

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİNDEN AASHTO 2002
İLE AASHTO 1993 YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Serdar AVCI**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİNDEN
AASHTO 2002 İLE AASHTO 1993 YÖNTEMİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Serdar AVCI**

(501031427)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat ERGÜN
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Güven ÖZTAŞ
Yrd.Doç.Dr. Halit ÖZEN**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışmada sonsuz yardım ve desteğinden dolayı sayın Yrd. Doç. Dr. Murat ERGÜN'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tezin hazırlanma sürecinde bana destek veren aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2006

Serdar AVCI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	X
SEMBOL LİSTESİ	XII
ÖZET	XVIII
SUMMARY	XIX
1. GİRİŞ	1
2. ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİ	3
2.1. Ampirik yöntemler	3
2.2. Analitik yöntemler	3
2.3. Analitik - ampirik yöntemler	4
3. AASHTO 2002 TASARIM YÖNTEMİ	5
3.1. Tasarım Rehberinin Amacı	5
3.1.1. Tasarım rehberine ihtiyaç	6
3.1.2. Tasarım rehberinin felsefesi	8
3.1.3. Tasarım rehberin kapsamı ve içeriği	10
3.1.4. Hiyerarşik tasarım girdileri	13
3.1.5. Üst yapı performansı	14
3.1.6. Tasarım güvenilirliği	18
3.2. Tasarım Verileri	25
3.2.1. Taban zemini özellikleri	25
3.2.1.1. Tasarım için taban zemini özellikleri	25
3.2.1.2. Taban zeminlerinin laboratuvar testleri	30
3.2.1.3. Özel taban zemini koşullarının tanımlanması	35
3.2.1.4. Taban zeminini iyileştirme ve güçlendirme	40
3.2.2. Malzeme özellikleri	44
3.2.2.1. Dikkate alınan malzeme faktörleri	46
3.2.2.2. Malzeme kategorileri	47
3.2.3. Çevresel etkiler	85
3.2.3.1. Analitik - ampirik tasarımda iklimin önemi	85
3.2.3.2. Tasarımda iklim etkilerinin ele alınması	86
3.2.3.3. EICM' nin ana çıktıları	90
3.2.3.4. Termal ve nem durumlarını modellemek için gereken iklim ve malzeme girdileri	91

3.2.3.5. Ayar faktörü, F_{env} , ayarlamak için M_r	101
3.2.3.6. Üstyapı sistemi boyunca sıcaklığın belirlenmesi	113
3.2.4. Trafik	122
3.2.4.1. Hiyerarşik yaklaşım	123
3.2.4.2. Trafik yükü / hacmi veri kaynakları	126
3.2.4.3. Varsayımlar	129
3.2.4.4. Trafiğin özelliklerini belirlemede gereken girdiler	129
3.2.5. Banketler	152
3.2.5.1. Yapısal tasarım	153
3.3. Analiz	154
3.3.1. Esnek üstyapı tasarım sürecine genel bakış	155
3.3.2. Tasarım girdileri	156
3.3.2.1. Deneme tasarımı girdileri ve saha koşulları	156
3.3.3. Üstyapı tepki modelleri	158
3.3.4. Yığılımlı bozulma ve hasar birikimi	159
3.3.5. Bozulma tahmini	159
3.3.5.1. Aşağıdan yukarı yorulma yada timsah sırtı çatlağı	160
3.3.5.2. Yüzeyden aşağıya yorulma kırılması veya boyuna çatlak	161
3.3.5.3. Kalıcı deformasyon yada tekerlek izi	162
3.3.5.4. Termal çatlak	163
3.3.5.5. Kimyasal stabilizeli tabakalarda yorulma çatlağı	164
3.3.6. Geometrik düzgünlük (IRI) öngörüsü	164
3.3.7. Performans değerlendirmesi ve tasarım değişiklikleri	165
3.3.8. Tasarım güvenilirliği	165
3.3.9. Ömür döngüsü masrafları tahmini	166
3.3.10. Esnek üstyapı tasarım yöntemi	166
3.3.10.1. Deneme tasarımı parametreleri	167
3.3.11. Üstyapı tepki modelleri	171
3.3.11.1. Analiz modelleri	171
3.3.12. Performans öngörüsü	171
3.3.12.1. Kalıcı deformasyon	172
3.3.12.2. Yorulma çatlağı	187
3.3.12.3. Termal çatlama modeli	197
3.3.12.4. Pürüzsüzlük (geometrik düzgünlük) modelleri (IRI)	210
3.3.13. Yerel koşullara kalibrasyon	214
3.3.13.1. Yerel koşullara kalibrasyon ihtiyacı	215
3.3.13.2. Kalibrasyona yaklaşım	216

4. AASHTO 1993 TASARIM YÖNTEMİ	219
4.1. Giriş	219
4.2. Esnek Üstyapının Tasarımı İçin Gerekli Veriler	221
4.2.1. Genel tasarım değişkenleri	221
4.2.1.1. Zaman kısıtları	222
4.2.1.2. Trafik	222
4.2.1.3. Güvenilirlik	226
4.2.1.4. Çevresel etkiler	228
4.2.2. Performans kriteri	230
4.2.3. Yapısal tasarım için malzeme özellikleri	231
4.2.3.1. Taban zemini elastisite modülü	231
4.2.3.2. Üstyapı tabakalarının tabaka katsayıları ve elastisite modülleri	232
4.2.4. Üstyapının yapısal özellikleri – drenaj	240
4.3. Gerekli Üstyapı Kalınlığının Belirlenmesi	240
5. AASHTO 2002 İLE AASHTO 1993 YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	243
5.1. AASHTO 93 Yöntemi	243
5.2. AASHTO 2002 Yöntemi	245
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	259
KAYNAKLAR	261
ÖZGEÇMİŞ	263

