabilize edilen tabakanın sertliğindeki artış nedeniyle kaplamanın yapısal tepkilerini etkiler. Günümüzde MAKDK, Çimento Stabilizasyonlu Malzemeler (ÇSM) modellemesi için stabilize edilmiş tabakanın yorulma çatlama, hasar birikimi ve yorulma çatlama yansıması gibi bozunma tahmin modelleri kullanılmaktadır. Ancak, MAKDK’nin ilk değerlendirmeleri bunun enine çatlama ve blok çatlama stabilize edilmiş tabakaların performansını ve dolayısıyla da yarı rijit kaplamanın hizmet süresini büyük ölçüde etkileyebilecek diğer olası bozunma modellerini hesaba katmadığını ortaya koymuştur. ÇSM için yorulma çatlak oluşumu modelinde, Denklem 2.24’te gösterildiği gibi artan hasar yaklaşımı kullanan bir ÇSM için izin verilen tekrarlı yük sayısı, N_{f-CTB} , olarak

tanımlanmıştır. ÇSM'de yorulma çatlağı alanı hesaplamalarında ise denklem 2.25 kullanılmaktadır (Saxena vd., 2010).

$$N_{f-CTB} = 10^{\left[\frac{k_{C1}\beta_{C1}\left(\frac{\sigma_t}{M_R}\right)}{k_{C2}\beta_{C2}} \right]} \quad (2.24)$$

$$FC_{CSM} = C_1 + \frac{C_2}{1+e^{(C_3+C_4 \log(DI_{CSM}))}} \quad (2.25)$$

burada:

N_{f-CTB} = izin verilerin tekrarlı yükleme sayısı,

σ_t = CSM tabakasının tabanındaki çekme gerilmesi (psi),

M_R = CSM tabakasının 28 günlük Esneklik Modülü değeri (psi),

DI_{CSM} = CSM tabakasının hasar endeksi

k_{C1}, k_{C2} = ABD'nin ulusal kalibrasyon katsayıları,

β_{C1}, β_{C2} = lokal kalibrasyon katsayıları,

FC_{CSM} = yorulma çatlağı alanı (ft²),

$C_{1,2,3,4}$ = transfer fonksiyonu regrasyon katsayıları sırasıyla 1.0, 1.0, 0.0, 1000.

2.4.3 Enine çatlak oluşumu

2.4.3.1 Termal çatlak oluşumu

Pellinen ve Witczak tarafından gerçekleştirilen araştırma, asfalt karışımlarının kompleks modülünün ısı çatlama için iyi bir performans göstergesi olmadığını ortaya koymuş ama bu konuda daha fazla çalışma yapılmasını tavsiye etmiştir. Witczak ve ekibi tarafından 1996 yılında gerçekleştirilen ek çalışmada, sünme uyumu temel eğrisi kullanarak asfalt malzemenin özelliklerinin belirlenmesi ve kaplama tepki modellerine asfalt karışımının doğrusal viskoelastik davranışının eklenmesi için bir yöntem ortaya koyulmuştur. Doğrusal viskoelastisite esas alınarak kompleks modülü sünme uyumu değerlerine dönüştürülmüştür. Sonuç olarak kırılma mekanizmaları kullanılarak, hesaplanan çatlak derinliğini çatlak frekansı ile ilişkilendiren bir model geliştirilmiştir. Bu yaklaşım,

kompleks modülü değerlerini kaplamadaki ısı çatlamalar ile ilişkilendiren bir model ile sonuçlanmış ve tahminin tamamlanması için sünme uyumu ve dolaylı çekme testlerini gerektirmiştir (Clyne vd., 2003).

2.4.3.2 Isıl çatlama mekanizması

Soğumadan kaynaklanan sıkışma gerilimleri, etki altındaki yüzey tabakasında ısı çekme gerilmesi oluşmasına neden olur. Kaplamanın boylamasına yönünde daha fazla gerilim olması nedeniyle ısı gerilme oluşumu bu yönde en yüksek düzeydedir. Ayrıca, kaplama sıcaklığının yüzeyde en düşük konumda olması nedeniyle ısı gerilmeler kaplamanın yüzeyinde en yüksek düzeydedir. Bu gerilmelerin büyüklüğüne ve asfalt karışımının kırılma dayanımına (çatlak ilerlemesi) bağlı olarak kaplamanın uzunluğu boyunca farklı noktalarda enine çatlaklar oluşabilir. Çok zorlu soğuma döngülerinde (çok düşük sıcaklıklar ve/veya çok hızlı soğuma), bir ya da birkaç soğuma döngüsü içindeki kaplamada belirli noktalarda enine ısı çatlaklar oluşabilir. Bu duruma genellikle düşük sıcaklık çatlaması adı verilir. Kaplama takip eden soğuma döngülerine maruz kaldıkça farklı konumlarda ek çatlaklar oluşacaktır. Düşük sıcaklık çatlaması için kırılma mekanizmasının, ısı yorulma çatlaması ile aynı olduğu unutulmamalıdır; tek farkı çatlamanın meydana gelme hızıdır. Dolayısıyla bu iki olaya da ısı çatlama adı verilebilir (Final Document Appendix HH, 2003).

Isıl çatlama modeli iki ana bileşenden oluşur:

- 1) Ortalama malzeme özelliklerine sahip tek bir çatlama alanında dikey çatlağın aşağı yönlü ilerlemesini hesaplayan bir mekanik tabanlı model.
- 2) Mevcut ortalama çatlak derinliği ve yüzey tabakasında çatlak derinliklerinin varsayılan dağılımı ile hesaplanan, kaplama yüzeyindeki gözle görülür ısı çatlama miktarını hesaplayan bir olasılıksal model. Isıl çatlama hesaplamalarında kullanılan modeller arasında Dolaylı Çekme Transformasyon Modeli, Çevresel Etkiler Modeli, Kaplama Tepkisi Modeli, Kaplama Bozunum Modeli, Gerilme Yoğunluğu Faktör Modeli, Çatlak Derinliği Modeli ve Çatlak Miktarı Modeli yer almaktadır (Final Document Appendix HH, 2003).

2.4.3.3 Termal çatlama modeli

Termal çatlama modelinde denklem 2.26 kullanılmaktadır. (AASHTO, 2015).

$$\Delta C = A(\Delta K)^n \quad (2.26)$$

burada:

ΔC = Donma çözünme döngüsünde çatlak derinliğindeki değişim miktarı,

ΔK = Donma çözünme döngüsüne bağlı olarak stres yoğunluk faktörü değişimi,

A, n = BSK karışımı için çatlak parametreleri.

Ampirik sonuçlara göre, denklem 2.27 ve 2.28'e uygun olarak BSK'nın dolaylı çekme, sönüm-uyum ve dayanımı kullanılarak A ve n değerleri tahmin edilebilmektedir (AASHTO, 2015).

$$A = k_t \beta_t 10^{[4,389 + 2,52 \text{Log}(E_{BSK} \sigma_m^n)]} \quad (2.27)$$

$$\eta = 0.8 \left[1 + \frac{1}{m} \right] \quad (2.28)$$

k_t = her giriş seviyesi için global kalibrasyon ile belirlenen katsayı (Level 1 = 1.5;

Level 2 = 0.5; and Level 3 = 1.5),

E_{BSK} = BSK'nın indirek çekme modülü, psi,

σ_m = karışımın çekme gerilmesi, psi,

m = laboratuvarında ölçülen dolaylı çekme sönüm uyum eğrisinden elde edilen m-değeri,

β_t = lokal veya karışımın kalibrasyon faktörü.

Teorik sonlu elemanlar çalışmaları ile geliştirilip sadeleştirilen denklem 2.29 kullanılarak, gerilme yoğunluğu faktörü (K) AASHTOWare Pavement ME Design yazılımında hesaplanabilmektedir (AASHTO, 2015).

$$K = \sigma_{tip} [0.45 + 1.99(C_0)^{0.56}] \quad (2.29)$$

burada:

σ_{tip} = çatlak ucunun derinliğinde kaplama tepki modelinin uzak-alan gerilmesi, psi,

C_o = mevcut çatlak uzunluğu, ft.

Çatlama derecesi ise çatlak derinliğinin BSK tabakasının kalınlık oranına logaritmasının olasılık dağılımı ile çatlama yüzdesi arasındaki varsayılan ilişki kullanılarak AASHTOWare Pavement ME Design yazılımı tarafından hesaplanır. Denklem 2.30, ısı çatlamanın boyutunu belirlemek için kullanılan ifadeyi göstermektedir (AASHTO, 2015).

$$TC = \beta_{t1} N \left[\frac{1}{\sigma_d} \text{Log} \left(\frac{C_d}{H_{BSK}} \right) \right] \quad (2.30)$$

burada:

TC = Gözlenen termal çatlama miktarı, ft/mi,

β_{t1} = Global kalibrasyon ile belirlenen regresyon katsayısı,

$N_{[z]} = [z]$ 'deki standart normal dağılım değeri,

σ_d = kaplamada çatlak derinliği değerlerinin standart sapması, inç,

C_d = çatlak derinliği, inç,

H_{BSK} = BSK tabakasının kalınlığı, inç (AASHTO, 2015).

2.4.3.4 Yukarıdan aşağı enine çatlama

Kaplama yüksek ve olumsuz sıcaklık gradyanlarına (tabliyenin üst bölümünün alt bölümünden daha soğuk olması) ya da tabliyenin üst kısmının alt kısmına göre daha fazla büzülmesi etkisine maruz kaldığı zaman ağır vasıtalardan kaynaklanan tekrarlı yükleme tabliyenin üst kısmında yorulma hasarına neden olur ve bu da kaplamanın yüzeyinde başlayacak enine çatlaklar ile sonuçlanır. Yukarıdan aşağı çatlamlar için kritik yükleme koşulu, bir tabliyenin iki ucunu aynı anda yükleyen dingillerin bir kombinasyonunu içerir. Yüksek bir negatif sıcaklık gradyanının, bir nem gradyanının mevcudiyetinde bu yük kombinasyonları, Şekil 2'de verildiği üzere tabliyenin üst kısmında, kritik boylamasına kenarın ortası yakınında yüksek çekme gerilmesine neden olur. Bu tip bir yükleme sıklıkla tır çekicileri ve diğer taşıtların direksiyon ve çeker dingillerinin bir kombinasyonu tarafından meydana gelir. Önemli miktarda yukarı yönlü kalıcı kıvrılma/eğrilme mevcut olduğu zaman yukarıdan aşağı yönlü gerilme kritik hale gelir (Final Document Appendix KK, 2003).

2.4.3.5 Aşağıdan yukarı enine çatlama

Yukarıdan aşağı enine çatlamayı etkileyen faktörler aynı şekilde yukarıdan aşağı çatlamayı da etkileyecektir. Bununla birlikte, beton tabliyenin yerleşimi ve kürlenme uygulaması burada büyük bir etkiye sahiptir. Kaplama, yüksek bir yapısal sıcaklık gradyanının oluşmasına imkân sağlayacak koşullar altında yerleştirildiyse (yüksek güneş radyasyonu altında sabah saatlerinde) ve su kürü gibi yöntemlerle bu gradyanı kontrol altına almak için hiçbir çaba sarf edilmediyse sonuçta elde edilen yüksek yapısal gradyan yukarıdan aşağı yorulma çatlakları oluşumuna katkıda bulunur (Final Document Appendix KK, 2003).

2.4.4 Tekerlek izi oluşumu

2.4.4.1 BSK tabakalarında tekerlek izi oluşumu

Kalıcı deformasyon ya da lastik izi, asfalt beton karışımının en düşük sertliğe sahip olduğu orta ile yüksek arası sıcaklıklarda kümülatif yük uygulamalarının neden olduğu yük ile ilişkili bir bozulmadır. Bu üç aşamada irdelenebilir. İlk deformasyon servis ömrünün başlarında oluşur ve bunun başlıca nedeni karışımın sıkışması (geçen trafiğin neden olduğu sıkıştırma etkisi) ve azalan plastik deformasyon oranlarıdır. İkinci aşamada, deformasyon artışı küçük ama sabit bir orandadır ve karışımda genellikle plastik kesme deformasyonu gerçekleşmektedir. Üçüncü aşamada kesme kırılması meydana gelir ve karışım kopma noktasına ilerler. Kullanımdaki kaplamalarda bu üçüncü aşamaya genellikle ulaşılmaz—bu aşamaya gelmeden çok öncesinde ilgili kurumların önleyici bakım ve rehabilitasyon çalışmaları yapmaları gerekir (Clyne vd., 2003).

Ampirik modeller kullanılarak kalıcı deformasyon tahmini yapılır. Sadece birinci ve ikinci aşamalar modellenmiştir. Asfalt beton malzemeler için bu model, Leahy modelinin önce Ayres ve sonra da Kaloush tarafından değiştirilmiş versiyonudur. Bağlayıcısız malzemeler için geliştirilmiş model ise Tseng ve Lytton modelinin önce Ayres ve sonra da El-Basyouny ve Witczak tarafından değiştirilmiş versiyonudur (Clyne vd., 2003).

Daha önce de belirtildiği üzere, Tasarım Rehberinde sunulan yaklaşım artan hasar üzerine kurulmuştur. Hasar ya da deformasyon, kaplama sistemi içerisindeki her bir tabakanın orta derinliğinde ve her mevsim için hesaplanır. Her bir alt tabakada gerçekleşen kalıcı deformasyonu hesaplamak için sistem o tabakanın tipini doğrular, alt tabakanın malzeme tipi ile eşleşen modeli uygular ve her mevsim sonunda biriken plastik gerilmeyi hesaplar. Bir mevsim için genel kalıcı deformasyon, her bir tabakanın kendi kalıcı deformasyonlarının toplamıdır ve matematiksel olarak denklem 2.31 'deli gibi ifade edilir (Final Document Appendix GG-1, 2004).

$$PD = \sum_{i=1}^{n_{sublayers}} \varepsilon_p^i h^i \quad (2.31)$$

burada:

PD = kaplama kalıcı deformasyonu,

$n_{sublayers}$ = alt tabakaların sayısı,

ε_p^i = Alt tabaka i 'deki toplam plastik gerilme,

h^i = Alt tabaka i 'nin kalınlığı.

Bu süreç her bir yük seviyesi, mevsim ve analiz periyodu olarak seçilmiş ay için tekrarlanır (Final Document Appendix GG-1, 2004).

Esnek kaplamalarda toplam kalıcı deformasyon miktarı, BSK, temel ve temel altı tabakaların her birindeki plastik deformasyonların toplamı olarak hesaplanır. Esnek kaplamaların BSK tabakalarının kalıcı deformasyonunu hesaplamak için mevcut model denklem 2.32'de verilmiştir: (Kargah-Ostadi vd., 2018).

$$\Delta p_{(BSK)} = h_{BSK} \varepsilon_{p(BSK)} = h_{BSK} \varepsilon_r(BSK) \beta_{r1} k_z 10^{k_1} T^{k_2} \beta_{r2} N^{k_3} \beta_{r3} \quad (2.32)$$

burada:

Δp = tahmin edilen tekerlek izi derinliği (inç),

h_{BSK} = BSK tabakasının kalınlığı (inç),

ε_p = tabakadaki plastik deformasyon (inç/inç),

ε_r = tabakadaki elastik deformasyon (inç/inç),

T = tabaka sıcaklığı,

N = yükleme tekrarı sayısı,

k_1, k_2, k_3 = ulusal kalibrasyon katsayıları sırasıyla $-3.35412, 1.5606, 0.4791$.

$\beta_{r1}, \beta_{r2}, \beta_{r3}$ = lokal veya karışım kalibrasyon faktörleri; bu faktörler ulusal kalibrasyon yapılırken 1.0 alınır.

k_z = denklem 2.33 ile hesaplanan derinlik sınırlandırma faktörü:

$$k_z = (C_1 + C_2 D) \times 0.328196^D \quad (2.33)$$

burada:

D = yüzeye olan derinlik mesafesi,

C_1 ve C_2 = derinlik sınırlandırma faktörünü hesaplamak için katsayılar; bu katsayılar denklem 2.34 ve 2.35'e göre hesaplanır: (Kargah-Ostadi vd., 2018).

$$C_1 = -0.1039 x h_{BSK}^2 + 2.4868 x h_{BSK} - 17.324 \quad (2.34)$$

$$C_2 = 0.0172 x h_{BSK}^2 - 1.7331 x h_{BSK} + 27.428 \quad (2.35)$$

Ayrıca plastik deformasyonun, elastik deformasyona oranı 2.36 nolu denklemden elde edilebilir.

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = \beta_{\sigma 3} [\beta_1 10^{k_1} T^{k_2} \beta_2 N^{k_3} \beta_3] \quad (2.36)$$

burada:

ε_p = plastik deformasyon (inç/inç),

ε_r = Belirli bir yük için alt tabaka i'deki kalınlığın ortasında hesaplanmış düşey esnek deformasyon,

$\beta_{\sigma 3}$ = derinlik düzeltme faktörü,

k_1, k_2, k_3 = laboratuarda tekrarlanan yük altında kalıcı deformasyon deneyi verilerinden elde edilen regresyon katsayıları,

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = arazi kalibrasyon katsayıları,

T = sıcaklık

N = tekrarlı yükleme için tekrar sayısı (Clyne vd., 2003).

2.4.4.2 Bağlayıcısız tabakalarda tekerlek izi oluşumu

NCHRP 1-37A metodolojisi tüm bağlayıcısız granüler malzemeleri alt tabakalara ayırır ve her bir tabakanın toplam kalıcı deformasyonu bu alt tabakaların kalıcı deformasyonlarının toplamıdır. Her bir alt tabakanın kalıcı deformasyonu denklem 2.37'deki gibi hesaplanır: (Clyne vd., 2003).

$$\delta_i = \beta_1 k_1 \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r} \right) e^{-\left(\frac{\rho}{n} \right)^\beta} \varepsilon_v h_i \quad (2.37)$$

burada:

δ_i = i tabakasının kalıcı deformasyonu,

β_1 = arazi kalibrasyon katsayısı

k_1 = laboratuarda tekrarlanan yük altında kalıcı deformasyon deneyi verilerinden elde edilen regresyon katsayısı,

$\varepsilon_0/\varepsilon_r, \beta, \rho$ = malzeme özellikleri,

N = tekrarlı yükleme için tekrar sayısı,

ε_v = alt tabaka i'deki kalınlığın ortasında hesaplanmış yatay esnek deformasyon,

h_i = i tabakasının kalınlığı,

2.4.5 Yansıma çatlağı oluşumu

Esnek kaplamaların ve yarı rijit ve kompozit kaplamaların BSK tabakalarında bulunan yorulma çatlakları + enine çatlaklar üzerinde oluşan enine çatlaklar ve derzli PCC kaplamalardaki eklemler ve çatlaklar. MAKDK ile hesaplanan yansıtıcı çatlamanın birimi ft/mi (m/km) olmaktadır. MAKDK yansıtıcı çatlamların ciddiyetini hesaplamamakla birlikte tanımında düşük, orta ve yüksek ifadelerini içerir. Bir devlet kurumunun yansıtıcı çatlakları doğrulamak için esnek kaplamaların BSK tabakasında karot örnekleri almaması veya derin çukurlar açmaması halinde yerel kalibrasyon iyileştirme çalışmalarının BSK tabakaların toplam çatlamları ile sınırlanması tavsiye edilir. Bu durumda, tekerlek yolu üzerindeki tüm yüzey çatlakları (yansıma, timsah sırtı ve boyuna çatlaklar), yukarıda boylamasına çatlama için verilmiş tavsiye kullanılarak toplanmalıdır. Tüm çatlakların toplanması halinde timsah sırtı ve yansıtıcı çatlak transferi fonksiyonları yerel kalibrasyon sürecinde kullanılabilir (Buch vd. 2009).

2.5 AASHTOWARE Pavement ME Design yazılımı ve gelişimi

Farklı otomobil tiplerinin yakıt tüketimine bağlı olarak adil bir vergi düzenlemesine tabi tutulması amacıyla AASHO yol testi 1950'lerin sonunda Illinois eyaletinin Ottawa şehrinde geliştirilmiştir. 1958 ile 1960 seneleri arasında test bölgelerine bir milyondan fazla yük uygulanmış ve bunların performans kayıtları tutulmuştur. Çalışma sonunda, dikkatle kontrol edilmiş test bölgeleri ve ölçülen trafik ve performans kayıtları 1972 AASHO tasarım rehberinin temelini oluşturmuştur. 1972 tasarım rehberi, mevcut servis yeteneği indeksi (PSI), trafik hasar faktörleri ve ESDY ve yapısal sayı (SN) gibi zamana meydan okuyan birçok tasarım konseptini ortaya koymasıyla birçok yönden yenilikçiydi. 1972 Rehberi 1986 ve sonra da 1993'te revize edilmiş ve bu son revizyon sadece Kaplama tabakası tasarım prosedürlerine odaklanmıştır (AASHTO 1993). ABD Ulaştırma Bakanlıklarının çoğu, Kaplama yapıları için yeni ve rehabilite edilmiş tasarımlar geliştirmek amacıyla AASHTO tasarım rehberinin bir versiyonunu kullanmıştır. 2004'te devlet kurumlarının kaplama tasarım uygulamaları üzerine gerçekleştirilen bir ankette, 49 kurumun 24'ü (%51) 1993 AASHTO rehberini kullandıklarını ifade etmiş, 3 kurum (%6) hala 1972 AASHTO rehberini kullandıklarını belirtmiş ve 14 kurum da (%29) AASHTO ve Kamu uygulamalarının bir kombinasyonunu kullandıklarını ifade ederken geriye kalanlar başka tasarım prosedürleri kullandıklarını ifade etmiştir (FHWA 2004). SD2005-01: MAKDK Uygulama Planı SDDOT günümüzde 1993 AASHTO tasarım rehberini kullanması nedeniyle bu bölümde yeni MAKDK konseptleri tanıtılacak, metodolojide ve 1993 rehberi ile MAKDK arasındaki girdilerde gerçekleşen önemli değişiklikler ele alınacak ve diğer eyalet karayolları dairelerinde gerçekleşen bazı uygulamalar özetlenecektir (Hoerner vd., 2007).

AASHTO tasarım rehberinin ilk versiyonlarının doğasında bulunan sınırlamalar, temel mühendislik ilkeleri ve ilişkilerine daha fazla odaklanan yeni bir kaplama tasarım rehberi geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. 1990'ların ortalarına gelindiğinde AASHTO Birleşik Çalışma Grubu (JTTP), Uzun Dönem Kaplama Performans (LTPP) programı için M-E ilkelerine ve kaplama performans verileri ile kalibre edilmiş sayısal modellere dayalı bir kaplama tasarım rehberi hazırlamak için araştırmalarını sundu. Bu araştırma, JTTP, BSK ve PCC kaplama sanayi, akademi ve FHWA'yı temsil eden Eyalet Ulaştırma Bakanlıklarının üyelerinin yer aldığı NCHRP teknik panelinin süpervizyonunda Ulusal Kooperatif Otoyol Araştırmaları Programı (NCHRP) Proje 1-37A sayısıyla gerçekleştirildi. Yeni MAKDK'nin

taslak versiyonu ve buna eşlik eden yazılım tamamlandı ve 2004'te değerlendirmeler için dağıtıldı. Tasarım rehberinin ilk versiyonları, performans verilerinin (AASHTO yol testi gözlemleri ya da performans ölçümlerinin istatistiksel regresyon modelleri) ampirik ilişkilerine katı bir şekilde bağlı kalırken, bu yeni M-E prosedürü kaplamanın hizmet süresi boyunca birikecek hasarı hesaplamak trafik, iklim, malzemeler ve önerilen yapı için girdi verilerini analiz etmektedir. Kaplama tasarımına yönelik bu yeni yaklaşım ile AASHTO tasarım rehberinin daha eski versiyonlarında kullanılan yaklaşım arasındaki temel farklılıklar, yeni rehber belgesinden bu pasaj ile en iyi şekilde açıklanabilir (Hoerner vd., 2007).

Ulusal düzeyde geliştirilmiş ve kalibre edilmiş MAKDM prosedürüne olan ihtiyacı gören AASHTO Birleşik Teknik Komitesi, mevcut en yeni kaplama tasarım yöntemlerine dayanan bu gibi bir tasarım prosedürü geliştirmek için araştırma çalışmaları yapılmasını önerdi. Bu öneri, Yeni ve Rehabilit Edilmiş Kaplama Yapılarının Tasarımı için 2002 Rehberi NCHRP Proje 1-37'nin başlatılması ve bunu takiben de Yeni ve Rehabilit Edilmiş Kaplama Yapılarının Tasarımı için Rehber NCHRP Proje 1-37 ve Yeni ve Rehabilit Edilmiş Kaplama Yapılarının Tasarımı için Rehberin Uygulanmasının Kolaylaştırılması NCHRP Proje 1-40'ın hazırlanması ile sonuçlandı. Bu projelerin ürünleri arasında bir ME kaplama tasarım rehberi, basit bir yazılım ve bir de performans tahmini model kalibrasyon rehberi yer almıştır.

2008'de AASHTO *MAKDK* adında bir uygulama kılavuzunu yayımlamış ve 2011'de de buna eşlik eden AASHTOWare Pavement ME Design (eski adıyla MEPDG v1.100) yazılımının ilk sürümünü yayımlamıştır. *MAKDK* ve AASHTOWare Pavement ME Design yazılımı MAKDM ilkelerine dayanmaktadır ve bu özelliğiyle eskiden kullanılan ampirik tabanlı AASHTO kaplama tasarımı prosedürlerinden anlamlı bir şekilde ayrılmaktadır. Eskinin ampirik tabanlı prosedürlerinden ME tabanlı tasarım prosedürlerine geçilmesi ile çok daha geniş taşıt yüklemeleri aralığının, malzeme özelliklerinin ve iklim etkilerinin değerlendirilmesi; mevcut kaplama tabakalarının özelliklerinin daha iyi tanımlanması ve kaplama performans tahminlerinin artan güvenilirliği gibi birtakım avantajlar sağlanmıştır. Ve yerel kalibrasyon çalışmalarına yardımcı olmak üzere AASHTO, *Mekanistik-Ampirik Kaplama Tasarım Rehberinin Yerel Kalibrasyonu için Rehber* (AASHTO 2010)'i yayımlamıştır (Pierce ve McGovern, 2014).

MAKDK, NCHRP Proje 1-37A kapsamında geliştirilmiştir. Bu proje ile birlikte geliştirilmiş olan yazılımın ana menü arayüzü Şekil 2.10'da verilmiştir. Yazılım ve buna eşlik eden belgelere internet üzerinden ulaşılabilir. Girdiler hakkında ilgili bilgiler, kaplama performansını belirleyen üç faktör (trafik, iklim/çevre ve yapı/malzeme girdileri) hakkında tartışmalar ile birlikte sunulmuştur. Bu düzen, M-E Tasarım Rehberi yazılımında önerilen yerleşim planını izlemiştir (Prozzi ve Hong, 2006).



Şekil 2.10. MAKDM 2002 yazılımı ana menü ekranı (Prozzi ve Hong, 2006).

2.5.1 Güvenirlilik

DARWIN-ME kullanan deneme tasarımı için seçilmiş performans kriterleri arasında her bir bozulma tipi ve pürüzsüzlük için güvenilirlik seviyelerinin belirlenmesi bulunmaktadır. Güvenirlilik seviyeleri, esnek asfalt kaplama ve beton kaplama da dahil tüm kaplama tasarım tipleri için tutarlı ve tekdüzedir. Tasarım güvenilirliği (R), öngörülen bozulmanın tasarım süreci boyunca kritik düzeyden daha düşük olması olasılığı (P) olarak tanımlanmıştır (Kasperick ve Ksaibati, 2015).

Güvenirlilik, DARWIN-ME tarafından öngörülenden daha az sayıda bozulma veya daha fazla pürüzsüzlük ortaya koyacak proje yüzdesi olarak tanımlanmıştır. Diğer bir deyişle, DARWIN-ME kullanılarak 100 proje tasarlanmış ve inşa edilmiş ise ve bunların 90'ında bozulmalar görülür ve 90'lık güvenilirlik seviyesi için öngörülenden daha düşük pürüzsüzlük görülür. Güvenirlilik hesaplamalarının bir örneği Şekil 2.7'de görülebilir (Kasperick ve Ksaibati, 2015).

Şekil 2.7'de görüleceği üzere güvenilirlik, seçilmiş tasarım düzeyinde DARWIN-ME tarafından yapılan tahminlerin başarı olasılığıdır. Kaplama tasarımında kullanım için güvenilirlik seviyeleri, ilgili kurumun standartları ve otoyolun öneminin analizi ile belirlenir. İşlek otoyolların ya da kamusal önemi yüksek otoyolların, trafik düzeyleri düşük otoyollara göre daha yüksek güvenilirlik seviyelerine sahip olmaları gerekir; dolayısıyla, güvenilirlik seviyesi seçiminde bir kılavuz olarak fonksiyonel sınıflandırma kullanılmaktadır (Kasperick ve Ksaibati, 2015).

2.5.2 Analiz yazılımında tanımlanan girdi verileri

2.5.2.1 Trafik

1960'larda gerçekleştirilen AASHTO Yol Testinden bu yana ağır taşıt trafiği büyük oranda artmıştır. Eyaletler arası yol kaplamaları 1960'larda 5–10 milyon ESDY için tasarlanıyordu. Günümüzde bu aynı kaplama sınıfı tasarım ömrü boyunca 50 – 200 milyon ESDY üzerinde yüke maruz kalmaktadır. AASHTO Tasarım Rehberinin 1960 değerleri esas alınarak geliştirildiği düşünülecek olursa bu düzeydeki trafik ile kullanımını oluşturan fark

nedeniyle gerçekçi olmayacaktır. AASHTO Tasarım Rehberi kullanırken AASHO Yol testinin veri sınırlarının ekstrapolasyonu gerekmektedir, bu da ya yeterince iyi tasarlanmamış ya da gereğinden çok daha iyi tasarlanmış otoyollar ile sonuçlanır ve ekonomik açıdan verimsizdir. AASHTO Tasarım Rehberinde mevcut trafik yükleme sınırlamalarına ek olarak taşıtların özellikleri de 1960'lerden bu yana değişiklikler göstermiştir. Tır süspansiyonları, dingil konfigürasyonları ve lastik tipleri ve basınçlarının tümü değişti ve AASHTO Tasarım Rehberi bu eski ve daha düşük düzeydeki özellikleri esas almaya (lastik basıncının günümüzde 115 psi iken 80 psi olarak alınması gibi) devam ediyor ve günümüz yüksek değerleri için yetersiz kalıyor (Kasperick ve Ksaibati, 2015).

Kaplama tasarımı içerisinde trafik yüklemesinin gereğince ele alınabilmesi için tekli, ikili ve üçlü dingiller de dahil ana dingil tipleri kullanılarak tam dingil yük dağılımı bilgisine sahip olmak gerekir. Dingiller ve tekerleklerin birbirine uzaklığı da kaplama performansını etkileyen faktörler arasındadır (Ameri ve Khavandi, 2009).

Trafik verisi ise model geliştirme ve model kalibrasyonu için gerekli önemli veri unsurlarından biridir.

Aşağıda trafik karakterizasyonu için gerekli veri listesine yer verilmiştir:

- Trafik Hacmi
 - o Başlangıç ve takip eden yıllar için trafik hacimleri.
 - o Tır trafiği yönüne ve şerit dağılımına bağlı faktörler.
- Trafik hacim düzeltme faktörleri.
 - o Aylık düzeltme.
 - o Taşıt sınırı dağılımı.
 - o Saatlik tır dağılımı.
 - o Trafik büyüme faktörleri.
- Dingil yükü dağılımı faktörleri.
- Genel trafik girdileri.
 - o Dingil/tır sayısı.
 - o Dingil aralığı.
 - o Taşıt (tır) sürüş hızı.
 - o Dingil ve tekerlek aralık konfigürasyonları.
 - o Lastik özellikleri ve şişirme basıncı.

o Tır yanal dağılım faktörü.

Mevcut trafik verileri birçok formda elde edilmektedir. Model geliştirme ve kalibrasyon amaçlı kullanılmak üzere veri dönüşümü, mevcut verilerin tipi ve doğasına göre yapılmıştır (dingil sayısı ve ESDY karşılaştırması gibi). Mevcut verileri, 2002 rehber prosedürünün gerektirdiği kullanılabilir biçime dönüştürmekte kullanılan prosedür takip eden bölümlerde özetlenmiştir (Final Document Appendix FF, 2003).

Günümüzde mevcut trafik verileri bilgisine göre 3 Seviye olarak sınıflandırılmaktadır. Bu veri seviyeleri basitçe aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Final Report Part 2, 2004).

Seviye 1 – Geçmiş ve gelecek trafik verileri hakkında çok miktarda veri vardır. Yükler ve aks konfigürasyonları kullanıcı tanımlanır (Final Report Part 2, 2004; Final Document Appendix AA, 1999).

Seviye 1, sahaya özgü tarihsel trafik hacmi ve yükleme verilerinin toplanması ve analizini gerektirmektedir. Bir sahada ya da yakınlarında ölçülmüş olan trafik verileri arasında otoyolda seyahat eden tır sayısı ve sınıfının yanı sıra şerit ve yön bilgilerinin bir özeti ve inşaatı takip eden ilk sene için tır trafiğinin belirlenmesi için her bir tır sınıfı için dingil yüklerinin ölçülmesi yer alır. Gerçek dingil ağırlıkları ve proje sahasında ya da yakınlarında ölçülmüş (otoyolun söz konusu bölümünün yükleme modelini önemli ölçüde değiştirecek herhangi kesişen yol bulunmayan bölümü) tır trafiği hacim dağılımlarını kullanması nedeniyle 1. Seviyenin en doğru ölçüm olduğu düşünülür (Final Report Part 2, 2004).

Seviye 2 – Geçmiş ve gelecek trafik verileri hakkında orta derecede veri vardır. Sahaya Özel Araç Sınıflandırma Verileri ve Bölgesel Aks Ağırlığı Verileri tanımlanır (Final Report Part 2, 2004; Final Document Appendix AA, 1999).

2. Seviye, tasarımcının tır hacmini doğru hesaplayabilmek için sahadan tır hacmi bilgisi toplamasını gerektirir. Bu da herhangi haftaıçi/haftasonu hacim değişikliklerinin ve tır yüklerindeki herhangi mevsimsel trendlerin hesaba katılabilmesi anlamına gelir (ağır,

mevsimsel ve tarımsal yüklerden etkilenen alanlar gibi). Taşıt ağırlıkları, her Eyalet tarafından tutulan ve ağır (yükli tırlar) taşıt ile hafif (yüksüz tırlar) taşıt bilgisi kullanarak yollar arasında ayırım yapmak için kullanılan bölgesel ağırlık özetlerinden alınmıştır (FHWA'nın Trafik Denetim Rehberi 2001 Baskısında tanımlanan “tır ağırlığı yol grupları”). Bölgesel dingil yükü spektrumlarının her bir tır sınıfı için analizleri trafik modülü dışında tamamlanmıştır (Final Report Part 2, 2004).

Seviye 3 – Geçmiş ve gelecek trafik verileri hakkında çok az miktarda veri vardır. Bölgesel Araç Sınıflandırması ve Aks Ağırlığı Verileri tanımlanır (Final Report Part 2, 2004; Final Document Appendix AA, 1999).

Tasarımcının söz konusu otoyol için sınırlı tır hacmi bilgisine sahip olması halinde 3. Seviye kullanılır (örneğin, elde olan veriler Yıllık Ortalama Günlük Trafik [AADT] değerleri ve tır yüzdesinden ibaret ise). Bu seviye, AADT değerleri ve tır yüzdesinden ya da tırların taşıdıkları yük boyutu hakkında sahaya özel bilgiler olmaksızın basit tır hacmi sayımlarından başlar. Yük bilgisindeki bu eksiklikler, bölgesel ya da eyalet yük dağılımı ortalamasının (ya da varsayılan yük dağılımı tablosunun) kullanılması gerektiği anlamına gelir. Yerel deneyime dayalı trafik girdileri tahmini de 3. Seviye olarak kabul edilir (Final Report Part 2, 2004).

Seviye 4 – Sahaya Özel Araç Sayım Verileri ve YOGT tanımlanır. Seviye 4, araç sayısı ve yüzde kamyon bilgisi dışında trafik bilgisi gerektirmez, ancak en az doğru olan analiz seviyesidir. Bu seviye için, varsayılan Aks Yüğü Dağılımı ve araç sınıflandırma dağılım parametreleri ile Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) ve yüzde kamyon bilgileri, MAKDM prosedürü için gerekli trafik verilerini tahmin etmek için kullanılır. Yazılımda yer alan araç sınıflandırma dağılımını ve aks yükü spektrumunu tanımlamak için varsayılan değerler, LTPP trafik veritabanında seçilen test bölümlerinin kapsamlı trafik verileriyle analiz edilmesinden belirlenmiştir ve karayolunun kamyon trafiği sınıflamasını da içermektedir. Seviye 4 verileri yalnızca yerel otoyolların tasarlanmasında ve trafik verileri toplama için uygun donanımına sahip olmayan küçük belediyeler tarafından kullanılması tavsiye edilir (Final Document Appendix AA, 1999).

Lokal ve / veya bölgesel aks yükü spektrumları veya dağılımları kullanılamıyorsa (yani, hareketli ağırlık verisi yoksa), Seviye 4 kullanılmalıdır. Tasarımda, trafik modülü yazılımında bulunan aks yükü spektrumları için varsayılan değerler veya diğer kaynaklardan elde edilen değerler kullanılabilir (Final Document Appendix AA, 1999).

2.5.2.2 Trafik verilerinin analizi

2002 MAKDK ve hem yeni kaplama tasarımları hem de kaplama rehabilitasyon tasarımları için geliştirilen değerlendirme prosedürünü destekleyecek bir trafik modülü geliştirmek için sekiz farklı trafik verisi tipi gerekmektedir (Final Document Appendix AA, 1999).

1- Hareketli Ağırlık (WIM) Verisi. Normalize edilmiş dingil yükü dağılımı ya da spektrumları için her bir taşıt sınıfındaki her dingil tipinin belirlenmesi için 2. Seviye WIM verisi kullanılır. Bu dingil ağırlık bilgileri 1., 2. ve 3. Seviye girdiler için gereklidir. 4. Seviye girdiler için varsayılan değerler sağlanmıştır. Bu varsayılan değerler taşıt sınıfı ve dingil tipidir. Belirli bir zaman aralığında her taşıt sınıfı ve dingil tipi için dingil sayısının belirlenmesi amacıyla 4. Seviye WIM verileri kullanılır (Final Document Appendix AA, 1999).

WIM verileri, taşıt tipi ve belirli bir süre içinde tartılmış olan her bir taşıt için dingil sayısı, dingil aralığı ve ağırlığının bir listesidir. Normalize edilmiş dingil yükü dağılımı ya da spektrumları için her bir tır sınıfındaki her dingil tipinin belirlenmesi için WIM verisi kullanılır. Normalize edilmiş dingil yükü dağılımının belirlenmesi için WIM verisinin analizi, Ek AA'da belirtildiği üzere Tasarım Yazılımı dışında gerçekleştirilir. 1. ile 3. Seviye arasında WIM verisinin sınıflandırması, verilerin toplanmış olduğu belirli bir lokasyon esas alınarak yapılır (sahaya özel, bölgesel/eyalet çapında ya da ulusal) (Final Report Part 2, 2004).

2- Otomatik Taşıt Sınıflandırma (AVC) Verisi. Belirli bir süre içerisinde normalize edilmiş taşıt sınıfı ya da tır dağılımının belirlenmesi için AVC verisi kullanılır. Bu taşıt sınıflandırma verileri 1., 2. ve 3. Seviye girdiler için gereklidir. 4. Seviye girdiler için varsayılan değerler sağlanmıştır. Varsayılan değerler tır trafiği dağılımına bağlıdır [64].

AVC verileri, belirli bir süre içerisinde sayılmış taşıt sayısı ve tipinin (FHWA 4 ile 13. Sınıflar arası) bir listesidir. Normalize edilmiş tır sınıfı dağılımının belirlenmesi için AVC verileri kullanılır. Normalize edilmiş tır sınıfı dağılımının belirlenmesi için AVC verisinin analizi, Ek AA'da belirtildiği üzere Tasarım Yazılımı dışında gerçekleştirilir. 1. ile 3. Seviye arasında AVC verisinin sınıflandırması, verilerin toplanmış olduğu belirli bir lokasyon esas alınarak yapılır (sahaya özel, bölgesel/eyalet çapında ya da ulusal) (Final Report Part 2, 2004).