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHO	: American Association of State Highway Officials
JTFP	: Joint Task Force on Pavements
IRI	: International Roughness Index
HMA	: Hot mix asphalt
PCC	: Portland cement concrete
EICM	: The Enhanced Integrated Climate Model
PSR	: Present Serviceability Rating
PSI	: Pavement Serviceability Index
DCP	: Dinamik Konik Penetrometre
LTPP	: Long Term Pavement Performance
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
PI	: Plastisite İndeksi
MKBA	: Maksimum Kuru Birim Ağırlığı
ONİ	: Optimum Nem İçeriği
CMS	: The Climatic-Materials-Structural
CRREL	: Cold Regions Research and Engineering Laboratory
ID	: Infiltration and Drainage
SWCC	: Soil-Water Characteristic Curve
NCDC	: National Climatic Data Center
JPCP	: Jointed Plain Concrete Pavement
CRCP	: Continuously Reinforced Concrete Pavement
RF	: Reduction Factors
ESAL	: Eşdeğer Dingil Yüğü
FHWA	: Federal Highway Administration
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Taşıt
YOGAT	: Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt
WIM	: Weigh-In-Motion
AVC	: Automatic Vehicle Classification
DDF	: Directional Distribution Factor
LDF	: Lane Distribution Factor
AAF	: Aylık Ayar Faktörü
ATTS	: Ağır Taşıt Trafiği Sınıflandırması
SDF	: Saat Başı Dağılım Faktörleri

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Güvenilirlik seviyeleri.....	23
Tablo 3.2. Üstyapı malzemesi olarak zemin karakterlerinin özeti.....	28
Tablo 3.3. Tasarım için minimum laboratuvar test gereksinimleri.....	30
Tablo 3.4. Zeminlerin don hassasiyeti sınıflandırması.....	39
Tablo 3.5. Asfalt dinamik modülü (E*) çeşitli hiyerarşik girdi seviyeleri.....	50
Tablo 3.6. Tavsiye edilen kod değerleri.....	56
Tablo 3.7. Girdi seviyesi 1 için gerekli karakterizasyon testlerinin özeti.....	60
Tablo 3.8. Geleneksel bağlayıcı test verisi.....	60
Tablo 3.9. Seviye 1 - E* saptaması sayısal optimizasyon için veriler.....	62
Tablo 3.10. Seviye 2’de dinamik modül denklemi girdi verisi.....	64
Tablo 3.11. Gerekli olan seviye 2 bağlayıcı test verisinin özeti.....	64
Tablo 3.12. Asfalt PG düzeyi üzerine kurulmuş tavsiye edilen RTFO A ve VTS.....	66
Tablo 3.13. Asfalt viskozite düzeyi üzerine kurulmuş tavsiye edilen RTFOT A ve VTS.....	66
Tablo 3.14. asfalt penetrasyon düzeyi üzerine kurulmuş tavsiye edilen RTFOT A ve VTS.....	67
Tablo 3.15. Yoğun-dereceli HMA için tipik poisson oranları.....	68
Tablo 3.16. Açık - tesviye edilmiş (open graded) tipik poisson oranları.....	68
Tablo 3.17. Açık - tesviye edilmiş (open graded) tipik poisson oranları.....	68
Tablo 3.18. EICM için gerekli olan asfalt betonu malzeme özellikleri	72
Tablo 3.19. değişik hiyerarşik girdi seviyelerindeki pcc termal iletkenlik, ısı kapasitesi ve yüzey soğurganlığının tahmini.....	73
Tablo 3.20. Çimento, kireç ve kombine kireç, çimento, uçankül stabilizeli malzemeler için minimum sıkıştırma güçleri.....	74
Tablo 3.21. Kimyasal stabilizeli malzemelerin tipik esneklik (resilient) modülü.....	75
Tablo 3.22. Bozulmuş kimyasal stabilizeli malzemeler için esneklik modülü.....	75
Tablo 3.23. Kimyasal stabilizeli malzemeler için tipik bükülgen güç değerleri.....	76
Tablo 3.24. Kimyasal stabilizeli malzemeler için poisson oranı aralıkları.....	76
Tablo 3.25. EICM hesaplamaları için kimyasal stabilizeli malzemelerin termal geçirgenlik ve ısı kapasitesi tahmini.....	77
Tablo 3.26. Granüler (unbound) ve taban malzemeleri için tipik esneklik modülü değerleri.....	79
Tablo 3.27. Granüler (unbound) ve taban malzemeleri için tipik poisson oranları.....	80
Tablo 3.28. Granüler, taban ve anakaya malzemelerde dahili sürtünmenin efektif açısı.....	83