3 – *Yıllık Ortalama Günlük Kamyon Trafik (YOGKT)*. Yıllık ortalama günlük tır trafiği 1., 2. ve 3. Seviye girdilerde başlangıç yılı için gereklidir. Otoyol için trafik ölçümlerinin bulunmadığı 3. Seviye girdiler için bu değerler benzer otoyollar üzerinde gerçekleştirilen ya da bölgesel ortalamaları temsil eden trafik çalışmaları kullanılarak hesaplanabilir (Final Document Appendix AA, 1999).

4 – *Yıllık Ortalama Günlük Trafik (AADT) ya da Taşıt Sayımları*. Başlangıç yılı için yıllık ortalama günlük trafik değeri gerekmektedir ama bu değer sadece 4. Seviye girdiler için gerekir (Final Document Appendix AA, 1999).

5 – *Tır Yüzdeleri*. Tır yüzdeleri, trafiğe dahil olan 4 – 13 arası taşıt sınıflarının yüzdelerini ifade eder. 4. Seviye girdiler için başlangıç yılında tır yüzdeleri gerekmektedir (Final Document Appendix AA, 1999).

6 – *Kaplama Yapısal Tasarımı için Tır Trafik Sınıflandırması (TTC)*. Bu faktör, çeşitli trafik parametrelerinin 4. Seviye girdileri için varsayılan değerlerin seçilmesi amacıyla yapısal kaplama tasarımları için gerekli, benzer tır trafiği özelliklerine sahip otoyolları sınıflandırır. TTC konusu bu bölümün bir sonraki başlığında ele alınacaktır (Final Document Appendix AA, 1999).

7 – *Dingil yükü ve dingil konfigürasyonun yükleme detayları*. Lastik ve dingil yüklerinin ayrıntılarını tanımlayan takip eden maddelerin her biri için varsayılan değerler tanımlanmıştır. Bununla birlikte, tasarımcı sahaya özel farklı bir dizi değer kullanabilir.

- Lastik basıncı – Tekli ya da ikili kullanım için dingil yüküne bağlı olan varsayılan değer.
- Lastik ve dingil yükü – Lastik ve dingil yükü artışları belirlidir.
- Dingil ve lastik aralıkları – Varsayılan değerler dingil tipine bağlıdır.
- Taşıt sınıfı ta da tır tipine bağlı olarak dingil tipi başına ortalama dingil sayısı – varsayılan değerler tır tipine bağlıdır (Final Document Appendix AA, 1999).

8 – *Trafik faktörleri*. Takip eden maddelerin her biri için varsayılan değerler farklı otoyol tiplerine göre sağlanmıştır. Bununla birlikte, tasarımcı herhangi hiyerarşik trafik düzeyleri için farklı değerler girebilir. Bu maddeler ya da tasarım girdileri bu bölümün ikinci kısmında ele alınacaktır.

• Trafik zamanı dağılım faktörleri – Girdi olarak iki farklı tür dağılım faktörü gerekmektedir. YOGKT değerini aylık Ortalama Günlük Kamyon Trafiği değeri/hacmine uyarlamak için mevsimsel ya da aylık dağılım faktörleri kullanılırken, aylık Ortalama Günlük Kamyon Trafiği hacminin günün saatlerine dağılımını yapmak için saatlik dağılımlar kullanılır. Gün içerisindeki farklı ısı gradyanlar göz önünde bulundurularak artan hasar dağılımı hesaplamaları yapılabilmesi için trafiğin ortalama günlük dağılımı gereklidir. Bu zaman dağılımı faktörleri AVC ya da WIM verileri ile yapılan kapsamlı çalışmalarda belirlenmiştir.

• Haftaiçi ve haftasonu tır trafiği faktörleri – Bu tır trafiği faktörleri ile Ortalama Günlük Kamyon Trafiği değeri haftaiçi ve haftasonu koşullarına uyarlanır ya da ortalama haftaiçi tır faktörleri alınarak Ortalama Günlük Kamyon Trafiği değeri tahmin edilir. AVC trafik örnekleme planı hem haftaiçi hem de haftasonunu aynı oranlarda gereğince kullanarak kapsıyorsa, ADTT herhangi uyarlama yapılmadan doğrudan kullanılabilir.

• Yön dağılımı faktörü – Yön dağılımı faktörleri, tırların toplam tır trafiği popülasyonu içerisinde bir yönde hangi yüzde ile hareket ettiklerini ifade eder. Bu yön dağılımı faktörleri tır tipine bağlı olabilir.

• Şerit dağılım faktörü – Şerit dağılım faktörleri, tırların toplam tır trafiği popülasyonu içerisinde bir şeritte (yani bir yönde) seyir yüzdelerini ifade eder. Bu şerit dağılım faktörleri yer (kent veya kırsal) ve otoyol (şerit sayısı) unsurlarına bağlıdır ama aynı zamanda tır tipine de bağlı olabilir.

- Yanal dağılım faktörü – Yanal dağılım faktörleri, tırların bir trafik şeridi boyunca sapmaları ya da yanal dağılımlarını ifade eder.
- Trafik büyüme faktörü ya da fonksiyonu – Trafik büyüme fonksiyonu, zaman içerisinde tır trafiğindeki artış ya da düşüşü ifade eder (tır trafiğinin öngörülmesi ya da geriye dönük tahmini için) ve tır tipine bağlı olabilir (Final Document Appendix AA, 1999).

Literatürde mevcut gözlemlenmiş trafik karakterizasyon kalıplarının ele alınması ile Michigan'dan elde edilen verilerden neler bekleneceği konusunda bir fikir edinmek mümkün olmuştur. Karşılaştırma amacıyla MAKDK varsayılan değerleri de gözden geçirilmiştir. Birçok devlet kurumu tarafından zaten gruplanmış oldukları ve benzerlikleri karşılaştırılmış olduğu için aşağıdaki trafik özelliklerine odaklanılmıştır (Buch, 2009).

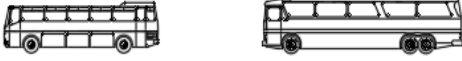
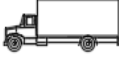
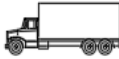
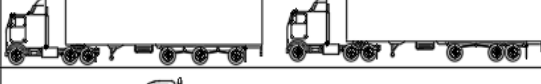
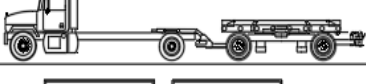
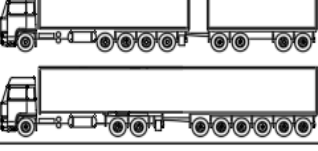
- Tır Trafiği Sınıflandırması
 - o 4-13. sınıflar arası (toplamda on) her bir FHWA taşıt sınıfı için tır trafiği yüzdesi
- Aylık Dağılım Faktörü
 - o Her ay bir adet olmak üzere 12 faktörden oluşan set
- Saatlik Dağılım Faktörü
 - o Her saat bir adet olmak üzere 24 faktörden oluşan set
- Dingil yükü dağılımı/spektrumu
 - o Her bir taşıt sınıfı ve her bir dingil grubu için yükleme oranları

Bu trafik özelliklerinin her biri şu açılardan ele alınmıştır:

- Trafik karakterizasyonu
- Her bir trafik özelliğinin MAKDK kapsamındaki etkisi (Buch, 2009).

Tablo 2.2'de görüldüğü üzere FHWA tüm trafiği Sınıf 1 ile Sınıf 13 arası toplam 13 taşıt sınıfına ayırmaktadır. Tır sınıfları ise Sınıf 4 ile Sınıf 13 arasını oluşturmaktadır. Tır sınıflandırması ile ilgili iki ayırt edici özellik bulunmaktadır: dingil sayısı ve römork tipi (römorksuz, tek römorklu veya çok römorklu). Brüt araç ağırlığının (GVW) yanı sıra seyahat tipinin, yani uzun mesafe veya yerel taşımacılık faaliyetinin de tır tipi ile belirlenebilmesi nedeniyle bu ayırım gereklidir (Buch, 2009).

Çizelge 2.2 ABD ulusal araç sınıfları

ABD Ulusal Araç Sınıfları	Örnek Araç Görünümü	Açıklama
4		İki Yada Üç Akslı Otobüs
5		İki Akslı Altı Tekerli Kamyon
6		Üç Akslı Kamyon
7		Dört Veya Daha Fazla Akslı Kamyon
8		Dört Veya Daha Az Akslı Tır
9		Beş Akslı Tır
10		Altı Veya Daha Fazla Akslı Tır
11		Beş Veya Daha Az Akslı Tır + Römork
12		Altı Akslı Tır + Römork
13		Yedi Veya Daha Fazla Akslı Tır + Römork

2.5.2.3 İklim

İklim verileri hesabı için istenen veriler aşağıdaki gibidir. MAKDM iklim modelleri 3 ayrı analiz sınıfında değerlendirilmektedir.

- Saatlik hava sıcaklığı
- Saatlik yağış
- Saatlik rüzgâr hızı
- Saatlik güneş alma yüzdesi
- Saatlik bağıl nem (Zapata ve Houston, 2008).

Bu parametreler ölçüm alanına yakın meteoroloji istasyonlarından alınabilir. NCHRP 1-37A da kullanılan yazılımda Amerika'daki yaklaşık 800 istasyonun verisi bulunmaktadır. Ayrıca aşağıdaki veriler gereklidir:

- Yeraltı su seviyesi
- Yüzey suyu drenaj kapasitesi
 - o Yüzey kısa dalga absorpsiyonu
 - o Süzme oranı
 - o Drenaj kanalı uzunluğu
 - o Kesit eğimi (Schwartz ve Carvalho, 2007).

Kaplama yapısı içerisindeki nem ve sıcaklık dağılımlarının öngörülmesi için iklim girdileri kullanılır. Asfalt beton rijitliği, sıcaklık değişikliklerine karşı duyarlıdır ve bağlayıcısız malzeme sertliği de nem değişikliklerine karşı duyarlıdır (Schwartz ve Carvalho, 2007). Sıcaklık, bağlayıcısız ve bağlayıcı tabakalar üzerindeki çevresel etkiler ile ilişkilendirilir. Sıcaklık değişikliği, donma-çekme döngüsünü doğrudan kontrol eder ve bu döngü bağlayıcısız tabakaların MR üzerinde dramatik değişikliklere sebep olur. Başta BSK tabakaları olmak üzere bağlayıcı tabakaların modülleri de benzer şekilde sıcaklıktan doğrudan etkilenir ve bu da kaplamanın ısıl çatlamasını belirler. Sıcaklık ve zamanın bir araya gelmesi ile kaplama tabakalarında yaşlanma etkileri meydana gelir. Dolayısıyla sıcaklık, kaplama bölümünün trafik yüklerine tepkisini kontrol eden ve bu süreçlerin tümünde büyük önem taşıyan bir değişkendir ve sıcaklığın öngörülebilmesi ve kaplama tasarımı hizmet süresi boyunca mevsimsel değişikliklerin doğru şekilde belirlenebilmesi için Geliştirilmiş Entegre İklim Modeli (GEİM) kullanılması gerekir (Zapata ve Houston, 2008).

Sıcaklık, asfalt bağlayıcı sertliği ve dolayısıyla da BSK karışımlarının dinamik modülü (E^*) üzerinde etkileri olan önemli bir faktördür. Kaplama yapısı içerisindeki BSK tabakalarının modülünün genel kaplama tepkisini etkilemesi nedeniyle sıcaklığı zaman ve derinliğin bir fonksiyonu olarak gereğince ifade etmek önemlidir. GEİM, kaplama sıcaklığının frekans dağılımını zaman ve derinliğin bir fonksiyonu olarak verir. GEİM tarafından hesaplanan nem oranı ile karşılaştırma yapmak için kaplama profili boyunca nem oranı ölçümleri alınması gerekmektedir. (1) Zaman ve kaplama içindeki konuma göre değişen ve (2) nem oranındaki değişiklik, donma, çekme ve çekmeden geri dönüş gibi

çevresel parametreler ve koşulların etkilerini ifade eden MR için bir dizi uyarlama faktörlerinin hesaplanması amacıyla nem oranı gerekli ve önemli bir parametredir. Son olarak, GEİM içerisinde yer alan bazı korelasyonların kalibrasyonu için CBR değerleri gereklidir (Zapata ve Houston, 2008).

2.5.2.4 Geliştirilmiş Entegre İklim Modeli

GEİM, kaplama ve temel altı malzemelerin davranışları ve özelliklerinde çevresel faktörlere bağlı değişikliğe neden olan tek boyutlu ısı ve nem akışının mekanistik bir modelidir. Kaplama yapısı dahilinde sıcaklık ve neme bağlı günlük ve mevsimsel değişiklikler, proje sahasının hava durumu geçmişine bağlıdır (Schwartz ve Carvalho, 2007).

Farklı malzeme tiplerinin iklimdeki değişikliklere tepkileri de farklıdır. Bağılayıcısız malzemeler, nem oranı değişimi ve kış ve bahar aylarında donma-çekme döngülerinden etkilenmektedir. Asfalt beton, karışımın dinamik modülünü doğrudan etkileyen sıcaklık değişikliklerine tepki verir. Sıcaklık aynı zamanda ısı çatlamalarının da nedenidir ve bu çatlamalar ya ısı değişimleri ya da sıcak/soğuk sıcaklıkların tekrarlayan döngülerinden kaynaklanır. GEİM başlıca üç bileşenden oluşmaktadır: (Schwartz ve Carvalho, 2007).

□ Illinois Üniversitesi tarafından geliştirilen İklimsel-Malzemeler-Yapısal Modeli

□ ABD Silahlı Kuvvetleri Soğuk Bölgeler Araştırma ve Mühendislik Laboratuvarı tarafından geliştirilen CRREL Donma Kabarma ve Çekme Oturma Modeli

□ Teksas A&M Üniversitesi tarafından geliştirilmiş Şişme ve Drenaj Modeli (ID Modeli):
Şu üç çevresel etki özellikle esnek kaplamalarda ön plana çıkmaktadır:

□ Asfalt beton için sıcaklık değişiklikleri: Asfalt beton karışımlarının dinamik modülü sıcaklığa oldukça duyarlıdır. Asfalt beton tabakalarındaki sıcaklık dağılımları tahmini olarak hesaplanır ve sonra da alt tabakalar boyunca karışımın sertliğinin belirlenmesi için kullanılır. Sıcaklık dağılımları aynı zamanda ısı çatlama tahmin modelinde girdi olarak da kullanılır.

□ Temel, alttemel ve taban zemini malzemeleri için nem değışiklikleri: Bağlayıcısız malzemelerin MR optimum yoğunluk ve nem oranında tanımlanır. Tahmini nem oranına bağlı olarak MR'nin uyarlanması için bir düzeltme faktörü tanımlanmıştır.

□ Temel, alttemel ve taban zemini malzemeleri için donma-çözölme: Donma bölgelerinde bulunan bağlayıcısız malzemelerin MR, donma sürecinde artar ve çekme sürecinde azalır. GEİM buz lensleri (ice lens) oluşumunu öngörmektedir ve bir donma bölgesi tanımlar (Schwartz ve Carvalho, 2007).

Bitümlü tabakaların rijitlik düzeyi sıcaklığa son derece duyarlıdır. Nem ve don temel, alttemel ve taban zemini tabakalarını etkiler. Kaplamanın sıcaklığı sıklıkla derinlik ile değışir ve hem hava sıcaklığı hem de rüzgâra bağlıdır. Yapılacak hesaplamaları sadeleştirmek için sıklıkla kaplamanın tamamını ya da belirli bir tabakayı temsil eden bir sıcaklık bulunması gerekir. (Agardh, 2005).

2.5.2.5 **Malzeme**

Çizelge 2.3'te malzeme sınıfına bağlı olarak MAKDM analizlerinde ihtiyaç duyulan temel malzeme verileri listelenmiştir. Malzemen sınıfları BSK, PCC, alttemel ve temel ile doğal taban zemini olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 2.4'te görüldüğü üzere BSK tabakası için E* değerin belirlenmesinde seçilecek analiz seviyesine göre izlenecek yol detaylı olarak anlatılmaktadır.

Çizelge 2.3. Malzeme sınıfına bağlı temel malzeme verileri (Final Report Part 2, 2004).

Malzeme Sınıfı	Gereken malzeme verisi		
	Tepki modellerinin oluşturulabilmesi için gerekli veriler	Bozulma ve transfer fonksiyonları için gerekli ilave veriler	İklim modelleri için gerekli ilave veriler
BSK (aşınma, binder ve bitümlü temel için)	• Zamana bağlı dinamik modül(E^*) • Poisson oranı	• Çekme dayanımı, sünme rijitliği ve termal genleşme katsayısı	• Yüzey kısa dalga absorpsiyonu, ısı iletkenlik ve BSK 'nın ısı kapasitesi • Yaşlanma hesabı için binder viskozite karakterizasyonu
PCC (sadece kaplama)	• Zamana bağlı Elastisite Modülü(E) • Poisson oranı • Birim ağırlık • Isıl genleşme katsayısı	• Eğilme dayanımı, çekme ve basınç dayanımları, çimento miktarı, su/ çimento oranı, rötre, tersinir rötre	• Yüzey kısa dalga absorpsiyonu, ısı iletkenlik ve PCC 'nın ısı kapasitesi
Alttemel ve temel	• Mevsimsel MR • Poisson oranı • Birim Ağırlık • Yanal basınç katsayısı	• Aşınabilirlik	• Isıl iletkenlik ve ısı kapasitesi
Doğal zemin	• Elastisite Modülü • Poisson oranı • Birim ağırlık	-	-

Çizelge 2.4. Asfalt E^* değerinin analiz seviyesine göre belirlenme metodolojisi (Final Report Part 2, 2004).

Malzeme grup kategorisi	Analiz seviyesi	Açıklama
Asfalt Malzeme	1	Karışımın istenen sıcaklık ve yükleme frekanslarındaki Dinamik modül(E^*) lab. deneyi (NCHRP 1-28A) Önerilen binder için $\omega=1,59\text{Hz}$ (10 rad/s) kompleks kayma modülü ve faz açısı (AASHTO T315) Karışım kompaksiyon sıcaklığı için binder deneyinden gelen regresyon parametreleri ($A_i\text{-VTSi}$) Zamana bağlı yaşlanma eğrisinin hesabı
	2	E^* laboratuvar deneylerine gerek yok. E^* tahmin denklemi kullanılır. Belli sıcaklıklarda, önerilen binder için $\omega=1,59\text{Hz}$ (10 rad/s) (AASHTO T315) $G^*\text{-}\delta$ bulunması. Yumuşama noktası deneyi ile, mutlak ve kinematik viskozite veya Brookfield viskozimetresi ile binder viskozitesi veya rijitlik belirlenmesi. Karışım kompaksiyon sıcaklığı için binder deneyinden gelen regresyon parametreleri ($A_i\text{-VTSi}$) Zamana bağlı yaşlanma eğrisinin hesabı
	3	E^* laboratuvar deneylerine gerek yok. E^* tahmin denklemi kullanılır. Binder oranına bağlı penetrasyon, viskozite veya Performans Sınıfına göre Dizayn Kılavuzunda belirtilen regresyon parametrelerinin kullanılması Zamana bağlı yaşlanma eğrisinin hesabı

2.5.2.6 MAKDM analizinde gerekli malzeme verisi

Çizelge 2.5'te MAKDM 'da analiz yapılırken girdi verisi olarak kullanılacak öncelikle malzeme özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.5. Öncelikli malzeme özellikleri girdi verileri (Olidis ve Hein, 2004)

Sıcak Karışım Asfalt	
• Dinamik modülü, • Poisson oranı • Çekme dayanımı • Isıl genleşme katsayısı	• Sünme uyumu • Isıl iletkenlik • Asfalt bağlayıcı sertliği • Agreg a özellikleri
Portland Çimentosu İçeren Beton	
• Poisson oranı • Birim ağırlık • Isıl genleşme katsayısı • Isıl iletkenlik • Isı sığası	• Elastisite Modülü (zaman içinde güç kazanımına göre uyarlanmıştır) • Karışım özellikleri (agrega karışımı, s/ç oranı, basınç dayanımı, vb.) • Agreg a tipi
Kimyasal Olarak Stabilize Edilmiş Malzeme	
• Elastik Modül • Poisson oranı • Birim ağırlık	• Kopma modülü • Isıl iletkenlik • Isı sığası
Bağlayıcısız Malzeme	
• MR • Poisson oranı • Birim ağırlık	• Sınıflandırma • Hidrolik iletkenlik • Optimum nem oranı • Plastisite indeksi
Geri Dönüştürülmüş Beton	
• MR • Poisson oranı	• Isıl iletkenlik • Isı sığası
Geri Dönüştürülmüş Sıcak Karışım	

Çizelge 2.5. Öncelikli malzeme özellikleri girdi verileri (devamı)

• Dinamik modülü • Poisson oranı • Çekme dayanımı • Isıl genleşme katsayısı	• Sünme uyumu • Isıl iletkenlik • Asfalt bağlayıcı sertliği • Agreg a özellikleri
Geri Dönüştürülmüş Soğuk Karışım	
• Dinamik modülü • Poisson oranı • Çekme dayanımı • Isıl genleşme katsayısı	• Sünme uyumu • Isıl iletkenlik • Asfalt bağlayıcı sertliği • Agreg a özellikleri
Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama	
• MR • Poisson oranı • Birim ağırlık	• Sınıflandırma • Hidrolik iletkenlik • Optimum nem oranı • Plastisite indeksi
Taban kayası	
• Elastik modül • Poisson oranı	• Birim ağırlık

2.5.3 MAKDM analizleri sonucu elde edilen çıktı verileri

AASHTO Pavement ME yazılımında yapılan analizler sonucunda;

- Terminal IRI (m/km),
- Kalıcı deformasyon- kaplamanın tamamı (mm),
- AC toplam yorulma çatlaması: aşağıdan yukarı + yansıtıcı (şerit alanı yüzdesi),
- AC toplam enine çatlama: ısııl + yansıtıcı (m/km),
- Kalıcı deformasyon- sadece AC (mm),
- AC aşağıdan yukarı yorulma çatlaması (yüzde),
- AC ısııl çatlama (m/km),
- AC yukarıdan aşağı yorulma çatlaması (m/km),

başlıklı sonuç verileri elde edilmektedir. Bu veriler elde edilirken hangi formüllerin kullanıldığı ile ilgili bilgiler önceki bölümlerde açıklanmıştır.

2.6 Lokal Kalibrasyon Metodolojisi

Performans tahmin modellerinin lokal kalibrasyonu bu çalışmanın ikinci bölümünde özetlenmiştir, ayrıntılar için bkz. Lokal Kalibrasyon Rehberi (AASHTO, 2010). Her bir bozulma tipi için istatistiksel olarak anlamlı sayıda otoyol bölümü seçilmesi ve LTPP sahaları kullanılması önerilmektedir. Yeni malzemeler, yeni tasarım özellikleri, inşaat uygulamalarındaki değişiklikler ve yeni performans verilerinin kullanılmaya başlamasıyla kalibrasyon veritabanının oluşturulması sağlanabilir. Kalibrasyon veritabanı gerektiği zaman güncellenebilir ve gelecekteki kalibrasyon çalışmalarında kullanılabilir. Bununla sadece bir kalibrasyon çalışmasından diğerine tutarlılık sağlanmakla kalmayacak, aynı zamanda kalibrasyon sürecinin yükü de azalacaktır. Kalibrasyon veritabanı, proje bilgileri (tasarım özellikleri, lokasyon), trafik verileri, iklim istasyonu bilgileri (istasyon lokasyonu ya da sanal hava istasyonu oluşturmak için kullanılan istasyonların listesi), malzeme özellikleri, Düşen Ağırlık Deflektometresi verileri (varsa), kaplama tasarımı ve kaplama performans verileri gibi kalibrasyon sürecine ilişkin bilgiler içerir (Pierce ve McGovern, 2014).

2.6.1 Lokal kalibrasyon adımları

Lokal kalibrasyondan önce bir MAKD uygulaması yapılması gereklidir bunu için aşağıdaki adımlar izlenebilir.

MAKDK analizi gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan birçok girdi mevcuttur. Girdi değerlendirmesi, sadece mevcut çeşitli veri kaynaklarının belirlenmesini gerektirmekle kalmaz, aynı zamanda eksik verilerin elde edilmesi için nerede ek testler yapılması gerekebileceğini belirlemek için kullanılır. Aşağıda gerekli verilerin ve ilgili bilgilerin bir özeti sunulmuştur:

- Hiyerarşi seviyesi—Verinin mevcudiyeti, uygulamalar ve prosedürler, gerekli verinin toplanması için gereken süre, bütçe sınırlamaları, gerekli kaynaklar ve kurum politikası
- İklim verileri—Tercihen 20 yıllık kesintisiz veriye sahip meteoroloji gözlem istasyonları; kalibrasyon sürecinde kullanmak için genel bir istasyon belirlemeyi göz önünde bulundurun ve gerekirse yenilerini ekleyin
- Malzeme ve trafik girdi değerleri—MAKDK varsayılan değerleri, mevcut koşullar, laboratuvar ve saha testleri, inşaat teknik gereklilikleri ve test ekipman gerekliliklerine dayalı tipik değerler.
- Uygulama çalışmasının kolay olması için AASHTOWare Pavement ME Design™ yazılımı içerisinden erişilebilecek bir girdi veritabanının geliştirilmesi sadece gereken veri girişi miktarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda veri hataları ve/veya yanlış parametre kullanımı potansiyelini de azaltır.

Kuruma özel malzemeler ve trafik girdi kitaplıkları sayesinde AASHTOWare Pavement ME Design yazılımında kullanılacak verilerin toplanması ve düzenlenmesi mümkün hale gelir.

- Deney programı—Eksik ya da ihtiyaç duyulan verilerin elde edilmesi için gereken deney tipleri ve test örnekleri sayısı.
- Kaplama performansı—Kaplama yönetim sistem verilerinin ve lokal kalibrasyonu destekleyecek diğer verilerin uygunluğu.
- Kalibrasyon test sahaları—Kaplama tipi, fonksiyon sınıfı, bozulma tipi, trafik hacmi ve iklim bölgelerine göre kaplama sayısı (Pierce ve McGovern, 2014).

Bunun ardından lokal kalibrasyon adımları “*Guide for the Local Calibration of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*” da belirtildiği üzere aşağıdaki gibi gerçekleştirilebilir (Pierce ve McGovern, 2014).

Adım 1. Hiyerarşik girdi seviyesini seç. Hiyerarşik girdi seviyesi seçimi, kurumun saha ve laboratuvar testleri gerçekleştirme kapasitesinden, malzeme ve inşaat özelliklerinden ve trafik verisi toplama prosedürleri ve ekipmanından etkilenebilen, politikaya dayalı bir karardır. Mevcut verilere bağlı olarak bir kurum farklı hiyerarşik girdi seviyeleri kullanmayı seçebilir (Pierce ve McGovern, 2014).

Adım 2. Deney planı ve örnek alım şablonu geliştir. Kurumların standart teknik gerekliliklerini, inşaat ve tasarım uygulamalarını ve malzemeleri temsil eden kaplama bölümlerinin seçimi. Seçilmiş kaplama bölümleri çok çeşitli tasarım tipleri (yeni, yeniden inşa edilmiş, rehabilite edilmiş), kaplama tipleri, trafik düzeyleri ve iklim verilerini temsil edebilir. LTPP ya da diğer araştırma test bölümleri de deney planına dahil edilebilir (Pierce ve McGovern, 2014).

Adım 3. Örneklem boyutu hesaplaması. Sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için kalibrasyon çalışmasına yeterli sayıda kaplama bölümünün dahil edildiğinden emin olunur. Tavsiye edilen asgari kaplama bölüm sayıları şu şekildedir:

- Deformasyon derinliği ve faylanma: 20 kaplama bölümü.
- Timsah sırtı ve boylamasına çatlama: 30 kaplama bölümü.
- Enine tabliye çatlama: 30 kaplama bölümü
- Enine çatlama: 26 kaplama bölümü.
- Yansıma çatlama: 26 kaplama bölümü (Pierce ve McGovern, 2014).

Adım 4. Yol bölümleri seçimi. Görev 2’de oluşturulmuş ampirik planı doldurmak için uygun yol bölümleri tekrar eden bölümler, LTPP sahaları ve araştırma bölümlerinin seçilmesi. Seçilmiş kaplama bölümlerinde 8 ila 10 yıllık bir süre içerisinde en az üç koşul gözlemi yapılmış olması tavsiye edilir.

Adım 5. Proje ve bozulma verilerinin değerlendirilmesi. Gerekli girdi verilerinin (malzeme özellikleri, inşaat geçmişi, trafik, ölçülmüş koşullar, vb.) seçilmiş her kaplama bölümü için mevcut olduğunu doğrulayın (girdi gerekliliklerinin ayrıntılı listesi için bkz. MAKDK). Bir kurum ile LTPP Bozulma Belirleme Kılavuzu veri tanımları ve/veya ölçüm protokolleri arasında uyumsuzluklar olması halinde kurum verilerinin MAKDK formatına uyumu için dönüştürülmesi gerekebilir. Yeterli bir koşul aralığını kapsadığından emin olmak için kaplama bölümlerini kontrol edin. MAKDK, ortalama maksimum koşul seviyesinin, tasarım kriterlerinin %50’sini aşmasını tavsiye etmektedir. Örneğin, kurumun deformasyon derinliği eşiği 0,50 inç ise kaplama bölümlerinin ortalama maksimum deformasyon derinliği en az 0,25 inç olmalıdır (Pierce ve McGovern, 2014).

Adım 6. Saha testleri ve adli (forensic) inceleme yapılması. Bu adım saha örnekleri toplanması ve gerekiyorsa eksik verilerin elde edilmesi için kaplama bölümlerinin test edilmesini içerir.

Adım 7. Lokal hataların (bias) değerlendirilmesi. Ölçülen saha performansını düzenleyin ve her bir kaplama bölümü için MAKDK tarafından hesaplanan performans ile karşılaştırın (%50 güvenilirlik ile). Her bir performans tahmin modelini şunlara göre değerlendirin: (Pierce ve McGovern, 2014).

- Tahmin kabiliyeti—ölçülmüş ve öngörülen koşul değerlerinin doğrusal regresyonu, R-kare değerini hesaplayın. Genel anlamda, 0,65 üzerindeki R-kare değerlerinin iyi tahmin kabiliyetine sahip olduğu kabul edilir.
- Doğruluğu hesaplayın—tahminin standart hatasının ortalamalarını hesaplayın ve MAKDK performans tahmin modelleri ile karşılaştırılır.
- Her performans tahmin modeli için hata oranını belirleyin. Sıfır hipotezinin reddedilmesi halinde performans tahmin modelinin yeniden kalibre edilmesi gerekir. Sıfır hipotezinin kabul edilmesi halinde, lokal verinin Se değeri ile global kalibrasyonlu veriyi karşılaştırılır (bkz. Adım 9).

Adım 8. Lokal hataların ortadan kaldırılması. Adım 7’de sıfır hipotezinin reddedilmesi halinde anlamlı bir yanlılık mevcut demektir. Hatanın nedenini belirleyin, hatayı ortadan kaldırın veya minimize edin, mümkünse düzeltilmiş kalibrasyon katsayılarını kullanarak analizi yeniden gerçekleştirin. Yanlılığın kaldırılması için göz önünde bulundurulması gereken özellikler arasında trafik koşulları, iklim ve malzeme özellikleri bulunur (Pierce ve McGovern, 2014).

Adım 9. Tahminin standart hatasının hesaplanması. Bu adımda, lokal kalibrasyonlu modellerin standart sapma değerleri, MAKDK performans tahmin modellerinin standart sapma değerleri ile karşılaştırılır ve bunların makul olup olmadığı kontrol edilir.

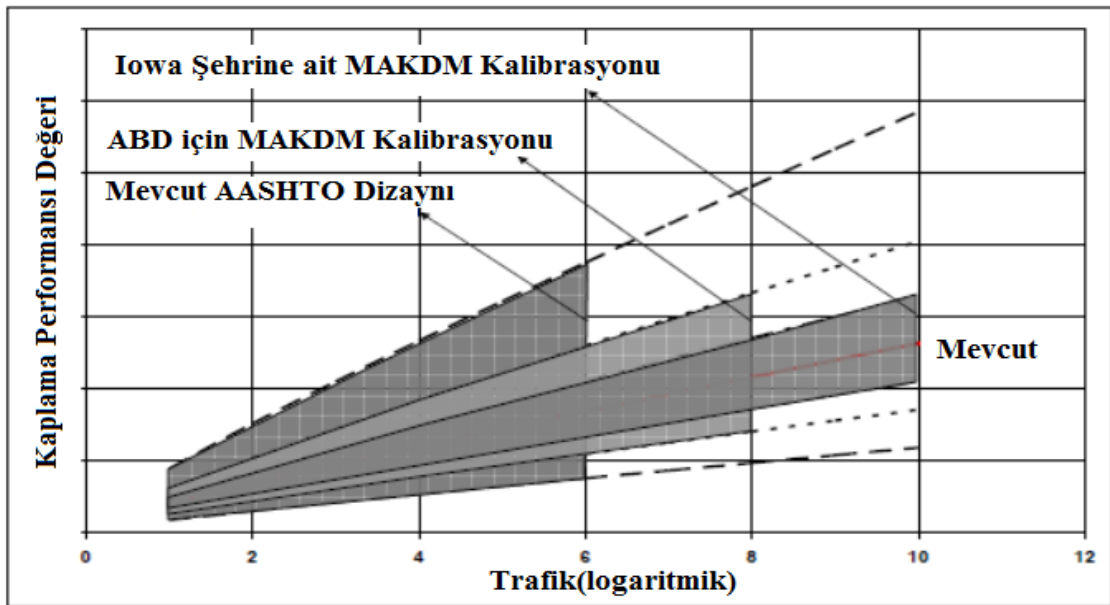
Atılabilecek potansiyel adımlar şunlardır:

- Birbiriyle istatistiksel olarak anlamlı farkları bulunmayan hatalar için lokal kalibrasyonlu performans tahmin model katsayılarını kullanılır (Adım 11’e gidin).

- Birbiriyle istatistiksel olarak anlamlı farkları bulunan hatalarda ve lokal kalibrasyonlu performans tahmin model standart sapma değerinin MAKDK performans tahmin modelinden küçük olması halinde lokal kalibrasyonlu performans tahmin model katsayılarını kullanılır (Adım 11'e gidin).
- Birbiriyle istatistiksel olarak anlamlı farkları bulunan hatalarda ve lokal kalibrasyonlu performans tahmin model standart sapma değerinin MAKDK performans tahmin modelinden büyük olması halinde, lokal kalibrasyonlu performans tahmin model standart hatanın azaltılması için yeniden kalibre edilmelidir. Alternatif olarak, MAKDK performans tahmin modelinden daha yüksek standart hataya sahip olduğu bilinerek lokal kalibrasyonlu performans tahmin modeli kabul edilebilir (Pierce ve McGovern, 2014).

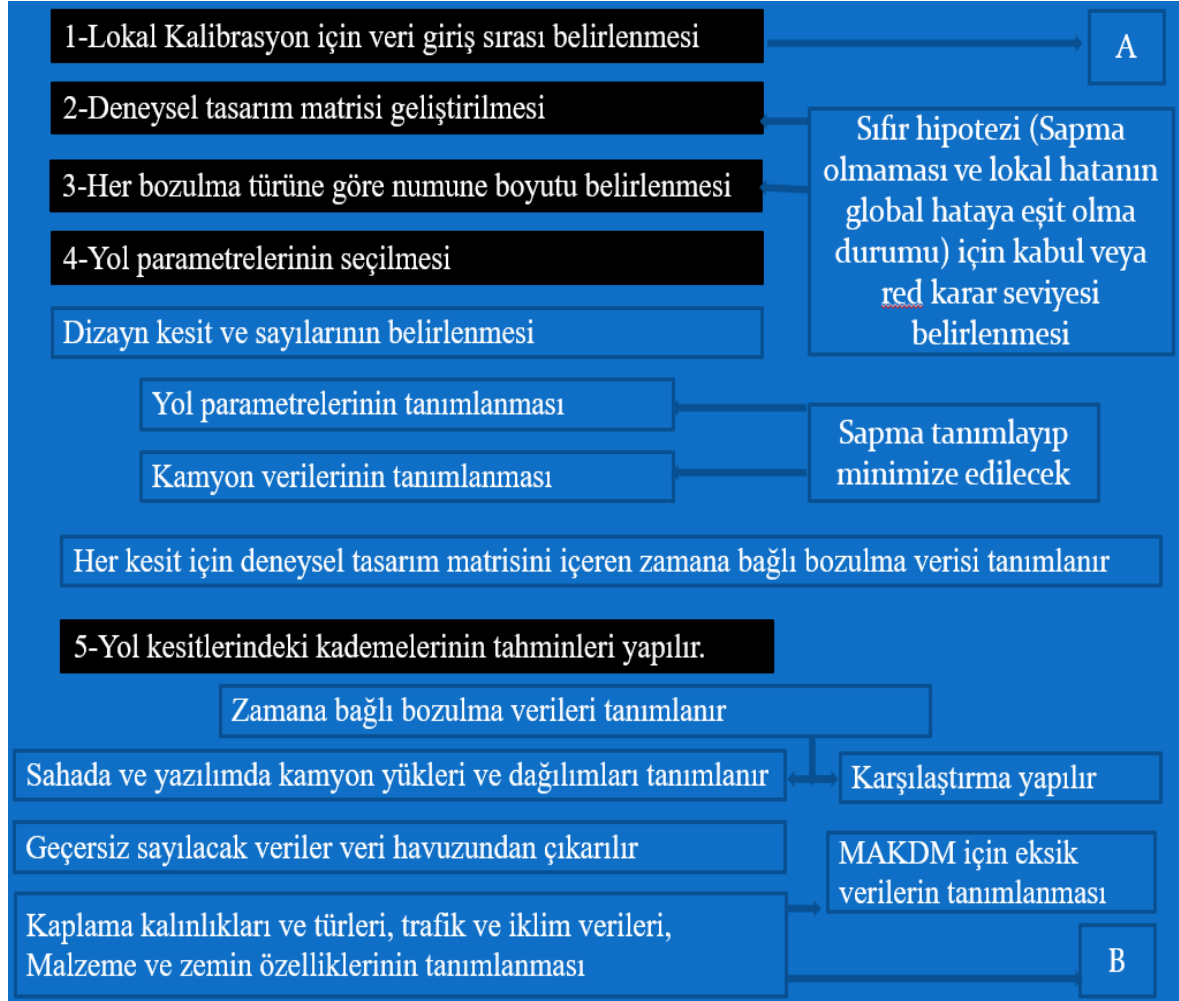
Adım 10. Tahminin standart hatasını azaltılması. Standart hata azaltılamazsa Adım 11 ile devam edin. Standart hata azaltılabilirse, deney matrisinin her bir hücresinin standart hatasının diğer faktörlere bağımlı olup olmadığını belirleyin ve standart hatayı azaltmak için lokal kalibrasyon katsayılarını düzeltilir.

Adım 11. Sonuçların yorumlanması. Kabul edilebilir sonuçların elde edildiğinden emin olmak için beklenen hata ile ölçülmüş olan hata karşılaştırılır (Pierce ve McGovern, 2014).



Şekil 2.11. Iowa şehri için DARWin-ME kalibrasyonu değerlendirilmesi (Ceylan vd., 2014)

Şekil 2.11’de Iowa State Üniversitesi öğretim üyelerinin Iowa şehri için yaptığı lokal kalibrasyon çalışması sonucunun ABD ulusal kalibrasyonu ile mevcut AASHTO dizaynı sonuçlarına göre ne kadar daha hassas sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.



Şekil 2.12. Lokal kalibrasyon metodolojisi ilk adımlar (AASHTO, 2010).

Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’te yukarıda anlatılandan sadece biraz daha farklı bir lokal kalibrasyon metodolojisi adım adım anlatılmıştır.