Tablo 3.29.	Yeni yeniden inşaat ve takviye tabakası anakaya katman esneklik modülü.....	84
Tablo 3.30.	Anakaya için poisson oranı.....	84
Tablo 3.31.	Kuru termal iletkenlik, k , kuru ısı kapasitesi, Q.....	100
Tablo 3.32.	EICM hesaplamalarında granüler malzemeler için girdiler.....	101
Tablo 3.33.	İri taneli ve ince taneli malzemeler için a,b ve km değerleri.....	104
Tablo 3.34.	İri taneli malzemeler için rf değerleri (P200 < % 50).....	106
Tablo 3.35.	İnce taneli malzemeler için RF değerleri (P200 > % 50).....	107
Tablo 3.36.	Quintile (beşte bir parça olarak) sıcaklık dağılımı.....	120
Tablo 3.37.	3 seviye için gerekli girdi verileri.....	126
Tablo 3.38.	Üç hiyerarşik girdi seviyesi için gerekli trafik verisi.....	127
Tablo 3.39.	Trafik özelliklerini belirlemede AAF varsayılan değerleri.....	136
Tablo 3.40.	Ağır taşıt trafiği sınıflandırması grup açıklaması ve buna bağlı araç sınıfı dağılımı varsayılan değerleri (yüzdelikler).....	139
Tablo 3.41.	Karayolu fonksiyonel sınıflandırması hakkında uygun atts grupları.....	140
Tablo 3.42.	LTPP trafik verisine dayanan saat başı ağır taşıt trafiği dağılımı.....	140
Tablo 3.43.	Zaman içinde ağır taşıt trafiğini tahmin etmede kullanılan fonksiyonu.....	141
Tablo 3.44.	Her ağır taşıt sınıfı için tek-aks yük dağılımı.....	143
Tablo 3.45.	Her ağır taşıt sınıfı için ikili-aks yükü dağılımı.....	144
Tablo 3.46.	Her ağır taşıt sınıfına düşen tekli, ikili, üçlü, dörtlü aksların ortalama sayısı.....	146
Tablo 3.47.	Direksiyon ve sürme aksı arasındaki boşluk ile akslar arasındaki dağılım.....	147
Tablo 3.48.	Normalleştirilmiş aks yükü dağılımını tahmin etmek için gereken minimum örnekleme büyüklüğü (her yılın günlerinin sayısı) - WIM verisi.....	150
Tablo 3.49.	Normalleştirilmiş ağır taşıt trafiği dağılımını tahmin etmek için minimum örnekleme büyüklüğü (her mevsim için günlerin sayısı) – AVC verisi.....	150
Tablo 3.50.	Her yıl ve günün toplam araçlarını tahmin etmek için (her yılın günlerinin sayısı) minimum örnekleme büyüklüğü – AVC yada araç sayımı verisi.....	151
Tablo 3.51.	Termal kırılma modeli için ulusal kalibrasyon parametreleri.....	199
Tablo 3.52.	LTPP sahaları ile termal çatlak modelinin onaylanması için istatistiksel özet $\beta = 1.0$	209
Tablo 3.53.	LTPP sahaları ile termal çatlak modelinin onaylanması için istatistiksel özet $\beta = 3.0$	209
Tablo 3.54.	LTPP sahaları ile termal çatlak modelinin onaylanması için istatistiksel özet $\beta = 5.0$	209
Tablo 4.1.	Tavsiye edilen analiz periyodları.....	222
Tablo 4.2.	Taşıt eşdeğerlik faktörleri.....	223
Tablo 4.3.	Şerit sayısına göre tavsiye edilen şerit dağıtma faktörleri.....	224
Tablo 4.4.	Tek dingil ve Pt = 2.0 İçin dingil yükü eşdeğerlik faktörleri.....	225
Tablo 4.5.	Tek dingil ve Pt = 2.5 için dingil yükü eşdeğerlik faktörleri.....	226
Tablo 4.6.	Yol sınıfları için önerilen güvenilirlik seviyesi oranları.....	227
Tablo 4.7.	Güvenilirlik oranlarına bağlı olarak verilen standart sapma değerleri.....	228

Tablo 4.8.	Başlangıç ve son servis yeteneği indisleri.....	231
Tablo 4.9.	Temel ve alt temel malzemeleri için tipik k_1 ve k_2 değerleri.....	233
Tablo 4.10.	gerilme durumu-elastisite modülü ilişkisi.....	233
Tablo 4.11.	Temel tabakası için taban zemini elastisite modülü (M_R) ile asfalt betonu kalınlığı değerlerine bağlı olarak kullanılması gereken " θ " değerleri.....	233
Tablo 4.12.	Alt temel için " θ " değerleri.....	236
Tablo 4.13.	Gerilme durumu " θ " ile elastisite modülü " ESB " ilişkisi.....	236
Tablo 4.14.	Üstyapı tasarımı için drenaj kalitesi düzeyleri.....	240
Tablo 4.15.	Esnek üstyapılarda tasfiye edilmemiş temel ve alt temel malzemeleri için önerilen "m" değerleri.....	240
Tablo 4.16.	Uygulamada kullanılabilecek min. asfalt kaplama ve temel kalınlıkları.....	241
Tablo 5.1.	Tabaka katsayıları.....	244
Tablo 5.2.	Ort aks aralıkları.....	247
Tablo 5.3.	YOGAT – tabaka kalınlıkları (cm).....	256

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Üç safhalı tasarım sürecinin kavramsal şeması.....	11
Şekil 3.2 : Hizmetedebilirlik ile gösterilen üst yapı performansı ve IRI.....	17
Şekil 3.3 : Düzgünlük için tasarım güvenilirliği kavramı (IRI).....	20
Şekil 3.4 : Belirli bir bozulma için tasarım güvenilirliği kavramı.....	21
Şekil 3.5 : Ölçülen çatlağın standart sapmasına karşı kalibrasyon veri sonuçlarından elde edilen tahmini çatlak.....	22
Şekil 3.6 : Güvenilirliğin değişik seviyelerinde çatlak tahminleri.....	23
Şekil 3.7 : Malzemelerin diğer bileşenler ile etkileşimi.....	45
Şekil 3.8 : Ana malzeme kategorileri.....	48
Şekil 3.9 : Ana eğrinin ve shift faktörlerinin şematığı.....	51
Şekil 3.10 : Asfalt betonu malzeme karakterizasyonu için akış şeması.....	59
Şekil 3.11 : Ayar katsayılarının matriksi ve zaman - derinlik diyagramı.....	109
Şekil 3.12 : Ayar katsayılarının matriksi.....	110
Şekil 3.13 : F_{env} ' nin hesaplanmasının örneği.....	111
Şekil 3.14 : Belirli bir analiz periyodu için sıcaklık dağılımı.....	119
Şekil 3.15 : Farklı araç sınıfları için doğrultusal dağılım faktörleri.....	131
Şekil 3.16 : Dört yada altı şeritli yollar için şerit dağılım faktörleri.....	133
Şekil 3.17 : Aya göre hafta içi, hafta sonu ve ağırlıklı ortalama günlük ağır taşıt trafiği.....	134
Şekil 3.18 : Şekil 2.17' de gösterilen müşterek OGAT verisinden ağır taşıt aylık ayar faktörleri (AAF).....	135
Şekil 3.19 : Gerekli trafik verisi toplamak için kullanılan araç sınıfları şekilleri.....	137
Şekil 3.20 : Asfalt üstyapı tabakalaşma sistemlerinin olası görünümü.....	157
Şekil 3.21 : Esnek üstyapılarda tekerlek izi türleri ve mekanizmaları.....	163
Şekil 3.22 : Performans öngörüsü için kullanılan deterministik yaklaşım.....	170
Şekil 3.23 : Üstyapı malzemelerinin tipik tekrarlı yük kalıcı deformasyonu.....	174
Şekil 3.24 : Kalıcı deformasyon yaklaşımı.....	183
Şekil 3.25 : Timsah sırtı yorulma çatlağı üzerinde hma tabaka kalınlığının etkisi.....	192
Şekil 3.26 : Boyuna yüzey yorulma çatlağı üzerinde hma tabaka kalınlığının etkisi.....	194
Şekil 3.27 : Seviye 1 öngörü hataları (gerçek üstyapı sıcaklığı).....	207
Şekil 3.28 : Seviye 1 öngörü hataları (tarihsel veriye dayanan tahmini üstyapı sıcaklıkları).....	207
Şekil 3.29 : Seviye 2 Öngörü hataları (gerçek üstyapı sıcaklığı).....	208
Şekil 3.30 : Seviye 2 Öngörü hataları (tarihsel veriye dayanan tahmini üstyapı sıcaklıkları).....	208
Şekil 4.1 : Belirli bir bölge için zamana bağlı olarak toplam çevresel servis	

	yeteneği kaybı.....	230
Şekil 4.2	: Asfalt betonunun tabaka katsayısının (a_1) resilient modüle bağlı olarak bulunması.....	234
Şekil 4.3	: Granüler temelin tabaka katsayısının (a_2) farklı gerilme değerlerine bağlı olarak bulunması.....	235
Şekil 4.4	: Granüler alt temel tabakasının tabaka katsayısının (a_3) bulunması.....	237
Şekil 4.5	: Çimentolu temel tabakasının tabaka katsayısının (a_2) bulunması.....	238
Şekil 4.6	: Bitümlü temel tabakasının tabaka katsayısının (a_2) bulunması.....	239
Şekil 4.7	: Esnek üstyapılar için tasarım çizelgesi.....	241
Şekil 4.8	: Tabaka analiziyle tabaka kalınlıklarının belirlenmesi.....	242
Şekil 5.1	: AASHTO 93 yöntemi, tabaka kalınlıklarını belirlemede bilgisayar kullanımı.....	244
Şekil 5.2	: AASHTO 2002 analiz parametreleri.....	246
Şekil 5.3	: Trafik girdileri.....	248
Şekil 5.4	: Trafik hacim ayarlama faktörleri – araç sınıfı dağılımı (%).....	249
Şekil 5.5	: Trafik hacim ayarlama faktörleri –saatlik dağılım (%).....	249
Şekil 5.6	: Genel trafik girdileri.....	250
Şekil 5.7	: İklim girdileri.....	251
Şekil 5.8	: Tabaka girdileri.....	252
Şekil 5.9	: Tasarım rehberi genel görünüş.....	253
Şekil 5.10	: Analiz parametreleri güvenilirlik çıktıları.....	254
Şekil 5.11	: Modül - zaman ilişkisi.....	254
Şekil 5.12	: Aşağıdan yukarı yorulma yada timsah sırtı çatlağı – zaman ilişkisi.....	255
Şekil 5.13	: Kalıcı deformasyon yada tekerlek izi– zaman ilişkisi.....	255
Şekil 5.14	: Pürüzsüzlük (IRI) öngörüsü–zaman ilişkisi.....	256
Şekil 5.15	: 1993 ve 2002 yöntemlerinde YOGAT-asfalt betonu kalınlıkları.....	257
Şekil 5.16	: 1993 ve 2002 yöntemlerinde YOGAT-bitümlü temel kalınlıkları.....	257
Şekil 5.17	: 1993 ve 2002 yöntemlerinde YOGAT-granüler temel kalınlıkları.....	258
Şekil 5.18	: 1993 ve 2002 yöntemlerinde YOGAT-granüler alttemel kalınlıkları.....	258

SEMBOL LİSTESİ

$S_{(t)}$	: Belirli bir zamandaki üstyapı düzgünlüğü, t (IRI, in/mi)
S_0	: İnşaattan hemen sonraki birincil düzgünlük (IRI, in/mi)
$S_{D(t)}(i = 1 \text{ to } n)$	: Analiz periyodunda belirli bir zamanda, t, i' inci bozukluğa bağlı olarak düzgünlükte değişme
$a_{(i = 1...n)}, b_j, c_j$	: Regresyon sabitleri
S_j	: Saha faktörlerine bağlı düzgünlükte değişim (taban zemini ve yaş)
M_j	: Bakım faaliyetlerine bağlı olarak düzgünlükteki değişim
μ	: Poisson oranı
k_o	: hareketsiz yer basıncı katsayısı
σ_1	: Elastik tabaka teorisi ile hesaplanan tekerlek yükünden Düşey gerilme
p_o	: Diğer tabakaların aşırı yüklenmesinden hareketsiz Düşey basınç
E^*	: Dinamik modül
t_r	: Referans sıcaklıktaki yükleme zamanı
δ, α	: Verilen bir veri seti için uygun gelen (fitting) parametreleri
δ	: E^* nin minimum değeri
$\delta + \alpha$	: E^* nin maksimum değeri
β, γ	: Sigmoidal fonksiyonun şeklini tarif eden parametreler
t	: Verilen ilgili sıcaklıktaki yükleme zamanı
$a(T)$	: Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak shift faktörü
T	: İlgili sıcaklık
η	: Bitümün viskozitesi, 10^6 Poise
f	: Yükleme frekansı, Hz
V_a	: Hava boşluğu içeriği, %
V_{beff}	: Etkin bitüm içeriği, % hacim olarak
ρ_{34}	: Yığılımlı olarak 3/4 elekten geçen (%)
ρ_{38}	: Yığılımlı olarak 3/8 elekten geçen (%)
ρ_4	: Yığılımlı olarak No. 4 elekten geçen (%)
ρ_{200}	: No. 200 elekten geçen (%)
T_R	: Sıcaklık, rankine
A	: Regresyon durdurması
VTS	: Viskozite sıcaklık duyarlılığının regresyon eğimi
$\eta_{t=0}$	: Karışım/yerleştirme viskozitesi, (cP)
η_{orig}	: Orijinal viskozite, (cP)
$Code(kod)$	: Sertleştirme oranı (ortalama için 0)
η_{aged}	: Yaşlı vizkozite, (cP)
$\eta_{t=0}$	: Karışımındaki vizkozite, (cP)