Şekil 2.13. Lokal kalibrasyon metodolojisi son adımlar (AASHTO, 2010).

2.6.2 Hata kontrolü ve optimizasyon

Regresyon kullanılarak oluşturulmuş modellerde tahmin modelinin verilere ne düzeyde uyduğunu açıklamak amacıyla istatistiksel yöntemler kullanılır. Belki de “uyum iyiliği”ni ya da modelin veriye uygunluğunu açıklamak için en sık kullanılan istatistiksel parametre determinasyon katsayısıdır. Determinasyon katsayısı, modelin açıklayabileceği değişkenlik miktarını temsil eder ve modelin gelecekteki koşulları ne kadar iyi tahmin edebileceğini ortaya koyar. Determinasyon katsayısı, regresyona bağlı karelerin toplamının ortalamaya bağlı karelerin toplamına oranıdır. Determinasyon katsayısı 0 ile 1,0 arasında bir sayıdır (ya da yüzde cinsinden yüzde 0 ile 100 arasında). Dolayısıyla, elde edilen yüksek değerler -daha düşük değerlere kıyasla- modelin verilen veri kümesine daha iyi uyum gösterdiğine işaret eder. Bununla birlikte, bir kurumun düşük R^2 değerinin kaplama

bozulmasını daha makul şekilde temsil ettiğini düşünmesi halinde düşük R^2 değerine sahip bir modelin kullanılabileceği durumlar söz konusudur. Bir modelin güvenilirliğini artırmak için kullanılan bir yöntem, aykırı değerler ya da hatalı veya mantıksız görünen veri noktalarının kaldırılmasıdır. Örneğin, 20 yaşındaki ve mükemmel durum puanına sahip bir kaplama bölümü bir aykırı değer olarak kabul edilebilir. Bu bölümün gerçekten de aykırı bir değer mi yoksa meşru bir veri noktası mı olduğunun belirlenmesi için daha fazla inceleme gereklidir. 10 yıldan daha yaşlı ve yüksek durum indeksine sahip bir bölüm çoğunlukla hatalı kaplama yaşına sahiptir (AASHTO, 2012).

Bir performans modelinin güvenilirliği ya da uyum iyiliğinin yanı sıra modelin şunlar da dahil kestirimsel değişkenlerinin güvenilirliğini belirlemek için başka istatistiksel modeller mevcuttur:

- Tahmini Standart Hata—Bir tahminin doğruluğunun ölçütüdür. Tahminin sapmalarının kareleri toplamının, denklemi oluşturmak için kullanılmış puan çiftlerinin sayısına bölümünün kareköküdür.
- Artık grafikleri—Bazı kişiler zamandaki farklı noktalarda artıkları (denklem ve medyan veri noktaları arasındaki fark) gösteren grafikler hazırlar. Bu grafikler, model ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin iyi birer göstergesidir. Bu grafikler, değişkenin tüm limitleri boyunca modelin verileri doğru şekilde temsil edip edemediğini göstermekte avantaj sağlar. Makul bir artık grafiği, tüm kaplama yaşları için sıfır artık çizgisinin altında ve üzerinde veri noktalarının dengesini gösterecektir. Sıfır artık çizgisi etrafındaki dengesiz verilerin bir sonucu olarak oluşturulan artık grafikleri sayesinde modeli geliştiren kişiler o modelin ya da diğer model formlarının parametrelerini inceleyebilir.
- Ortalama Hatanın Kare Kökü—Belirli bir “x” değeri için tahmin edilen “y” değerlerindeki standart sapmayı ifade eder (AASHTO, 2012).

2.7 Hassasiyet Analizi

MAKDK kaplama tasarımında büyük bir değişiklik yaratan karmaşık bir kaplama tasarım prosedürüdür. MAKDK, çeşitli girdi faktörlerini göz önünde bulundurarak kaplama performansını analiz etmek için kaplama tepkisi ve performans modellerini kullanır. Genel anlamda bu girdi faktörleri yapı, trafik ve iklimdir. Kaplamaların trafik yükü ve iklim

koşulları altında yapısal tepkisini belirlemek için kaplama tepki modeli kullanılır. Kaplama tepkisi modellerinin çıktıları ise kaplama tabakalarındaki gerilme, gerilim ve yer değiştirmelerdir. Kaplama ömrü boyunca kaplama bozulmalarının tahmin edilmesi amacıyla, kaplama yapısının kritik noktalarındaki kaplama tepkileri, kaplama performans modellerinin girdileri olarak kullanılır. Tasarım prosedürünün karmaşıklığı nedeniyle, MAKDK hassasiyet analizleri için benimsenen genel yaklaşım, tasarım süreci sonunda kaplama performans tahmininin analiz edilmesi için ilgili girdilerdeki değişikliğe odaklanmak olmuştur. Birçok araştırma çalışmasında başarıyla kullanılmış olan bu yaklaşım, MAKDK'nin girdi parametrelerine karşı duyarlılığını değerlendirmenin en iyi yolu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tek başına mekanistik analizin MAKDK duyarlılığı bakımından hiçbir anlamı olmazdı. MAKDK hassasiyet analizi için en sık benimsenen yaklaşım, diğer parametreler sabit iken her seferinde sadece bir parametre için değişik değerler alınması tekniği olmuştur. Literatürde faktöriyel deneyler kullanan bir çalışma bulmak da mümkündür. MAKDK'de söz konusu girdi parametrelerinin sayısının yüksek olması nedeniyle, MAKDK'de girdi değerlerinin kombinasyonu olasılığını araştırmak için bu yöntemlerin birçok defa tekrarlanması gerekecektir. Bu nedenle, analize birçok parametrenin dahil edilmesi durumunda bu yaklaşımlar oldukça kullanışsızdır. Buna ek olarak, MAKDK bir bilgisayar kodudur; aynı girdi parametreleri girildiği her seferinde aynı çıktı elde edilir. Dolayısıyla da ampirik hata söz konusu değildir. Fiziksel deneyler için kullanılan mevcut istatistiksel yöntemler bilgisayar kodlarının analizi için uygun olmayabilir. Bunun sonucunda, MAKDK'nin hassasiyet analizi için bilgisayar deneylerinde kullanılan istatistiksel yöntemler daha iyi yaklaşımlardır (Orobio ve Zaniwski, 2012).

Performans tahmin modellerinin hassasiyet analizi, aşağıdaki gibi birçok amaç ile uygulanabilecek nitel bir değerlendirme yöntemidir:

- Girdi değişkenleri ve model parametrelerinin uygun girdi aralığının değerlendirilmesi için. Hassasiyet aralığı, değişkenler ya da parametrelerde gerçekleşecek bir değişimin model çıktısında anlamlı bir değişime neden olacak aralık olarak tanımlanır. Model kalibrasyonu ve bunu takip eden performans tahminleri için sadece bu hassasiyet aralığı içerisindeki değerler kullanılır.
- Model fonksiyonunun nitel değerlendirmesi için. Artan ya da azalan girdi değişkenliklerine tepki olarak model davranışının kabul edilebilirliği, mühendislik ilkeleri göz önünde

bulundurularak değerlendirilir. Farklı tahmin modellerinin karşılaştırılmasında model davranışı kullanılabilir (Kargah-Ostadi vd., 2018).

MAKDK performans modellerinin, girdi değişkenlerindeki değişime karşı en kapsamlı hassasiyet analizi NCHRP Proje 01-47 kapsamında gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar, her bir modelin kalibrasyonunda kullanılması düşünülebilecek girdi değerlerinin aralığı ve hassasiyeti hakkında önemli bilgiler vermiştir. Çalışmada kullanılan hassasiyet ölçütü Normalize Edilmiş Hassasiyet İndeksi (NEHI) olmuş ve bu indeks, tasarım limit değerini kullanarak tahmini performanstaki değişim yüzdesini, girdi değişkenindeki değişimin bir yüzdesi olarak normalize edilmiş olarak vermiştir. Bu çalışma, kapsamlı hassasiyet analizlerini içermiştir. Hassasiyet Analizinin tüm tasarım girdilerini problem alanının tamamı için eşzamanlı olarak çeşitlendirmiştir. Çeşitli girdi değişkenleri için Hassasiyet Analizi ile ayrı ayrı bulunan hassasiyet düzeylerindeki genel benzerlikler, tasarım girdileri arasında hiçbir anlamlı etkileşim olmadığına işaret etmektedir.

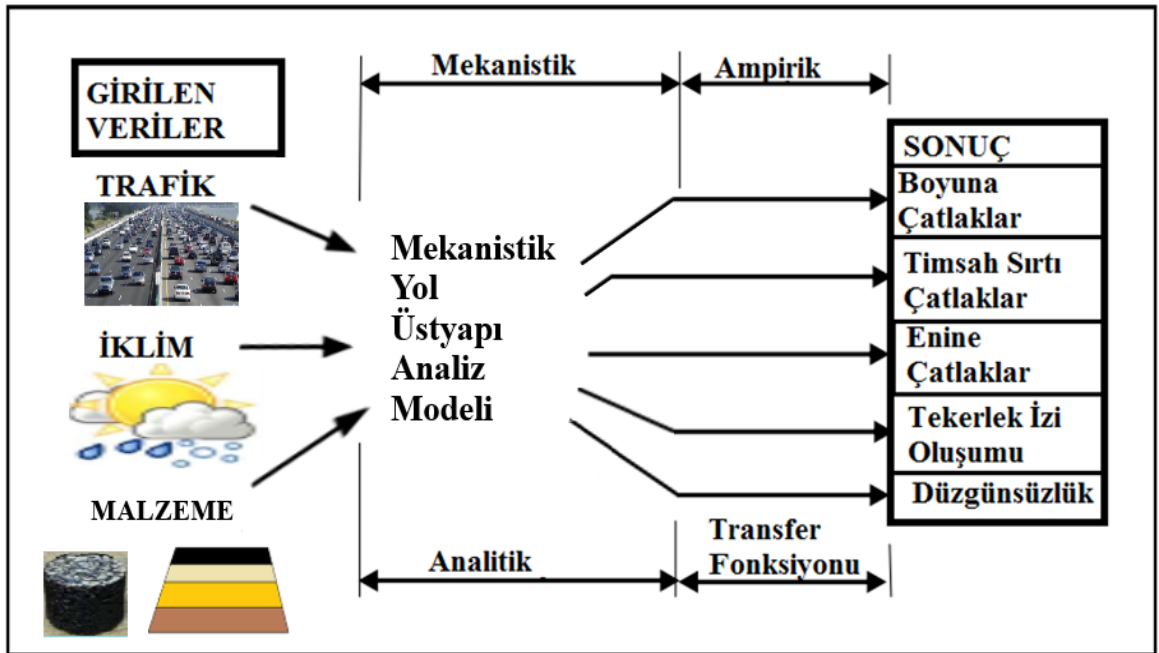
Tepki yüzeyi modellerini Hassasiyet Analizinin sonuçlarına uygun hale getirmek amacıyla çok değişkenli doğrusal regresyon ve yapay sinir ağları kullanılmış ve tasarım girdi değişkenlerine karşı hassasiyetlerin değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Yapay sinir ağları kullanımı ile girdi tasarım değişkenleri ve çıktı performans değerleri arasındaki bileşim ilişkileri daha doğru ve güçlü bir şekilde ifade edilmiştir. Frekans dağılımları ve Yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan özet istatistikler baz alınarak, “ortalama artı/eksi iki standart sapma” normalize edilmiş hassasiyet ölçütü elde edilmiştir ve bu ölçüt ortalama hassasiyet ve problem alanı genelinde hassasiyet değişimini kapsamaktadır. Aşağıdaki hassasiyet kategorilerinin geliştirilmesinde bu ölçüt kullanılmıştır: (Kargah-Ostadi vd., 2018).

- Aşırı Hassas — $5 < NEHI$
- Çok Hassas — $1 < NEHI < 5$
- Hassas- $0.1 < NEHI < 1$
- Hassas Değil — $NEHI < 0.1$.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin bu bölümünde MAKDM ile ilgili olarak iklim, trafik ve malzeme verilerinin, toplanması, bu verilerin düzenlenmesi ve üstyapı modellerinin nasıl oluşturulabileceği temsili üstyapı modellerinin nasıl hazırlandığı ile ilgili olarak bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu modellerde kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin MAKDM açısından önemi vurgulanmış ve bu veriler kullanılarak analize yönelik hazırlıklardan bahsedilmiştir. Yapılan analizlerle ilgili detaylı bilgiler aktarılmış ve analiz yöntemi adım adım açıklanmıştır.

MAKDM, karayolu üstyapısının ömrünü kısaltacak, servis kabiliyetini azaltacak bozulmaların tasarım aşamasında görülmesini sağlamaktadır. Üstyapıda bozulmaya neden olabilecek çevresel şartlar ve iklim verilerinin dikkate alındığı, malzeme karakteristiklerinin ve kaplama kalınlıklarının modellenerek üstyapı ömrü boyunca oluşabilecek bozulmaların Şekil 3.1'deki gibi daha tasarım aşamasında modellenmesine olanak sağlayan bu metodun ülkemizde uygulanmaya başlanmasıyla ülke ekonomisine ciddi katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu

MAKDM sadece yeni yapılacak yollarda değil mevcut yolları bakım onarım çalışmalarında da kullanılmaktadır. Mevcut yolların performans durumları incelenerek, baskın bozulma tipine göre bakım onarım çalışmalarının nasıl yapılabileceği ve ileriye yönelik performans analizi yapılabilmektedir.

AASHTO tarafından ülke genelinde yapılan çalışmalar sonucu hazırlanan MAKDK tüm ABD eyaletlerini kapsayacak şekilde düzenlenmiştir. AASHTO dizaynına göre daha gerçeğe yakın sonuçların elde edildiği görülen bu düzenlemeye kalibrasyon adı verilmiştir. Ancak her bölgenin kendine has iklim ve trafik karakteristikleri ile bozulma durumları bulunmaktadır. Bir eyalette tekerlek izi oluşumu ön plana çıkmakta iken diğer bir eyalette, tekerlek izi önemini kaybetmekte ancak boyuna çatlaklar önem kazanabilmektedir. Bu durum eyaletlerin kendi kılavuzlarını hazırlama ihtiyacını doğurmuş, bazı eyaletler MAKDK'daki verileri kendi eyaletlerine kalibre etmişlerdir.

Kalibrasyon sırasında daha hassas veriler elde etmek ve bozulma tiplerini önem sırasına göre değerlendirebilmek için Hassasiyet Analizi kavramı ortaya çıkmıştır. Hassasiyet bir etki nedeniyle oluşan tepkilerin, etkideki değişim oranına göre gösterdiği oransal değişim olarak adlandırılabilir. Bu sayede hangi bozulma tipinin oransal olarak daha fazla değiştiği gözlemlenerek üstyapının o bozulma tipine daha duyarlı olduğu söylenebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında AASHTO metoduna göre oluşturulacak yeterli sayıda üstyapı modeli ile ülke şartlarına uygun kalibrasyon katsayıları belirlenip, Isparta-Burdur, Isparta-Eğirdir, Eğirdir-Akşehir, Yalvaç-Akşehir, Akşehir-Konya, Kadınhanı-Konya, Konya-Çumra ve Çumra-Karaman şehirlerarası yolları için hassasiyet analizi yapılması planlanmıştır.

Yapılacak saha araştırmaları veya mevcut üstyapı için üstyapı değerlendirmeleri sonrası iklimsel veriler incelenerek malzeme seçimi aşamasına gelinir. Analiz yapılabilmesi için bütün verilerin tam olarak elde edilmesi diye bir şart söz konusu değildir. MAKDK kullanılarak daha önce yapılmış birçok çalışma neticesinde elde edilmiş olan bazı hazır veriler bulunmaktadır. Genel olarak AASHTO Pavement ME programında kullanılabilir halde bulunan bu veriler, eldeki veri miktarına göre belirlenecek veri seviyesine uygun

olarak analiz seviyesi seçimi yapılır. Eldeki veri ne kadar hassas ve çok olursa sonuçların hassasiyeti o kadar iyi olacaktır. Ancak her bölgede ve şartta bu verilerin tamamını elde etmek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle veri miktarına göre düzenlenmiş ayrı ayrı analiz seviyeleri bulunmaktadır.

3.1 Trafik verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesi

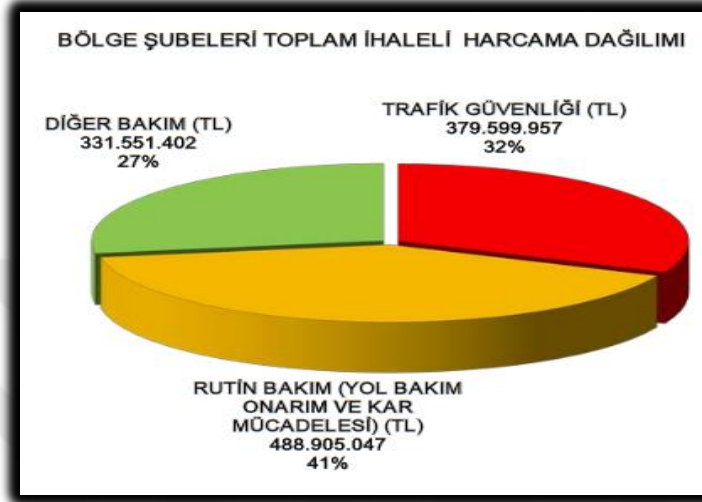
Trafik yükü; karayolu üstyapısındaki tabakalarda oluşan yapısal bozulmalara (yorulma çatlağı, tekerlek izi...vs.) neden olan en etkili faktör olmasından dolayı karayolu tasarımında en önemli faktördür. Trafik verileri tanımlanırken 4 ana unsur dikkate alınmaktadır.

- 1-Trafik Hacmi (TH)
- 2-Trafik Hacmi Dağıtma Faktörleri
- 3-Dingil Yükleme Dağıtma Faktörleri
- 4-Genel Trafik Verileri

Trafik yükü dağılımı için NCHRP 1-37A metodu kullanılmaktadır. Bu metotta aşağıdaki verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

- Yıllık trafik hacmi verileri:
 - İki yönlü yıllık ortalama kamyon trafiğı (AADTT)
 - Tasarım yönündeki şerit sayısı
 - Tasarım yönündeki kamyon yüzdesi
 - Tasarım şeridindeki kamyon yüzdesi
 - Kamyon hızı
- Trafik hacmi dağıtma faktörleri:
 - Araç sınıfı TH dağıtma faktörleri
 - Aylık kamyon TH dağıtma faktörü
 - Saatlik kamyon TH dağıtma faktörü
 - Trafik artış yüzdesi
- Dingil yükü dağıtma faktörü:
- Genel trafik verileri:

- Dingil sayıları / kamyon
- Dingil dağılımı
- Tekerleğin basma yüzey alanı
- Yanal trafik dağılımı



Şekil 3.2. KGM 2015 yılı için bölgelere göre bakım onarım ihaleli harcama dağılımı tablosu (KGM, 2016).

Karayolu bakım onarımı Şekil 3.2’de de görüldüğü üzere oldukça pahalıdır ancak zamanında doğru müdahale yapılmadığı takdirde maliyetler katlanarak artmaktadır. Minimum maliyetle maksimum faydayı yaratmak için öncelikle nereye, ne kadar ve nasıl müdahale edilmesi gerektiğinin bilinmesi gerekmektedir. MAKDM daha yol yapım aşamasında iken hangi bölgede, hangi zaman diliminde ve ne kadar hasar oluşabileceğine dair fikir verebilmektedir. Dolayısıyla daha yol yapım aşamasındayken yolun ömrü boyunca uygulanacak bütün bakım onarım çalışmaları planlanabilmektedir. ABD’de uygulanan bölgesel kalibrasyon çalışmaları bakım onarım maliyetlerinde %1’lik kazanç elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Bu yüzde az gibi görünmekle beraber 20 yıllık ömrü olan BSK’lar için toplamda %20’lik bir kazanç anlamına gelmektedir. Ayrıca bu yüzde mevcut bir ulusal kalibrasyonun bölgesel kalibrasyonu ile elde edilmiş bir değerdir, ülkemizde henüz ulusal bir kalibrasyon dahi olmadığı için çok daha fazla kazançlar elde edilebileceği açıktır.

KGM taşıtları uzunluklarına göre 9 farklı grupta sınıflandırmakta olup, taşıt sınıflarını da 5 farklı grupta değerlendirilmiştir. Hata oranı trafik sayımlarında $\pm\%5$, sınıflandırma sayımlarında $\pm\%10$ 'dur.

1-Otomatik Taşıt Sınıflandırma Sayımları (OTSS1): 2015 yılında 1339 noktada her mevsim en az 7 gün 24 saat süreyle taşınabilir hava basınçlı hortumlu cihazlar kullanılarak yapılan taşıt sınıflandırma sayımlarıdır. Sistem taşıt sınıflandırmalarını, 11 sınıfta dingil sayısına ve dingil mesafelerine göre gerçekleştirmektedir. Sayımlardan elde edilen verilerin Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerine (YOGT) dönüştürülmesinde sabit sürekli sayım noktalarından elde edilen aylık değişim katsayıları dikkate alınmıştır.

2-Otomatik Taşıt Sınıflandırma Sayımları (OTSS3): Manyetik döngülü cihazlar kullanılarak yapılan sürekli sayım ve sınıflandırma istasyonları olup, Türkiye genelinde 500 noktada kurulmuştur. Sürekli sayım yapılan bu istasyonlardan aylık değişim katsayıları belirlenmekte ve diğer cihazlarla yapılan kısa süreli sayımlardan elde edilen trafik bilgilerinin YOGT'ye dönüştürülmesinde kullanılmaktadır.

Trafik yükü dağılımı için NCHRP 1-37A metodu kullanılmaktadır. Analizlerde WIM (Weight in Motion – Hareket halindeki aracın ağırlık ölçümü) ve AVC (Automatic vehicle classification – Otomatik araç sınıflandırma) iki tip veri kullanılmaktadır. KGM'den alınan OTSS1 ve OTSS3 verileri AVC veri sınıfına girmektedir.

Tez çalışmaları kapsamında yapılan hazırlıklarda KGM Devlet ve İl Yolları için Trafik ve Ulaşım Bilgileri kullanılmıştır. Hazırlanan verilerde ulusal WIM verisi miktarı yeterli olmadığı için AVC verileri kullanılmıştır. Sonlu elemanlar programında yapılacak analiz için hazırlanan veriler sadece ölçülmüş, gerçek veriler olmalı ve birbirini takiben en az üç yıl ölçülmektedir. Bu nedenle 2013 – 2015 yıllarını kapsayan tüm illere ait devlet ve il yollarının bilgileri alınıp içerisinde tahmini veriler ile kısmi sayımı yapılmış yollar, hazırlanan veriler arasından çıkarılmıştır. Aynı yola ait bölünmüş kısımların sadece aynı noktasına ait sayım verileri, hazırlanan veriler içerisine dahil edilmiştir. Aynı yolun farklı yıllarına ait yol hacim haritalarından incelenerek, veriler arasındaki tanımlama hataları giderilmiştir.

3.1.1 Araç hızı

AASHTO Pavement ME Design analiz programında kamyon hızı 60 mph olarak alınmıştır. Ülkemizde kamyon ve otobüs hızları devlet yolları için 80 – 90 km arasında değişmektedir. Programda analiz yapılırken bu ulusal hız sınırlarımız dikkate alınacaktır.

3.1.2 İki yöndeki yıllık ortalama günlük kamyon trafiği

3. Seviye analiz için bu veri KGM internet sitesinde yayınlanan sayım verilerinden elde edilebilmektedir. Seçilen yollar için, Kamyon yüzdesi ve yıllık ortalama günlük trafik verilerinin 2013-2017 yılları arasındaki beş yılı analizlerde kullanılacaktır.

3.2 İklim verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesi

İkinci önemli faktör iklim verileridir. İklim verileri elde edilirken istasyonlar arası mesafenin 25 milden uzun olmamasına dikkat edilmiştir. Eğer daha uzun bir mesafe söz konusu ise o bölge için yaklaşık değerler girilir. Eğer ölçüm imkânı olmuşsa 20 yıllık veriler dikkate alınır. 20 yıllık veriler yoksa eldeki veriler 20 yıla tamamlanacak şekilde çoğaltılmıştır.

Öncelikle MGM den iklim verileri tedarik edilmiştir. Bu verilerin sistematik olarak düzenlenmesinin ardından eksik verilerin istatistiki olarak tamamlanması sağlanmıştır. Yapılan analiz sonucu her il için eldeki veriler ışığında performans dereceleri belirlenmiştir.

Ayrıca MGM'den alınan verilerle AASHTO Pavement ME Design programında kullanılmak üzere iklim veri dosyası hazırlama işlemi yapılmıştır. Bu süreçte yeni iklim veri istasyon dosyası hazırlanmasının son aşaması olan Maksimum Nem verilerinin eklenmesi sırasında yazılım üreticileri bir güncelleme yaparak NASA'nın global iklim veri tabanını yazılıma entegre ederek kullanıcılarına global olarak veri desteği sunmaya başlamıştır. Bu destek sadece BSK yolları kapsamakta ve beton yol yapımında global iklim verileri kullanılamamaktadır. Ancak tez kapsamında sadece BSK yol analizi yapılacağı için hazırladığımız iklim veri dosyası yerine global iklim veri dosyalarını kullanarak üstyapı analizleri yapılmıştır.

KGM web sitesinden elde edilen trafik verilerinin sadeleştirilmesi yapılmıştır. Bu işlem yapılırken en az 3 yıl (2013-2014-2015) ölçüm alınmış yollar dikkate alındı, Tahmin edilen veriler ile ardışık verisi olmayan karayolu kesimleri sadeleştirilmiştir. Geri kalan tüm şehirler için kaplamada kullanılacak bitüm sınıfının PG belirlenmiştir. Ardından Isparta ili için 4, Konya ili için 5 ve Karaman ili için 1 adet olmak üzere 8 adet yol için analiz yapılmasına karar verilmiştir. Daha sonra bu yollardan Isparta ve Konya ilindeki 1'er yolda yapılacak analiz çalışmaları, yol yapım çalışmaları olması nedeniyle ölçümler alınamadığından iptal edilmiştir.

Bu sınıflar arasında Isparta ili için Isparta-Burdur yolu, Isparta-Eğirdir çıkışı ve Eğirdir-Akşehir çıkışı olmak üzere 3 farklı trafik koşulundaki üç ayrı yolun belli aralıklarla düzgünsüzlük ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler sırasında aynı yolun her iki yönü içinde düzgünsüzlük ölçümleri yapılmış ve bu ölçüm sonuçları arasında kıyaslanma yapılarak hata oranı daha az olan kalibrasyon analizlerinde kullanılmıştır.

MAKD metodunda analiz yapılacak bölge için GEİM iklim modeline göre en az 3 yıllık verinin saatlik olarak birbirini takiben işlenerek bir veri dosyası hazırlanması gerekmektedir. ABD de bu veriler LTPP nin web sitesinden herkesin erişimine açık bir şekilde alınabilmektedir. Hatta tezin bu kısmı ile çalışılırken ABD'deki iklim dosyaları AASHTO Pavement ME design programında analiz için kullanıma hazır olarak erişilebilmiştir.

Ancak bizim ülkemizdeki veriler saatlik olarak erişime açık değildir. Bu nedenle tez kapsamında bu aşamada resmi yazı ile MGM den Isparta, Akşehir ve Konya için saatlik veri talebinde bulunulmuştur. Elde edilen veriler öncelikle sıraya kondu, eksik veriler tespit edildi, bu eksik veriler istatistiki olarak tamamlandı ve tablolar hazırlanmıştır.

Meteorolojik verilerin hazırlanmasında izlenen ikinci yolda ise yöntem kısmında anlatıldığı üzere LTPP nin web sitesi üzerinden açık olarak yayınlanan veriler doğrudan AASHTO Pavement ME programında kullanılabilir veri dosyası olarak indirilebildiği gibi, programın kendisi içerisinde bulunan iklim kısmından da arama kısmına Ör.Isparta, TR şeklinde yazılarak da elde edilebilmektedir. Program seçilen bölgeye en yakın meteoroloji istasyon bölgesinin verilerini otomatik olarak atamakta ve iklim verilerini onaylamaktadır.

Yollardan düzgünsüzlük verisi ölçümü yapıldığı dönemde yeni yol yapım çalışmaları nedeniyle ölçümler sonlandırılmak zorunda kalınmış ve bu nedenle bu bölgedeki analiz yapılan yol sayısı 4'e düşürülmüştür.

3.3 Malzeme verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesi

Üçüncü faktör olan yol malzemesinin özellikleri, yol üstyapısında kullanılan malzemelere ait birçok parametreyi ve tabaka kalınlıklarını içermektedir.

Gerilme, şekil değiştirme ve deformasyon gibi yapısal reaksiyonlar, seçilen malzeme özellikleri, iklim verileri ve trafik yük parametrelerine göre çok katmanlı elastik teori veya sonlu elemanlar metodu ile hesaplanmaktadır.

Tanımlanan bu veriler seçilen sonlu elemanlar programında tanımlandıktan sonra modele yükler uygulanır. Günümüze kadar pek çok yazılım geliştirilmiş ve bunlar arasında karayolu üstyapısı tasarımında KENLAYER, CIRCLY, ILLIPAVE, ANSYS, ABAQUS ve DARWin-ME son dönemde öne çıkmışlardır.

Genel itibariyle sonlu elemanlar çalışma adımları aşağıda sırasıyla verilmiştir:

- ☐ Analizi yapılacak geometrik bölgeyi basit alt geometrik bölgelere ayırmak.
- ☐ Gerçek bölgeyle sonlu elemanlar parçaları arasında birebir eşleştirme yapmak.
- ☐ Her elemanın ara değer hesabı için birkaç geometrik nokta veya düğüm tanımlamak.
- ☐ Her bir noktadaki durum değişkenlerinin (deplasmanların, açıların) düğümlerdeki ara değerlerinin hesabını yaparak değerlendirmek.

SEM analizinin iki önemli sonucu bulunmaktadır. Bunlar; bir sonsuz boyuttaki problemin sonlu boyuta indirgemek ve kısmi diferansiyel denklemleri, cebirsel eşitlikli denklemlere çevirerek çözmektir.

- ☐ Elemanları cebirsel eşitlikler içinde global bir sistem olarak kurmak.
- ☐ Son olarak cebirsel eşitlikleri çözümlmek.

SEM ile karayolu üstyapısının lineer elastik, nonlinear elastik ve nonlinear elasto-plastik modeller kurulabildiği gibi malzemenin termal özellikleri de tanımlanabilmektedir.

MAKDM da kaplama tabakalar halinde tanımlanmaktadır. Genelde 5 veya 6 tabaka halinde tanımlanan bu tabakalar ülkemizde de benzer şekilde uygulanmaktadır. Ülkemizde taban zemini üstyapıya dahil edilmiyor olsa da MAKDM da taban zeminine kadar yükleme uygulanması esas olduğundan tez çalışmamızda taban zemini de analiz edilecek tabakalar arasında olacaktır. Diğer tabakalar gradasyonlu agrega malzemesinden oluşacak alttemel ve temel tabakaları ile BSK malzemesinden üretilmiş BSK temel, binder ve aşınma tabakalarından oluşacaktır.

3.3.1 Dinamik Elastisite Modülü temel eğrisinin oluşturulması

MAKDM da malzeme özellikleri tanımlanırken E^* kullanılmaktadır. Farklı sıcaklıklardaki DEM değerleri, bitümün sıcaklığa bağlı davranış değişiklikleri nedeniyle birbirlerinden farklı değerler almaktadır. Bu farklılıkları belirlemek için öncelikle bitümün viskozitesindeki değişimler göz önünde bulundurulmalı ve buna bağlı DEM değişim eğrileri oluşturulmalıdır. Daha sonra bu eğrilerin tamamını temsil edecek tek bir eğri oluşturulur, bu eğriye DEM Temel Eğrisi adı verilir. Bu eğrinin elde edilmesinde aşağıdaki adımlar izlenir.

3.3.2 Viskozite ve dağıtma faktörlerinin bulunması

Bir akışkanın akmaya karşı direnci olarak tanımlanan viskozite değeri BSK karışımlarında bağlayıcı olarak kullanılan bitüm malzemesinin özelliklerini belirlemede temel verilerden biridir.

1. ve 2.seviye analizlerde Dönel İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi'nde (RTFOT) yaşlandırılmış bitümün DSR da 10 rad/sn frekanslı G^* (kompleks kayma modülü) ve δ (faz açısı) bulunur. Bu deneyde tablodaki değerler elde edilmek amaçlanır. Deney verileri Denklem 3.1'de yerine konarak, sıcaklık ve η (viskozite) arasında bağıntı denklemi aa daki gibi kurulmuş olur ve farklı sıcaklıklardaki dağıtma faktörleri bulunur.

$$\eta = \left[\frac{G}{10} \left(\frac{1}{\sin \delta} \right) \right]^{4.8628} \quad (3.1)$$

3. Seviye analizlerde laboratuvar deneylerine gerek duyulmamaktadır. Binder viskozitesi ve yükleme frekansı belirlendikten sonra DEM bulunabilmektedir. Binder viskozitesinin zamana bağlı değişimi, daha önce yapılmış çalışmalardaki farklı gradasyon sistemlerine ait verilerden alınarak kabul yapılabilir. DEM Temel Eğrisi oluşturulurken 1. ve 2. seviye analizden farklı olarak deney verileri yerine, Çizelge 3.1’de verilen A ve VTS verileri kullanılmaktadır. Bu veriler performans sınıfına, viskozite sınıfına veya penetrasyon sınıfına göre hazırlanmış tablolardan seçilebilmektedir. Dağıtma faktörleri de global yaşlanma modelinden elde edilebilmektedir.

Denklem 3.2’ye göre sıcaklığa bağlı η viskozite değerleri cP cinsinden bulunur. Alternatif olarak 2. ve 3. seviye analizde viskozite penetrasyona bağlı olarak denklem 3.2’deki gibi bulunabilir ya da denklem cc kullanılarak elde edilebilir.

$$\log \eta = 10.5012 - 2.2601 \log(\text{Pen}) + 0.00389(\log(\text{Pen}))^2 \quad (3.2)$$

$$\log \log \eta = A + \text{VTS} * \log T_R \quad (3.3)$$

burada:

η = viskozite, Poise

T_R = sıcaklık, Rankine.

3.3.3 Yaşlanmış binder viskozitesinin bulunması

Yaşlanmış binder viskozitesinin bulunması için denklem 3.4’te verilen global yaşlanma modeli kullanılır.

$$\log(t_r) = \log(t) - 1.25588(\log(\eta) - \log(\eta_{T_r})) \quad (3.4)$$

t_r = azaltılan süre, sn

t = yükleme süresi, sn

η = istenen süre ve sıcaklıktaki viskozite, cPoise

η_{T_r} = istenen sıcaklıktaki RTFOT ta yaşlandırılmış viskozite, cPoise

3.3.4 Etkili sıcaklık derinliği

BSK kaplamalarda MAPDM ‘da kullanılan sıcaklık değerlerinden biri olan etkili sıcaklık derinliği değeri Denklem 3.5 ile hesaplanmaktadır.

$$T_p = T_A (1 + 1/(z+4)) - 34/(z+4) + 6 \quad (3.5)$$

- * T_p = Etkili kaplama sıcaklığı(°F)
- * T_A =Yıllık ortalama hava sıcaklığı(°F)
- * Z =derinlik. Her yüzeyin üstünden başlamak suretiyle, en üst kaplama yüzeyinden itibaren 1,5 inç altı hesaplanır.

Çizelge 3.1. Asfaltın PG’sine göre A ve VTS değerleri tablosu

YÜKSEK SIC. DEĞERİ	DÜŞÜK SICAKLIK DEĞERİ													
	-10		-16		-22		-28		-34		-40		-46	
	VTS	A	VTS	A	VTS	A	VTS	A	VTS	A	VTS	A	VTS	A
46									-3.901	11.504	-3.393	10.101	-2.905	8.755
52	-4.570	13.386	-4.541	13.305	-4.342	12.755	-4.012	11.840	-3.602	10.707	-3.164	9.496	-2.736	8.310
58	-4.172	12.316	-4.147	12.248	-3.981	11.787	-3.701	11.010	-3.350	10.035	-2.968	8.976		
64	-3.842	11.432	-3.822	11.375	-3.680	10.980	-3.440	10.312	-3.134	9.461	-2.798	8.524		
70	-3.566	10.690	-3.548	10.641	-3.426	10.299	-3.217	9.715	-2.948	8.965	-2.648	8.129		
76	-3.331	10.059	-3.315	10.015	-3.208	9.715	-3.024	9.200	-2.785	8.532				
82	-3.128	9.514	-3.114	9.475	-3.019	9.209	-2.856	8.750	-2.642	8.151				

1.SEVİYE AN. DENEY VERİLERİ**2 VE 3.SEVİYE AN. DİNAMİK MODÜL DENK.**

$$\log(E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma [\log(t) - c(\log(\eta) - \log(\eta_r))]}}$$

$\alpha, \beta, \delta, \gamma$ ve c katsayılarını
nonlinear optimizasyon ile
tanımla

1.Adım
Master Curve ve Dağıtma
Faktörlerinin Elde Edilmesi

2.Adım
Global Yaşlanma Modelinden
Viskozite Değerinin Bulunması

- Karıştırma / Serme
- Uzun Dönem
- Derinlik

$$\log(t_r) = \log(t) - c(\log(\eta) - \log(\eta_r))$$

3.Adım
Dağıtma Faktörlerinin
Bulunması

$$\log(E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma (\log t_r)}}$$

4.Adım
Dinamik Elastisite Modülünün
Hesabı

5.Adım
Poisson Oranı Hesabı

$$\mu = 0,15 + \frac{0,35}{1 + e^{(-12,452 + 2,291 \log E^*)}}$$

$$\log(E^*) = d + \frac{a}{1 + e^{b + g_1 \log(f) + g_2 (\log \eta)}}$$

a, b, d, g_1 ve g_2 'nin dinamik
modül denklemlerin bulunması

$$\log(t_r) = \log(t) - \frac{g_2}{g_1} (\log(\eta) - \log(\eta_r))$$

$$\log(E^*) = d + \frac{a}{1 + e^{b + g_1 \log(f) + g_2 (\log \eta)}}$$

Şekil 3.3. Analiz seviyelerine göre E^* elde edilmesi için izlenen analiz adımları

3.3.5 Asfalt Dinamik Elastisite Modülünün bulunması

Aşağıda MAKDM'de DEM bulunması için denklem 3.6'da verilen formül kullanılmaktadır. Bu formülde kaplama karışımında kullanılan malzeme özelliklerinin yükleme frekansındaki değişime DEM'e etkisi Şekil 3.4'teki örnekte gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
\log E^* &= 3.750063 + 0.029232 \cdot p_{200} - 0.001767 \cdot (p_{200})^2 + 0.002841 \cdot p_4 - 0.058097 \cdot V_a \\
&- 0.802208 \cdot \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) \\
&+ \frac{3.871977 - 0.0021 \cdot p_4 + 0.003958 \cdot p_{38} - 0.000017 \cdot (p_{38})^2 + 0.00547 \cdot p_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,313351 \cdot \log(f) - 0,393532 \cdot \log(\eta))}} \quad (3.6)
\end{aligned}$$

E^* = Dinamik Elastisite Modülü, psi

η = Bitüm viskozitesi, 106 Poise

f = Yükleme frekansı, Hz

V_a = Boşluk oranı, %

V_{beff} = hacimce yüzde efektif bitüm oranı

p_4 = 4 nolu elek altı kümülatif toplam %

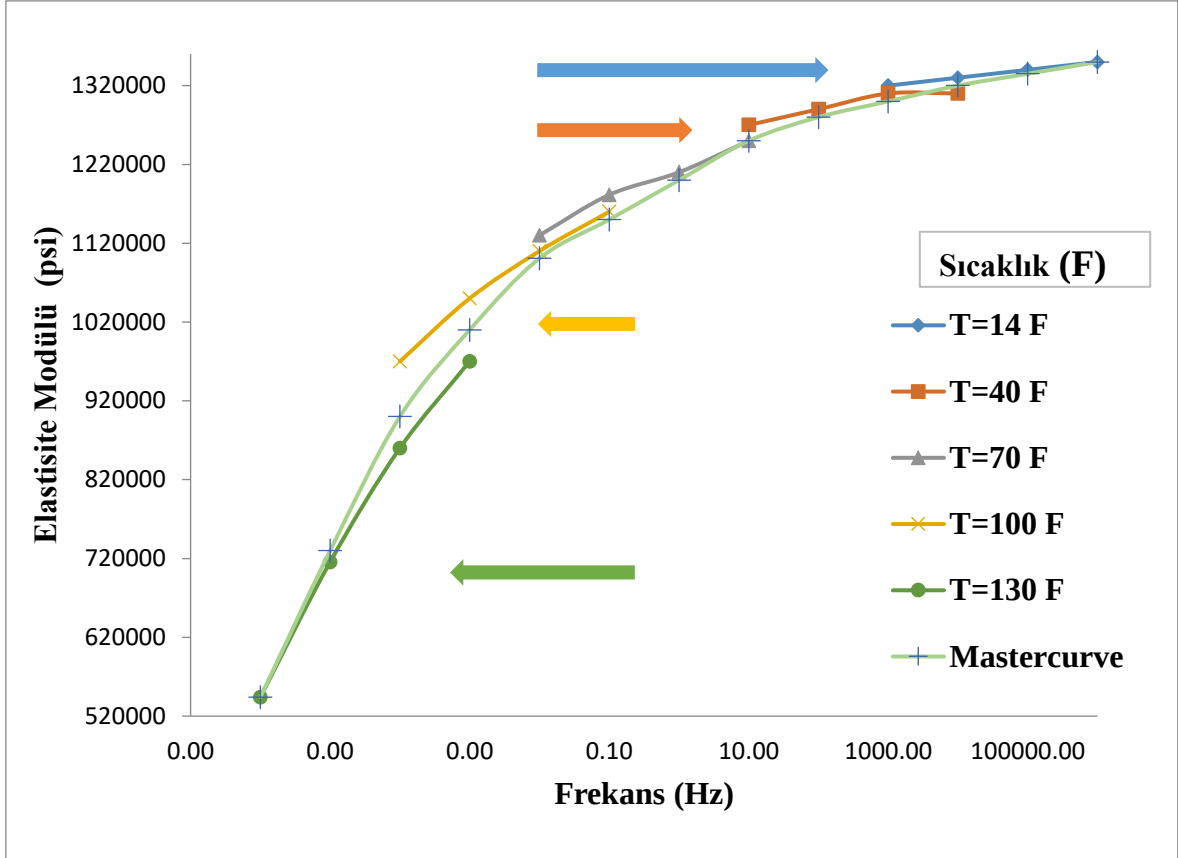
p_{34} = 3/4 nolu elek altı kümülatif toplam %

p_{38} = 3/8 nolu elek altı kümülatif toplam %

p_{200} = 200 nolu elek altı kümülatif toplam %

3.3.6 Dinamik Elastisite Modülü grafiğinin oluşturulması

Farklı sıcaklıklardaki viskozite ve yükleme hızına göre farklı sıcaklıklardaki DEM değerlerine ait değişimler birleştirilerek DEM Temel Eğrisi oluşturulur.



Şekil 3.4. E* Temel Eğrisi grafiği örneği

3.3.7 Poisson oranını belirlenmesi

Aşağıdaki formülde dinamik elastisite verileri yerine konarak poisson oranları bulunmaktadır.

$$\mu = 0,15 + \frac{0,35}{1 + e^{(-12,452 + 2,291 \log E^*)}} \quad (3.7)$$

μ =Poisson oranı

3.3.8 Sonlu Elemanlar Metodu kullanan bir programda analiz yapılması

Üstyapı ile ilgili BSK tabakasının parametrelerinin belirlenmesinden sonra yapılması gereken üstyapı modelinin oluşturulmasıdır. Tez kapsamında kullanılması planlanan program olan AASHTO Pavement ME Design programının analiz yapması için sadece iklim, trafik ve malzeme özellikleri verilerini girmek yeterlidir. Eğer program

kullanılamayacak olursa farklı programlarda taban zemini, alttemel, temel, BSK temel, binder ve aşınma olmak üzere 6 tabaka halinde model oluşturularak malzeme özellikleri tanımlanır. İklimsel etkiler ve trafik verilerinin yük olarak uygulanması ile bozulma kriterleri değerlendirilir.

Dinamik Elastisite tahmin modelleri son 70 yıl içerisinde pekçok kez değişim ve gelişim göstermiştir. AASHTO Pavement ME Design günümüzde Witczak and Bari Model 1-37 A ve Witczak 1-40D modellerini kullanmaktadır.

3.4 AASHTOWare Pavement ME Design yazılımı

AASHTO üstyapı tasarımında MAKDM kullanmak üzere geliştirilmiş DARWin-ME yazılımı daha da geliştirilip AASHTOWare Pavement ME Design adını almıştır. Asfalt Karışımı Performans Testi Cihazı (Asphalt Mixture Performance Tester-AMPT) asfalt karışımlara çeşitli seviyede sıcaklık ve frekansta yükleme yapabilen servo-hidrolik bir test cihazıdır. Bu cihaz National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Project 9-29 programı içinde geliştirilmiş olup Performans Test Cihazı (Simple Performance Tester – SPT) olarakta bilinmektedir ve AASHTO TP 79 da belirtilen dinamik Modül (E^*), tekrar sayısı (F_n) ve tekrar süresi (F_t) olmak üzere üç parametreyi test eder. Bu testler Superpave karışım dizaynında asfalt karışımının kalıcı deformasyon dayanımını ölçmeye yarar. Dinamik Modül testi aynı zamanda NCHRP Project 1-37A da seçilen asfalt karışımların değişik sıcaklık ve yükleme frekanslarındaki viskoelastik özelliklerinin tanımlanmasını sağlar. Dinamik Modül sonuçları asfalt karışımların AASHTOWare® Pavement ME Design yazılımında (eskiden Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MAKDK) ve DARWin-ME yazılımlarında) tanımlanan en önemli veridir.

Pavement ME Design ampirik ve mekanistik olmak üzere iki ayrı bölümden oluşur. Mekanistik kısım gerilme, şekil değiştirme ve defleksiyon gibi kaplama tepki reaksiyonlarının tanımlandığı modelleri içerir. Bu reaksiyonlar daha sonra, transfer fonksiyonları olarakta bilinen, ampirik bozulma tahmin modellerinde zamana bağlı birikimli kaplama bozulma miktarlarını tahmin etmek için veri olarak kullanılmaktadır. Her dizayn aşağıdaki 3 adımda gerçekleştirilir;

1. Trafik, iklim ve malzeme özellikleri tanımlanan bir deneme kaplama dizaynı tanımlanır. Her performans parametresi için kritik değerler ve güvenilirlik seviyesi tanımlanır. Kaplama dizaynında kullanılacak her girdi verisi, yapılması düşünülen projenin önemi, büyüklüğü ve maliyeti ile tutarlı olarak yazılıma üç seviyede tanımlanabilmektedir. Her seviyenin girdi verileri, asfalt karışım, binder ve asfalt genel özellikleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

2. Yazılım çalıştırılıp deneme kaplama dizaynının performans göstergelerinin (IRI, tekerlek izi, yorulma çatlağı oluşumu, boyuna ve termal çatlak oluşumları) tahmin edilebilmesi için hem mekanistik hem de ampirik kısımlar uygulanır. Her performans göstergesi için, 1. Adımda kullanıcıya bağlı ve araziden gelecek verilere göre kalibre edilebilecek şekilde tepki tahmin modeline uyan değiştirilebilir güvenilirlik seviyeleri tanımlanır.

3. Yazılımla yapılan analiz sonrası deneme kaplama dizaynı tamamlanınca, performans göstergeleri 1. adımda tanımlanan kritik değerler ile karşılaştırılır.

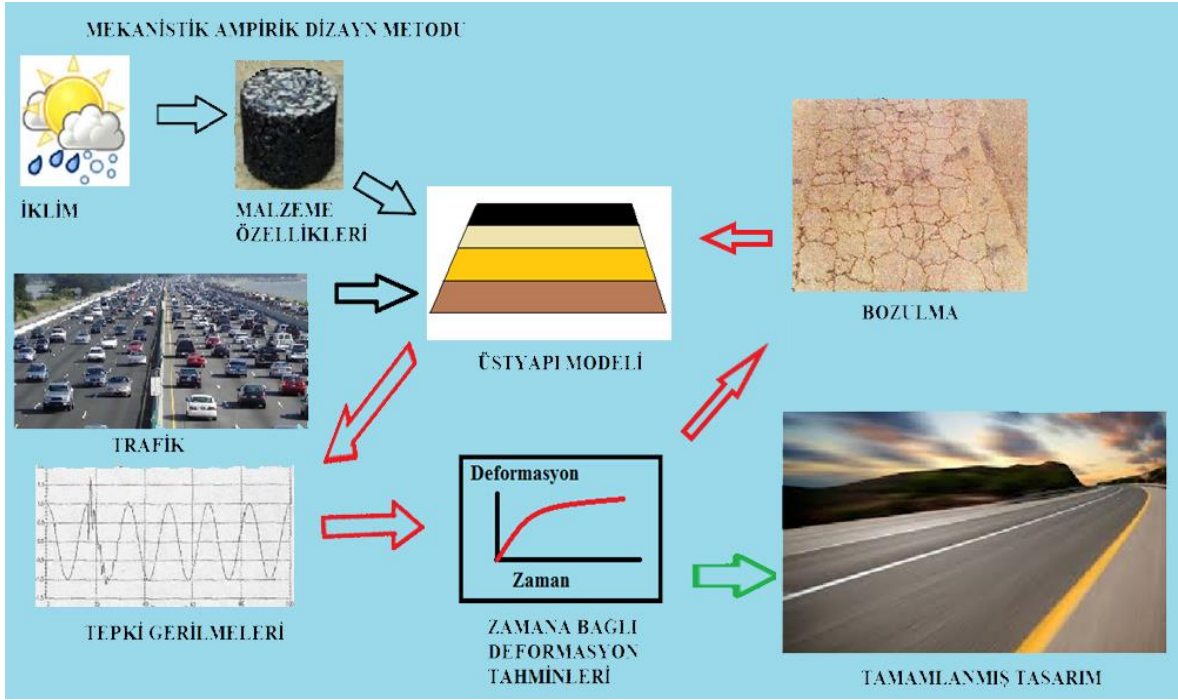
3.5 Kalibrasyon

Şekil 3.5'te işleyişi gösterilerin MAKDM'nun Mekanik Ampirik Dizayn Kılavuzu ile DARWin-ME (günümüzde güncellenerek AASHTOWare® Pavement ME Design adını almıştır) yazılımı üzerinden tanımlanan verileri Amerika'daki bazı eyaletler kendi bölgelerindeki verilerle değiştirerek, elde edilen sonuçları kendi eyaletlerine uyarlamış ve ciddi ölçüde ekonomik kazançlar elde etmişlerdir. Kalibrasyon diye adlandırılan bu yöntem ile üstyapıda oluşan bozulma tahminleri daha bölgesel hale getirilerek, çalışmanın yapıldığı bölgeyi daha iyi yansıtacak sonuçlar elde edilmektedir.

Kalibrasyon yapılmasının daha hassas ve güvenilir sonuçların elde edilmesi üzerine ciddi etkisi bulunmaktadır. Kalibrasyonun aşamaları aşağıdaki gibidir;

- Bölgeden farklı tipte üstyapı kesitleri seçilir
- Elde edilebilecek veriler tanımlanır ve istenen veri düzeyi belirlenir.
- MAD Kılavuzuna lokal kaynaklardan (KGM, Belediye...vs.) elde edilen verileri gir.

- Seçilen bölge için yazılım üzerinde seçilen üstyapı kesiti için performans verisi hazırla.
- Ulusal veri tabanından bölgesel ön değerlendirme faktörlerini tanımla
- Lokal kalibrasyon katsayıları belirle
- Lokal kalibrasyon katsayılarının yeterliliğini tanımla.



Şekil 3.5. Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu Akım Şeması

Son olarak kalibrasyon sonrası elde edilen verilerle KGM ve Belediyelerden elde edilen veriler birbirini tutarsa bozulmaları tanımlayan algoritma DOĞRU olarak tanımlanır. Eğer bu veriler birbirini tutmazsa veriler arasındaki farklar dikkate alınarak yeniden kalibrasyon yapılacaktır.

3.6 Hassasiyet Analizi

Yazılımla modellemenin son aşamalarında hassasiyet analizi yapılmaktadır. Hassasiyet analizi One at A Time (OAT- bir kereye mahsus) ve Global Sensitivity Analyses (GSA- Genel Hassasiyet Analizi) olmak üzere iki tür olarak ayrılabilir. GSA’da NSI (Normalized Sensitivity Index – Normalleştirilmiş Hassasiyet Analizi) kullanılmaktadır. NSI, tasarım verisinde oluşan oransal değişimden kaynaklanan, oransal bozulma şeklinde

tanımlanabilir. Dört hassasiyet derecesi bulunmaktadır. Bunlar: Aşırı hassas (AH), $NSI > 5$; Çok Hassas (ÇH), $1 < NSI < 5$; Hassas(H), $0.1 < NSI < 1$; ve Hassas Değil(HD), $NSI < 0.1$. Buna göre pratikte yüksek hassasiyetli ve kritik tasarım verilerini hiper hassas ve yüksek hassas kategorilerine koyabiliriz.

Sijk hassasiyet katsayısı, Xk kalibrasyon katsayısı ve Yk performans tahmini olmak üzere hassasiyet katsayısı hesaplanırken formüldeki gibi her kalibrasyon parametresi için %20 azaltılmış ve %20 arttırılmış kalibrasyon katsayılarına göre performans değerleri hesaplanır.

Her parametredeki oransal olarak toplamda %40 lık kalibrasyon katsayısı değişiminin performans değerlerinde nasıl bir değişikliğe neden olduğuna bakılır. En çok oransal değişimi gösteren parametre en duyarlı olunan parametredir. Bu hassasiyet miktarlarına göre üstyapının hangi bozulma türüne daha duyarlı olduğu belirlenir.

- Aşırı Hassas — $5 < NSI$
- Çok Hassas — $1 < NSI < 5$
- Hassas — $0.1 < NSI < 1$
- Hassas Değil — $NSI < 0,1$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 İklim Verilerinin Tanımlanması

Bu aşamada iki çeşit yol izlenmiştir. Birinci yol, iklim analizi çalışmalarının başladığı 2016 yılından itibaren yapılan çalışmaları kapsamaktadır. İkinci yol ise yazılıma 2018 yılında gelen güncelleme sonrasında, güncellemenin getirdiği faydalardan doğrudan yararlanma şeklindedir.

Öncelikle ilk çalışmada izlediğimiz yönteme ait bulgular paylaşılacaktır. Bu aşamada MGM den bütün illere ait 1995 -2014 yılları arasını kapsayan 20 yıllık maksimum ve minimum sıcaklık verileri temin edilmiştir. Çizelge 4.1’de işaretli olarak görüldüğü üzere bu veriler arasındaki eksik veriler mevcut iken, bu eksiklikler geri kalan yıllardaki aynı güne ait verilerin ortalaması alınarak tamamlanmıştır. Çizelge 4.1’de 1995 yılı için Karaman şehrinde bulunan 17246 nolu meteoroloji istasyonuna ait Günlük Minimum Sıcaklık verileri Derece (°C) cinsinden verilmekte, sol ilk sütun günleri, dördüncü satır ise ayları ifade etmektedir. Ay ve günleri kesişiminde yazılı değerler, belirtilen yıl ve ay içindeki seçilen güne ait 24 saatlik dilimde tespit edilen en düşük sıcaklık verisini göstermektedir.

Çizelge 4.1’de gösterilen bu veriler kullanılarak Çizelge 4.2 oluşturulmuştur. Buna göre 1. Sütunda her bir yıla ait ölçülen en düşük sıcaklık değerleri bulunmaktadır. 2. Sütunda yıllık en düşük sıcaklıkların ortalaması alınmıştır. 3.Sütunda, 1. Sütunda bulunan değerlerin ortalama değerden farkları, 4. Sütunda ise bu farkların standart sapması hesaplanmıştır. 5.Sütunda kaplama dizayn sıcaklığı hesabında kullanılan T_{min} sıcaklığı yöntem bölümünde anlatıldığı üzere hesaplanmıştır. 6. Ve 7. Sütunlarda SHRP nin metoduna göre %98 doğrulukla T_{min} değeri belirlenmiştir. 8.,9. ve 10. Sütunlarda ise FHWA ve LTPP nin metodlarında belirtilen sıcaklık hesabı yapılmış ve %98 doğrulukla T_{min} değeri hesaplanmıştır. Bu iki metoda göre yapılan hesaplama sonucunda Karaman şehir için PG düşük sıcaklık sınıfı olarak -40 derece seçilmiştir.

Çizelge 4.1. Karaman şehri için günlük minimum sıcaklık verileri

Günlük Minimum Sıcaklık (°C)												
İSTASYON ADI / NO: KARAMAN - 17246												
YIL: 1995												
GÜN / AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5.6	-5	5.7	5	7.6	13.8	12.4	13.3	12.7	8.2	-2.9	-7.4
2	8	-1	-2.6	-0.8	9	10.1	14	18	12.7	5.8	5	-2.5
3	8	-3.3	0.2	-0.8	6.5	14.2	11.9	18.7	13.2	5.8	6.4	-1.1
4	7	-4.5	5	-3.8	5.6	15.1	11	16	13.8	0.2	7.3	-2.3
5	6.3	-4.4	0.8	-2.4	5.9	14	13.7	18.1	15	0.9	13.3	-3.8
6	3.8	-7.1	5.3	5	2.5	15	14	18	15.2	1	12.6	-5.3
7	-2.7	-3.4	3.2	6	3.5	11.3	13.1	16.3	20.1	1.5	6.2	-3
8	-0.2	-4.8	-1.2	1.7	3.3	14.2	12.2	15.9	14.1	3	0	-0.2
9	-4.6	-11.7	1	8.3	6	10	12.8	14.4	11.6	2.5	-4	-5.1
10	0.2	2.9	-2.5	5.9	10	11.8	13.5	13.5	10	1.8	-4.1	-2.1
11	2.9	1.4	2.9	0	5.2	11.1	14.3	14	14.2	1.4	-8.3	-2.1
12	0	-2.1	1.2	-1.6	7	15	11	14	10.7	4.8	-8.1	-2.2
13	5.9	-2.3	-3.8	1.9	9	14.9	14.5	12.3	10.9	3.5	-5.3	-1.5
14	4	-0.1	2	3.8	11	12.2	15.4	11.5	12	1.7	-3.7	-5
15	0.5	-2.9	4.4	3.6	16.8	12.8	13.4	9.8	11.6	2.4	-0.1	-6.8
16	-1.1	-2.2	4	3	9	10.9	15	11	13.7	4.8	7	-6.2
17	-5	2.1	1.6	10.4	7.6	14.3	16.3	16.6	14	4.4	1.6	-4
18	-9.1	-0.1	2	4.7	5.7	14.9	15.1	16.7	12.3	3	3.6	-10.2
19	-11.6	-2.1	0	2.1	7.5	16.6	13.5	17.4	12.3	3.2	8.6	-12.8
20	-9.8	4.3	1.9	0.3	9.9	15.4	14.8	16.4	6.4	2	8.6	1.8
21	-5	2.4	7.3	1.5	7.8	12.5	14.4	16.4	2.1	-2.2	1.5	2
22	-7.8	1.8	5.7	2.9	11.2	10	15	17.3	4.6	0.7	-1.4	1.8
23	-7.6	-3.8	5	6	12.3	9.2	13.2	14.7	10.2	4.4	-4.1	-4.8
24	-8.5	-4.5	0	5	12.8	13	15.5	12.3	13.4	5.8	-11	-0.3
25	2.1	0.6	-2.7	7	12.8	16.6	14.4	13.6	8.7	9.2	-16.5	2
26	1.6	3.2	-4.7	7.5	11.5	18.3	15	15.8	3.8	10	-19.6	5.3
27	-0.9	0.5	-3.2	14	13.9	20	14.4	13.9	6	7.2	-17.4	7.5
28	-2.3	-1	3.5	8.7	14.2	18.2	13.1	17.2	10.3	11.3	-20.1	6.5
29	-10.2		6.4	2.1	13	10.8	11.2	14.3	8	7	-14.8	3.5
30	-10.5		6	4.9	11.9	12.5	11.9	14.5	12.8	-1	-5.4	5.8
31	-4.7		5.2		13.3		13.6	13.2		-2.8		3

Çizelge 4.2. Minimum sıcaklık hesap tablosu

20 yıllık minimumlar	Ort. (x_{ort})	$x_i - x_{ort}$	Standart Sapma	T min düşük kaplama dizayn Sıc.	SHRP		FHWA ve LTPP		
					Thava min %98	T min %98	T min	Thava min %98	T min %98
-20.1	-17.4	-2.70	5.02	-13.78	-27.45	-37.50	-14.54	-24.59	-34.64
-12		5.41							
-18.8		-1.40							
-10.5		6.91							
-12.5		4.91							
-18.2		-0.80							
-21.2		-3.80							
-26.1		-8.70							
-16.4		1.01							
-19		-1.60							
-16		1.41							
-24.2		-6.80							
-17.4		0.00							
-20.2		-2.80							
-24.4		-7.00							
-12.4		5.01							
-11.4		6.01							
-23.1		-5.70							
-15.3		2.11							
-8.9		8.51							

Çizelge 4.3'te 1995 yılı için Karaman şehrinde bulunan 17246 nolu meteoroloji istasyonuna ait Günlük Maksimum Sıcaklık verileri Derece (°C) cinsinden verilmiştir. Burada sol ilk sütun günleri, dördüncü satır ise ayları ifade etmektedir. Ay ve günleri

kesişiminde yazılı değerler, belirtilen yıl ve ay içindeki seçilen güne ait 24 saatlik dilimde tespit edilen en yüksek sıcaklık verisini göstermektedir.

Çizelge 4.3. Karaman şehri için günlük maksimum sıcaklık verileri

Günlük Maksimum Sıcaklık (°C)												
İSTASYON ADI/NO: KARAMAN / 17246												
YIL: 1995												
GÜN/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12.6	9.3	11.1	15.5	18.9	24.7	29	35	34	25	15.4	2
2	12.4	5.9	14.2	5	17	28	28.6	35.6	29	17.1	15	0.1
3	13.8	3.6	17.6	3.9	17.5	30.6	25.1	34.5	29.5	11.7	16.3	0.2
4	12.2	0.9	17.1	8.8	14.3	30.9	26.2	33.4	29.2	12.7	16.8	0
5	13	1.8	18.1	16.7	11	30	30	32.6	30.5	15	18.7	1.8
6	12.1	-0.3	17.1	18.4	10.8	26.3	28.2	33.4	34	18.2	18.7	7.8
7	10	0	12	18.7	15.9	28.2	29.1	29.8	31.5	19.3	12.8	4
8	9.4	3.2	10.3	14.1	20	25	33	30	25.7	17	9.1	3
9	9.8	8	10.1	19	22	24.9	26.4	29.8	28.2	17.3	5.2	0.2
10	10	8.7	11.8	16.3	19.6	24.9	26.2	30.1	31.5	18.6	-0.3	1.2
11	8	12	10.9	8	21.6	27.6	22.5	31	28.5	18.8	2.8	2
12	9.6	11.2	5.5	10	24.2	29.1	26	27.6	31.6	17	8	1.3
13	13.9	11.4	10.8	12.5	27.1	30.3	28.3	28.2	33.2	18.2	11.4	0.8
14	13.1	10.1	9	12.4	29.3	30.3	28.5	30.2	33	21.5	15	-0.3
15	10	12.4	15	15.9	27.9	32.2	26.1	32.8	33.1	21.2	19	-3.5
16	4	12.4	8.9	20.2	21.4	31.3	29.2	34.5	32.3	20	17.5	0.1
17	-1.1	12	11.9	20.7	20.2	33	30.3	32	28.8	17.8	19	-0.7
18	-3	13.3	12.7	15.4	23	32.7	28.5	32.7	26.9	20	16.9	-1.5
19	1	14.1	15.4	9	26.7	33.1	30	33.4	19.6	20.3	16	4
20	4.8	9.8	18.1	12.5	27.4	30.7	30	33.4	19	17.9	16	4.9
21	-2	7	16.3	14.9	30.1	22.5	28.2	33	24.4	21.2	11	8.3
22	-2.5	7.9	15.2	17.7	33.2	26.4	27.2	31.3	30.1	21.8	1.6	5.3
23	1.4	10	14.4	18	33	33.6	28.7	27	28.4	17.6	0.7	10.9
24	8.6	17.1	7	20.6	32.6	33.7	29.6	27.8	22.8	14.3	-3.7	11.9
25	8.9	14	2.6	22.5	31.6	33.3	28.5	31	21	19.2	-4.8	13.7
26	9	14.2	7.3	24.5	32.2	34.3	28.3	32.1	25.2	25.2	-7.3	12.3
27	10.1	17	15.4	19	32.6	35	28	35	28.2	24.6	-9	15
28	10	19.1	14.6	20	30	27.8	26.4	32.6	25.6	20.2	-5.4	14
29	-0.4		13.3	18.1	30.1	27.5	27.2	33.2	27	14.8	0.2	15
30	6.6		14.6	19.9	29.9	28.1	29.6	30.7	28.6	13	5.5	13
31	7.5		14.9		27.3		32	30		13.8		14.2

Bu çizelgedeki birbirini takibeden yedi günlük sıcaklıkların ortalamaları alınıp birinci güne yazılmak suretiyle Çizelge 4.4 oluşturulmuştur. Çizelge 4.4'teki maksimum değer o yıl için birbirini takiben yedi güne ait en yüksek sıcaklık ortalamasını temsil etmektedir. Bu değeri oluşturan günlük sıcaklık verileri Çizelge 4.4'te bulunan koyu renkle çerçeve içerisine alınmış yedi günlük zaman dilimini olarak gösterilmektedir

Çizelge 4.4. Karaman şehri için ortalama maksimum sıcaklık değeri verileri

GÜN/ AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12.3	3.0	15.3	12.4	15.1	28.4	28.0	33.5	31.1	17.0	16.2	2.3
2	11.8	2.2	15.2	12.2	15.2	28.4	28.6	32.8	29.9	15.9	15.3	2.4
3	11.5	2.5	14.6	14.2	15.9	28.0	28.3	31.9	29.8	15.9	13.9	2.4
4	10.9	3.2	13.8	16.0	16.2	27.2	28.4	31.3	30.1	16.9	11.6	2.6
5	10.3	4.8	12.9	15.9	17.3	26.7	27.9	31.0	30.0	17.7	9.6	2.9
6	9.8	6.1	11.1	14.9	19.2	26.6	27.3	30.2	30.1	18.0	8.0	2.8
7	10.1	7.8	10.2	14.1	21.5	27.1	27.4	29.5	30.0	18.0	7.0	1.8
8	10.5	9.2	9.8	13.2	23.4	27.4	27.3	29.6	30.2	18.3	7.3	1.2
9	10.6	10.5	10.4	13.4	24.5	28.5	26.3	30.0	31.3	18.9	8.7	0.2
10	9.8	11.2	10.3	13.6	24.4	29.4	26.7	30.6	31.9	19.3	10.5	0.2
11	8.2	11.6	10.3	14.2	24.5	30.5	27.3	30.9	31.5	19.2	13.2	0.0
12	6.6	11.8	10.5	15.3	24.7	31.3	28.1	31.1	31.3	19.4	15.3	-0.5
13	5.4	12.2	12.0	15.2	25.1	31.8	28.7	32.0	29.6	19.9	16.4	-0.2
14	4.1	12.0	13.0	15.2	25.1	31.9	28.9	32.7	27.5	19.8	17.1	0.4
15	2.0	11.6	14.0	15.5	25.2	30.8	28.9	33.1	26.3	19.8	16.5	1.7
16	0.2	10.9	14.1	15.8	26.0	30.0	29.1	32.9	25.9	19.9	14.0	2.9
17	-0.2	10.6	14.9	15.5	27.7	30.3	29.0	31.8	25.3	19.5	11.6	4.5
18	1.2	11.3	14.2	15.4	29.4	30.4	28.9	31.2	24.5	19.0	8.4	6.3
19	2.9	11.4	12.7	16.5	30.7	30.5	28.9	31.0	23.6	18.9	5.3	8.4
20	4.0	11.4	11.6	18.7	31.4	30.6	28.6	30.8	24.4	19.6	1.9	9.6
21	4.8	12.5	11.2	19.6	32.2	31.3	28.4	31.0	25.7	20.6	-1.6	11.1
22	6.5	14.2	10.9	20.3	32.2	32.0	28.1	31.0	25.9	20.4	-4.0	11.9
23	6.8	14.6	10.7	20.4	31.7	32.2	28.1	31.2	25.5	19.4	-4.2	13.3
24	7.5	15.2	10.7	20.7	31.3	31.4	28.2	31.8	25.5	18.8	-3.5	13.6
25	7.4	15.3	11.8	20.4	30.5	30.7	28.6	32.1	25.8	18.7	-2.7	13.9
26	7.4	15.8	13.7	19.6	29.5	30.0	29.5	32.5	25.2	18.1	-2.0	12.1
27	7.0	16.3	13.3	18.6	28.9	28.7	30.5	32.1	23.3	16.7	-0.9	10.6
28	6.1	16.3	11.7	18.0	28.7	27.5	31.5	31.3	21.1	15.5	0.4	8.9
29	4.8		10.9	16.7	28.8	27.8	32.5	30.8	19.6	15.0	1.4	7.5
30	5.1		11.3	15.6	28.8	27.9	33.2	30.4	18.3	15.6	2.5	6.0
31	4.1		11.9		28.3		33.8	30.9		16.4		5.0

Çizelge 4.3'te 1995 yılı için bulunan yedi günlük değerler 1995 ve 2014 yılları arasında kapsayan 20 yıl için bulunmuş ve Çizelge 4.5'te birleştirilerek toplu olarak verilmiştir. Çizelge 4.5'te 2.satır yılları temsil etmekte, her yıla karşılık gelen sütunda ise o yıl içerisinde birbirini takip eden yedi gün için sıcaklık ortalaması en yüksek yedi güne ait sıcaklık verileri gösterilmektedir. Bulunan bu veriler SHRP ile FHWA ve LTPP tarafından kullanılan PG belirleme yöntemleri kullanılarak gerekli işlemler yapılmış, her iki yöntem içinde maksimum PG sınıflarında bulunmuştur. Çizelge 4.6 da ilk satırda izlenen yöntem belirtilmiş ve her yöntemin altında izlenen adımlarda kullanılan önemli değerler ile seçilen doğruluk oranına göre PG değerleri verilmiştir. Bu değerler seçilen bölgede karayolu üstyapısı

Çizelge 4.7. Tüm iller için performans dereceleri

Sayı	ŞEHİR	PG	
		Üst	Alt
1	Ardahan	58	-46
3	Rize	58	-16
	Samsun	58	-16
	Sinop	58	-16
	Giresun	58	-10
3	Ordu	58	-10
	Trabzon *	58	-10
4	Ağrı	64	-46
	Erzurum*	64	-46
	Kars	64	-46
	Muş	64	-46
	Iğdır	64	-40
3	Karaman	64	-40
	Sivas	64	-40
16	Afyonkarahisar	64	-34
	Aksaray	64	-34
	Bayburt	64	-34
	Bingöl	64	-34
	Çankırı	64	-34
	Çorum	64	-34
	Erzincan	64	-34
	Eskişehir	64	-34
	Gümüşhane	64	-34
	Hakkâri *	64	-34
	Kayseri	64	-34
	Kırşehir	64	-34
	Konya	64	-34
	Kütayha	64	-34
	Niğde	64	-34
	Tunceli	64	-34
11	Ankara	64	-28
	Bitlis	64	-28
	Bolu	64	-28
	Elâzığ	64	-28
	Kastamonu	64	-28
	Kırıkkale	64	-28
	Malatya	64	-28
	Nevşehir	64	-28
	Şırnak *	64	-28
	Van	64	-28
	Yozgat	64	-28
11	Bartın	64	-22
	Bilecik	64	-22
	Burdur	64	-22
	Bursa	64	-22
	Düzce	64	-22
	Edirne	64	-22
	Isparta	64	-22
	Kırklareli	64	-22
	Siirt	64	-22
	Tekirdağ	64	-22
	Uşak	64	-22
12	Çanakkale	64	-16
	Denizli	64	-16
	Gaziantep	64	-16
	İstanbul	64	-16
	Kocaeli	64	-16
	Manisa	64	-16
	Mardin	64	-16
	Muğla	64	-16
	Osmaniye	64	-16
	Sakarya	64	-16
	Yalova	64	-16
	Zonguldak	64	-16
4	Adana	64	-10
	Aydın	64	-10
	İzmir	64	-10
	Mersin	64	-10
1	Diyarbakır *	70	-40
3	Amasya	70	-34
	Batman	70	-34
	Tokat	70	-34
1	Karabük *	70	-22
4	Adıyaman	70	-16
	Antalya	70	-16
	Artvin	70	-16
	Kahramanmaraş	70	-16
3	Antakya	70	-10
	Kilis	70	-10
	Şanlıurfa	70	-10
1	Balıkesir *	-	-
81	* Eksik veri var		

düzenlenmiştir. Çizelge 4.7’de PG aynı olan şehirler gruplanmış, doğruluk oranı %98 e göre hesaplanan performans dereceleri maksimum sıcaklıklar için PG üst ve minimum sıcaklıklar için PG Alt ve Üst olarak ifade edilmiştir.

Burada yanında * simgesi bulunan şehirler için temin edilen verilerde oldukça fazla miktarda eksik veri tespit edilmiştir. Her ne kadar istatistiki olarak bu veriler doldurulmuş olsa da bu bölgelerde yapılacak çalışmalar için verilerin güncellenmesinde yarar oluğu düşünülmektedir. Balıkesir ili için ise temin edilen veriler çok yetersiz olduğundan bu il için değerlendirme yapılmamıştır.

Bu aşamada tüm illerde ölçüm ve analiz çalışması yapma imkânı olmadığından Karaman, Konya ve Isparta şehirlerinde ölçümler alınmaya başlanmıştır. Çizelge 4.7’de belirtildiği üzere bu üç ilde yapılacak çalışmaların toplamda 30 ili temsil edeceği varsayılacaktır.

Bitümlü bağlayıcının PG’nin belirlenmesi malzeme özelliklerini tanımlarken gereklidir. Analiz programında iklim verileri ile ilgili yapılan diğer çalışmalar aşağıda anlatılmıştır. Çizelge 4.1’deki eksik verilerin tamamlanmasına benzer şekilde seçilen üç şehir için (Karaman, Konya ve Isparta) bu şehirlerdeki meteoroloji istasyonlarından elde edilen minimum 1 Ocak 2013 ile 12 Temmuz 2018 tarihleri arasındaki 5,5 yıllık saatlik veri hem istasyon olarak hem de veri çeşidi olarak ayrı ayrı tablolar halinde elde edilebilmiştir. Edinilen bu veriler öncelikle sınıflandırılmış ve aynı zaman dilimlerindeki veriler Çizelge 4.8’de Minimum Sıcaklık verilerine Maksimum Sıcaklık verilerinin eklenmesi şeklinde birbirine eklenmiştir.

Çizelge 4.8’de aynı zamanda temin edildiğinde var olan eksik verilerin, istatistiki olarak tamamlandığı görülmektedir. Çizelge 4.8’deki Minimum ve Maksimum Sıcaklık verilerine, aynı işlemler uygulanarak Maksimum Rüzgâr Hızı (m/sn), Nispi nem (%) ve Bulutluluk oranı verileri de ilave edilip Çizelge 4.9’da nihai iklim verisi dosyası oluşturulmuştur.

Çizelge 4.8. Akşehir ilinin sıcaklık verileri dosyasında örnek kısım.

Istasyon No	Istasyon Adi	Yıl	Ay	Gün	Saat	Minimum Sıcaklık °C	Maksimum Sıcaklık °C
17239	Akşehir	2013	1	1	0	1.2	1.5
		2013	1	1	1	1.2	1.3
		2013	1	1	2	1.2	1.3
		2013	1	1	3	1.2	1.3
		2013	1	1	4	1.2	1.3
		2013	1	1	5	1.2	1.3
		2013	1	1	6	1.2	1.6
		2013	1	1	7	1.4	1.7
		2013	1	1	8	1.6	1.9
		2013	1	1	9	1.8	2.5
		2013	1	1	10	2.4	2.6
		2013	1	1	11	2.4	2.8
		2013	1	1	12	2.6	3.0
		2013	1	1	13	2.8	3.0
		2013	1	1	14	2.7	2.9
		2013	1	1	15	2.7	2.9
		2013	1	1	16	2.9	3.1
		2013	1	1	17	2.5	2.9
		2013	1	1	18	2.3	2.6
		2013	1	1	19	2.3	2.3
		2013	1	1	20	2.0	2.3
		2013	1	1	21	1.8	2.0
		2013	1	1	22	1.6	1.8
		2013	1	1	23	1.5	1.6
		2013	1	2	0	1.2	1.5
		2013	1	2	1	1.1	1.3
		2013	1	2	2	1.0	1.2
		2013	1	2	3	0.9	1.0
		2013	1	2	4	0.6	1.0
		2013	1	2	5	0.5	0.6
		2013	1	2	6	0.3	0.6

Çizelge 4.9’da, Isparta ilindeki 17240 nolu meteoroloji istasyonuna ait beşbuçuk yıllık birleştirilmiş iklim verisi dosyasının 1.Ocak.2013 tarihine ait bir günlük örneğidir. Aynı işlemler 17239 nolu Akşehir meteoroloji istasyonu ve 17245 nolu Konya meteoroloji istasyonları içinde uygulanmıştır.

Çizelge 4.9. Isparta 17240 nolu istasyona ait meteoroloji verilerinden bir günlük örnek veri

Istasyon No/ Adı	Yıl	Ay	Gün	Saat	Min °C	Maks. °C	Maks. Rüz. Hızı W m/sn	Nispi Nem %	Bulutluluk Okta (8)
17240 / ISPARTA	2013	1	1	0	4.4	4.8	3,6	85	7
	2013	1	1	1	4.3	4.8	3,7	86	7
	2013	1	1	2	4.1	4.3	1,6	88	7
	2013	1	1	3	3.8	4.2	1,8	88	7
	2013	1	1	4	3.7	3.8	2,1	89	7
	2013	1	1	5	3.3	3.8	1,3	90	7
	2013	1	1	6	3.8	4.8	1,4	90	7
	2013	1	1	7	4.9	5.6	1,5	90	7
	2013	1	1	8	5.6	7.1	1,3	85	6
	2013	1	1	9	7.1	7.7	4,4	77	6
	2013	1	1	10	7.2	7.6	6,0	70	6
	2013	1	1	11	7.6	8.0	5,0	68	6
	2013	1	1	12	7.7	8.1	4,4	67	6
	2013	1	1	13	7.7	8.1	5,0	65	7
	2013	1	1	14	6.3	7.7	3,8	75	6
	2013	1	1	15	6.0	6.3	3,6	75	6
	2013	1	1	16	5.5	6.0	3,6	78	6
	2013	1	1	17	3.9	5.5	3,0	82	6
	2013	1	1	18	2.4	4.0	1,3	86	5
	2013	1	1	19	2.2	3.2	1,5	88	5
	2013	1	1	20	2.9	3.4	1,9	86	5
	2013	1	1	21	2.8	2.9	1,5	87	5
	2013	1	1	22	2.9	4.0	1,9	87	5
	2013	1	1	23	3.9	4.3	2,2	86	3

Meteorolojik verilerin hazırlanmasında izlenen ikinci yolda ise yöntem kısmında anlatıldığı üzere LTPP nin web sitesi üzerinden açık olarak yayınlanan veriler doğrudan AASHTO Pavement ME programında kullanılabilir veri dosyası olarak indirilebildiği gibi, programın kendisi içerisinde bulunan iklim kısmından da arama kısmına Ör.Isparta, TR şeklinde yazılarak da elde edilebilmektedir. Program seçilen bölgeye en yakın meteoroloji istasyon bölgesinin verilerini otomatik olarak atamakta ve iklim verilerini onaylamaktadır.