Maat	: Ort. yıllık hava sıcaklığı, (°F)
VA_{orig}	: Başlangıçtaki hava boşlukları
t	: Ay olarak zaman
η_{orig,77}	: Orijinal binder viskozitesi 77 °F de, (mpoise)
Pen	: Penetrasyon (mm/10), 100 g, 5 sn yükleme için
G*	: Bağlayıcı kompleks kesme modülü, (Pa)
δ	: Bağlayıcı faz açısı, (°)
η_{Tr}	: Referans sıcaklıktaki viskozite, (Cpoise)
α,β,δ,γ,c	: Karışıma özel parametreler
t_r	: Azaltılmış zaman, (sn)
TS	: 14 °F 'de doğrusal olmayan çekme dayanımı
Va	: İnşaat HMA hava boşlukları, (%)
VFA	: Asfalt ile doldurulan boşluk oranı, (%)
Pen₇₇	: 77 °F'de bağlayıcı penetrasyonu, mm/10
A	: Viskozite-sıcaklık hassasiyet intercept
L_{MIX}	: Asfalt betonu karışımının termal büzülmesinin doğrusal katsayısı (1/°C)
B_{ac}	: Katı durumdaki asfalt çimentosunun termal büzülmesinin volümetrik katsayısı (1/°C)
B_{AGG}	: Agreganın termal büzülmesinin volümetrik katsayısı (1/°C)
VMA_{mineral}	: Agregadaki boşluk hacimlerinin yüzdesi (= % hava boşluğu hacmi + %asfalt çimentosunun hacmi – %soğrulan asfalt çimentosunun hacmi)
V_{AGG}	: karışımdaki agreganın hacminin yüzdesi
V_{TOTAL}	: % 100
γ_{water}	: Suyun birim ağırlığı
M_R / M_{ropt}	: Esneklik modül oranı; M _R belirli bir zamandaki esneklik modülüdür ve M _{opt} ireferans bir koşuldaki esneklik modülüdür.
a	: Log(M _R /M _{ropt})'un minumumu
b	: Log(M _R /M _{ropt})'un maksimumu
k_m	: Regresyon parametresi
(S – S_{opt})	: Ondalık olarak doyma derecesindeki değişim
M_{Rfrz}	: M _{Rmax} = M _R donmuş malzemeler için
M_{Runfrz}	: Donmamış malzeme için normal M _R
M_{Rmin}	: Hemen çözülme sonrası M _R
RR	: Toparlama oranı
Δt	: Çözülme başladıktan sonra geçen zaman
T_R	: Toparlama periyodu: çözülme durumundan sonra malzemenin normale dönmesi için (donmamış duruma) gereken zaman
node	: Düğüm sayısı
t	: Zaman
h_{node}	: Söz konusu düğüme tayin edilen sıçrayış yüksekliği
M_{R node, t}	: Düğüm için modül
h_{total}	: Söz konusu tabaka/alttabakanın toplam yüksekliği
F_{env}	: Söz konusu alt tabaka için bileşik ayar faktörü
F_{node,t}	: Belirli bir düğüm ve zaman artışıındaki ayar faktörü (malzemenin durumuna bağlı olarak F _F , F _R , yada F _U olabilir)
k₁, k₂, k₃	: Regresyon sabitleri

p_a	: Atmosferik basınç
θ	: Hacimsel
τ_{oct}	: Sekizgen kesme gerilmesi
Q_i	: Gelen kısa dalga radyasyon
Q_r	: Yansıtılan kısa dalga radyasyon
Q_a	: Gelen uzun dalga radyasyon
Q_e	: Giden uzun dalga radyasyon
Q_c	: Konvektif ısı transferi
Q_h	: Terleme, buğulanma, buharlaşma ve yükselmenin etkileri
Q_g	: Toprak tarafından absorbe edilen enerji
Q_s	: Net kısa dalga radyasyon
Q_l	: Net uzun dalga radyasyonu
a_s	: Üstyapı yüzeyinin yüzey kısa dalga soğurganlığı
R^*	: Dış atmosferde yatay yüzey üzerinde uzay kaynaklı radyasyon olayı
A, B	: Yaygın serpinti ve atmosferden absorbe edilenleri temsil eden sabit sayılar
S_c	: Bulut kapamasının etkisini hesaba katmak için günışığı yüzdeliği
RD	: Üstyapı kalıcı deformasyon
$n_{sublayers}$	: Alttabakaların sayısı
ϵ_p^i	: Alttabaka i’de toplam plastik şekil değiştirme
h^i	: Alttabaka i’nin kalınlığı
ϵ_p	: Yükün N tekranında biriken plastik şekil değiştirme
ϵ_r	: Karışım özelliklerinin, sıcaklığın ve yüklemenin zaman oranının (in/in) bir fonksiyonu olarak asfalt malzemenin esneklik şekil değiştirmesi
N	: Yük tekrarlarının sayısı
T	: Sıcaklık (deg F)
δ_a	: Tabaka/alttabaka (in) için kalıcı deformasyon
N	: Trafik yükü tekrar sayısı
$\epsilon_o, \beta, \text{ and } \rho$	: Malzeme özellikleri
ϵ_r	: Şekil değiştirme (in/in)
ϵ_v	: İlk tepki modelinden elde edildiği şekliyle tabaka/alttabakada ortalama düşey esneklik şekil değiştirmesi (in/in)
h	: tabaka/alttabaka’nın kalınlığı (in)
β_1	: Granüler taban malzemeleri için kalibrasyon faktörü
W_c	: Su içeriği (%)
E_r	: Tabaka/alttabakanın esneklik modülü (psi)
GWT	: Yeraltı suyu tablası derinliği (ft)
RD_P	: Güvenilirlik seviyesi P’ de öngörülen tekerlek izi, (inç)
RD_i	: Orta girdiler bazında öngörülen tekerlek izi, (inç)
Se_{rdi}	: Orta tekerlek izinin öngörülen seviyesinde standart sapma
Z_p	: Standart normal sapma
I	: Tabaka tipi, HMA, temel, veya taban
D	: Hasar
T	: Periyodların toplam sayısı
n_i	: Periyodu için gerçek trafik
N_i	: Hüküm süren i koşulları altında izin verilen trafik
N_f	: Yorulma çatlağı tekrar sayısı

ϵ_t	: Kritik bölgede şekil değiştirme
E	: Malzemenin elastisite modülü
k_1, k_2, k_3	: Laboratuvar regresyon katsayıları
$\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$	: Kalibrasyon parametreleri
C	: Laboratuvardan alan uyum faktörüne
FC_{bottom}	: Aşağıdan yukarıya yorulma çatlağı, şerit alanının yüzdeliği
D	: Aşağıdan yukarıya yorulma hasarı
D	: Yukarıdan aşağıya yorulma hasarı
FC_{top}	: Yukarıdan aşağı yorulma çatlağı
FC_{PP}	: Güvenilirlik seviyesindeki öngörülen çatlak % veya ft/mil
FC_i	: Ortalama girdiler bazında öngörülen çatlak (% 50' lik güvenilirliğe karşılık) (% veya ft / mile)
Se_{FCi}	: Ortalama çatlağın öngörülen seviyesinde çatlağın standart hatası
Z_P	: Standart normal sapma
C_f	: Termal çatlamanın gözlemlenen miktarı
β_1	: Alan ölçümlemesi ile elde edilen regresyon katsayısı
$N(z)$	: (z) de tayin edilen standart normal dağılımı
σ	: Üstyapıdaki çatlakların derinliğinin kaydının (log) standart sapması
C	: Çatlak derinliği
h_{ac}	: Asfalt tabakasının kalınlığı
ΔC	: Bir soğutma döngüsü sebebiyle çatlak derinliğindeki değişim
ΔK	: Bir soğutma döngüsü sebebiyle gerilme şiddetindeki değişim
A, n	: Asfalt karışımı için kırılma parametreleri
$D(t)$	: t zamanında sünme uyumu tepkisi.
$H_m(t)$	: t zamanında ölçülen yatay saptırma.
GL	: Ölçek uzunluğu (=25.4 mm, 101.6 mm çap için; =38.1 mm, 152.4 mm çap için)
P	: Sünme yükü
t	: Numune kalınlığı
D	: Numune çapı
μ	: Poisson oranı
$C_{CMPL, SX, SY, BX}$	: Sıra ile, boyutsuz sünme uyumu için düzeltme faktörleri, yatay gerilme düzeltme faktörü, dikey gerilme düzeltme faktörü, ve yatay şişme faktörü
D_1, m	: Kırılma katsayıları
t	: Saniye olarak yükleme zamanı
T	: Test sıcaklığı (°C) (Ör : 0, -10, ve -20 °C)
V_a	: Hava boşlukları (%)
VFA	: Asfalt ile doldur boşluk oranı(%)
V_{beff}	: Etkin bağlayıcı içeriği, (%)
A_{RTFO}	: RTFO durumu için bağlayıcı viskozite-sıcaklık ilişkisi
T	: Test sıcaklığı (°C) (Ör: 0, -10, ve -20 °C)
V_a	: Hava boşlukları (%)
A	: Bağlayıcı viskozite-sıcaklık ilişkisinin kesişmesi
VTS	: Bağlayıcı viskozite-sıcaklık ilişkisinin eğimi
ξ	: Azaltılmış zaman
a_T	: Sıcaklık kayması faktörü

D(ξ)	: Azaltılmış zamanda ξ sünme uyumu
D(0),D_i,τ_i,η_v	: Prony serileri parametreleri
E(ξ)	: Azaltılmış zamanda rahatlama modülü ξ
E_i, λ_i	: Ana Rahatlama modülüs eğrisi için prony serileri parametreleri
$\sigma(\xi)$	: Azaltılmış zamanda gerilme ξ
E(ξ- ξ')	: Azaltılmış zamanda rahatlama modülü ξ - ξ'
ε	: Azaltılmış zamanda şekil değiştirme ξ ($= \alpha (T (\xi') - T_0)$)
α	: Termal büzülmenin doğrusal katsayısı
T(ξ')	: Azaltılmış zamanda üstyapı sıcaklığı ξ'
T₀	: $\sigma = 0$ olduğunda üstyapı sıcaklığı
ξ'	: Entegrasyonun değişkeni
K	: Gerilme yoğunluğu faktörü
C_o	: Şimdiki çatlak uzunluğu, (feet)
C_f	: Termal çatlağın gözlemlenen miktarı
N ()	: ()' de değerlendirilen Standart normal dağılım
C	: Çatlak derinliği(mm)
IRI	: Verilen herhangi bir zamanda ki IRI, (m/km)
IRI₀	: İlk IRI, (m/km)
SF	: Saha faktörü
e^{age/20} - 1	: Yaş terimi (yaş, yıllar olarak ifade edilir)
COV_{RD}	: İz derinliklerinin varyasyonunun katsayısı, yüzdelik (% 20 olarak varsayılır)
(TC_L)_T	: Enine çatlakların toplam uzunluğu (düşük, orta ve yüksek şiddetteki seviyeler, m/km)
(FC)_T	: Tekerlek yolundaki yorulma çatlağı, toplam şerit alanının yüzdesi
(BC)_T	: Toplam şerit alanının yüzdesi olarak blok çatlağı alanı (kullanıcı girdisi)
(LC_{SNWP})_{MH}	: Teker yolu dışında orta ve yüksek şiddette onarılmış boyuna çatlakların uzunluğu, m/km (kullanıcı girdisi)
R_{SD}	: Aylık yağışın standart sapması, (mm)
P_{.075}	: 0.075 mm'lik elekten geçme yüzdesi
PI	: Zeminin plastisite indeksi yüzdesi
FI	: Ortalama yıllık donma indeksi, °C - günler
P₀₂	: 0.02 mm'lik elekten geçme yüzdesi
R_m	: Ortalama yıllık yağış, mm
IRI_P	: P güvenilirlik seviyesindeki öngörülen IRI, (m/km)
IRI	: ortalama girdilere dayanan öngörülen IRI (% 50' lik güvenilirlik seviyesine denk gelir) (m/km)
STD_{IRI}	: Ortalama IRI öngörü seviyesindeki IRI'nın standart sapması
Z_p	: Standart normal sapma
Var [IRI]	: Ortalama IRI' nın öngörülen seviyesinde IRI' nın varyansı
Var [IRI₀]	: İlk IRI' nın varyansı
Var [SF]	: Saha faktörü varyansı (tipik değerler kullanarak tahmin edilir)
Var [(FC)_T]	: Tekerlek yolunda yorulma çatlağının varyansı (yorulma çatlağı standart sapma modelinden tahmin edilmiştir)
Var [COV_{RD}]	: İz derinliğinin çeşitliliğinin katsayısının varyansı (tipik değerler kullanarak tahmin edilir)
Var(TC_L)_T	: Enine çatlakların toplam uzunluğunun varyansı (bütün şiddet seviyelerinde)