Tezin bu kısmında iklim verilerinin analizi yapılarak programda kullanılabilecek bir istasyon veri dosyası elde edilmiştir, bir sonraki aşamada trafik verisi bulguları gösterilecektir.

4.2 Trafik Verilerinin Tanımlanması

Yazılımda gerçekleştirilecek analizlerde kullanılacak trafik verileri için Yıllık Ortalama Günlük Kamyon Trafiği verileri ile dağıtma faktörleri istenmektedir. Analizde analiz seviyesi değiştikçe istenen veri miktarı da değişmekte 1.analiz seviyesinde WIM verisi sitenirken, 2., 3. ve 4.Seviyelerde istenen veri miktarı ve bu verilerdeki kalite beklentisi azalmaktadır. Aynı zamanda istenen veri miktarı azaldıkça bununla orantılı olarak analizin doğruluk oranı da azalmaktadır.

Bu çalışma kapsamında 4. Analiz seviyesinde veri elde edilebildiğinden, dağıtma faktörleri hazır veri olarak kullanılmış, trafik verileri ise KGM'nin internet sitesinden Yıllık Ortalama Günlük Trafik olarak temin edilmiştir. Mekanistik Ampirik Dizayn Metodunda analiz için istenen veriler KGM'nin internet sitesindeki istatistikler kısmından 2013 ile 2017 yılları arasını kapsayan 5 yıllık dönem için tüm illeri kapsayacak şekilde temin edilmiştir. Bu veriler daha sonra il il ayrılmış ve her ildeki yıllık trafik verilerinin elde edilmiş biçimleri gözden geçirilmiştir. Tahmin olarak verilen veriler ile 5 yıllık verinin tamamına sahip olunmayan yollar ve bu yollara ait ölçümler analizden çıkarılmıştır. Kalan yollar arasında Karaman, Konya, Akşehir, Isparta ve Burdur bölgelerindeki yollar mercek altına alınmıştır.

Literatür taraması sırasında incelenen MAKDM kalibrasyon uygulamalarında farklı trafik hacmine sahip yollar kullanılmasının analiz kapsamını genişleteceği düşünüldüğünden, bu çalışma da da farklı trafik hacmindeki yollar tercih edilmiştir. Bu kapsamda Isparta ili ve çevresinde 3 adet yolda, Akşehir-Konya bölgesinde 4 adet yolda ve Karaman da 1 adet yolda analiz yapılmıştır.

Çizelge 4.10'da Isparta ili ve çevresi için incelenen 3 farklı trafik hacmindeki değişimler yola ait bilgi ve Eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısı (EDYTS) hesaplamaları paylaşılmıştır. Bu çizelgede incelenen yola ait Karayolu Kesti No (KKNO), bu yoldaki dilim no ve uzunluğu ile taşıt türüne göre YOGT değerleri temin edilmiş değerlerdir. Çizelgede belirtilen 1.Artış oranı 2013 yılı ile 2014 yılı arasındaki, 2.Artış oranı 2014-2015 yılları arasındaki, 3.Artış oranı 2015-2016 yılları arasındaki ve 4.Artış oranı 2016-2017 yılları arasındaki trafik değişimini ifade etmektedir. Yöntem kısmında da anlatıldığı şekilde EDYT sayıları hesaplanmıştır. Ayrıca Çizelge 4.10'daki değerler arasında otomobil dışındaki araç

sayısının toplamı o yol için YOGKT değeri olarak analizlerde kullanılmıştır. AASHTO Pavement ME Design yazılımı bu değer ile 20 yıllık trafiği hazır verileri kullanarak ya da artış oranları değiştirilerek kendisi hesaplayabilmektedir.

Çizelge 4.11’de, Çizelge 4.10 ’daki işlemlere benzer şekilde Konya ili ve çevresinde belirlenen 4 farklı trafik hacmindeki değişimler, yola ait bilgi ve EDYTS hesaplamaları paylaşılmıştır. Bu çizelgede incelenen yola ait Karayolu Kesit No (KKNO), bu yoldaki dilim no ve uzunluğu ile taşıt türüne göre YOGT değerleri temin edilmiş değerlerdir. Çizelgede belirtilen 1.Artış oranı 2013 yılı ile 2014 yılı arasındaki, 2.Artış oranı 2014-2015 yılları arasındaki, 3.Artış oranı 2015-2016 yılları arasındaki ve 4.Artış oranı 2016-2017 yılları arasındaki trafik değişimini ifade etmektedir. Yöntem kısmında da anlatıldığı şekilde EDYT sayıları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.12’de, Çizelge 4.11’deki işlemlere benzer şekilde Karaman ili ve çevresinde belirlenen 1 yolun trafik hacmindeki değişimler yola ait bilgi ve EDYTS hesaplamaları paylaşılmıştır. Bu çizelgede incelenen yola ait Karayolu Kesit No (KKNO), bu yoldaki dilim no ve uzunluğu ile taşıt türüne göre YOGT değerleri temin edilmiş değerlerdir. Çizelgede belirtilen 1.Artış oranı 2013 yılı ile 2014 yılı arasındaki, 2.Artış oranı 2014-2015 yılları arasındaki, 3.Artış oranı 2015-2016 yılları arasındaki ve 4.Artış oranı 2016-2017 yılları arasındaki trafik değişimini ifade etmektedir. Yöntem kısmında da anlatıldığı şekilde EDYT sayıları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. Isparta ilinde seçilen yolların trafik analizi (devamı)

Çizelge 4.11. Konya iline ait seçilen yolların trafik analizi

Devlet Yolları YOGT Verileri	YOYT					Artış Oranı					n= yıl	tn	tp	D S	TEF	EDYT Sayısı		20 Yıllık EDYT Sayısı
	2013	2014	2015	2016	2017	1	2	3	4	Or						Wg	E	
KKNO / Dilim no / yol uz.																		
Taşıt																		
300-10 / 2 / 28																		
Otomobil	3921	4379	4870	5516	5939	1	1	1	1	1	1	7.406	6.645	0 0	0.0006	1.79		
Orta						0	1	1	1	1				0 0				
Yüklü																		
Ticari						8	1	0	4	1								
Taşıt	312	274	313	333	476	8	4	6	3	3	20	596	5334	5 9	0.60	144.1		
Otobüs	298	373	371	340	332	3	1	2	1	3	20	408	369	5 9	0.98	162.58		
						0	1	0	0	0				0 0				
Kamyon	1482	1383	1411	1342	1285	3	2	5	6	7	20	1.557	1.417	5 9	2.18	1.389		
Kam.+ Römork, Çekici + Y.Röm.						1	1	1	1	1								
														0 0				
						2	1	1	1	1								
	2150	2650	2959	3276	3874	3	2	1	8	6	20	4.879	4.357	5 9	3.15	6.176		
Toplam Taşıt	8.163	9.059	9.924	10.807	11.906	1	1	1	1	1	20					7.875		57484561

Çizelge 4.11. Konya iline ait seçilen yolların trafik analizi (devamı)

Devlet Yolları YOGT Verileri	YOGT						Artış Oranı					n= yıl	tn	tp	D S	TEF	EDYT Sayısı	20 Yıllık EDYT Sayısı
	2013	2014	2015	2016	2017		1	2	3	4	Or t							
KKNO / Dilim no /yol uz.							1	1	1	0	1							
Taşıt	5908	6581	9600	10169	9931		1	4	0	9	1	20	12.488	11.161	5	0.0006	3.01	
Otomobil							1	6	6	8	5							
Orta							1	1	0	1	1							
Yüklü							1	1	1	1	1							
Ticari							1	1	9	3	1							
Taşıt	508	588	669	649	880		6	4	7	6	6	20	1.107	989	5	0.60	267	
							1	1	0	1	1							
Otobüs	375	392	428	380	403		0	0	8	0	0							
							5	9	9	6	2	20	494	447	5	0.95	191	
Kamyon	1778	1677	1724	1458	1539		0	1	0	1	0							
							9	0	8	0	9							
Kam.+ Römork, Çekici + Y.Röm.	2390	2434	2589	2581	3554		4	3	5	6	7	20	1.866	1.697	5	2.18	1.665	
							1	1	1	1	1							
							0	0	0	3	1							
							2	6	0	8	1	20	4.436	3.979	5	3.35	5.997	
Toplam Taşıt	10.95 9	11.67 2	15.010	15.237	16.307		1	1	1	1	1	20					8.124	59304227

Çizelge 4.11. Konya iline ait seçilen yolların trafik analizi (devamı)

Devlet Yolları YOGT Verileri	YOGT						Artış Oranı					n= yıl	tn	tp	D S	TEF	EDYT Sayısı	20 Yıllık EDYT Sayısı
	2013	2014	2015	2016	2017		1	2	3	4	Or							
KKNO / Dilim no / yol uz.																		
695-04 / 0 / 15							1	1	1	1	1	1						
Taşıt							.	.	.	.	.	.						
Otomobil	604	681	1113	1197	1244		1	6	0	0	2	20	1.585	1.407.72	0 0	0.0006	0.38	
Orta							3	3	8	4	2							
Yüklü							1	1	1	1	1							
Ticari							.	.	.	.	.							
Taşıt	84	101	128	133	163		2	2	0	2	1	20	206	183.78	0 0	0.60	49.62	
							0	7	4	3	8							
Otobüs	11	14	19	19	18		1	1	1	0	1				0 0			
							.	.	.	.	.							
							2	3	0	9	1							
							7	6	0	5	4	20	23	20.21	.	0.90	8.19	
							1	1	1	0	1				5 9			
Kamyon	126	134	161	171	143		1	1	1	0	1				0 0			
							.	.	.	.	.							
Kam.+ Römork, Çekici + Y.Röm.	30	33	45	56	81		0	2	0	8	0	20	176	158.89	.	2.04	145.86	
							6	0	6	4	4				5 9			
							1	1	1	1	1							
							.	.	.	.	.				0 0			
							1	3	2	4	2				.			
							0	6	4	5	9	20	105	92.32	5 9	2.88	119.64	
Toplam Taşıt	855	963	1.466	1.576	1.649		1	1	1	1	1	20					324	2362920
							.	.	.	.	.							
							1	5	0	0	1							
							3	2	8	5	9							

Çizelge 4.11. Konya iline ait seçilen yolların trafik analizi (devamı)

Devlet Yolları YOĞT Verileri	YOĞT					Artış Oranı				tn	tp	D	S	TEF	EDYT Sayısı	20 Yıllık EDYT Sayısı
	2013	2014	2015	2016	2017	1	2	3	4							
KKNO / Dilim no / yol uz.	Taşıt									n= yıl					Wg	
715-05 / 1 / 25						1	1	1	1	1		0	0			
						.	.	.	.	.		.	.			
						0	1	1	0	0		.	.			
						1	6	4	7	9	20	5.766	5.183	0.0006	1,40	
Otomobil	3295	3301	3814	4329	4641											
Orta						0	1	1	1	1						
Yüklü						.	.	.	.	.		0	0			
Ticari						9	2	0	4	1		.	.			
Taşıt	252	244	308	334	476	7	6	8	3	9	20	602	537	0.60	144.92	
						0	1	1	1	1		0	0			
						.	.	.	.	.		.	.			
						9	2	0	0	0		.	.			
						4	2	0	1	4	20	157	142	0.90	57.60	
Otobüs	111	104	127	127	128	1	1	1	0	1						
						.	.	.	.	.		0	0			
						1	0	0	8	0		.	.			
						8	4	7	0	2	20	650	588	2.04	539.56	
Kamyon	505	596	620	662	530											
Kam.+ Römork, Çekici + Y.Röm.						1	1	1	1	1						
						.	.	.	.	.		0	0			
						1	3	0	0	1		.	.			
	304	357	467	508	526	7	1	9	4	5	20	661	591	2.88	766.06	
						1	1	1	1	1						
						.	.	.	.	.		.	.			
						0	1	1	0	0		.	.			
Toplam Taşıt	4.467	4.602	5.336	5.960	6.301	3	6	2	6	9	20				1.510	11019727

4.3 Malzeme Verilerinin Tanımlanması

Çalışmanın bu aşamasında analizi yapılacak yol kesimlerine ait modeller tanımlanmış, bu modellerdeki tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüklerinden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin MR ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait E^* değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.13'te Isparta-Burdur şehirleri arasındaki 650-11 karayolu kesim nolu karayolunun 5.dilimi olan 9 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modeli ile hem 4 Hz'lik hemde 10 Hz'lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.13. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait model bilgileri

Isparta	Burdur	Keçiözümlü kavşağı sonrası	KKNO	DİLİM NO	Yol uz.		
			650-11	5	9		
Trafiğe son aç. tarih		Aşınma	Performans	2015 64	-22		
Tabaka ve kalınlıkları		CBR	Mr (MPa)	Mr (Psi)	E*(MPa)	E*(psi)	f(Hz)
Aşınma		5 cm			9300.7	1348955.8	
Binder		7 cm			8646.2	1254025.1	
Bitümlü		10 cm			8750.8	1269192.7	4 Hz
Temel		20 cm					
Temel		166	288.6	41858	A-1-a		
Alttemel		20 cm					
Alttemel		150	274.3	39790	A-1-b		
Taban		100 cm					
		25	112.0	16244	A-7-5		
					9709.8	1408293.6	
					9026.4	1309174.5	
					9135.6	1325006.1	10 Hz

Bu yol kesiminde son tabaka olan aşınma tabakası 2015 yılında tamamlanarak yol hizmete açılmıştır.

Çizelge 4.14'te Isparta-Burdur karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan veriler gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda üstyapıda kullanılan BSK kaplama tabakaları için hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz ve 10 Hz lik yükleme için ayrı ayrı olarak aynı Çizelge 4.13'teki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir. Çizelge 4.15'te Isparta-Burdur karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan P_{ba} ve P_{be} verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz lik yükleme için aynı Çizelge 4.13'deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.14. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yolda E^* hesabı için gereken veriler

ρ_{200}	ρ_4	ρ_{38}	ρ_{34}	V_a	V_{beff}	$f(Hz)$	$\log(f)$	e	A	VTS
5,3	47,5	81,5	100	3,93	72,3	4	0,60206	2,7182818	10,98	-3,68
4,2	40,9	58,3	89,7	4,42	67	4	0,60206	2,7182818	10,98	-3,68
4,2	40,8	57,2	78	4,67	64,2	4	0,60206	2,7182818	10,98	-3,68
5,3	47,5	81,5	100	3,93	72,3	10	1	2,7182818	10,98	-3,68
4,2	40,9	58,3	89,7	4,42	67	10	1	2,7182818	10,98	-3,68
4,2	40,8	57,2	78	4,67	64,2	10	1	2,7182818	10,98	-3,68

Çizelge 4.16'da Isparta-Burdur şehirleri arasındaki 650-11 karayolu kesim nolu karayolunun 5.dilimi olan 9 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz'lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.15. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb Bitüm Yüz.	Ps Agrega Yüz.	Gb Bitüm Özgül Ağ.	Gse Kar. Efektif Özgül Ağ.	Gsb Kar. Hacim Özgül Ağ.	Bosluk yüzdesi	Kar. Pratik Birim Ağırlığı kgf/m3	Pba Agrega tar. absorbe edilen bitüm %	Pbe Efek. Binder oranı
4,8	95,2	1,031	2,701	2,682	3,93	2416	0,27	4,54
4,3	95,7	1,031	2,714	2,682	4,42	2418	0,45	3,87
4	96	1,031	2,694	2,675	4,67	2418	0,27	3,74

Çizelge 4.16. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Isparta	Burdur	Keçiborlu kavşağı sonrası				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcak lık	4 Hz
Aşınma	12058,1	29249,9	28009,4	8556,098	10 F	
Binder	11208,9	27827,9	26660,6	8331,524		
Bit. Temel	11344,3	27166,3	26033,9	8224,252		
Aşınma	11259,5	18362,8	17584,1	8070,113	40 F	
Binder	10466,7	17472,9	16740,0	7859,310		
Bit. Temel	10593,2	17058,9	16347,8	7758,166		
Aşınma	9300,7	10240,6	9806,3	6489,682	70 F	
Binder	8646,2	9746,3	9337,4	6320,425		
Bit. Temel	8750,8	9516,3	9119,6	6239,227		
Aşınma	6063,2	4667,4	4469,4	3771,017	100 F	
Binder	5637,0	4443,3	4256,9	3673,046		
Bit. Temel	5705,4	4339,1	4158,2	3626,063		
Aşınma	3051,3	1981,0	1897,0	1667,480	130 F	
Binder	2837,3	1886,4	1807,3	1624,412		
Bit. Temel	2871,8	1842,5	1765,7	1603,770		

Çizelge 4.17’de Isparta-Burdur şehirleri arasındaki 650-11 karayolu kesim nolu karayolunun 5.dilimi olan 9 km yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 10 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.17. Isparta-Burdur karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları

Isparta	Burdur	Keçiborlu kavşağı sonrası				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)		10 Hz
Aşınma	12059.6	29353.6	28108.7	8555.671	10 F	
Binder	11210.3	27926.5	26755.0	8332.091		
Bit. Temel	11345.7	27262.5	26126.1	8224.812		
Aşınma	11392.3	19406.1	18583.1	8187.064	40 F	
Binder	10590.1	18465.3	17690.7	7973.184		
Bit. Temel	10718.0	18027.6	17276.1	7870.562		
Aşınma	9709.8	11464.4	10978.2	6927.000	70 F	
Binder	9026.4	10910.6	10452.9	6746.253		
Bit. Temel	9135.6	10652.9	10208.9	6659.539		
Aşınma	6752.7	5573.2	5336.9	4481.887	100 F	
Binder	6277.9	5305.3	5082.8	4365.304		
Bit. Temel	6354.0	5180.7	4964.7	4309.388		
Aşınma	3708.7	2493.6	2387.8	2201.528	130 F	
Binder	3448.5	2374.4	2274.8	2144.553		
Bit. Temel	3490.3	2318.9	2222.3	2117.240		

Çizelge 4.18’de Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki 330-09 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 9 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modeli ile hem 4 Hz’lik hemde 10 Hz’lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme özellikleri gösterilmektedir. Altı tabakadan oluşan bu yol kesiminde son tabaka olan aşınma tabakası 2018 yılında tamamlanarak yol hizmete açılmıştır. Bu yol kesimine ait üstyapı modelinde tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile aşınma, binder ve bitümlü temeale ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin MR ile aşınma, binder ve bitümlü temeale ait E* değerleri hesaplanmıştır.

olarak aynı Çizelge 4.18'deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.20. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb	Ps	Gb	Gse	Gsb		Kar.	Pba	
Bitüm	Agrega	Bitüm	Kar.	Kar.		Pratik	Agrega	
Yüz.	Yüz.	Özgül	Efektif	Hacim	Bosluk	Birim	tar.	Pbe
		Ağ.	Özgül	Özgül	yüzdesi	Ağırlığı	absorbe	Efek.
			Ağ.	Ağ.		kgf/m ³	edilen	Binder
							bitüm	oranı
							%	
4.75	95.25	1.035	2.702	2.682	4	2417	0.2856	4.477923
4.3	95.7	1.037	2.714	2.697	4.82	2422	0.2408	4.069512
4.3	95.7	1.037	2.714	2.697	4.82	2422	0.2408	4.069512

Çizelge 4.21. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Isparta	Eğirdir	Doğa koleji önü				Sıcaklık	
	Georgouli	W 1-37A	W 1999	W 1996			
	E*(MPa)	E*(MPa)	E*(MPa)	E*(MPa)			
Aşınma	12097.8	29060.7	27830.1	8523.157			
Binder	11853.4	26706.4	25594.1	8145.807			
Bit. Temel	11399.9	26239.4	25153.6	8069.664	10 F		
Aşınma	11296.5	18243.9	17471.3	8039.997			
Binder	11068.6	16768.8	16070.4	7684.099	40 F		
Bit. Temel	10645.2	16477.1	15795.2	7612.331			
Aşınma	9331.3	10174.1	9743.3	6465.479			
Binder	9143.4	9353.6	8964.0	6179.462	70 F		
Bit. Temel	8793.8	9191.9	8811.5	6121.923			
Aşınma	6083.1	4637.0	4440.7	3756.974			
Binder	5961.3	4264.3	4086.7	3591.040	100 F		
Bit. Temel	5733.4	4191.2	4017.8	3557.858			
Aşınma	3061.3	1968.1	1884.7	1661.284			
Binder	3000.5	1810.5	1735.1	1588.087	130 F		
Bit. Temel	2885.9	1779.7	1706.1	1573.582			

Çizelge 4.20'de Isparta-Eğirdir karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E* değerinin hesaplanması için gerekli olan Pba ve Pbe verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz lik yükleme için aynı Çizelge

4.18'deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.21'de Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki 330-09 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 9 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz'lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.22. Isparta-Eğirdir karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E^* sonuçları

Isparta	Eğirdir	Doğa koleji önü				
	Georgouli $E^*(MPa)$	W 1-37A $E^*(MPa)$	W 1999 $E^*(MPa)$	W 1996 $E^*(MPa)$	Sıcaklık	10 Hz
Aşınma	12099.3	29163.7	27928.8	8523.737	10 F	
Binder	11855.0	26801.1	25684.8	8146.362		
Bit. Temel	11401.4	26332.4	25242.6	8070.214		
Aşınma	11429.7	19280.4	18464.0	8156.510	40 F	
Binder	11199.1	17721.2	16983.1	7795.439		
Bit. Temel	10770.6	17412.7	16692.1	7722.617		
Aşınma	9741.8	11390.0	10907.7	6901.160	70 F	
Binder	9545.5	10471.0	10034.8	6595.811		
Bit. Temel	9180.5	10289.7	9863.9	6534.339		
Aşınma	6774.8	5537.0	5302.5	4465.188	100 F	
Binder	6639.0	5091.6	4879.5	4267.875		
Bit. Temel	6385.2	5004.2	4797.1	4228.342		
Aşınma	3720.9	2477.3	2372.4	2193.342	130 F	
Binder	3646.8	2278.7	2183.8	2096.623		
Bit. Temel	3507.6	2240.0	2147.3	2077.397		

Çizelge 4.22'de Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki 330-09 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 9 km yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 10 Hz'lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir.

Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.23'te Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki 330-10 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 40 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modeli ile hem 4 Hz'lik hemde 10 Hz'lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme özellikleri gösterilmektedir. Beş tabakadan oluşan bu yol kesiminde son tabaka olan binder tabakası 2017 yılında tamamlanarak yol hizmete açılmıştır. Bu yol kesimine ait üstyapı modelinde tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin M_r değeri ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait E^* değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.24'te Eğirdir-Akşehir karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan veriler gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda üstyapıda kullanılan BSK kaplama tabakaları için hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz ve 10 Hz lik yükleme için ayrı ayrı olarak aynı Çizelge 4.23'deki gibi binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir. Çizelge 4.25'te Eğirdir-Akşehir karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan P_{ba} ve P_{be} verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz lik yükleme için aynı Çizelge 4.23'teki gibi binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.23: Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait model bilgileri

Eğirdir	Akşehir	Eğirdir Çıkışı	KKNO	DİLİM NO	Yol uz.	
			330-10	1	40	
Trafiğe son aç. tarih	Binder		2017 Mayıs			
			Performans	64	-22	
Tabaka kalınlıkları	CB R	Mr (MPa)	Mr (Psi)	E* (MPa)	E*(psi)	f(Hz)
Binder				9143.4	1326144.0	
Bitümlü						
Temel				8793.8	1275427.5	4 Hz
Temel						
Alttemel						
Taban						
		</				

Çizelge 4.24. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler

ρ_{200}	ρ_4	ρ_{38}	ρ_{34}	V_a	V_{beff}	f	$\log(f)$	e	A	VTs
4.7	43.4	57.5	90.5	4.82	65.5	4	0.60206	2.7182818	10.98	-3.68
4.1	41.8	54.7	78.2	5.02	62.3	4	0.60206	2.7182818	10.98	-3.68
4.7	43.4	57.5	90.5	4.82	65.5	10	1	2.7182818	10.98	-3.68
4.1	41.8	54.7	78.2	5.02	62.3	10	1	2.7182818	10.98	-3.68

Çizelge 4.23'te Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki 330-10 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 40 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz'lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın

sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.25. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb	Ps	Gb	Gse	Gsb		Kar.	Pba	
Bitüm	Agrega	Bitüm	Kar.	Kar.		Pratik	Agrega	
Yüz.	Yüz.	Özgül	Efektif	Hacim	Bosluk	Birim	tar.	Pbe Efek.
		Ağ.	Özgül	Özgül	yüzdesi	Ağırlığı	absorbe	Binder
			Ağ.	Ağ.		kgf/m ³	edilen	orani
							bitüm %	
4.3	95.7	1.037	2.714	2.697	4.82	2422	0.2408	4.069512
4.3	95.7	1.037	2.714	2.697	4.82	2422	0.2408	4.069512

Çizelge 4.26. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Eğirdir Akşehir		Eğirdir Çıkışı				
E*(MPa)	Georgouli	W 1-37A	W 1999	W 1996	Sıcaklık	4 Hz
Aşınma	11725.4	21951.4	35703.2	8523.157	10 F	
Binder	11488.7	20175.2	36604.6	8145.807		
Bit. Temel	11049.2	19823.5	36942.0	8069.664		
Aşınma	11296.5	18243.9	29673.1	8039.997	40 F	
Binder	11068.6	16768.8	30424.3	7684.099		
Bit. Temel	10645.2	16477.1	30705.8	7612.331		
Aşınma	9331.3	10174.1	16547.9	6465.479	70 F	
Binder	9143.4	9353.6	16970.6	6179.462		
Bit. Temel	8793.8	9191.9	17129.5	6121.923		
Aşınma	6083.1	4637.0	7541.9	3756.974	100 F	
Binder	5961.3	4264.3	7736.9	3591.040		
Bit. Temel	5733.4	4191.2	7810.5	3557.858		
Aşınma	3061.3	1968.1	3201.0	1661.284	130 F	
Binder	3000.5	1810.5	3284.8	1588.087		
Bit. Temel	2885.9	1779.7	3316.6	1573.582		

Çizelge 4.27’de Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki 330-10 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 40 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 10 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde

edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelge 4.26'da bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.27. Eğirdir-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E^* sonuçları

Eğirdir	Akşehir	Eğirdir Çıkışı				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	10 Hz
Binder	11488.7	20175.2	36604.6	8145.807	10 F	
Bit. Temel	11049.2	19823.5	36942.0	8069.664		
Aşınma	11296.5	18243.9	29673.1	8039.997	40 F	
Binder	11068.6	16768.8	30424.3	7684.099		
Bit. Temel	10645.2	16477.1	30705.8	7612.331	70 F	
Aşınma	9331.3	10174.1	16547.9	6465.479		
Binder	9143.4	9353.6	16970.6	6179.462		
Bit. Temel	8793.8	9191.9	17129.5	6121.923	100 F	
Aşınma	6083.1	4637.0	7541.9	3756.974		
Binder	5961.3	4264.3	7736.9	3591.040		
Bit. Temel	5733.4	4191.2	7810.5	3557.858	130 F	
Aşınma	3061.3	1968.1	3201.0	1661.284		
Binder	3000.5	1810.5	3284.8	1588.087		
Bit. Temel	2885.9	1779.7	3316.6	1573.582		

Çizelge 4.28'de Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki 695-04 karayolu kesim nolu karayolunun 0.dilimi olan 15 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modeli ile hem 4 Hz'lik hemde 10 Hz'lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme özellikleri gösterilmektedir. Beş tabakadan oluşan bu yol kesiminde son tabaka olan bitümlü temel tabakası 2005 yılında sathi kaplama üzerine uygulanarak yol hizmete açılmıştır. Bu yol kesimine ait üstyapı modelinde tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile bitümlü temele ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin MR ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait E^* değerleri hesaplanmıştır. Bu yol kesiminde mevcut sathi kaplama yazılımında 2 cm'lik BSK kaplama şeklinde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.28. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait model bilgileri

Akşehir	Yalvaç	Akşehir Çıkışı	KKNO	Dilim No	Yol uz.
			695-04	0	15
Trafiğe son aç. tarih		Bitümlü Temel		2005	
			Performans	64	-34
Tabaka kalınlıkları		CBR	Mr (MPa)	Mr (Psi)	E*(MPa) E* (psi) f(Hz)
Bitümlü temel	5 cm				7963.1 1154953
Bitümlü temel	2 cm				7963.1 1154953 4 Hz
Temel	20 cm	150	274.3	39790	A-1-b
Alttemel	20 cm	150	274.3	39790	A-1-b
Taban	100 cm	25	112.0	16244	A-7-5
					8472.3 1228802
					8472.3 1228802 10 Hz

Çizelge 4.29. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler

ρ_{200}	ρ_4	ρ_{38}	ρ_{34}	Va	Vbeff	f	log(f)	A	VTS
4.6	38.2	53.2	78.5	4.58	67.5	4	0.60206	9.461	-3.134
4.6	38.2	53.2	78.5	4.58	67.5	4	0.60206	9.461	-3.134
4.6	38.2	53.2	78.5	4.58	67.5	10	1	9.461	-3.134
4.6	38.2	53.2	78.5	4.58	67.5	10	1	9.461	-3.134

Çizelge 4.29’da Yalvaç-Akşehir karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E* değerinin hesaplanması için gerekli olan veriler gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda üstyapıda kullanılan BSK kaplama tabakaları için hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz ve 10 Hz lik yükleme için ayrı ayrı olarak aynı Çizelge 4.28’deki gibi bitümlü temel üzerine bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.30. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb Bitüm Yüz.	Ps Agrega Yüz.	Gb Bitüm Özgül Ağ.	Gse Kar. Efektif Özgül Ağ.	Gsb Kar. Hacim Özgül Ağ.	Bosluk yüzdesi	Kar. Pratik Birim Ağırlığı kgf/m ³	Pba Agrega tar. absorbe edilen bitüm %	Pbe Efek. Binder oranı
4.3	95.7	1.037	2.714	2.697	4.82	2422	0.2408	4.06951
4.3	95.7	1.037	2.714	2.697	4.82	2422	0.2408	4.06951

Çizelge 4.31. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Akşehir	Yalvaç	Akşehir Çıkışı				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	4 Hz
Aşınma					10 F	
Binder						
Bit. Temel	11237.2	20124.2	19281.6	8026.026		
Aşınma					40 F	
Binder						
Bit. Temel	10152.8	13348.3	12789.4	7229.716		
Aşınma					70 F	
Binder						
Bit. Temel	7963.1	7365.6	7057.2	5382.520		
Aşınma					100 F	
Binder						
Bit. Temel	5141.9	3618.5	3467.0	3087.208		
Aşınma					130 F	
Binder						
Bit. Temel	2772.7	1734.1	1661.5	1505.308		

Çizelge 4.30'da Yalvaç-Akşehir karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E* değerinin hesaplanması için gerekli olan Pba ve Pbe verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz'lik yükleme için aynı Çizelge 4.28'deki gibi bitümlü temel üzerine bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.31’de Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki 695-04 karayolu kesim nolu karayolunun 0.dilimi olan 15 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.32’de Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki 695-04 karayolu kesim nolu karayolunun 0.dilimi olan 15 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 10 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.32. Yalvaç-Akşehir karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E^* sonuçları

Akşehir	Yalvaç	Akşehir Çıkışı				10 Hz
	Georgouli	W 1-37A	W 1999	W 1996	Sıcaklık	
Aşınma					10 F	
Binder						
Bit. Temel	11306.5	20902.3	20027.1	8080.031		
Aşınma					40 F	
Binder						
Bit. Temel	10390.1	14472.6	13866.6	7463.978		
Aşınma					70 F	
Binder						
Bit. Temel	8472.3	8437.8	8084.4	5935.064		
Aşınma					100 F	
Binder						
Bit. Temel	5831.1	4377.0	4193.7	3768.302		
Aşınma					130 F	
Binder						
Bit. Temel	3392.9	2189.6	3847.6	1997.728		

Çizelge 4.33'te Akşehir-Konya şehirleri arasındaki 300-10 karayolu kesim nolu karayolunun 2.dilimi olan 28 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinde hem 4 Hz'lik hemde 10 Hz'lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme parametreleri gösterilmektedir. Altı tabakadan oluşan bu yol kesiminde son tabaka olan aşınma tabakası 2014 yılında tamamlanarak yol hizmete açılmıştır. Bu yol kesimine ait üstyapı modelinde tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile aşınma, binder ve bitümlü teme le ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin Mr değeri ile aşınma, binder ve bitümlü teme le ait E* değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.33. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait model bilgileri

Akşehir		Konya	Bozlağan kavşağı		KKNO	Dilim No	Yol uz.
		a			300-10	2	28
Trafığe son aç. tarih		Aşınma		2014			
				Performans	64	-34	
Tabaka kalınlıkları		CBR	Mr (MPa)	Mr (Psi)	E* (MPa)	E*(psi)	f(Hz)
Aşınma		5 cm PMB			8370.7	1214069	4 Hz
Binder		8 cm			7967.2	1155549	
Bitümlü		12 cm			7963.1	1154953	
Temel		25 cm	205	320.7	46516	A-1-a	
Temel		25 cm	205	320.7	46516	A-1-a	
Alttemel		100 cm	25	112.0	16244	A-4	
Taban					8906.1	1291719	10 Hz
					8476.7	1229443	
					8472.3	1228802	

Çizelge 4.34'te Akşehir-Konya karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E* değerinin hesaplanması için gerekli olan veriler gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda üstyapıda kullanılan BSK kaplama tabakaları için hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz ve 10 Hz'lik yükleme için ayrı ayrı

olarak aynı Çizelge 4.33'deki gibi binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir. Çizelge 4.35'te Akşehir-Konya karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan P_{ba} ve P_{be} verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz lik yükleme için aynı Çizelge 4.33'deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.34. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yolda E^* hesabı için gereken veriler

ρ_{200}	ρ_4	ρ_{38}	ρ_{34}	V_a	V_{beff}	f	$\log(f)$	A	VT_S
5.4	49.4	79.6	100	4.2	72.1	4	0.60206	9.461	-3.134
4.6	37.6	57.7	94.7	4.026	60	4	0.60206	9.461	-3.134
4.6	38.2	53.2	78.5	4.58	67.5	4	0.60206	9.461	-3.134
5.4	49.4	79.6	100	4.2	72.1	10	1	9.461	-3.134
4.6	37.6	57.7	94.7	4.026	60	10	1	9.461	-3.134
4.6	38.2	53.2	78.5	4.58	67.5	10	1	9.461	-3.134

Çizelge 4.35. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb Bitüm Yüz.	Ps Agregat Yüz.	Gb Bitüm Özgül Ağ.	Gse Kar. Efektif Özgül Ağ.	Gsb Kar. Hacim Özgül Ağ.	Bosluk yüzdesi	Kar. Pratik Birim Ağ. kgf/m ³	P_{ba} Agregat. absorbe edilen bitüm %	P_{be} Efek. Binder oranı
5.1	94.9	1.021	2.825	2.766	4.2	2480	0.7709	4.368401
4.7	95.3	1.033	2.82	2.799	4.5	2498	0.2748	4.438085
4.3	95.7	1.031	2.791	2.769	4.96	2478	0.2935	4.019127

Çizelge 4.36. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Akşehir Konya		Bozlağan kavşağı				
E*(MPa)	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	4 Hz
Aşınma	11813.5	20931.6	20047.2	8193.801	10 F	
Binder	11243.4	21698.4	20789.0	8355.577		
Bit. Temel	11237.2	20124.2	19281.6	8026.026		
Aşınma	10673.2	13880.9	13294.4	7380.569	40 F	
Binder	10158.3	14390.9	13787.7	7526.466		
Bit. Temel	10152.8	13348.3	12789.4	7229.716		
Aşınma	8370.7	7657.2	7333.6	5494.249	70 F	
Binder	7967.2	7939.6	7606.8	5603.230		
Bit. Temel	7963.1	7365.6	7057.2	5382.520		
Aşınma	5404.4	3760.4	3601.5	3150.663	100 F	
Binder	5144.3	3899.7	3736.3	3213.560		
Bit. Temel	5141.9	3618.5	3467.0	3087.208		
Aşınma	2913.8	1801.4	1725.3	1535.853	130 F	
Binder	2773.9	1868.5	1790.2	1566.767		
Bit. Temel	2772.7	1734.1	1661.5	1505.308		

Çizelge 4.36’da Akşehir-Konya şehirleri arasındaki 300-10 karayolu kesim nolu karayolunun 2.dilimi olan 28 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.37’de Akşehir-Konya şehirleri arasındaki 300-10 karayolu kesim nolu karayolunun 2.dilimi olan 28 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 10 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir.

Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.37. Akşehir-Konya karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E^* sonuçları

Akşehir	Konya	Bozlağan kavşağı				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)		10 Hz
Aşınma	11886.3	21741.3	20822.7	8248.955	10 F	
Binder	11312.7	22537.7	21593.1	8411.808		
Bit. Temel	11306.5	20902.3	20027.1	8080.031		
Aşınma	10922.7	15050.7	14414.8	7619.806	40 F	
Binder	10395.7	15603.3	14949.4	7770.376		
Bit. Temel	10390.1	14472.6	13866.6	7463.978		
Aşınma	8906.1	8772.4	8401.7	6058.475	70 F	
Binder	8476.7	9095.6	8714.4	6178.511		
Bit. Temel	8472.3	8437.8	8084.4	5935.064		
Aşınma	6129.0	4549.1	4356.9	3846.031	100 F	
Binder	5833.9	4717.4	4519.7	3922.634		
Bit. Temel	5831.1	4377.0	4193.7	3768.302		
Aşınma	3565.7	2274.9	2178.8	2038.471	130 F	
Binder	3394.3	2359.5	2260.6	2079.369		
Bit. Temel	3392.9	2189.6	2098.0	1997.728		

Çizelge 4.38’de Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki 300-11 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 20 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinde hem 4 Hz’lik hemde 10 Hz’lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme parametreleri gösterilmektedir. Altı tabakadan oluşan bu yol kesiminde son tabaka olan aşınma tabakası 2012 yılında tamamlanarak yol hizmete açılmıştır. Bu yol kesimine ait üstyapı modelinde tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin MR ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait E^* değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.38. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait model bilgileri

Kadınhanı	Konya	Ladik kavşağı sonrası	KKNO	Dilim No	Yol uz.
			300-11	3	20
Trafiğe son aç. tarih		Aşınma		2012	
			Performans	64	-34
Tabaka kalınlıkları		CBR	Mr (MPa)	Mr (Psi)	E* (MPa)
Aşınma	5 cm				E*(psi)
Binder	8 cm				f(Hz)
Bitümlü	12 cm				
Temel	25 cm				
Temel	25 cm	205	320,7	46516	A-1-a
Alttemel	25 cm	205	320,7	46516	A-1-a
Taban	100 cm	25	112,0	16244	A-4
					8640,2
					8426,5
					8285,7
					1253157
					1222160
					1201742
					10 Hz

Çizelge 4.39. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler

ρ_{200}	ρ_4	ρ_{38}	ρ_{34}	Va	Vbeff	f	log(f)	A	VTS
5,1	46,9	77,7	100	3,81	69	4	0,60206	9,461	-3,134
4,6	44,7	62,9	91,5	4,38	67	4	0,60206	9,461	-3,134
4,1	35,8	58,6	81,2	4,79	61	4	0,60206	9,461	-3,134
5,1	46,9	77,7	100	3,81	69	10	1	9,461	-3,134
4,6	44,7	62,9	91,5	4,38	67	10	1	9,461	-3,134
4,1	35,8	58,6	81,2	4,79	61	10	1	9,461	-3,134

Çizelge 4.39’da Kadınhanı-Konya karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E* değerinin hesaplanması için gerekli olan veriler gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda üstyapıda kullanılan BSK kaplama tabakaları için hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz ve 10 Hz’lik yükleme için ayrı ayrı olarak aynı Çizelge 4.38’deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan

aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir. Çizelge 4.40'da Kadınhanı-Konya karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan P_b ve P_{be} verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz lik yükleme için aynı Çizelge 4.38'deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.40. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb Bitüm Yüz.	Ps Agrega Yüz.	Gb Bitüm Özgül Ağ.	Gse Kar. Etkif Özgül Ağ.	Gsb Kar. Hacim Özgül Ağ.	Bosluk yüzdesi	Kar. Pratik Birim Ağ. kgf/m ³	Pba Agrega tar. absorbe edilen bitüm %	Pbe Efek. Binder oranı
4.85	95.15	1.035	2.813	2.773	4.14	2498	0.5307	4.3450
4.35	95.65	1.032	2.799	2.77	4.76	2488	0.3860	3.9807
4.5	95.5	1.034	2.636	2.588	5.4	2.338	0.7275	3.8052

Çizelge 4.41'de Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki 300-11 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 20 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz'lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.41. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Kadınhanı-Konya		Ladik kavşağı sonrası				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	4 Hz
Aşınma	11460.8	21940.3	21010.5	8406.673	10 F	
Binder	11176.8	20621.8	19756.3	8131.639		
Bit. Temel	10989.9	19919.2	19093.2	7974.449		
Aşınma	10354.6	14549.9	13933.3	7572.342	40 F	
Binder	10098.2	13677.0	13102.9	7324.688		
Bit. Temel	9929.4	13211.7	12663.9	7183.265		
Aşınma	8120.8	8026.2	7686.1	5637.072	70 F	
Binder	7920.0	7545.9	7229.2	5452.885		
Bit. Temel	7787.7	7289.8	6987.5	5347.956		
Aşınma	5243.1	3941.6	3774.6	3232.632	100 F	
Binder	5113.8	3706.4	3550.8	3127.197		
Bit. Temel	5028.5	3581.0	3432.5	3067.403		
Aşınma	2826.9	1888.3	1808.3	1575.853	130 F	
Binder	2757.4	1775.9	1701.4	1524.574		
Bit. Temel	2711.5	1716.0	1644.9	1495.664		

Çizelge 4.42. Kadınhanı-Konya karayolunda seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları

Kadınhanı Konya		Ladik kavşağı sonrası				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	10 Hz
Aşınma	11531.4	22789.0	21823.3	8463.257	10 F	
Binder	11245.7	21419.4	20520.3	8186.366		
Bit. Temel	11057.7	20689.4	19831.6	8028.106		
Aşınma	10596.6	15776.0	15107.5	7817.787	40 F	
Binder	10334.2	14829.3	14206.9	7562.079		
Bit. Temel	10161.4	14324.7	13730.7	7416.019		
Aşınma	8640.2	9195.1	8805.5	6215.942	70 F	
Binder	8426.5	8644.5	8281.7	6012.777		
Bit. Temel	8285.7	8351.0	8004.7	5896.945		
Aşınma	5946.1	4768.3	4566.3	3946.061	100 F	
Binder	5799.3	4483.6	4295.4	3817.275		
Bit. Temel	5702.5	4331.7	4152.1	3744.119		
Aşınma	3459.3	2384.6	2283.5	2091.539	130 F	
Binder	3374.2	2242.6	2148.4	2023.418		
Bit. Temel	3318.0	2166.8	2077.0	1984.922		

Çizelge 4.42’de Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki 300-11 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 20 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.43’te Konya-Çumra şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 25 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinde hem 4 Hz’lik hemde 10 Hz’lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme parametreleri gösterilmektedir.