Var[(BC)_T]	: Blok çatlamasının alanının varyansı (tahmini)
S_e²	: Genel model hatasının varyansı = 0.15 (m/km) ²
(TC_S)_H	: Yüksek şiddette enine çatlakların ortalama aralığı, m (termal çatak modelinden tahmin edilmiştir)
(P)_H	: Yüksek şiddette yamaların alanı, toplam şerit alanının yüzdesi, % (kullanıcı girdisi)
Var[(TC_S)_H]	: Yüksek şiddette enine çatlakların ortalama aralıklarının varyansı (termal çatlak modelinden tahmin edildi)
Var[(P)_H]	: Yüksek şiddetteki yamaların alanının varyansı (tipik değerlerden tahmin edildi)
SD_{RD}	: İz derinliklerinin standart sapması, (mm)
RD	: Ortalama tekerlek izi derinliği, (mm)

ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİNDEN AASHTO 2002 İLE AASHTO 1993 YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Üstyapı projelendirilmelerindeki genel amaç, tabaka kalınlıklarının ve tabaka malzeme özelliklerinin, üstyapı proje ömrü boyunca, üzerinden geçen trafik yükleri ile çevre koşullarına karşı, çatlak ve deformasyonlar yönünden istenen sınırlar içinde kalacak şekilde belirlenmesi, olarak söylenebilir. 1986 yılındaki AASHTO yöntemi hazırlanırken gelecekte analitik ve ampirik formullerin kullanımının artacağı öngörülmüştür. Hesaplamaların yapılmasında bilgisayarların yoğun olarak kullanılması günümüzde gerçekleşmiş ve bu tasarım ile ilgili formulüzasyonların bilgisayarlara aktarımıyla, tasarımda, analitik-ampirik olmasından dolayı meydana gelebilecek hata riski azaltılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, 2004 yılı Mayıs ayında açıklanan AASHTO 2002 Yol Üstyapısı tasarım yöntemini incelemek ve AASHTO 1993 yöntemi ile karşılaştırmaktır. Bu amaca yönelik olarak çalışmanın ilk bölümünde genel olarak üstyapı tasarım yöntemlerinden bahsedilmiş ve kısaca tasarım yöntemlerinin gelişimi anlatılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise detaylı olarak AASHTO 2002 yöntemi anlatılmıştır. Bu yöntemde, ilk olarak üstyapı tasarım parametrelerini etkileyen faktörler ile, daha sonrasında esnek üstyapı tasarımında kullanılan parametreler ve bozulma tipleri açıklanmıştır. Bu bozulma tiplerinin, üstyapı seçiminde ve analizinde oynadığı etkin rol vurgulanmıştır. Bu bölümün sonunda, AASHTO 2002 yöntemi ile tasarımın nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde, AASHTO 1993 yöntemi ve bu yöntemde kullanılan parametreler incelenmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise, her iki yöntem örneklerle karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemde de, örnekleri yardımıyla, Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt sayısının tasarlanan kaplama kalınlığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, her iki yöntemin olumlu ve olumsuz yönleri ile karşılaştırmadan elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

COMPARISON OF FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN METHODS AASHTO 2002 AND AASHTO 1993

SUMMARY

It can be said that the general aim of pavement designing are choosing convenient layer thickness and material properties under desired cracks and deformations limitation during the project life of pavement. These cracks and deformations occur due to the environmental conditions and traffic loads that passes over the pavement. When AASHTO was formed in 1986, it was realized that in the future the usage of analytical-empirical methods are going to be increase. Today, the error risk which occurs because of these analytical-empirical formulas, are decreased, due to the computers are used widely as a calculation tool.

The main aim of this study is to search AASHTO 2002 pavement design method which presented in 2004 May and to compare with AASHTO 1993 method. To reach this aim, the pavement design methods and their history have been explained in the first part of this study generally. AASHTO 2002 method is clarified in detail in the second part of study. Furthermore, the parameters which affect the pavement design, deformation types are explained. In the third part of study, AASHTO 1993 method and related parameters used in this method are examined. In the fourth part this study, these two methods are compared with each others using examples. While analyzing these examples, mainly the effects of Average Annually Daily Truck Traffic on the layer thickness are searched. As a result of this study, the advantages and disadvantages of these two methods are given using the examples and results taken from these comparisons.

1. GİRİŞ

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. Mevcut üstyapıların ömrü, ağır taşıt trafiğindeki artış ve aşırı yüklemeler nedeniyle, beklenenden daha az olmakta ve daha çabuk bozulabilmektedir. Bozulmaların bakım-onarımı da ekonomik yönden çok ağır olmaktadır.