Altı tabakadan oluşan bu yol kesiminde son tabaka olan aşınma tabakası 2015 yılında tamamlanarak yol hizmete açılmıştır. Bu yol kesimine ait üstyapı modelinde tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin MR ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait E^* değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.44’te Konya-Çumra karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan veriler gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda üstyapıda kullanılan BSK kaplama tabakaları için hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz ve 10 Hz’lik yükleme için ayrı ayrı olarak aynı Çizelge 4.38’deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.43. Konya-Çumra karayolunda seçilen yola ait model bilgileri

Konya	Çumra	İçeri Çumra girişi tahlil ambarı önü	KKNO	DİLİM NO	Yol uzunluğu
			715-05	1	25
Trafiğe son açıldığı tarih		Aşınma	Performans	2015	
				64	-34
Tabaka kalınlıkları		CBR	Mr (MPa)	Mr (Psi)	E* (MPa)
Aşınma	5 cm				8198.4
Binder	6 cm				7466.8
Bitümlü					
Temel	8 cm				7137.3
	20 cm	188	307.6	44617	A-1-a
Temel	20 cm	188	307.6	44617	A-1-a
Alttemel	100 cm	25	112.0	16244	A-4
Taban					8738.8
					8358.8
					8257.0
					1191265
					1139476
					1125597
					4 Hz
					10 Hz

Çizelge 4.44. Konya-Çumra karayolunda seçilen yolda E* hesabı için gereken veriler

ρ_{200}	ρ_4	ρ_{38}	ρ_{34}	Va	Vbeff	f	log(f)	A	VTS
5.4	48.4	82.6	100	3.56	74.7	4	0.60206	9.461	-3.134
4.5	42.8	61.4	91.1	4.46	68.1	4	0.60206	9.461	-3.134
4.1	38.6	54.8	81	4.93	63.7	4	0.60206	9.461	-3.134
5.4	48.4	82.6	100	3.56	74.7	10	1	9.461	-3.134
4.5	42.8	61.4	91.1	4.46	68.1	10	1	9.461	-3.134
4.1	38.6	54.8	81	4.93	63.7	10	1	9.461	-3.134

Çizelge 4.45'te Konya-Çumra karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E* değerinin hesaplanması için gerekli olan Pba ve Pbe verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz lik yükleme için aynı Çizelge

4.43'teki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.45. Konya-Çumra karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb Bitü m Yüz.	Ps Agrega Yüz.	Gb Bitüm Özgül Ağ.	Gse Kar. Efektif Özgül Ağ.	Gsb Kar. Hacim Özgül Ağ.	Bosluk yüzdesi	Kar. Pratik Birim Ağ. kgf/m3	Pba Agrega tar. absorbe edilen bitüm %	Pbe Efek. Binder oranı
4.9	95.1	1.033	2.693	2.666	4.04	2404	0.3885	4.5305 56
4.05	95.9 5	1.031	2.692	2.673	5.11	2404	0.2722	3.7887 94
4.05	95.9 5	1.031	2.692	2.673	5.11	2404	0.2722	3.7887 94

Çizelge 4.46. Konya-Çumra arasındaki seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Konya-Çumra		İçeri Çumra girişi tahıl ambarı önü				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	4 Hz
Aşınma	11591.7	22411.9	21455.4	8505.823	10 F	
Binder	11087.0	20405.6	19549.2	8084.723		
Bit. Temel	10951.6	19501.4	18692.0	7886.718		
Aşınma	10472.8	14862.4	14228.1	7661.634	40 F	
Binder	10017.0	13533.6	12965.7	7282.452		
Bit. Temel	9894.8	12935.0	12398.1	7104.209		
Aşınma	8213.5	8198.4	7848.5	5703.505	70 F	
Binder	7856.4	7466.8	7153.5	5421.494		
Bit. Temel	7760.7	7137.3	6841.1	5289.037		
Aşınma	5302.9	4026.1	3854.2	3270.687	100 F	
Binder	5072.8	3667.6	3513.7	3109.250		
Bit. Temel	5011.2	3506.2	3360.7	3033.542		
Aşınma	2859.0	1928.7	1846.4	1594.378	130 F	
Binder	2735.3	1757.4	1683.6	1515.859		
Bit. Temel	2702.2	1680.3	1610.5	1479.111		

Çizelge 4.46'da Konya-Çumra şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 25 km'lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz'lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde

edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.47. Konya-Çumra arasındaki seçilen yola ait 10 Hz için E^* sonuçları

Konya-Çumra		İçeri Çumra girişi tahıl ambarı önü				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	10 Hz
Aşınma	11663.2	23279.0	22285.4	8563.076	10 F	
Binder	11155.3	21194.7	20305.3	8139.133		
Bit. Temel	11019.1	20255.5	19414.8	7939.788		
Aşınma	10717.6	16115.0	15427.2	7909.978	40 F	
Binder	10251.1	14673.8	14058.0	7518.466		
Bit. Temel	10126.1	14024.5	13442.4	7334.411		
Aşınma	8738.8	9392.5	8991.6	6289.211	70 F	
Binder	8358.8	8554.0	8195.0	5978.144		
Bit. Temel	8257.0	8176.3	7836.9	5832.000		
Aşınma	6013.8	4870.5	4662.7	3992.533	100 F	
Binder	5752.8	4436.6	4250.4	3795.343		
Bit. Temel	5682.8	4241.2	4065.2	3702.817		
Aşınma	3498.6	2435.6	2331.7	2116.140	130 F	
Binder	3347.1	2219.1	2126.0	2011.833		
Bit. Temel	3306.6	2121.7	2033.6	1962.976		

Çizelge 4.47’de Konya-Çumra şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 25 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 10 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.48’de Çumra-Karaman şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 21 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinde hem 4 Hz’lik hemde 10 Hz’lik yükleme periyoduna göre hesaplanmış malzeme

parametreleri gösterilmektedir. Altı tabakadan oluşan bu yol kesiminde son tabaka olan aşınma tabakası 2015 yılında tamamlanarak yol hizmete açılmıştır. Bu yol kesimine ait üstyapı modelinde tabaka cinsi ve kalınlıkları, temel, alttemel ve taban zeminlerinin CBR değerleri ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait agrega gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı deney sonuçları KGM bölge müdürlüğünden temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak temel, alttemel ve taban zemininin Mr değeri ile aşınma, binder ve bitümlü temele ait E* değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.48. Çumra-Karaman karayolunda seçilen yola ait model bilgileri

Karaman	Çumra	Duru Bulgur önü	KKNO	Dilin No	Yol uz.
			715-06	3	21
Trafiğe son açıldığı tarih		Aşınma	2015		
			Performans	64	-40 f
Tabaka kalınlıkları		CBR	Mr (MPa)	Mr (Psi)	E*(MPa)
Aşınma	5 cm				E*(psi)
Binder	6 cm				
Bitümlü	8 cm				
Temel	20 cm	188.6	307.6	44617	7459.2
Temel	20 cm	188.6	307.6	44617	7309.4
Alttemel	100 cm	25	112.0	16244	7030.0
Taban					1019614
					A-1-a
					A-1-a
					A-7-5
					8063.0
					7901.0
					7598.9
					1169438
					1145940
					1102126
					10 Hz

Çizelge 4.49’da Çumra-Karaman karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E* değerinin hesaplanması için gerekli olan veriler gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda üstyapıda kullanılan BSK kaplama tabakaları için hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz ve 10 Hz’lik yükleme için ayrı ayrı olarak aynı Çizelge 4.49’daki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan

aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir. Çizelge 4.50’de Çumra-Karaman karayolu için yapılacak analizde kullanılacak malzeme özelliklerinden E^* değerinin hesaplanması için gerekli olan P_{ba} ve P_{be} verileri ile bu verilerin hesaplanması sırasında kullanılan malzeme parametreleri gösterilmektedir. Bu çizelgede en üstteki satırda hangi parametrelerin dikkate alındığı yazmakta alttaki satırlarda da bu parametrelere ait değerler verilmektedir. Bu veriler 4 Hz lik yükleme için aynı Çizelge 4.48’deki gibi aşınma, binder ve bitümlü temel olmak üzere yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.49. Karaman-Çumra karayolunda seçilen yolda E^* hesabı için gereken veriler

ρ_{200}	ρ_4	ρ_{38}	ρ_{34}	V_a	V_{beff}	f	$\log(f)$	A	VTS
5.4	48.4	82.6	100	3.56	74.7	4	0.60206	8.524	-2.798
4.5	42.8	61.4	91.1	4.46	68.1	4	0.60206	8.524	-2.798
4.1	38.6	54.8	81	4.93	63.7	4	0.60206	8.524	-2.798
5.4	48.4	82.6	100	3.56	74.7	10	1	8.524	-2.798
4.5	42.8	61.4	91.1	4.46	68.1	10	1	8.524	-2.798
4.1	38.6	54.8	81	4.93	63.7	10	1	8.524	-2.798

Çizelge 4.50. Çumra-Karaman karayolunda seçilen yola ait malzeme parametreleri

Pb Bitüm Yüz.	Ps Agrega Yüz.	Gb Bitüm Özgül Ağ.	Gse Kar. Efektif Özgül Ağ.	Gsb Kar. Hacim Özgül Ağ.	Bosluk yüzdesi	Kar. Pratik Birim Ağ. kgf/m ³	P_{ba} Agregat. absorbe edilen bitüm %	P_{be} Efek. Binder oranı
4.9	95.1	1.033	2.693	2.666	4.04	2404	0.3885	4.5305
4.05	95.9	1.031	2.692	2.673	5.11	2404	0.2722	3.7887
4.05	95.9	1.031	2.692	2.673	5.11	2404	0.2722	3.7887

Çizelge 4.51’de Çumra-Karaman şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 21 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E^* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E^* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E^* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E^* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.51. Çumra-Karaman arasındaki seçilen yola ait 4 Hz için E* sonuçları

Çumra-Karaman		Duru Bulgur önü				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	4 Hz
Aşınma	11290.3	18200.5	17429.8	8035.531	10 F	
Binder	11062.5	16729.0	16032.2	7679.831		
Bit. Temel	10639.3	16438.0	15757.7	7608.103		
Aşınma	9830.4	11591.6	11100.7	6885.897	40 F	
Binder	9632.4	10656.2	10212.4	6581.226		
Bit. Temel	9264.0	10471.7	10038.4	6519.891		
Aşınma	7459.2	6454.7	6181.4	4874.912	70 F	
Binder	7309.4	5935.1	5687.9	4659.437		
Bit. Temel	7030.0	5833.0	5591.7	4616.224		
Aşınma	4811.5	3348.1	3206.3	2804.411	100 F	
Binder	4715.5	3079.4	2951.1	2680.656		
Bit. Temel	4535.3	3026.8	2901.5	2655.988		
Aşınma	2711.0	1731.0	1657.7	1458.720	130 F	
Binder	2657.2	1592.5	1526.2	1394.472		
Bit. Temel	2555.8	1565.5	1500.7	1381.759		

Çizelge 4.52’de Çumra-Karaman şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 21 km’lik yol kesiminde geçerli bir karayolu üstyapısı modelinin 5 farklı sıcaklıktaki 4 Hz’lik yükleme periyodu kullanılarak 4(dört) farklı formüle göre hesaplanmış E* değerleri gösterilmektedir. 70 Fahrenheit sıcaklık değeri kullanılarak elde edilen değerler temel eğrisinden elde edilen değerlere en yakın değerleri vermektedir. Çizelgede bu sıcaklık için hesaplanan E* değerleri her 4 formülde de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca çizelgede görüldüğü üzere 4 formülde de düşük sıcaklıklarda E* modülü değerleri yüksekken sıcaklık arttıkça E* değerleri düşmektedir.

Çizelge 4.52. Çumra-Karaman arasındaki seçilen yola ait 10 Hz için E* sonuçları

Çumra-Karaman		Duru Bulgur önü				
	Georgouli E*(MPa)	W 1-37A E*(MPa)	W 1999 E*(MPa)	W 1996 E*(MPa)	Sıcaklık	10 Hz
Aşınma	11424.5	19239.4	18424.7	8153.079	10 F	
Binder	11193.9	17683.6	16947.0	7792.160		
Bit. Temel	10765.7	17375.7	16656.6	7719.369		
Aşınma	10177.0	12820.0	12277.1	7245.878	40 F	
Binder	9972.0	11785.0	11294.2	6925.231		
Bit. Temel	9590.5	11580.8	11101.5	6860.645		
Aşınma	8063.0	7514.9	7196.7	5521.932	70 F	
Binder	7901.0	6909.6	6621.9	5277.769		
Bit. Temel	7598.9	6790.6	6509.6	5228.735		
Aşınma	5533.8	4087.8	3914.7	3489.501	100 F	
Binder	5423.1	3759.4	3602.9	3335.414		
Bit. Temel	5215.9	3695.1	3542.2	3304.626		
Aşınma	3339.2	2192.7	2099.8	1945.057	130 F	
Binder	3272.9	2017.0	1933.0	1859.317		
Bit. Temel	3147.9	1982.7	1900.7	1842.296		

4.4 AASHTO Pavement ME Design yazılımı ile yapılan ön analiz sonuçları

Tez çalışmasının bu aşamasında AASHTO Pavement ME Design yazılımı ile ABD ulusal kalibrasyon verileri kullanılarak ön analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen değerler yapılan hata analizi ile sahadaki veriler ile karşılaştırılmış ve kalibrasyon katsayılarında buna göre düzenlemeler yapılmıştır. Aşağıdaki çizelgelerde yukarıda şimdiye kadar anlatılan her analiz bölgesinin kendine özgü değerleri kullanılarak yapılan ön analizler sonucunda çıktı verileri olarak bozulma değerleri verilmiştir. Çizelge 4.53'te Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki 330-09 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 9 km'lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır. Bu çizelgede kalıcı deformasyonlar milimetre cinsinden, yorulma değerleri metre / kilometre cinsinden yansıma çatlağı oluşumları ise yüzde cinsinden verilmiştir.

Çizelge 4.54'te Isparta-Burdur şehirleri arasındaki 650-11 karayolu kesim nolu karayolunun 5.dilimi olan 9 km'lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.53. Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalıcı Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Olusumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalıcı Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
16.37	2.22	54.17	3.28	0	0.19	67.15

Çizelge 4.54. Isparta-Burdur şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalıcı Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Olusumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalıcı Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
18.07	4.67	54.17	4.29	0	0.19	71.74

Çizelge 4.55'te Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki 330-10 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 40 km'lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.55. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalıcı Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Olusumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalıcı Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
16.98	19.04	54.17	2.7	0	0.19	137.64

Isparta ili ve çevresindeki 3 ayrı trafik hacmindeki yol için gerçekleştirilen ve Çizelge 4.53, Çizelge 4.54 ve Çizelge 4.55'te gösterilen ön analiz sonuçlarında trafik miktarı arttıkça toplam kalıcı deformasyonun ve Toplam Yorulmanın arttığı görülmüştür. Çizelge 4.55'te gerçekleştirilen analizde trafik miktarı daha az olmasına rağmen Çizelge 4.53'teki analizden daha fazla toplam kalıcı deformasyon ve toplam yorulma çıkmasının, bu modelde aşınma tabakası olmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Bu üç yol kesiminde de kompozit ya da beton yol olmadığı için yansima çatlağı oluşmamış ve Asfalt Yorulma Yansiması sıfır çıkmıştır. Bu üç yol kesiminde de aynı iklim özellikleri bulunduğu için Asfalt Termal Çatlak Oluşumu sonuçları aynı değerleri vermiştir. Bu üç yol kesimi için yorulma çatlağı oluşmaması ve iklim özelliklerinin aynı olması nedenleriyle, enine termal ve yansima çatlağı oluşumu değerleri aynı sonuçları vermiştir.

Asfalt kalıcı deformasyon oluşumu Çizelge 4.53 ve Çizelge 4.54 düşünüldüğünde trafik miktarının fazla olmasından dolayı Çizelge 4.54'teki asfalt kalıcı deformasyon değeri daha fazla çıkmıştır. Çizelge 4.55'te en düşük trafik miktarı olmasından dolayı en düşük asfalt kalıcı deformasyon değeri bu karayolu kesiminde çıkmıştır.

Bu üç yol kesimi için yapılan analizlerde asfalt kaplamada yüzeyden tabana doğru gerçekleşen yorulma değerleri için Çizelge 4.54 ve Çizelge 4.53 incelendiğinde trafik hacmi fazla olduğundan dolayı Çizelge 4.54'te daha fazla bozulmanın gerçekleştiği görülmektedir. Çizelge 4.55'te daha fazla bozulma oluşmasının nedeni ise bu modelde aşınma tabakası olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.56. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalici Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Oluşumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalici Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
28.72	89.67	63	7.16	0	0.56	499.5

Çizelge 4.56'da Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki 695-04 karayolu kesim nolu karayolunun 0. dilimi olan 15 km'lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır. Çizelge 4.56'da incelenen modelde alttemel ve temel üzerine sathi kaplama yapılmış yol üzerine 5 cm kalınlığında koruyucu bir tabaka olması mahiyetiyle serilen bir BSK tabaka bulunmaktadır. Sathi kaplama programda tanımlanamadığı için birkaç kat olarak serildiği düşünülen sathi kaplama 2 cm kalınlığında BSK olarak tanımlanmıştır. Buna benzer ülkemizde başka bölgelerde de karayolu uygulamaları olduğu göz önünde bulundurularak bu yol içinde bir analiz çalışması yapılmasının faydalı olacağı

öngörülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda bu yol ile aynı iklim özelliklerindeki Çizelge 4.57 ile karşılaştırma yapmanın daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Çizelge 4.57’de Akşehir-Konya şehirleri arasındaki 300-10 karayolu kesim nolu karayolunun 2.dilimi olan 28 km’lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.57. Akşehir-Konya şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalici Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Olusumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalici Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
19.4	29.48	54.17	6.72	0	0.19	72.59

Akşehir ili ve çevresindeki 2 ayrı trafik hacmindeki yol için gerçekleştirilen ve Çizelge 4.56 ve Çizelge 4.57’de gösterilen ön analiz sonuçları incelendiğinde ağır taşıt trafiği miktarı Çizelge 4.57’de yaklaşık 14 kat daha fazla olmasına rağmen bütün bozulma değerleri daha düşük çıkmıştır. Bu durum karayolu üstyapısında BSK tabakası kullanımının getirdiği katkıları göz önüne sermekte olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca bu iki yol kesiminde de kompozit ya da beton yol olmadığı için yansima çatlakları oluşmamış ve tabandan yüzeye asfalt yorulma yansiması sıfır çıkmıştır.

Çizelge 4.58. Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalici Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Olusumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalici Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
19.39	46.51	54.17	6.93	0	0.19	74.09

Çizelge 4.58’de Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki 300-11 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 20 km’lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.59’da Konya-Çumra şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 25 km’lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.59. Konya-Çumra şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalici Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Olusumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalici Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal Yorulma (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
17.98	2.55	54.17	4.64	0	0.19	89.11

Konya ili ve çevresindeki Akşehir dahil 3 ayrı trafik hacmindeki yol için gerçekleştirilen, Çizelge 4.57, Çizelge 4.58 ve Çizelge 4.59’da gösterilen ön analiz sonuçlarında trafik miktarı arttıkça toplam kalıcı deformasyonun, asfalttaki kalıcı deformasyonun ve toplam yorulmanın arttığı görülmüştür. Çizelge ee ve Çizelge ff arasında toplam kalıcı deformasyonun çok değişiklik göstermemesinin, ağır taşıt trafiği farkının çok az olmasından, trafik artarken deformasyonun azalmasının ise Akşehir için Isparta bölgesine daha yakın olan iklim istasyonunun tanımlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu üç yol kesiminde de kompozit ya da beton yol olmadığı için yansima çatlağı oluşmamış ve Asfalt Yorulma Yansiması sıfır çıkmıştır. Bu üç yol kesiminde de maksimum sıcaklık verisi aynı olduğundan Asfalt Termal Çatlak Oluşumu sonuçları aynı değerleri vermiştir. Bu üç yol kesimi için yorulma çatlağı oluşmaması ve iklim özelliklerinin benzer olması nedenleriyle, enine termal ve yansima çatlağı oluşumu değerleri aynı sonuçları vermiştir.

Toplam yorulma farkının Çizelge 4.59 de diğer yollara göre çok daha az çıkmasının nedeni olarak trafik miktarının Çizelge 4.57 ve Çizelge 4.58 ‘deki trafik miktarlarından çok daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan analizlerde asfalt kaplamada yüzeyden tabana doğru gerçekleşen yorulma değerleri için Çizelge 4.57 ve Çizelge 4.58 incelendiğinde trafik hacmi fazla olduğundan dolayı Çizelge 4.58 de daha fazla bozulmanın gerçekleşmesi beklenmiştir. Ancak Çizelge

4.59 'da daha fazla yüzeyden tabana asfalt yorulması meydana gelmiştir. Bunun nedeninin Çizelge gg'deki yol kesimi için hazırlanan üstyapı modelinde daha az BSK kalınlığı olmasından kaynakladığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.60'da Çumra-Karaman şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 21 km'lik yol kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.60. Çumra-Karaman şehirleri arasındaki karayolu kesimi için gerçekleştirilmiş ön analiz sonuçları

Top. Kalici Def. (mm)	Toplam Yorulma (m/km)	Enine çatlak Olusumu: termal + yansima (%)	Asfalt Kalici Def. (mm)	Asf.Yorulma Yansima tab. yüzeye (%)	Asfalt Termal (m/km)	Asfalt Yorulma yüzeyden tabana (m/km)
16.37	2.22	54.17	3.28	0	0.19	67.15

Çizelge 4.60 ile en uygun karşılaştırma yapılacak analiz sonuçları Çizelge 4.59'da verilmiştir. Bu iki yol kesimi modelleri ve kullanılan malzemeler ile ilgili olarak, minimum sıcaklıklarının ve trafik hacimlerinin farkı olması dışında aynı oldukları söylenebilir. Bu iki yol kesiminde de kompozit ya da beton yol olmadığı için yansima çatlak oluşmamış ve Asfalt Yorulma Yansiması sıfır çıkmıştır. Bu iki yol kesiminde de maksimum sıcaklık verisi aynı olduğundan Asfalt Termal Çatlak Oluşumu sonuçları aynı değerleri vermiştir. Diğer parametreler için ise Çizelge 4.59'da tanımlanan yolun trafiği daha az olduğu için deformasyonlarda daha az olarak bulunmuştur.

4.5 Hassasiyet Analizi

4.5.1 Kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi

Çalışmanın bu aşamasında MAKDM analizlerinde kullanılan kalibrasyon katsayılarının analiz üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla Kalibrasyon Katsayıları için Elastisite Analizi yapılmıştır. Her bölge için ayrı ayrı yapılan kalibrasyon katsayısı hassasiyet analizleri sonuçları aşağıdaki verilmiştir.

Çizelge 4.61. Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

Isparta Eğirdir						Değişim oranı	Elastisite Analizi	
2,6	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	2.62	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	2.53	0.034351	0.067888	0.162214
2	48	0.4	0.008	0.015	2.7	-0.03053	-0.05655	
3	40	0.32	0.008	0.015	2.62	0	0	0
4	40	0.48	0.008	0.015	2.62	0	0	
5	40	0.4	0.0064	0.015	2.61	0.003817	0.007312	0.009542
6	40	0.4	0.0096	0.015	2.62	0	0	
7	40	0.4	0.008	0.012	2.49	0.049618	0.099635	0.23855
8	40	0.4	0.008	0.018	2.74	-0.0458	-0.08358	

Çizelge 4.61’de düzgünsüzlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c4 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c2 katsayısı değişimi sonuçları etkilememektedir.

Çizelge 4.62’de düzgünsüzlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c4 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c2 katsayısı değişimi sonuçları etkilememektedir.

Çizelge 4.62. Isparta-Burdur şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

Isparta-Burdur						Değişim orani	Elastisite Analizi	
2,6	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	2.69	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	2.53	0.05948	0.117549	0.157993
2	48	0.4	0.008	0.015	2.7	-0.00372	-0.00688	
3	40	0.32	0.008	0.015	2.62	0.026022	0.049661	0
4	40	0.48	0.008	0.015	2.62	0.026022	0.049661	
5	40	0.4	0.0064	0.015	2.61	0.02974	0.056973	0.009294
6	40	0.4	0.0096	0.015	2.62	0.026022	0.049661	
7	40	0.4	0.008	0.012	2.49	0.074349	0.149296	0.232342
8	40	0.4	0.008	0.018	2.74	-0.01859	-0.03392	

Çizelge 4.63'te düzgünsüzlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c4 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c2 katsayısı değişimi sonuçları etkilememektedir.

Çizelge 4.63. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

Egirdir Akşehir						Değişim orani	Elastisite Analizi	
2,47	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	2.79	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	2.7	0.032258	0.059737	0.15233
2	48	0.4	0.008	0.015	2.87	-0.02867	-0.04995	
3	40	0.32	0.008	0.015	2.75	0.014337	0.026067	0.062724
4	40	0.48	0.008	0.015	2.82	-0.01075	-0.01907	
5	40	0.4	0.0064	0.015	2.78	0.003584	0.006446	0.008961
6	40	0.4	0.0096	0.015	2.79	0	0	
7	40	0.4	0.008	0.012	2.66	0.046595	0.087585	0.224014
8	40	0.4	0.008	0.018	2.91	-0.04301	-0.0739	

Çizelge 4.64'te düzgünsüzlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c1 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c3 katsayısı değişimi sonuçları en az etkileyen parametre olmuştur.

Çizelge 4.65'te düzgünsüzlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c4 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c3 katsayısı değişimi sonuçları en az etkileyen parametre olmuştur.

Çizelge 4.64. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

Yalvac Akşehir						Değişim orani	Elastisite Analizi	
3.1	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	3.71	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	3.57	0.037736	0.052851	1.268004
2	48	0.4	0.008	0.015	3.85	-0.46947	-0.6097	
3	40	0.32	0.008	0.015	3.56	-0.35878	-0.5039	0.28626
4	40	0.48	0.008	0.015	3.86	-0.47328	-0.61306	
5	40	0.4	0.0064	0.015	3.7	-0.41221	-0.55705	0.009542
6	40	0.4	0.0096	0.015	3.71	-0.41603	-0.56069	
7	40	0.4	0.008	0.012	3.59	-0.37023	-0.51564	0.219466
8	40	0.4	0.008	0.018	3.82	-0.45802	-0.5995	

Çizelge 4.65. Akşehir-Konya şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

Akşehir Konya						Değişim orani	Elastisite Analizi	
2.85	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	2.94	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	2.84	0.034014	0.059883	0.161565
2	48	0.4	0.008	0.015	3.03	-0.03061	-0.05052	
3	40	0.32	0.008	0.015	2.89	0.017007	0.029424	0.085034
4	40	0.48	0.008	0.015	2.99	-0.01701	-0.02844	
5	40	0.4	0.0064	0.015	2.93	0.003401	0.005804	0.008503
6	40	0.4	0.0096	0.015	2.94	0	0	
7	40	0.4	0.008	0.012	2.81	0.044218	0.078679	0.212585
8	40	0.4	0.008	0.018	3.06	-0.04082	-0.06669	

Çizelge 4.66'da düzgünsüzlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c4 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c3 katsayısı değişimi sonuçları en az etkileyen parametre olmuştur.

Çizelge 4.66. Akşehir-Konya şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

Kadinhane Konya						Değişim orani	Elastisite Analizi	
3	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	3.07	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	2.98	0.029316	0.049188	0.154723
2	48	0.4	0.008	0.015	3.17	-0.03257	-0.05138	
3	40	0.32	0.008	0.015	2.99	0.026059	0.043576	0.130293
4	40	0.48	0.008	0.015	3.15	-0.02606	-0.04136	
5	40	0.4	0.0064	0.015	3.07	0	0	0.008143
6	40	0.4	0.0096	0.015	3.08	-0.00326	-0.00529	
7	40	0.4	0.008	0.012	2.95	0.039088	0.066251	0.19544
8	40	0.4	0.008	0.018	3.19	-0.03909	-0.06127	

Çizelge 4.67’de düzgünlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c4 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c2 katsayısı değişimi sonuçları etkilemektedir.

Çizelge 4.67. Konya-Çumra şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

Konya-Çumra						Değişim orani	Elastisite Analizi	
2.7	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	2.66	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	2.56	0.037594	0.073426	0.178571
2	48	0.4	0.008	0.015	2.75	-0.03383	-0.06152	
3	40	0.32	0.008	0.015	2.66	0	0	0
4	40	0.48	0.008	0.015	2.66	0	0	
5	40	0.4	0.0064	0.015	2.65	0.003759	0.007093	0.009398
6	40	0.4	0.0096	0.015	2.66	0	0	
7	40	0.4	0.008	0.012	2.53	0.048872	0.096585	0.197368
8	40	0.4	0.008	0.018	2.74	-0.03008	-0.05488	

Çizelge 4.68’de düzgünlük analizi için kullanılan kalibrasyon katsayıları ile ilgili olarak değişim oranları ve Elastisite analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre c4 kalibrasyon katsayısı değişimden en fazla etkilenen katsayı olurken, c2 ve c3 katsayısı değişimi sonuçları aynı oranda etkilemektedir.

Çizelge 4.68. Konya-Çumra şehirleri arasındaki yol kesimi için yapılan kalibrasyon katsayılarının elastisite analizi sonuçları

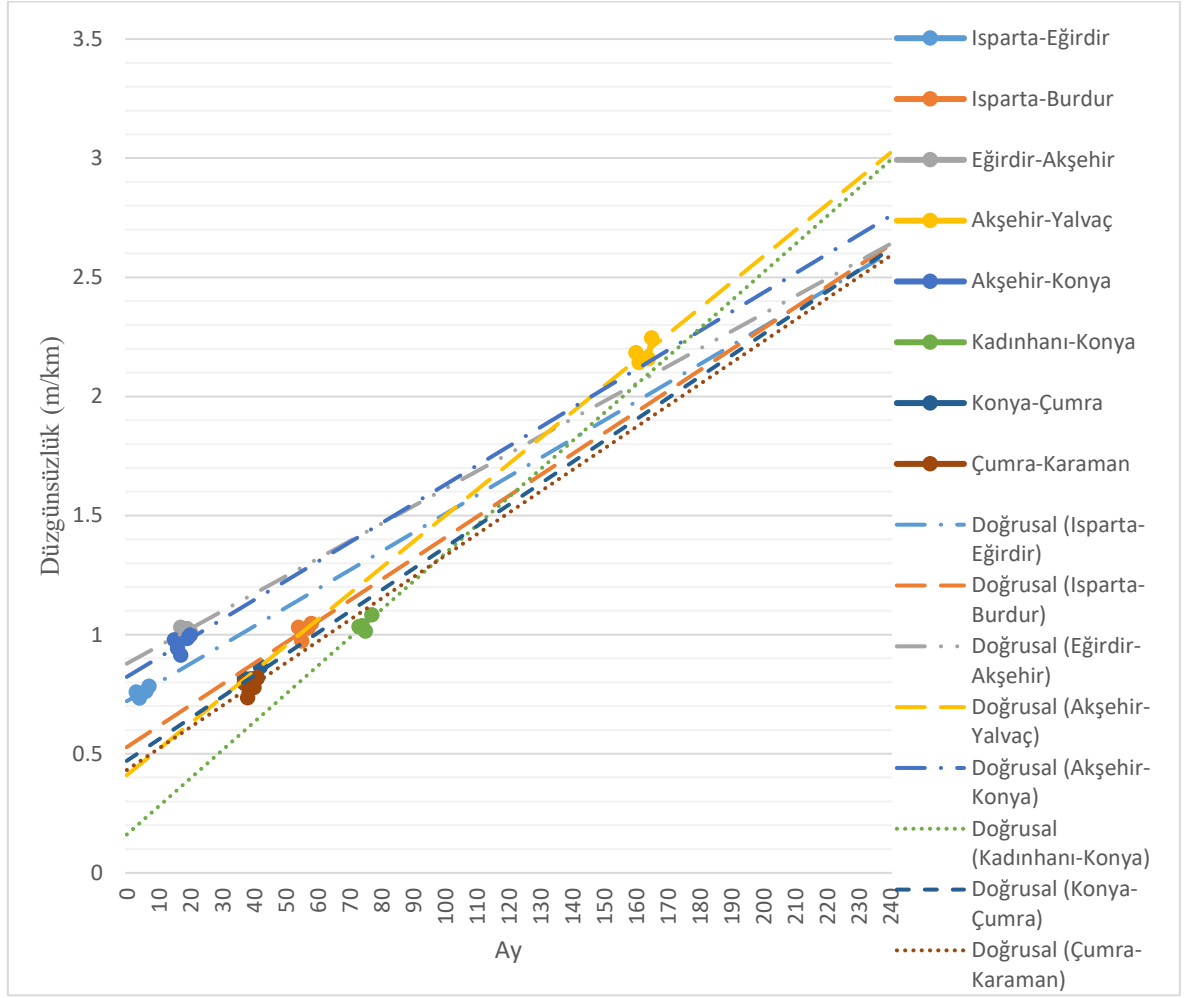
Cumra Karaman						Değişim oranı	Elastisite Analizi	
2.6	c1	c2	c3	c4	IRI			
Referans	40	0.4	0.008	0.015	2.66	0		
1	32	0.4	0.008	0.015	2.56	0.037594	0.073426	0.178571
2	48	0.4	0.008	0.015	2.75	-0.03383	-0.06152	
3	40	0.32	0.008	0.015	2.65	0.003759	0.007093	0.009398
4	40	0.48	0.008	0.015	2.66	0	0	
5	40	0.4	0.0064	0.015	2.65	0.003759	0.007093	0.009398
6	40	0.4	0.0096	0.015	2.66	0	0	
7	40	0.4	0.008	0.012	2.53	0.048872	0.096585	0.234962
8	40	0.4	0.008	0.018	2.78	-0.04511	-0.08114	

Bu çalışma sonunda Kalibrasyon katsayılarının düzgünlük verilerinin kalibrasyonunda ne derece önemli olduğu gösterilmiştir. Devamındaki çalışma arazideki sonuçlar ile analiz sonuçlarını birbirine yakınlaştıracak ve aradaki farkları minimize edecek kalibrasyon katsayılarının bulunması sürecini anlatmaktadır.

4.5.2 Kalibrasyon ve hata analizi

Düzgünlük MAKDM’da birçok bozulma türünü içeren bir bozulma türü olarak tanımlanmaktadır. KGM den hiçbir bozulma türü ile ilgili veri alamadığımız için araziden kendi ölçümlerimiz ile elde ettiğimiz verilerle analiz için belirlenen her karayolu kesimi için ayrı ayrı düzgünlük kalibrasyon katsayıları elde edilmiş, daha sonra da hepsini kapsayacak şekilde yeni kalibrasyon katsayıları belirlenmiştir. Bu sayede ülkemizde 30 şehri kapsayacak şekilde düzgünlük analizi için kalibrasyon katsayıları belirlenmiş oldu. Çalışmanın bu kısmında uygulanan işlemler adım adım aşağıda tanımlanmaktadır.

1.Adım: IRI formülündeki değişken ve sabit değerleri tanımlamak için seçilen yolların herbirine göre araziden elde edilen düzgünlük değerleri ile hata analizinde başlangıç verisi olarak kullanılmak üzere seçilmiş ABD’nin ulusal kalibrasyon verileri Çizelge 4.69’da verilmiştir. Şekil 4.1’de arazide ölçülen düzgünlük verileri 240 ay sonunda ulaşabileceği maksimum değerleri grafik halinde gösterilmiştir. Bu grafikte gidiş ve geliş olarak ölçülen 8 güzergahtaki 16 yol için regrasyon katsayısı yüksek olan 8 yol seçilmiş, aynı güzergahtaki regrasyon katsayısı düşük olan yollar dikkate alınmamıştır.



Şekil 4.1. Arazi düzgünsüzlük verisi çalışması

Çizelge 4.69. 8 ayrı yol kesimi için kalibrasyon katsayıları ile arazi düzgünsüzlük verileri

Ölçüm Yeri	Kalibrasyon Katsayıları				IRI arazi
	c1	c2	c3	c4	
1	40	0.4	0.008	0.015	2.6
2					2.47
3					2.63
4					3.1
5					2.85
6					3
7					2.7
8					2.6

2.Adım: Bu adımda araziden elde edilen IRI verileri sonuç değer olarak tanımlanıp, ABD'nin ulusal kalibrasyon katsayıları kullanılarak SPSS programında değişken tahminleri yapılmıştır. Herbir yol için ayrı ayrı yapılan bu işlem sonucunda, her yol için o yola özel değişkenler bulunmuş ve bu değişkenler ile hesaplanmış düzgünsüzlük verileri elde edilmiştir. Çizelge 4.70'te hem bu tahmin edilmiş değişkenler ve hesaplanan düzgünsüzlük değerleri hemde bulunan bu değerler ile araziden elde edilen değerler arasındaki farklar gösterilmektedir.

Çizelge 4.70. SPSS programından elde edilen değişkenler yapılan ön değerlendirme sonuçları

	IRI0	RD	FTc	TC	SF	IRI arazi	IRI analitik	Hata	
1	1.542	0.011	0.00001	3.13	41.67	2.6	2.632009	0.001025	0.1%
2	1.549	0.011	0.00001	3.13	41.67	2.47	2.639009	0.028564	2.9%
3	1.536	0.011	0.437	3.13	41.67	2.63	2.800805	0.029174	2.9%
4	1.658	0.018	1.875	3.13	38.33	3.1	3.727995	0.394378	39.4%
5	1.562	0.012	0.625	3.13	41.67	2.85	2.942005	0.008465	0.8%
6	1.572	0.012	1	3.13	40	3	3.077	0.005929	0.6%
7	1.627	0.012	0.00001	3.13	35	2.7	2.657004	0.001849	0.2%
8	1.506	0.012	0.063	3.13	41.67	2.6	2.661205	0.003746	0.4%
Ort.	1.569	0.012	0.5	3.13	40.21		2.892129	***	
Ortalama değerlere göre IRI analitik							2.87712	0.000225 27	0.023 %
***: Ayrı ayrı hesaplanmış düzgünsüzlük değerlerinin ortalaması ile ortalama veriler ile hesaplanmış düzgünsüzlük değeri arasındaki Hata oranı									

3.Adım: SPSS analizleri ile bulunan tahmini verilerin ortalamaları alınarak sekiz yolun tamamında kullanılabilecek tek bir değişken dizisi elde edilmiştir. Çizelge 4.71'de bu değişken dizisi ve yazılımdaki hazır kalibrasyon katsayıları kullanılarak bir düzgünsüzlük hesabı yapılmış ve elde edilen sonuçlar ile arazi verileri arasındaki farklar gösterilmiştir.

Çizelge 4.71. Ortalama değerler ile yapılan düzgünsüzlük analizi sonuçları.

Yol No	IRI0	RD	FTc	TC	SF	IRI	IRI analiz	Hata	
1	1.569	0.012	0.5	3.125	40.208	2.6	2.87712	0.076795	7.68%
2						2.47		0.165747	16.57%
3						2.63		0.061068	6.11%
4						3.1		0.049675	4.97%
5						2.85		0.000735	0.07%
6						3		0.015099	1.51%
7						2.7		0.031371	3.14%
8						2.6		0.076795	7.68%

4.Adım: Değişken dizisi sabit değerler olarak kullanılarak, her bir yolun IRI analitik hesap sonuçları ile arazi sonuçları arasındaki %1 hatayı kabul edecek şekilde kalibrasyon katsayıları belirlenmiş, ortalamaları değerleri bulunmuş ve Çizelge 4.72’de bu değerler gösterilmiştir. Çizelge 4.73’te ise Çizelge 4.72’de gösterilen değerlerin %1 hata ile kalibrasyon katsayılarının elde edildiği analitik hesap sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.72. Ortalama değerler ile yapılan düzgünsüzlük analizi sonuçları ile arazi verilerinin karşılaştırması

Yol No	IRI0	RD	FTc	TC	SF	IRI arazi	IRI analitik	Hata	
1	1.569	0.012	0.5	3.125	40.208	2.6	2.7	0.010000	1%
2						2.47	2.569998	0.010000	1%
3						2.63	2.729998	0.010000	1%
4						3.1	3.199995	0.009999	1%
5						2.85	2.750003	0.009999	1%
6						3	3.1	0.010000	1%
7						2.7	2.600003	0.009999	1%
8						2.6	2.500004	0.009999	1%

Çizelge 4.73. Ortalama değerler ile yapılan düzgünsüzlük analizi sonuçlarından elde edilen kalibrasyon katsayısı sonuçları.

Kalibrasyon Katsayısı	Analizi yapılan yol no								Ort	Sınır şartlar	Sonuç ol. Bulunan Kalibrasyon Katsayısı
	1	2	3	4	5	6	7	8			
c1	31.998	30	30	30.002	30.0082	30.0006	30.00133	30.00013	30.25128	30	30.251
c2	0.84649	0.8793	0.96271	0.20032	0.20474	0.20002	0.200196	0.200092	0.461732	0.2	0.4617
c3	0.03927	0.0001	0.03795	0.00201	0.02409	0.0001	0.000698	0.000615	0.013104	0.0001	0.0131
c4	0.005	0.005	0.005	0.02896	0.01599	0.02663	0.014144	0.011665	0.01405	0.005	0.0140

5.Adım: Bulunan kalibrasyon katsayılarının ortalamaları alınarak bu seçilen katsayılara görede sonuçlar yeniden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.74. Seçilen yolların tamamını temsine seçilen kalibrasyon katsayıları

Kalibrasyon Katsayıları	Analizi yapılan yol no							
	1	2	3	4	5	6	7	8
c1	30.25							
c2	0.46							
c3	0.013							
c4	0.014							

Bu adımda Çizelge 4.72’de bulunan kalibrasyon katsayılarının ortalamaları alınarak düzgünsüzlük analizi yapılacak yolların hepsi için geçerli Çizelge 4.74’te gösterilen kalibrasyon katsayıları seçilmiştir. Bu kalibrasyon katsayıları aynı zamanda tüm ülke için geçerli kalibrasyon katsayıları olarak kabul edilmiştir. Çizelge 4.75’te bu katsayılar kullanılarak elde edilen analitik sonuç ve bu sonuç ile arazi değerleri arasındaki farklar gösterilmektedir.

Çizelge 4.75. Seçilen kalibrasyon katsayıları kullanılarak elde edilen analitik çözüm ve bu sonucun anazi değerlerinden farkı.

Yol No	IRI0	RD	FTc	TC	SF	IRI	IRI analitik	Hata	
1	1.569	0.012	0.5	3.125	40.208	2.6	2.765537	0.027402	2.74%
2						2.47		0.087342	8.73%
3						2.63		0.018370	1.84%
4						3.1		0.111865	11.19%
5						2.85		0.007134	0.71%
6						3		0.054973	5.50%
7						2.7		0.004295	0.43%
8						2.6		0.027402	2.74%

6.Adım: Bulunan kalibrasyon katsayılarının ortalamaları alınarak seçilen katsayılara göre sonuçlar yeniden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.76. Seçilen kalibrasyon katsayıları ile AASHTO Pavement ME Design yazılımında yapılan analiz sonuçları.

Yol No	c1	c2	c3	c4	IRI	IRI son analiz	Hata	
1	30.25	0.46	0.013	0.014	2.6	2.49	0.012100	1.21%
2					2.47	2.55	0.006400	0.64%
3					2.63	2.68	0.002500	0.25%
4					3.1	3.62	0.270400	27.04%
5					2.85	2.83	0.000400	0.04%
6					3	2.99	0.000100	0.01%
7					2.7	2.52	0.032400	3.24%
8					2.6	2.52	0.006400	0.64%

Bu adımda Çizelge 4.76’da gösterilen ve tüm ülkeyi temsilen seçilen kalibrasyon katsayıları ile seçilen yollar için yeniden analiz yapılmış ve arazi verileri ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. 4 nolu yol olarak verilen Yalvaç-Akşehir yolu için analiz ve arazi verileri arasında %27.04’lük fark ortaya çıkmıştır. Diğer yollar için yapılan analizlerde en fazla %3.24’lük fark ortaya çıkmıştır.

7.Adım: Sonuç olarak IRI verileri için araziden ölçülen veriler ve analiz sonuçları arasında Çizelge 4.77’de görülen karşılaştırılma yapılmıştır.

Çizelge 4.77. Araziden ve analizlerden elde edilen IRI değerleri ve farkları

Ölçüm Yeri	Kalibrasyon Katsayıları				IRI arazi	IRI İlk analiz	IRI son analiz	A& İlk	İlk&Son	A&Son
	c1	c2	c3	c4				Hata 1	Hata 2	Hata 3
1	30.25	0.46	0.013	0.014	2.6	2.62	2.49	0.04%	1.69%	1.21%
2					2.47	2.69	2.55	4.84%	1.96%	0.64%
3					2.63	2.79	2.68	2.56%	1.21%	0.25%
4					3.1	3.71	3.62	37.21%	0.81%	27.04%
5					2.85	2.94	2.83	0.81%	1.21%	0.04%
6					3	3.07	2.99	0.49%	0.64%	0.01%
7					2.7	2.66	2.52	0.16%	1.96%	3.24%
8					2.6	2.66	2.52	0.36%	1.96%	0.64%
								46.47%	11.44%	33.07%

Bu sonuçlara göre arazi verileri ile hata analizi sonrası elde edilen kalibrasyon katsayılarının hassasiyet analizi sonrası elde edilen yeni analizlerle karşılaştırılmaları yapılmış olup, buna göre;

- 1- Arazi ölçümleri ile hazır kalibrasyon katsayıları kullanılarak yapılan ilk analizlerden elde edilen IRI verileri arasında %46.47'lik bir fark bulunmaktadır. Yalvaç-Akşehir arasındaki sathi kaplama üzeri BSK tabakasına ait hata payı olan %37.21'lük fark dikkate alınmadığı takdirde, toplam hata oranı %9.26'ya düşmektedir.
- 2- Seçilen kalibrasyon verileri kullanılarak yapılan analiz sonuçları ile arazi verileri arasında %33.07'lik bir fark ortaya çıkmış, Yalvaç-Akşehir arasındaki sathi kaplama üzeri BSK tabakasına ait hata payı olan %27.04'lük fark dikkate alınmadığı takdirde, toplam hata oranı %6.03'e düşmektedir.
- 3- İki karşılaştırma arasında seçilen kalibrasyon katsayıları ile yapılan analiz, ABD ulusal kalibrasyon katsayıları ile yapılan analize göre araziden elde edilen sonuçlara yaklaşık %35 oranında daha yakın sonuçlar vermiştir. Bu nedenle kalibrasyon faktörleri olarak ülkenin tamamını temsilen c1=30.25, c2=0.46, c3=0.013, c4=0.014 olarak seçilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında kalibrasyon analizi tamamlanmış ve hassasiyet analizlerine başlanmıştır.

4.5.3 Hassasiyet analizi yerel sonuçları

Çumra-Karaman yolu hassasiyet analizi için hazırlanmış artış miktarları örneği aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu tabloya göre baz değerlerin yüzde 20 eksiği ve yüzde 20 fazlası alınarak, herbir değişiklik için ayrı ayrı olmak üzere 30 adet minimum maksimum için 15 adette baz değerler için olmak üzere her bir hassasiyet analizinde değişken başına 3 adet analiz yapılmıştır. Buna göre Çumra-Karaman yolu için aşağıdaki Çizelge 4.78’de görülen 15 değişken bulunmaktadır, benzer şekilde altı tabakalı herbir yol için 45’er adet analiz yapılmıştır. Yalvaç- Akşehir yolu için 11 değişken bulunduğundan 33 analiz yapılmıştır.

Çizelge 4.78. Çumra-Karaman arasındaki karayolu için hassasiyet analizi değişkenleri ve değişme miktarları

Tabaka	Değişken	Minimum	Maksimum	Artış miktarı
	YOGKT	1166	1749	2
Aşınma	Kalınlık	40	60	2
	Binder	4	6	2
	Hava Boşluğu	3.232	4.848	2
Binder	Kalınlık	48	72	2
	Binder	4	6	2
	Hava Boşluğu	4.088	6.132	2
Bitümlü Temel	Kalınlık	64	96	2
	Binder	4	6	2
	Hava Boşluğu	4.088	6.132	2
Temel	Kalınlık	160	240	2
	EModülü	246.8	369.12	2
Alttemel	Kalınlık	160	240	2
	EModülü	246.8	369.12	2
Taban	Kalınlık	89.6	134.4	2

Çizelge 4.79’da Çumra-Karaman arasındaki karayolunun trafik yüklerine karşı hassasiyet analizi için kullanılacak değişkenler ve analiz sonuçları verilmiştir. Bu çizelgede Çumra-Karaman yolunda asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı, termal çatlak oluşumu ve toplam enine çatlak oluşumu bozulma türlerinin, YOGKT değerindeki değişimlere karşı hassasiyetinin olmadığı görülmektedir. Düzgünsüzlük parametresinin, trafik miktarındaki

değişimine karşı çok hassas olduğu görülmektedir. Toplam ve sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon değerleri ile tabandan yüzeye yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu ve yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumlarının YOGKT'deki değişime karşı aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.79. Çumra-Karaman arasındaki karayolunun YOGKT'ne hassasiyet derecesi örneği

Bozulma Türü	Hazır veriler	İki Yönlü Günlük Ortalama Kamyon Trafiği				
		1166	1457	1749	Δ	
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	2.7	2.5	2.52	2.53	1.2	ÇH
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	19	17.29	17.87	18.36	6.2	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	25	2.31	2.61	3.07	32.9	AH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	473.4	54.17	54.17	54.17	0.0	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	6	4.24	4.51	4.74	11.8	AH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	25	0	0	0	0.0	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	189.4	0.19	0.19	0.19	0.0	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	378.8	85.86	91.17	96.22	12.1	AH

Çizelge 4.80'de Çumra-Karaman arasındaki karayolunun kalınlık, boşluk ve bağlayıcı oranlarındaki değişimin bozulma türlerine göre yarattığı hassasiyet dereceleri gösterilmektedir. Bu çizelgeye göre Çumra-Karaman yolunda asfaltta toplam enine çatlak oluşumu, sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon, asfalt termal çatlak oluşumu ve tabandan yüzeye asfalttaki yorulma çatlağı oluşumu değerlerinin, aşınma tabakasındaki kalınlık, boşluk oranı ve bağlayıcı oranlarındaki değişimlerine karşı hassas olmadığı gösterilmektedir. Düzgünsüzlük parametresinin aşınma tabakasındaki kalınlık boşluk oranı ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı hassas olduğu görülmüştür. Toplam üstyapının

kalıcı deformasyonunun aşırma tabakasındaki kalınlık, boşluk oranı ve bağlayıcı oranlarındaki değişimlerine karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.80. Aşırma tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği

		1. Tabaka: Aşınma														
Bozulma Türü	Hazır veriler	Kalınlık (mm)				Bağlayıcı Oranı (%)				Boşluk Oranı (%)						
		40	50	60	Δ	40	50	60	Δ	40	50	60	Δ			
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	2.7	2.5	2.5	2.48	0.8	H	2.5	2.5	2.48	0.8	H	2.5	2.5	2.48	0.8	H
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	19	17.1	17.3	16.4	3.9	ÇH	17.1	17.3	16.4	3.9	ÇH	17.1	17	16.4	3.9	ÇH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	25	2.34	2.31	2.13	9.9	AH	2.34	2.31	2.13	9.9	AH	2.3	2.3	2.1	9.9	AH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	473.4	54.2	54.2	54.2	0.0	HD	54.2	54.2	54.2	0.0	HD	54	54	54	0.0	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	6	3.64	4.24	3.64	0.0	HD	3.64	4.24	3.64	0.0	HD	3.6	4.2	3.6	0.0	HD
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	25	0	0	0	0.0	HD	0	0	0	0.0	HD	0	0	0	0.0	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	189.4	0.19	0.19	0.19	0.0	HD	0.19	0.19	0.19	0.0	HD	0.2	0.2	0.2	0.0	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	378.8	94.3	85.7	76	24	AH	94.3	85.9	76	24	AH	94	86	76	24	AH

Asfaltta yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu ve asfaltta tabandan yüzeye yansıma etkisinde oluşan toplam yorulma çatlağı oluşumunun, aşınma tabakasındaki kalınlık, boşluk oranı ve bağlayıcı oranlarındaki değişimlerine karşı aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.81. Binder tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği

		2. Tabaka: Binder														
Bozulma Türü	Hazır veriler	Kalınlık (mm)				Bağlayıcı Oranı (%)				Boşluk Oranı (%)						
		48	60	72	Δ					4,09	5,11	6,13	Δ			
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	2.7	2.5	2.5	2.5	0.0	H	2.5	2.5	2.48	0.8	H	2.49	2.5	2.5	0.4	H
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	19	16.9	16.9	16.9	0.3	H	17	16.9	16.3	4.2	ÇH	16.8	17	17.2	2.2	ÇH
Asfaltta top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	25	2.31	2.31	2.32	0.4	H	2.35	2.31	2.27	3.4	ÇH	2.33	2.35	2.37	1.7	ÇH
Asfaltta toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	473.4	54.2	54.2	54	0.3	H	54.2	54.2	54.2	0.0	HD	54.2	54.2	54.2	0.0	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	6	3.52	3.53	3.55	0.9	H	3.16	3.52	3.26	3.2	ÇH	2.94	3.16	3.36	14	AH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	25	0	0	0	0.0	HD	0	0	0	0.0	HD	0	0	0	0.0	HD
Asfaltta termal çatlak oluşumu (m/km)	189.4	0.19	0.19	0.19	0.0	HD	0.19	0.19	0.19	0.0	HD	0.19	0.19	0.19	0.0	HD
Asfaltta yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	378.8	89.4	110	139	35.5	AH	98.4	89.4	79	24	AH	99.8	98.4	96.9	2.9	ÇH

Çizelge 4.81’de Çumra-Karaman arasındaki karayoluna ait binder tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı değişimlerinin bozulma türlerine göre üstyapıya etkisi gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre Çumra-Karaman yolundaki asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu ile asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türlerinin binder tabakasındaki kalınlık, boşluk oranı ve bağlayıcı oranında oluşan değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir. Düzgünsüzlük oluşumunun binder tabakasına ait kalınlık, boşluk oranı ve bağlayıcı oranlarındaki değişimine karşı hassas olduğu da görülmektedir. Üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon, asfaltta oluşan kalıcı deformasyon, toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu ve toplam enine çatlak oluşumu bozulma türlerinin binder tabakasına ait kalınlığın değişimine karşı hassas olduğu görülmektedir. Ayrıca asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumunun binder tabakasında kalınlık ve bağlayıcı oranı değişimlerine karşı aşırı hassas olduğu görülmektedir. Çizelge 4.81’de toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün binder tabakasına ait bağlayıcı oranı ve boşluk değişimlerine karşı hassas olmadığı görülmektedir. Toplam kalıcı deformasyon oluşumu ile asfaltta tabandan yüzeye yansıma dahil oluşan toplam yorulma çatlağı oluşumunun, binder tabakasındaki bağlayıcı oranı ve boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu görülmektedir. Sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon oluşumunun bağlayıcı oranındaki değişime karşı çok hassas olduğu, yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumunun ise bağlayıcı oranı değişimine karşı aşırı hassas olduğu görülmektedir. Çizelge 4.81’de ayrıca sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon oluşumunun bağlayıcı oranındaki değişime karşı aşırı hassas olduğu, yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumunun ise bağlayıcı oranı değişimine karşı çok hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.82’de Çumra-Karaman arasındaki karayoluna ait bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, boşluk oranı ve bağlayıcı oranı değişimlerinin bozulma türlerine göre üstyapıya etkisi gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre Çumra-Karaman yolundaki asfaltta toplam enine çatlak oluşumu ile asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumlarının bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı görülmektedir. Bununla beraber sadece asfaltta kalıcı deformasyon oluşumunun bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu görülmektedir.

etkilediği gösterilmektedir. Düzgünsüzlük, toplam kalıcı deformasyon ve asfaltta termal çatlak oluşumları ile asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlak oluşumunun, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimine karşı hassas olduğu, toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlak oluşumunun ise bağlayıcı oranı değişimine karşı aşırı hassas olduğu görülmektedir. Çizelge 4.82’de asfaltta termal çatlak ve asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlak oluşumu bozulma türlerinin bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimine karşı hassas olmadığı, toplam üstyapıda kalıcı deformasyon oluşumunun ise boşluk oranı değişimine karşı hassas olduğu gösterilmektedir. Düzgünsüzlük değerinin bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranına karşı çok hassas olduğu, toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlak oluşumunun ise boşluk oranında oluşan değişikliklerde aşırı etkilendiği yapılan analizler sonucu gözlenmiştir.

Çizelge 4.83’te Çumra-Karaman arasındaki karayoluna ait temel tabakasındaki kalınlık ve MR değişimlerinin bozulma türlerine göre üstyapıya etkisi gösterilmiştir. Bu çizelge de toplam enine çatlak, asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlak ve asfaltta termal çatlak oluşumlarının, temel tabakasındaki kalınlık ve MR değerlerindeki değişime karşı hassas olmadığı, düzgünsüzlük değerinin ise bu değişime karşı hassas olduğu, sadece asfalttaki kalıcı deformasyon değerinin bu değişimlere karşı çok hassas olduğu, asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlak oluşumunun ise bu değişimlere karşı aşırı hassas olduğu gösterilmektedir. Bununla beraber toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlak oluşumu bozulma türünün temel tabakasındaki kalınlık değişimine karşı çok hassas olduğu, MR değişimine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir. Ayrıca toplam kalıcı deformasyon oluşumunun temel tabakasındaki kalınlık değişimine karşı aşırı hassas olduğu, MR değişimine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.83. Temel tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği

Bozulma Türü	4. Tabaka: Temel										
	Hazır veriler	Kalınlık (mm)				Esneklik Modülü (Mr)					
		160	200	240	Δ	246,8	307,96	369,12	Δ		
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	2,7	2,51	2,5	2,49	0,8	H	2,52	2,51	2,51	0,4	H
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	19	17,72	17,17	16,7	6,0	AH	17,95	17,72	17,55	2,3	Ç
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	25	2,33	2,28	2,25	3,6	Ç	2,6	2,33	2,2	18	AH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	473,4	54,17	54,17	54,2	0,0	HD	54,17	54,17	54,17	0,0	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	6	2,74	2,75	2,81	2,6	Ç	2,69	2,74	2,78	3,3	Ç
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	25	0	0	0	0,0	HD	0	0	0	0,0	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	189,4	0,19	0,19	0,19	0,0	HD	0,19	0,19	0,19	0,0	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	378,8	108,8	113,6	120	10,6	AH	150,28	107,79	86,61	73,5	AH

Çizelge 4.84’te Çumra-Karaman arasındaki karayoluna ait alttemel tabakasındaki kalınlık ve Esneklik Modülü değişimlerinin bozulma türlerine göre üstyapıya etkisi gösterilmiştir. Bu çizelge de toplam enine çatlak, asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı

ve asfaltta termal çatlak oluşumlarının, alttemel tabakasındaki kalınlık ve MR değerlerindeki değişime karşı hassas olmadığı, toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı ve asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumlarının ise alttemel tabakasındaki kalınlık ve MR değerlerindeki değişime karşı aşırı hassas olduğu gösterilmektedir. Bununla beraber Düzgünsüzlük değeri MR’de oluşan değişimlere karşı hassasken, kalınlıktaki değişimlere karşı ise çok hassas sonuçlar verdiği Çizelge 4.84’te gösterilmektedir. Ayrıca bu çizelge de toplam ve sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon değerlerinin MR’deki değişimlere karşı çok hassas, kalınlıktaki değişimlere karşı ise aşırı hassas sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 4.84. Alttemel tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği

Bozulma Türü	Hazır veriler	Layer 5 Alttemel									
		Kalınlık (mm)					Esneklik Modülü (Mr)				
		160	200	240	Δ		246,8	307,96	369,12	Δ	
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	2,7	2,54	2,52	2,51	1,2	ÇH	2,55	2,54	2,53	0,8	H
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	19	18,6	17,95	17,33	7,3	AH	18,95	18,6	18,3	3,6	ÇH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	25	2,84	2,6	2,45	15,9	AH	3,06	2,64	2,69	13,8	AH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	473,4	54,17	54,17	54,17	0,0	HD	54,17	54,17	54,17	0,0	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	6	2,62	2,69	2,75	5,01	AH	2,6	2,62	2,64	1,5	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	25	0	0	0	0,0	HD	0	0	0	0,0	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	189,4	0,19	0,19	0,19	0,0	HD	0,19	0,19	0,19	0,0	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	378,8	171,77	150,28	136,8	20,4	AH	197,55	171,77	153,49	28,7	AH

Çizelge 4.85. Taban zemini tabakasının bozulma türlerine göre hassasiyet derecesi örneği

		Tabaka 6: Taban zemini				
		Esneklik Modülü (Mr)				
Bozulma Türü	Hazır veriler	89,6	112	134,4	Δ	
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	2,7	2,61	2,55	2,51	4,0	Ç
Kalıcı deformasyon - toplam üstyapı (mm)	19	21,42	18,95	17,19	24,6	A
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye + yansıma (% alan)	25	3,28	3,06	2,92	12,3	A
Asfalt toplam enine çatlak oluşumu: termal + yansıma (m/km)	473,4	54,17	54,17	54,17	0,0	H
Kalıcı deformasyon - Sadece asfalt (mm)	6	2,55	2,6	2,64	3,5	Ç
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	25	0	0	0	0,0	H
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	189,4	0,19	0,19	0,19	0,0	D
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	378,8	136,03	197,55	257,11	89,0	A

Çizelge 4.85'te Çumra-Karaman arasındaki karayoluna ait taban zemini tabakasındaki MR değişimlerinin bozulma türlerine göre üstyapıya etkisi gösterilmiştir. Bu çizelge de toplam enine çatlak, asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı ve asfaltta termal çatlak oluşumlarının, taban zemini tabakasının MR değerlerindeki değişime karşı hassas olmadığı, düzgünsüzlük ve sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türlerinin taban zeminindeki MR değişimlerine karşı çok hassas davranış sergilediği, toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı ve asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı ve üstyapıdaki toplam kalıcı deformasyon oluşumu bozulma türlerinin taban zeminindeki MR değişimlerine karşı aşırı hassas davranış sergilediği gösterilmektedir.

Çalışmanın bu aşamasında hassasiyet analizi değerlendirmesinin nasıl yapıldığı, Çumra-Karaman karayolu örneği üzerinden gösterilmiştir. Bir sonraki aşamada diğer yollarda aynı şekilde değerlendirilip sadece sonuçları toplu olarak verilmiştir.

4.5.4 Hassasiyet analizi toplu sonuçları

Çalışmanın bu son aşamasında, analizleri yapılan bütün yollar ile ilgili toplu olarak hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir.

4.5.4.1 Isparta-Burdur yolu

Çizelge 4.86. Isparta-Burdur arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağlayıcı Or.	Boşluk Or.	Kalınlık	Bağ.Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	ÇH	H	HD	H	H	HD
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	ÇH	AH	ÇH	H	ÇH	ÇH	H
Asfalt top. yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye+ yansıma (%)	AH	AH	ÇH	H	AH	ÇH	ÇH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	HD	ÇH	H	AH	AH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı ol. (m/km)	AH	AH	ÇH	AH	AH	H	H

Çizelge 4.86’da Isparta-Burdur şehirleri arasındaki 650-11 karayolu kesim nolu karayolunun 5.dilimi olan 9 km’lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT ile aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı, binder tabakasında da kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.86’da üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ile aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı, binder tabakasinda da kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.86’da üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı, binder tabakasinda da bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.86’da üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.86’da sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ile aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı, binder tabakasinda da boşluk oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.86’da asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.86’da asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.87. Isparta-Burdur arasında seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Bitümlü Temel			Temel		Alttemel		Taban
	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	ÇH	ÇH	HD	H	H	H	H	ÇH
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	ÇH	H	H	ÇH	H	ÇH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tab. yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH
Asfalt top. enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	ÇH	HD	HD	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	HD	H	HD	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	H
Asfalt yorulma çatlağı ol.: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	AH	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı ol. (m/km)	AH	ÇH	ÇH	AH	AH	H	AH	AH

Çizelge 4.86’da asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.87’de Isparta-Burdur şehirleri seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı ile taban zemininin kalınlığındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.87’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı ile temel tabakasındaki MR değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık değerleri ile alttemel tabakasının MR değişimlerine karşı çok hassas olduğu, taban zemininin kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.87’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel tabakasındaki kalınlık ve MR, alttemel tabakasındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.87’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları, temel ve alttemel tabakalarındaki MR değerleri ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.87’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, bitümlü temel bağlayıcı oranı ile taban zemini kalınlığındaki değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.87’de tabandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel tabakasındaki

kalınlık ve MR, alttemel tabakasındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.87’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel tabakasındaki kalınlık ve MR, alttemel tabakasındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.87’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, alttemel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık ile temel ve alttemel MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

4.5.4.2 Isparta-Eğirdir yolu

Çizelge 4.88’de Isparta-Eğirdir şehirleri arasındaki 330-09 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 9 km’lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı ile binder tabakasındaki bağlayıcılık oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT ile aşınma tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlere karşı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.88’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasının kalınlık ve bağlayıcı oranı ile binder tabakasının bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.88’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı

değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma ve binder tabakalarındaki bağlayıcı oranı değişimlere karşı hassas olduğu, aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.88. Isparta-Eğirdir arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	H	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	AH	ÇH	ÇH	HD	AH	ÇH	HD
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	AH	ÇH	H	HD	ÇH	H	HD
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	AH	AH	ÇH	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	AH	HD	ÇH	H	ÇH	AH	HD
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	AH	AH	AH	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	ÇH	AH	AH	AH	AH	H	HD

Çizelge 4.88’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları değişimlerine karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu, aşınma tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları değişimlerine karşı aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.88’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık ile binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile binder tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.88’de asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.88’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ve aşınma tabakasındaki kalınlık ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.88’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT değişimlerine karşı çok hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.88’de Isparta-Burdur şehirleri seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.89. Isparta-Eğirdir arasında seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Bitümlü Temel			Temel		Alttemel		Taban
	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	ÇH	AH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	AH	H	H	ÇH	ÇH	AH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tab. yüzeye+yansıma (%)	ÇH	AH	AH	ÇH	AH	AH	ÇH	AH
Asfalt top. enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	AH	HD	HD	ÇH	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon - Sadece asfalt (mm)	AH	ÇH	HD	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı ol.: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	AH	HD	HD	AH	HD	H	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı ol. (m/km)	AH	ÇH	HD	AH	AH	AH	AH	AH

Çizelge 4.89’da üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve temel tabakasının MR değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel, alttemel ve taban zemini kalınlılıklarındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.89’da üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, temel tabakasındaki kalınlık ve alttemel tabakasındaki MR değişimlere karşı ise çok hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı, temel tabakasındaki MR ile alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.89’da üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, alttemel tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olduğu, temel tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.89’da sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, bitümlü temel bağlayıcı oranı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini kalınlığındaki değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel kalınlığındaki değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.89’da tabandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.89’da asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, alttemel tabakasındaki kalınlık değişimine karşı hassas olduğu, bitümlü temel ve temel tabakalarındaki kalınlık değişimine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.89’da asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, bağlayıcı oranı değişimlerine çok hassas olduğu, bitümlü temel, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık ile temel ve alttemel MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

4.5.4.3 Eğirdir-Akşehir Yolu

Çizelge 4.90’da Eğirdir-Akşehir şehirleri arasındaki 330-10 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 40 km’lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.90’da üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasının bağlayıcı oranı ile binder tabakasının kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.90’da üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma ve binder tabakalarındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.90’da üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.90’da sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.90. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	ÇH	H	HD	H	H	HD
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	ÇH	AH	ÇH	H	ÇH	ÇH	H
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+ yansıma (%)	AH	AH	ÇH	H	AH	ÇH	ÇH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	HD	ÇH	H	AH	AH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	ÇH	AH	ÇH	AH	AH	H	H

Çizelge 4.90’da asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.90’da asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ve aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.90’da asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.91. Eğirdir-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Temel		Alttemel		Taban
	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	H	H	H	ÇH
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	ÇH	H	ÇH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	AH	AH	AH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	H
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	AH	AH	H	AH	AH

Çizelge 4.91’de Eğirdir-Akşehir şehirleri seçilen yol kesiminin Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede

Düzgünsüzlük parametresinin, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerine karşı hassas olduğu, taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.91’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, temel tabakasının MR değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve alttemel tabakasındaki MR değerlerindeki değişimlere karşı çok hassas olduğu, taban zemini kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.91’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık ile temel ve alttemel tabakalarındaki MR değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.91’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, alttemel ve temel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.91’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olduğu, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değerlerindeki değişimlere karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.91’de tabandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.91’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.91’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, alttemel kalınlık değerindeki değişimlere karşı hassas olduğu, temel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık ile temel ve alttemel MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

4.5.4.4 Yalvaç-Akşehir Yolu

Çizelge 4.92’de Yalvaç-Akşehir şehirleri arasındaki 695-04 karayolu kesim nolu karayolunun 0.dilimi olan 15 km’lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.92’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasının bağlayıcı oranı ile binder tabakasının kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.92’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma ve binder tabakalarındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.92’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.92. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	ÇH	H	HD	H	H	HD
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	ÇH	AH	ÇH	H	ÇH	ÇH	H
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	ÇH	H	AH	ÇH	ÇH
Asfalt toplam enine çatlak oluşumu: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	HD	ÇH	H	AH	AH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	ÇH	AH	ÇH	AH	AH	H	H

Çizelge 4.92’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.92’de asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.92’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ve aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.93. Yalvaç-Akşehir şehirleri arasında seçilen yol kesiminin Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Temel		Alttemel		Taban z.
	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	H	H	H	ÇH
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	ÇH	H	ÇH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (% alan)	AH	AH	AH	AH	AH
Asfalt toplam enine çatlak oluşumu: termal + yansıma (m/km)	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	H
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	AH	AH	H	AH	AH

Çizelge 4.92’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.93'te Eğirdir-Akşehir şehirleri seçilen yol kesiminin Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerine karşı hassas olduğu, taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.93'te üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, temel tabakasının MR değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve alttemel tabakasındaki MR değerlerindeki değişimlere karşı çok hassas olduğu, taban zemini kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.93'te üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık ile temel ve alttemel tabakalarındaki MR değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.93'te üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, alttemel ve temel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.93'te sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olduğu, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değerlerindeki değişimlere karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.93'te tabandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.93'te asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.93'te asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, alttemel kalınlık değerindeki değişimlere karşı hassas olduğu, temel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık ile temel ve alttemel MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

4.5.4.5 Akşehir-Konya yolu

Çizelge 4.94'te Akşehir-Konya şehirleri arasındaki 300-10 karayolu kesim nolu karayolunun 2.dilimi olan 28 km'lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.94'te üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasının bağlayıcı oranı ile binder tabakasının kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.94'te üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma ve binder tabakalarındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.94'te üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.94. Akşehir-Konya şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	ÇH	H	HD	H	H	HD
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	ÇH	AH	ÇH	H	ÇH	ÇH	H
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	ÇH	H	AH	ÇH	ÇH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	HD	ÇH	H	AH	AH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	ÇH	AH	ÇH	AH	AH	H	H

Çizelge 4.94'te sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.94'te asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.94'te asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ve aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.94'te asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlak oluşumu bozulma türünün, binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT ve aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.94'te Akşehir-Konya şehirleri seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünlük parametresinin, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı ile taban zemininin kalınlığındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.95'te üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı ile temel tabakasındaki MR değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık değerleri ile alttemel tabakasının MR değişimlerine karşı çok hassas olduğu, taban zemininin kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.95'te üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değerleri ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.95. Akşehir-Konya için seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Bitümlü Temel			Temel		Alttemel		Taban
	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık
Düzensizlik IRI (m/km)	ÇH	ÇH	HD	H	H	H	H	ÇH
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	ÇH	H	H	ÇH	H	ÇH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tab. yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH
Asfalt top. enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	ÇH	HD	HD	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	HD	H	HD	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	H
Asfalt yorulma çatlağı ol.: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	AH	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı ol. (m/km)	AH	ÇH	ÇH	AH	AH	H	AH	AH

Çizelge 4.95'te üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.95'te sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, bitümlü temel bağlayıcı oranı ile taban zemini kalınlığındaki değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.95'te abandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.95'te asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.95'te asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, alttemel tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık değerleri ile temel ve alttemeldeki MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

4.5.4.6 Kadınhanı-Konya yolu

Çizelge 4.96'da Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki 300-11 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 20 km'lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.96'da üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma ve binder tabakalarının bağlayıcı oranları ile binder tabakasının boşluk oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.96. Kadınhanı-Konya arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	AH	ÇH	ÇH	HD	ÇH	ÇH	HD
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	AH	AH	ÇH	HD	AH	ÇH	ÇH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye + yansıma (%)	AH	AH	AH	ÇH	AH	AH	ÇH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	HD	AH	ÇH	AH	AH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	ÇH	ÇH	AH	AH	AH	AH	ÇH

Çizelge 4.96'da üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık ve bağlayıcı oranlarındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.96’da üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.96’da sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, aşınma ve binder tabakalarındaki bağlayıcı oranları ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.96’da asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.96’da asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.96’da asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma tabakasındaki kalınlık ve binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, aşınma tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.97’de Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünlük parametresinin, bitümlü temel ve temel tabakalarındaki kalınlık ile alttemel tabakasındaki MR değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile alttemel ve taban zemininin kalınlıklarındaki değişimlere karşı aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.97. Kadınhanı-Konya arasındaki yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakalarının hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Bitümlü Temel			Temel		Alttemel		Taban
	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	E Modülü	Kalınlık	E Modülü	Kalınlık
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	ÇH	AH	AH	ÇH	AH	AH	ÇH	AH
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	AH	H	H	ÇH	ÇH	AH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH
Asfalt toplam enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	HD	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	AH	H	HD	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	AH	AH	ÇH	AH	AH	AH	AH	AH

Çizelge 4.97’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki MR ile temel tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel, alttemel ve taban zemini kalınlılıklarındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.97’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değerleri ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.97’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.97’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.97’de tabandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.97’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.97’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık değerleri ile temel ve alttemeldeki MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

4.5.4.7 Konya-Çumra yolu

Çizelge 4.98’de Konya-Çumra arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 1.dilimi olan 25 km’lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimleri ile binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.98. Konya-Çumra arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	H	HD	HD	H	H	H
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	AH	ÇH	ÇH	H	AH	ÇH	ÇH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	ÇH	H	ÇH	ÇH	H
Asfalt toplam enine çatlak oluşumu: termal+yansıma(m/km)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	AH	HD	AH	ÇH	ÇH	AH	AH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	AH	AH	AH	AH	AH	ÇH	ÇH

Çizelge 4.98’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma tabakasının kalınlık ve boşluk oranı ile binder tabakasının bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere

karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile binder tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.98’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.98’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.98’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki boşluk oranı ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki bağlayıcı oranlarındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.98’de asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.98’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.98’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.99. Kadınhanı-Konya arasındaki yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakalarının hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Bitümlü Temel			Temel		Alttemel		Taban
	Kalınlık	Bağ. Or.	B. Oranı	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	H	ÇH	H	H	ÇH	H	ÇH
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	AH	H	H	AH	ÇH	AH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tab. yüzeye+yansıma (%)	ÇH	AH	AH	ÇH	AH	AH	AH	AH
Asfalt top. enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	HD	HD	HD	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı ol.: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı ol. (m/km)	AH	H	HD	AH	AH	AH	AH	AH

Çizelge 4.99’da Kadınhanı-Konya şehirleri arasındaki seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile temel tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı ile alttemel ve taban tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.99’da üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, temel ile alttemel tabakalarındaki MR değişimlerine karşı çok hassas olduğu, bitümlü temel, temel, alttemel ve taban zemini kalınlılıklarındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.99’da üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel ve temel tabakalarındaki kalınlık değişimlere karşı ise çok hassas olduğu, bitümlü temel tabakası için bağlayıcı ve boşluk oranları, temel ve alttemel tabakalarındaki MR değerleri ile alttemel ve taban zemini tabakalarının kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.99’da üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.99’da sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.99’da tabandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.99’da asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.99’da asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise hassas olduğu, bitümlü temel, temel, alttemel ve taban zemini tabakalarındaki kalınlık değerleri ile temel ve alttemeldeki MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

4.5.4.8 Çumra-Karaman yolu

Çizelge 4.100’de Çumra-Karaman şehirleri arasındaki 715-05 karayolu kesim nolu karayolunun 3.dilimi olan 21 km’lik yol kesiminin YOGKT, aşınma ve binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünsüzlük parametresinin, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, YOGKT, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimleri ile binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.100’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma ve binder tabakalarındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT, binder tabakasının kalınlık ve boşluk oranı ile aşınma tabakasının bağlayıcı oranındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, aşınma tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.100’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı çok hassas olduğu, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.100’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT, aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranları ile binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları değişimlerine karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.100’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, aşınma tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olduğu, YOGKT, aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı, binder tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı çok hassas olduğu, binder tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.100. Çumra-Karaman şehirleri arasında seçilen yol kesiminin YOGKT, Aşınma ve Binder tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	YOGKT	Aşınma			Binder		
		Kalınlık	Bağ.Or.	B. Oranı	Kalınlık	Bağ.Or.	B. Oranı
Düzgünsüzlük IRI (m/km)	H	ÇH	H	HD	H	H	HD
Kalıcı deformasyon- toplam üstyapı (mm)	ÇH	AH	ÇH	H	ÇH	ÇH	H
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tabandan yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	ÇH	H	AH	ÇH	ÇH
Asfalt toplam enine çatlak oluşumu: termal+yansıma(m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Kalıcı deformasyon- Sadece asfalt (mm)	ÇH	HD	ÇH	H	AH	AH	ÇH
Asfalt yorulma çatlağı oluşumu: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	HD	HD	HD	HD	AH	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumu (m/km)	ÇH	AH	ÇH	AH	AH	H	H

Çizelge 4.100’de asfaltta tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.101. Çumra-Karaman arasındaki yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakalarının hassasiyet analizi sonuçları

Bozulma Türü	Bitümlü Temel			Temel		Alttemel		Taban
	Kalınlık	Bağ.Or.	B. Oranı	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık	E. Modülü	Kalınlık
Düzensizlik IRI (m/km)	ÇH	ÇH	HD	H	H	H	H	ÇH
Kalıcı deformasyon-toplam üstyapı (mm)	ÇH	H	H	ÇH	H	ÇH	ÇH	AH
Asfalt top. yorulma çat. ol.: tab. yüzeye+yansıma (%)	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH	AH
Asfalt top. enine çatlak ol.: termal + yansıma (m/km)	ÇH	HD	HD	H	HD	H	HD	HD
Kalıcı deformasyon-Sadece asfalt (mm)	HD	H	HD	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	H
Asfalt yorulma çatlağı ol.: tabandan yüzeye (%)	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt termal çatlak oluşumu (m/km)	AH	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Asfalt yüzeyden tabana yorulma çatlağı ol. (m/km)	AH	ÇH	ÇH	AH	AH	H	AH	AH

Çizelge 4.100’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, YOGKT ile aşınma tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranı, binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, binder tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.100’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, binder tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlere karşı hassas olduğu, YOGKT ile aşınma tabakasındaki bağlayıcı oranı değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu, aşınma ve binder tabakalarındaki kalınlık değerleri ile aşınma tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.101’de Çumra-Karaman şehirleri arasındaki seçilen yol kesiminin Bitümlü Temel, Temel, Alttemel ve Taban zemini tabakaları için hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede Düzgünlük parametresinin, bitümlü temel tabakasındaki boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve bağlayıcı oranı ile taban tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.101’de üstyapıda oluşan toplam kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları ile temel tabakasındaki MR değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık değerleri ile alttemel tabakasındaki MR değişimlerine karşı çok hassas olduğu, taban zemini kalınlıklarındaki değişimlere karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.101’de üstyapıda oluşan toplam tabandan yüzeye doğru yansıma dahil yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.101’de üstyapıda oluşan toplam enine çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranları, temel ve alttemel tabakalarındaki MR ile taban zeminindeki kalınlık değişimlerine karşı hassas olmadığı, temel ile alttemel tabakalarındaki kalınlık değişimlerine karşı ise hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık değişimlerine karşı aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.101’de sadece asfaltta oluşan kalıcı deformasyon bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık ve boşluk oranı değişimlerine karşı hassas olmadığı, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı oranı ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki

değişimlere karşı hassas olduğu, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlere karşı çok hassas olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 4.101’de tabandan yüzeye doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.101’de asfaltta termal çatlak oluşumu bozulma türünün, bitümlü temel tabakasındaki kalınlık, bağlayıcı oranı ve boşluk oranı, temel ve alttemel tabakalarındaki kalınlık ve MR ile taban zemini tabakasının kalınlığındaki değişimlere karşı hassas olmadığı gösterilmektedir.

Çizelge 4.101’de asfaltta yüzeyden tabana doğru yorulma çatlağı oluşumu bozulma türünün, alttemel tabakasındaki kalınlık değerlerinde değişimlerine karşı hassas olduğu, bitümlü temel tabakasındaki bağlayıcı ve boşluk oranlarındaki değişimlerine karşı ise çok hassas olduğu, bitümlü temel, temel ve taban zemini tabakasındaki kalınlık değerleri ile temel ve alttemeldeki MR değişimlerine karşı ise aşırı hassas olduğu gösterilmektedir.

Çalışmanın bu son aşamasında analizlerle incelenen karayolu kesimlerine ait hassasiyet analizi sonuçları değerlendirilmiştir.

4.6 Tartışma

Tezin bu kısmında tezin geneli ile başlangıçtaki hedefler ve geline son nokta arasında bazı değerlendirmeler yapılmıştır.

Tezin ana hedefi olan tüm ülke için Kalibrasyon yapma hedefi başta düşünülen şekilde yerine getirilememiştir. Başta hedeflenen noktaya, veri elde etme sorunu, gerekli veri miktarının çok olması, analiz yazılımının çok pahalı olması, bu yazılımı kullanabilmek amacıyla ABD’ye gitmek için 2 kez Tübitak bursuna müracaat edilmesine rağmen ikisinde red olması, bununla beraber yazılımı kendi imkanlarımla ABD’ye gidip kullanmayı öğrenmem sayesinde yazılımın 1 aylık geliştirme lisansını almama rağmen bu kullanım

süresinin tüm analizler için çok kısıtlı olması ayrıca tüm ülkenin tam ve kapsamlı bir kalibrasyon çalışması için yeterli ve ulaşılabilir verinin olmaması nedenlerinden dolayı ulaşılamamıştır.

Ancak ülkenin belli bölgelerini kapsayabilecek bölgesel kalibrasyonlar yaparak 30 şehri baz alıp, tüm ülkeyi temsilen bir kalibrasyon yaptık. Ayrıca tüm ülke için nasıl daha hassas değerler ile kalibrasyon yapılabileceğini ortaya koyduk. İncelenen yollar için hassasiyet analizi yaparak benzer özelliklerdeki karayollarının hangi bozulma türlerine karşı daha duyarlı olduğunu ortaya koyduk. Ülkemizde henüz bu kapsamda bir çalışmanın olmaması nedeniyle bu çalışmanın özgünlüğünü ön plana çıkarmaktadır.

ABD’de yapılan çalışmalarda uzmanlar ölçebildikleri parametreler üzerinden kalibrasyon çalışmaları yapmış geri kalan bozulma türleri içinse hassasiyet analizi yapmayı tercih etmişlerdir. ABD’deki çalışmalara paralel olarak, bu çalışmada eldeki imkanlarla ölçülebilen tek bozulma türü olan düzgünsüzlük değeri için, arazi ve analiz sonuçlarını grafik olarak benzeştirecek şekilde kalibrasyon katsayıları belirlenmiş ve geri kalan bozulma türleri için de hassasiyet analizi yapılmıştır. KGM’nin imkanları ile bu yöntem izlenerek, daha iyi ve kapsamlı bir kalibrasyon yapmak mümkündür.

Bu çalışma ile ülkemizin genel olarak iç bölgelerini kapsayacak şekilde sonuçlar elde edilmiştir. Karadeniz bölgesinin çok yağış alıyor olması, Doğu Anadolu bölgesindeki şehirlerde iklimin genel olarak çok soğuk olması, Güneydoğu Anadolu bölgemizde çok sıcak günlerin fazla olmasının yanında günlük maksimum-minimum sıcaklık farklarının da çok olması, Ege ve Akdeniz bölgelerinin kıyı kesimlerinde iklim özelliklerinin iç kesimlere göre farklılık göstermesi, bütün bu iklim özelliklerindeki değişiklikler ile bu bölgelerdeki trafik yoğunluğu farklılıkları da düşünüldüğünde bu çalışmada izlenen adımlar ve yöntem takip edilerek, istenen bölgelerde de mekanistik-ampirik tasarımlar yapmak mümkün olacaktır.

Ayrıca bu yöntemin ülkemize tam ve kapsamlı olarak uygulanması için laboratuvarlardan elde edilecek üretimi devam eden yolların ve mevcut yolların deneysel verileri ile 1.Seviye analizler yapılabilecektir. Bu verilerin elde ediliş şekli MAKDK’da detaylı olarak anlatılmıştır. 1. Seviye analizler çok fazla ve kapsamlı verilere ihtiyaç duyduğundan ABD’de birçok eyalet bölgesel kalibrasyon için 2. Ve 3. Seviye analizleri

kullanmaktadır. Bu çalışmada ulaşılabilir veri seviyesine bağlı olarak 3.Seviye analiz yapılmıştır.



5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada karayolu üstyapılarının tasarımında ABD’de yıllardır kullanılan bir yöntem olan Mekanistik Ampirik Dizayn Metodunun ülkemiz koşullarında uygulanabilirliğinin artırılması adına bir ülkesel kalibrasyon çalışması ile hassasiyet analizi çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda öncelikle ülkemiz koşullarında hangi seviyede tasarım yapılabileceği araştırılmıştır. Analiz seviyesi olarak veri yetersizliği ve var olan verilere de ulaşılamaması nedenleri ile 3.seviye analiz yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Bu analiz seviyesi için öncelikle tüm ülke için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden, sıcaklık verileri istenmiş ve tüm ülke karayolları için, karayolu üstyapı tasarımında kullanılmak üzere bağlayıcı seçiminde önemli olan PG parametreleri belirlenmiştir.

Trafik verileri Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’nın KGM web sitesinden alınmış, öncelikle tüm ülke için 2013-2015 yılları arasında ülke verilerinin tamamı için bir değerlendirme yapılmış olup daha sonra, KGM Ar-Ge Daire Başkanlığı’ndan istenen veriler tedarik edilemediği için, eldeki veriler ile kalibrasyon çalışmasına uygun olan 8 adet karayolu kesimi seçilmiş ve bu kesimler için 2013-2017 arasındaki 5 yıllık trafik verileri incelenmiştir. İncelenen bu veriler daha sonra düzenlenip AASHTO Pavement ME programında kullanılabilir veriler haline getirilmiştir.

Seçilen yolların bağlı olduğu bölge müdürlükleri olan Konya KGM 3.Bölge ile Antalya KGM 13.Bölge’den alınan malzeme özelliği ve tabaka kalınlığı verileri ile bu yolların her biri için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin Dinamik Elastisite Modülleri Georgouli 2015, Witczak 1-37A, Witczak 1999 ve Witczak 1996 formüllerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

AASHTO Pavement ME yazılımında hazırlanan modeller için kalibrasyon analizi çalışmaları kapsamında ön analizler yapılmış, buradan elde edilen düzgünlük değeri sonuçları ile araziden elde edilen düzgünlük değeri sonuçları karşılaştırılmış ve hata analizi yapılarak aradaki farkları minimize edecek kalibrasyon katsayıları belirlenmiştir. Yazılımda yapılan son analizler ile ilk analizler karşılaştırılarak, modellenen yollar için

seçilen kalibrasyon katsayılarının arazi sonuçlarını yansıtmada konusunda ne kadar fayda sağladığı belirlenmiştir.

Bu aşamada seçilen 8 karayolu kesimi içinde, AASHTO Pavement ME Design yazılımında yapılacak analizler için, yazılımda tanımlı Isparta, Akşehir, Konya ve Karaman illerine ait iklim istasyonları kullanılmış, en son veri olan 2017 verileri trafik verisi olarak kullanılmış ve üretilen modellerin malzeme verileri ile tabaka kalınlıkları da kullanılarak analizler yapılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ABD ulusal kalibrasyon katsayıları kullanılarak seçilen yollar için hassasiyet analizi yapılmış ve yazılımda tanımlı bozulma türlerine karşı ne kadar duyarlı oldukları belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Tüm şehirler için MGM'den 1995-2014 yılları arasını kapsayacak şekilde alınan 20 yıllık günlük minimum ve maksimum sıcaklıklar için yapılan çalışmalar sonucu, tüm illerde yol üstyapısı yapımında kullanılmak üzere bağlayıcı performans sınıfları belirlenmiş, Isparta şehri için seçilen PG'sinin Bartın, Bilecik, Burdur, Bursa, Düzce, Edirne, Kırklareli, Siirt, Tekirdağ ve Uşak şehirlerinde de aynı olmak üzere toplam 11 şehirde PG 64-22 sınıfı bağlayıcı kullanılması gerektiği ortaya konmuştur.
- Benzer şekilde, Konya ili için seçilen PG'sinin Afyonkarahisar, Aksaray, Bayburt, Bingöl, Çankırı, Çorum, Erzincan, Eskişehir, Gümüşhane, Hakkâri, Kayseri, Kırşehir, Kütayha, Niğde ve Tunceli şehirlerinde de aynı olmak üzere toplam 16 şehirde karayolu üstyapısı yapımında PG 64-34 sınıfı bağlayıcı kullanılması gerektiği ortaya konmuştur.
- Karaman ili için seçilen PG'sinin Iğdır ve Sivas şehirlerinde de aynı olmak üzere toplam 3 şehirde karayolu üstyapısı yapımında PG 64-40 sınıfı bağlayıcı kullanılması gerektiği ortaya konmuştur.

- Seçilen 8 ayrı karayolu kesiminin bulunduğu bölgeleri kapsayacak şekilde Isparta, Akşehir ve Konya şehirlerine ait meteoroloji istasyonlarının saatlik Minimum ve Maksimum Sıcaklık, Maksimum Rüzgâr Hızı, Nispi nem ile Bulutluluk oranı verileri alınarak düzenlenmiş ve iklim istasyonu verileri olarak tanımlanmıştır. Bu verilerden elde edilen 3 adet dosya ile AASHTO Pavement ME Design yazılımında tanımlanabilecek 3 adet iklim istasyonu verisi elde edilmiştir. E* hesaplamaları sırasında kullanılan A ve VTS değerlerinin, Isparta ili ve çevre yolları için $A=10,98$, $VTS=-3,68$ olduğu, Konya ili ve çevre yolları için $A=9,461$, $VTS=-3,134$ olduğu, Isparta ili ve çevre yolları için $A=8,524$, $VTS=-2,798$ olması gerektiği belirlenmiştir.
- Seçilen 8 karayolu kesimi içinde 2013-2017 yılları arası trafik istatistikleri kullanılarak yapılan trafik analizi sonucu bu yollara ait 20 yıllık EDYTS verileri hesaplanmıştır.
- Seçilen 8 karayolu kesimi için de ayrı ayrı modeller oluşturulmuş, bu modeller oluşturulması sırasında aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarındaki BSK tabakalarına ait malzeme özelliği olan E* değerleri Witczak 1-37A denkleminde elde edilmiştir. Hem 4 Hz. hem de 10 Hz. için yapılan hesaplamalar sonucunda genel olarak E* değerlerinin aşınma tabakasında en yüksek, bitümlü temelde de en düşük değerleri aldığı görülmüştür.
- Seçilen 8 karayolu kesimi için de temel, alttemel ve taban tabakalarına ait malzeme özelliği olan MR değerleri için KGM bölge müdürlüklerinden elde edilen CBR değerleri MPa birimine dönüştürülerek kullanılmıştır. Burada taban zemininin CBR değeri daha düşük olduğundan en düşük MR değerlerinin taban zemininde olduğu görülmüş, temel ve alttemel içinde genelde aynı malzeme seçildiğinden MR değerlerinin de aynı olduğu görülmüştür.
- E* değerlerinin hesaplanması sırasında istenen verilerden doğrudan elde edilememiş olan veriler, BSK tabakasının hacimsel özellikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada genel olarak aşınma tabakasındaki efektif binder oranı değerinin daha yüksek olarak elde edildiği görülmüştür.

- Toplamda 30 ili kapsayacağını varsaydığımız kalibrasyon çalışmaları sonucu, düzgünsüzlük analizinde kullanılacak kalibrasyon katsayılarının $c_1 = 30.25$, $c_2 = 0.46$, $c_3 = 0.013$, $c_4 = 0.014$ olarak kullanılmasının arazi verilerine daha yakın değerler verdiği belirlenmiştir.

Yapılan Hassasiyet Analizi sonucu olarak;

- YOGKT değerlerindeki değişimin en fazla, Asfalttaki toplam tabandan yüzeye ve yansıma Yorulma Çatlağı oluşumunu etkilediğini, trafik hacmi çok olan yollarda toplam Kalıcı Deformasyon ve Düzgünsüzlüğü de aşırı etkilediği görülmüş,
- Aşınma tabakası kalınlığındaki değişiminin, Asfalttaki toplam tabandan yüzeye Yorulma ve Yansıma Kaynaklı Çatlak Oluşumu ile toplam Kalıcı Deformasyon oluşumunu aşırı etkilediği görülmüş,
- Aşınma tabakası bağlayıcı oranı değişiminin, genel olarak Sadece BSK tabakalarındaki Kalıcı Deformasyonu aşırı etkilediği, Kadınhanı-Konya, Konya-Çumra ve Isparta-Eğirdir yollarında Asfaltın yüzeyden tabana yorulma ve yansıma kaynaklı çatlak oluşumunu aşırı etkilediği, Isparta-Eğirdir yolunda Termal Çatlak oluşumlarını arttırdığı görülmüş,
- Aşınma tabakası boşluk oranı değişiminin, genel olarak Asfaltın yüzeyden tabana yorulma çatlağı oluşumunu aşırı etkilediği görülmüş,
- Düzgünsüzlük parametresinin en çok bitümlü temel tabakasının bağlayıcı oranı değişiminden etkilendiği görüşmüştür,
- Toplam kalıcı deformasyonun genel olarak tabaka kalınlıklarındaki değişimlerden aşırı etkilendiği görülmüş,
- Asfalttaki toplam tabandan yüzeye Yorulma ve Yansıma Kaynaklı Çatlak Oluşumunun genel olarak Bitümlü Temel tabakasının kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranı değişimleri ile Alttemel, Temel ve Taban Zemini tabakalarındaki kalınlık ve MR değişimlerinden aşırı etkilendiği görülmüş,

- Asfalt toplam Termal ve Yansıma Kaynaklı enine çatlak oluşumunun Alttemel ve Temel tabakalarındaki kalınlık değişimine karşı hassas olduğu diğer parametrelere karşı ise hassas olmadığı görülmüş,
- Sadece BSK tabakalarında oluşan Kalıcı deformasyon değerinin genel olarak YOGKT ile Binder tabakasının kalınlık, bağlayıcı ve boşluk oranı değişimlerinden aşırı etkilendiği görülmüş,
- Seçilen 8 yolunda BSK tabakasındaki tabandan yüzeye yorulma çatlağı oluşumu bozulma türüne karşı hassas olmadığı görülmüş,
- BSK tabakasındaki termal çatlak oluşumunun genel olarak Binder ve Bitümlü temel tabakalarının kalınlığındaki değişimlerden aşırı etkilendiği görülmüş,
- BSK tabakasındaki Yüzeyden Tabana Yorulma Çatlağı oluşumunun, genel olarak YOGKT’ deki değişimlerden çok etkilendiği, tüm tabakaların kalınlıklarındaki değişimler, Aşınma tabakasının bağlayıcı ve boşluk oranı değişimleri ile Temel ve Alttemel MR değişimlerinden aşırı etkilendiği görülmüştür.

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda şu önerilerde bulunulabilir;

- Farklı üstyapı, iklim koşulları, tabaka özellikleri, drenaj koşulları ve trafik değerlerine sahip yollarda KGM tarafından veri toplanıp, modellerin hataları minimize edilerek, arazi şartlarını daha iyi yansıtan, bozulma değerlerini daha iyi tahmin eden modeller geliştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- KTŞ, 2013, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Hanlı E., 2009, Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- McNeil I., 1990, “An Encyclopedia of the History of Technology”, Rouledge London and New York ss.16
- Longfellow R., 2017, Back in Time Building Roads, US Department of Transportation, Federal Highway Administration link: <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/back0506.cfm>.
- Büyüksaraçoğlu Y., 2009, Asfalt Yol İnşaatının Tedarik Zincirinin Simülasyon Tabanlı Modellenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Schwartz S. I., 2015, “Street Smart: The Rise of Cities and the Fall of Cars”, United States of Public Affairs, Bölüm1: Motordom ss. 4.
- Akkaymak M., 2009, Avrupa – Asya Ulaştırma Koridorları ve Yeniden Canlanan İpek Yolu, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güngör A. G., Sağlık A., 2009, Mekanistik Ampirik Üstyapı Tasarımında Esneklik Modülünün Şartnamelere Uyarlanması, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi.
- Özcanan S., Akpınar M. V., 2014, Esnek Üstyapılarda Kritik Tekerlek ve Aks Konfigürasyonların Mekanistik Analizlere Göre Tespit Edilmesi, İMO Teknik Dergi, 6625-6654, Yazı 413.
- ESOGU, 2008, Karayolu Ders Notları.
- Ektaş S., 2011, Beton Atıklarının Asfalt Betonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tunç, A., 2004, Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağ.Ltd. Şti., 546 s.
- Karaşahin, M., 1993. Resilient Behavior of Granular Materials of Analysis of Highway Pavements. Department of Civil Engineering University of Nottingham. PhD Thesis, 312p, England.
- Yoldaş M. A., 2008, Karayollarında Yol Sınıflandırması ve Tip Enkesitlerin İncelenmesi: Eminönü – Fatih Örneği, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saltan M., 2005, Yol Üstyapılarının Analizi Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ss.13.
- Salta İ., 2010, Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Umar F., Ağar, E., 1991, Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, 339s. İstanbul.
- Huang Y. H., 1993, Pavement Analysis and Design, Michigan Üniversitesi, Prentice Hall, ISBN: 0136552757, 9780136552758.
- Mathew T.V., Rao K. V. K., 2007, Chapter 19: Introduction to pavement design Introduction to Transportation Engineering, 1-7, NPTEL.
- Ahmedzade P., Yılmaz M., 2007, "Uzun Ömürlü Esnek Üstyapıların Tasarımı", 7. Ulaştırma Kongresi, 354-363, İstanbul.
- Parveen S. K., Dass S., Sharma A., 2013, Guidelines on Composite Pavement- Design and Evaluation of Composite Pavements, International Journal of Engineering Research and Development, Volume 6, Issue 2, PP. 28-36.
- Flintsch G. W., Diefenderfer B. K., Nunez O., 2008, Composite Pavement Systems: Synthesis of Design and Construction Practices, Final Contract Report VTRC 09-CR2, Virginia Department of Transportation.
- Gezer B. B., 2009, Mersin İli Çelebili Köyü İçmeler Mevkiinde Yüzeyleyen Kireçtaşlarının Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Çukuroca Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pereira P., Pais J., 2017, Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of an European method, Journal of Traffic and Transportation Engineering, 4(4): 316-346.
- Span IR. H.J.Th., Lytton R.L., 1983, Structural Performance and Design of Flexible Road Constructions and Asphalt Concrete Overlays, Bibliotheek Technische Hogeschool Delft.
- Arshad A. K. B., 2007, Flexible Pavement Design: Transitioning from Empirical to Mechanistic-Based Design Methods, Jurutera, ss.14-19.
- Uz V. E., 2012, Doktora Tezi, Sathi Kaplamalardaki Kalıcı Deformasyona Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erlingsson S., 2004, Mechanistic Pavement Design Methods- A Road to Better Understanding of Pavement Performance, Via Nordica 2004 – NRA's 19th Road Congress, C8: Berekräftige vegkonstruksjonar, 8 p
- Fi I., Szentpéteri I., 2014, A Mechanistic-Empirical Approach for Asphalt Overlay Design of Asphalt Pavement Structures, Periodica Polytechnica, Civil Engineering 58/1, pp.55–62, doi: 10.3311/PPci.7408.
- Lenngren C.A., 2009, Using falling weight deflectometer data for new construction interactive design, Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Taylor & Francis Group, London.
- İncegöl M., 2004, Bilgisayar destekli üstyapı tasarımı, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kök B. V., Kuloğlu N., 2007, Esnek Üstyapıların Tasarımlarında AASHTO-72 ve AASHTO-86 Yöntemlerinin Analitik ve Ekonomik Karşılaştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 23 (1-2), 136-148, ISSN 1012-2354.
- Avcı S., 2006, Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinden AASHTO 2002 ile AASHTO 1993 Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- E. Kök, 2008, Karayolu ve Havaalanı Üstyapı Tasarım Yöntemleri, Karşılaştırması ve Türkiye Örneği, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bari J., 2005, Development of a New Revised Version of the Witczak E* Predictive Models for Hot Mix Asphalt Mixtures, Ph'd Thesis, Arizona State University.
- Siraj N., Mehta Y.A., Muriel K.M., Sauber R.W., 2009, Verification of mechanistic-empirical pavement design guide for the state of New Jersey, Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Taylor & Francis Group, London.
- Ji Y., Nantung T.E., 2009, Comparison of design thickness between the 1993 AASHTO Guide and MEPDG for full depth reclamation pavement, Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Taylor & Francis Group, London.
- H. Hou, T. Wang, S. Wu, Y. Xue, R. Tan, J. Chen, M. Zhou, 2016, Investigation on the pavement performance of asphalt mixture based on predicted dynamic modulus, Construction and Building Materials, 106, 11–17.
- S. Esfandiarpour, M. A. Ahammed, A. Shalaby, 2015, An evaluation of Pavement ME Design dynamic modulus prediction model for asphalt mixes containing RAP, Tara

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Liske, Said Kass, The 2015 Conference of the Transportation Association of Canada Charlottetown, PEI.
- Ameri M., Khavandi A., 2009, Development of Mechanistic-Empirical Flexible Pavement Design in Iran, *Journal of Applied Sciences* 9 (2): 354-359.
- AASHTO, 2008, A Manual of Practice, Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, ISBN: 978-1-56051-423-7.
- Apeagyei A., Diefenderfer S. D., 2011, Asphalt Material Design Inputs for Use with the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide in Virginia, Final Report VCTIR 12-R6, Virginia Center for Transportation Innovation and Research.
- Plati C., Georgouli K., Loizos A., 2013, Asphalt Concrete Stiffness Modulus Estimation Utilizing an Algorithm Approach, *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements* © ASCE 2013 pp.1219-1228.
- Gopalakrishnan K., Kim S., Ceylan H., Kaya O., 2014, Development of Asphalt Dynamic Modulus Master Curve Using Falling Weight Deflectometer Measurements, TR-659, Final Report, Iowa State University, Institute for Transportation.
- Witczak M., 2005, Simple Performance Tests: Summary of Recommended Methods and Database, NCHRP Report 547.
- Final Document Appendix CC-1, 2001, Correlation of CBR Values with Soil Index Properties, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37A.
- Clyne T.R., Li X., Marasteanu M. O., Skok E. L., 2003, Final Report 2001-2003: Dynamic and Resilient Modulus of Mn/DOT Asphalt Mixtures, MN/RC 2003-09, Department of Civil Engineering University of Minnesota.
- Hou H., Wang T., Wu S., Xue Y., Tan R., Chen J., Zhou M., 2016, Investigation on the pavement performance of asphalt mixture based on predicted dynamic modulus, *Construction and Building Materials* 106, 11–17.
- M-E Pavement Design Manual, 2015, Colorado Department of Transportation.
- ASTM D2493M-09, 2009, Standard viscosity-temperature chart for asphalts. West Conshohocken.
- Georgouli K., Plati C., Loizos A., 2016, Assessment of dynamic modulus prediction models in fatigue cracking estimation, *Materials and Structures*, 49:5007–5019, doi: 10.1617/s11527-016-0840-6.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Xiao Y., 2009, Evaluation of Engineering Properties of Hot Mix Asphalt Concrete for the Mechanistic-Empirical Pavement Design, Phd Department of Civil & Environmental Engineering, Florida State University College of Engineering.
- Newcomb D., 2004, Mechanistic Empirical Pavement Design –Where are we headed?, Materials and Mixes, Hot Mix Asphalt Technology, October, ss. 31-36.
- Final Report Part 3, 2004, Design Analysis, Chapter3. Design of New and Reconstructed Flexible Pavements, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP.
- Agardh S., 2005, Ruth depth prediction on flexible pavements, Calibration and validation of incremental-recursive models, Doctoral Thesis, Lund Institute of Technology, Sweden.
- AASHTO, 2015, A Manual of Practice, Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide.
- Final Document Appendix II-1, 2004, Calibration of Fatigue Cracking Models for Flexible Pavements, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37A.
- Final Document Appendix KK, 2003, Transverse Cracking of JPCP, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37A.
- Souliman M., Mamlouk M., El-Basyouny M., Zapata C. E., 2010, Calibration of the AASHTO MEPDG for flexible pavement for Arizona conditions, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board.
- Saxena P., Tompkins D., Khazanovich L., Balbo J. T., 2010, Evaluation of Characterization and Performance Modeling of Cementitiously Stabilized Layers in the Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2186, pp. 111–119, doi: 10.3141/2186-12.
- Final Document Appendix HH, 2003, Field Calibration of the Thermal Cracking Model, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37A,
- Final Document Appendix GG-1, 2004, Calibration of Permanent Deformation Models for Flexible Pavements, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP.
- Kargah-Ostadi N., Menendez J. R., Zhou Y., 2018, Using Multi-Objective Optimization to Enhance Calibration of Performance Models in the Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide, FHWA-HRT-17-104.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Buch N., Haider S. W., Brown P. E. J., Chatti K., 2009, Final Report, Characterization of Truck Traffic in Michigan for the New Mechanistic Empirical Pavement Design Guide, Michigan State University Department of Civil and Environmental Engineering.
- Hoerner T. E., Zimmerman K. A., Smith K. D., Cooley, Jr. L. A., 2007, Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Implementation Plan, South Dakota Department of Transportation.
- Prozzi J. A., Hong F., 2006, Traffic Characterization for a Mechanistic-Empirical Pavement Design, Texas Department of Transportation.
- Kasperick T., Ksaibati K., 2015, Calibration of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide for Local Paved Roads in Wyoming, Mountain-Plains Consortium MPC 15-294 Report, Department of Civil and Architectural Engineering University of Wyoming.
- Final Document Appendix FF, 2003, Calibration Sections for Rigid Pavements, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37A.
- Final Report Part 2, 2004, Design Inputs, Chapter 4. Traffic Inputs, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37A.
- Final Document Appendix AA, 1999, Traffic Loadings, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP 1-37A.
- Schwartz C. W., Carvalho R. L., 2007, Final Report Volume 2: Evaluation of Mechanistic-Empirical Design Procedure, Implementation of the NCHRP 1-37A Design Guide, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Maryland.
- Zapata C. E., Houston W. N., 2008, Calibration and Validation of the Enhanced Integrated Climatic Model for Pavement Design, NCHRP Report 602.
- Final Report Part 2, 2004, Design Inputs, Chapter 2. Material Characterization, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP.
- Olidis C., Hein D., 2004, Guide for the Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures Materials Characterization Is your Agency Ready?, Soils and Materials Session on Material Characterization for Inputs into AASHTO 2002 Guide, 2004 Annual Conference of the Transportation Association of Canada.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pierce L. M., McGovern G., 2014, A Synthesis of Highway Practice, Implementation of the AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide and Software, NCHRP Synthesis 457.
- Ceylan H., Kim S., Gopalakrishnan P. E. K., Kaya O., 2014, Local Calibration of AASHTO Pavement ME Design,, Institute for Transportation (InTrans), Iowa State University.
- AASHTO, 2010, Guide for the Local Calibration of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, ISBN: 978-1-56051-449-7.
- AASHTO, 2012, Pavement Management Guide.
- Orobio A., Zaniwski J. P., 2012, Using the mechanistic-empirical pavement design guide for material selection, Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 64 pp. 138-149.
- Schwartz C. W., R. Li, Kim S. H., H. Ceylan, 2011, Sensitivity Evaluation of MEPDG Performance Prediction, Final Report NCHRP Project 1-47.
- Final Report Part 2, 2004, Design Inputs, Chapter 3. Environmental Effects, Guide for Mechanistic Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP.
- KGM, 2016, 2015 Yılı Devlet ve İl yolları Bakım-İşletme Maliyetleri, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Ulaşım Maliyetleri ve Verimlilik Şubesi Müdürlüğü

ÖZGEÇMİŞ

KEMAL ARMAĞAN

ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ

E-Posta Adresi: kemalarmagan@kmu.edu.tr
Telefon (İŞ) : 3382262000-5020
Telefon (Cep) : 5302011170
Adres : Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Müh.Böl. Merkez/KARAMAN



Öğrenim Bilgisi	
Doktora 2019 - 2012	ESOGU / FBE / İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ/ ULAŞTIRMA BİLİM DALI Tez adı: Karayolunun AASHTO Metoduna Göre Tasarımı ve Türkiye Kalibrasyonu Tez Danışmanları: Prof.Dr.Nevzat KIRAÇ, Prof.Dr.Mehmet SALTAN
Yüksek Lisans 2012 - 2009	ESOGU / MMF / İNŞAAT MÜH.BÖL./YAPI ANABİLİM DALI Tez adı: Tarihi yapılarda kullanılan fonksiyonelliğin incelenmesi (2012) Tez Danışmanı: Prof.Dr.Nevzat KIRAÇ
Lisans 2006 - 2000	ESOGU / MMF / İNŞAAT MÜH.BÖL./ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PR

Görevler

Araştırma
Görevlisi
2011 KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ/
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ / İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖL./
ULAŞTIRMA ANABİLİM DALI

Projelerde Yaptığı Görevler:

- 1 Piroliz Yöntemi Kullanılarak Sıvılaştırılmış Atıklar ile Modifiye Edilen Bitümlü Karışımların Mühendislik Özellikleri, TÜBİTAK PROJESİ, Bursiyer, , 15/01/2013 - 01/01/2016 (ULUSAL)
- 2 Biz Kimiz Geleceğin Mühendisleriyiz Bilim Kampı, TÜBİTAK PROJESİ, Eğitimci, , 02/05/2014 -09/05/2014 (ULUSAL)
- 3 Mühendislik ve Fen Bilimleri Alanında TÜBİTAK Destekli Araştırma Projeleri Hazırlama Eğitimi TÜBİTAK PROJESİ, Proje Koordinatör Yrd., , 27/01/2014 - 29/01/2014 (ULUSAL)

Ödüller

- 1 Excellent Paper, International Academy of Science, Technology, Engineering and Management (IASTEM), ALMANYA, 2016

Eserler

A Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. ARMAĞAN KEMAL, YILDIZEL SADIK ALPER, ARSLAN YUSUF (2019). Steel Scrap Added Roller Compacted Concrete. Challenge Journal Of Concrete Research Letters, 10(1), 7-12., Doi: <https://doi.org/10.20528/cjcr.2019.01.002> (Yayın No: 4844223)
2. UZUN MEHMET, ARMAĞAN KEMAL (2018). Optimization of Compressive Strength of Concrete Added Glass Powder Using Taguchi Methods. International Journal of Scientific Research Engineering and Technology, 7(12), 864-868. (Yayın No: 4648962)

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler :

1. ARMAĞAN KEMAL, CANBAZ MEHMET (2016). Effect of Fiber Type on Freeze Thaw Durability of Sifcon. ISERD International Conference (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3052660)
2. CANBAZ MEHMET, ARMAĞAN KEMAL (2016). Effect of Binder Type on Freeze Thaw Durability of Sifcon. Proceedings of 25th IASTEM International Conference (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3053606)
3. KARAHANÇER ŞEBNEM, MOROVA NİHAT, ERİŞKİN EKİNHAN, ARMAĞAN KEMAL, GİZEM KAÇAROĞLU, ÖZNUR KARADAĞ, SALTAN MEHMET, TERZİ SERDAL (2018). Expanded Glass Usability in Hot Mix Asphalt as Fine Aggregate. THE 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL VIBRATION AND TRANSPORTATION GEODYNAMICS (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4627326)
4. KARAHANÇER ŞEBNEM, ERİŞKİN EKİNHAN, ARMAĞAN KEMAL, MOROVA NİHAT, KAÇAROĞLU GİZEM, KARADAĞ ÖZNUR, SALTAN MEHMET, TERZİ SERDAL (2018). Investigation the Usability of Garnet as Filler Material in Hot Mix Asphalt. THE 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL VIBRATION AND TRANSPORTATION GEODYNAMICS (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4627241)
5. ARMAĞAN KEMAL, SALTAN MEHMET, TERZİ SERDAL, KIRAÇ NEVZAT (2018). Comparison of Dynamic Modulus Assignments for Isparta State Highways According to MechanisticEmpirical Pavement Design Method. THE 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL VIBRATION AND TRANSPORTATION GEODYNAMICS (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4641257)

6. ARMAĞAN KEMAL, MALKOÇ GÜLAY, TERZİ SERDAL, SALTAN MEHMET (2018). A Review for The Usability of Self-Healing Methods in HMA as Maintenance Policy. 4th MESAT Conference (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4277424)
 7. ERİŞKİN EKİNHAN, KARAHANÇER ŞEBNEM, ARMAĞAN KEMAL, SİVRİ ÇAĞLAR, TERZİ SERDAL, SALTAN MEHMET (2018). The investigation of Polyamide fiber as an additive in HMA. 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure, Doi: 10.5592/CO/CETRA.2018.788 (Tam Metin Bildiri/Poster) (Yayın No:4641858)
 8. KARAHANÇER ŞEBNEM, ERİŞKİN EKİNHAN, ARMAĞAN KEMAL, MOROVA NİHAT, SALTAN MEHMET, TERZİ SERDAL (2018). Usability of Hemp Fiber in Dense Graded Hot Mix Asphalt Mixture. 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure, Doi: 10.5592/CO/CETRA.2018.798 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4277398)
 9. KARAHANÇER ŞEBNEM, ERİŞKİN EKİNHAN, ARMAĞAN KEMAL, CENGİZHAN AKTEN, SALTAN MEHMET, TERZİ SERDAL (2018). Sulphur Factory Waste Usability in Hot Mix Asphalt as Filler Material. Advances in Materials and Pavement Performance Prediction (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4277414)
 10. ARMAĞAN KEMAL, MALKOÇ GÜLAY, TERZİ SERDAL, SALTAN MEHMET (2017). Mechanistic Empirical Design Method Analysis of HMA With Self-Healing Material. 4th International Conference On Computational And Experimental Science And Engineering (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3856621)
 11. ARMAĞAN KEMAL, SALTAN MEHMET, TERZİ SERDAL, KIRAÇ NEVZAT (2017). Dynamic Elasticity Modulus Assignment According To Mechanical Empirical Pavement Design Method On Isparta State Highways. 4th International Conference On Computational And Experimental Science And Engineering (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3856797)
 12. ARMAĞAN KEMAL, SALTAN MEHMET (2017). Performance Grade Assignment and Usage Of Asphalt Binder For Mechanistic Empirical Pavement Design Method: A Turkey Sample. 2nd International Conference On Civil And Environmental Engineering (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3856331)
 13. KIRAÇ NEVZAT, ARMAĞAN KEMAL (2015). Research of Functionality used in Historical Buildings. CIVIL-COMP 2015The Fifteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, 108, 59-59., Doi: 10.4203/ccp.108.59 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1703080)
- E Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:
1. ARMAĞAN KEMAL, MALKOÇ GÜLAY, SALTAN MEHMET, TERZİ SERDAL (2017). Bitümlü Sıcak Karışım Uygulamalarında Asfaltın Kendini İyileştirme

Yöntemleri ve Faydaları. 7.Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4277533)

2. ARMAĞAN KEMAL, KARAHANÇER ŞEBNEM, ERİŞKİN EKİNHAN, ÇAPALI BUKET, DEMİR FATMA, TERZİ SERDAL, SALTAN MEHMET (2017). Mekanistik Ampirik Kaplama Dizayn Metodu Uygulanmasının Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Önemi. 12.Ulaştırma Kongresi Ulaştırma Politikaları (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3856525)

F Sanat ve tasarım etkinlikleri :

1. Ulusal, ARKEOLOJİK KAZI VE YÜZEY ARAŞTIRMALARI/Yüzey Araştırmasına Katılmak/, 01.09.2015-05.09.2015, Antik yerleşimlerin ve yapıların planının çıkarılması , (No: 56920)