AASHO 1993 yol testi, sadece belirli bir coğrafyada uygulandığından, farklı iklim koşullarında üst yapıya etkisine bakılması mümkün değildir. İklim etkilerinin doğrudan hesaba katılması, geliştirilmiş üstyapı performansı ve güvenilirlik için gereklidir. Bunun yanında, günümüzde birçok asfalt karışımı ve çimento betonu kullanılmaktadır. Önceki tasarım rehberlerinde, taşıt süspansiyonu, aks 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, üst yapı geometrik düzgünlüğü ve sürüş kalitesinin bir ölçütü olan Uluslararası Pürüzlülük Endeksi’nin de (IRI) kullanımı gerekmektedir.

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.

AASHTO Birleşik Görev Gücü (JTfP) tarafından, geliştirilmiş bir tasarım rehberi oluşturmak için Irvine, California’ da 24–26 Mart 1996’ da bir Atölye Çalışması yapılmıştır. Yeni tasarım rehberine en iyi uyum sağlayacak teknolojileri belirlemek için, trafik yükleri, taban zemini, malzeme özellikleri, üst yapı performansı ve çevre koşulları gibi alanlar hedef alınmıştır. Atölye Çalışması’nın sonucunda, mümkün olduğunca analitik prensiplere dayalı, esaslı ve uzun vadeli bir tasarım rehberi hedefi ortaya konmuştur. Bu hedef 2004 yılı mayıs ayında AASHTO 2002 Yol Üstyapısı tasarım yöntemi olarak açıklanmıştır.

Bu çalışmanın ana amacı, AASHTO 2002 Yol Üstyapısı tasarım yöntemini incelemek ve AASHTO 1993 yöntemi ile karşılaştırmaktır.

2. ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİ

Esnek üstyapı tasarım yöntemleri genel olarak 3 gruba ayrılmaktadır :

- Ampirik Yöntemler
- Analitik Yöntemler
- Analitik - Ampirik Yöntemler

2.1. Ampirik Yöntemler

Ampirik yöntemler, yapılan deneylerde çıkan sonuçlara bağlı kalınarak yapıldığı için değişik bölgelerde çıkan sonuçlar gerçekçi olmayabilir, fakat, malzeme özelliklerinin yeterli seviyede belirlenememesi nedeniyle, uzun yıllar bu yöntem kullanılmıştır.

Bu Yönteme örnek olarak Yol Notu 29 yöntemi verilebilir. 1960' lı yılların başlarında orta ve ağır taşıtlar için üstyapının tasarlanması için doğmuş, daha sonrasında 1965 yılında bu oluşuma hafif taşıtlar da katılmıştır.

2.2. Analitik Yöntemler

Üstyapıdaki malzemenin özellikleri, trafik yükleri ve çevre koşulları göz önüne alınarak, gerilme teorileri ve bunlardan türetilen abaklar yardımıyla üstyapı tabaka kalınlıkları tasarlanabilmektedir.

1963 yılında Shell, esnek üstyapının tasarımı ile ilgili laboratuvar testleri ve AASHTO Yol Testi sonuçlarını kullanarak bir tasarım çizelgesi hazırlamıştır. Daha sonrasında 1978 yılında tasarım paketi, malzeme özellikleri, trafik yüklemesi ve sıcaklıkla ilgili parametrelerle güncellenmiş ve 1985' te genişletilerek son halini almıştır.

2.3. Analitik - Ampirik Yöntemler

İlk olarak Üstyapı Tasarım Yöntemi, AASHO tarafından 1956-1958 yılları arasında Illinois'te inşa edilen, çeşitli tip ve kalınlıkta kaplamalardan oluşan, deneme yolundaki gözlemlerin sonuçlarına dayanılarak hazırlanmıştır. Yolun farklı dingil yüklerini içeren taşıt yükleri altındaki davranışı ve hizmet düzeyi 2 yıl boyunca gözlenmiş, ölçümler sonunda elde edilen veriler bilgisayarlardan da yararlanılarak değerlendirilip mevcut diğer tasarım yöntemleri ile mevcut teorik bilgileri destekleyen yeni bir tasarım yöntemi önerilerek, 1962 yılında AASHO Rijit ve Esnek Üstyapıların Tasarımı Rehberi adıyla yayınlanmıştır.

Rehber bir süre kullanıldıktan sonra AASHTO Tasarım Komitesi tarafından gözden geçirilip yenilenmiş ve 1972 yılında yeni hali yayınlanmıştır.

Yıllar sonra, 1972' den o güne kadar üstyapı tasarımı ve analiz teknolojisindeki gelişmelerin de rehberde yerini alması gerektiği düşüncesiyle 1983 yılında Üstyapı Tasarımı Alt Komitesi ve bir müşavirler grubu çalışmalarına başlamış, 1986' da da AASHTO 1986 Üstyapı Tasarımı Rehberi yayınlanmıştır. Burada, esnek üstyapı tasarım yöntemleriyle ilgili önemli değişiklikler olmuş, esnek üstyapıların tasarımı kısmen deneyimlere dayandırılmakla birlikte, taban zemini taşıma gücü, trafik dingil yükleri ve tekrarı ile ilgili yerel koşullar ve ayrıca üstyapıda kullanılan malzemelerin birbirlerine göre direnç özellikleri de göz önünde bulundurulmuştur.

1993 yılında AASHTO Tasarım Rehberi'nin gözden geçirilmiş bir hali yayınlanmış, bununla birlikte esnek üstyapı tasarım yöntemleri konusunda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

3. AASHTO 2002 TASARIM YÖNTEMİ

3.1. Tasarım Rehberinin Amacı

Tasarımın genel hedefi, analitik ve ampirik prensiplere dayanan yeni ve takviye tabakası uygulanacak üst yapılar hakkında temel bir prensibe dayalı karayolu ortaklığı sağlamaktır.

Tasarımcı, yeni yada takviye tabakası uygulanacak üst yapıları tasarlamadan önce, mevcut saha (trafik, iklim, taban, takviye tabakası için mevcut üst yapının durumu) ve inşaat durumlarını gözden geçirir [1]. Tasarımcı tasarım sürecine dahil bir elemandır. Tasarım denemesinden sonra mevcut bozukluklar, istenen performansın elde edilememesi gibi durumlarda, tasarımcı, saha şartları ve malzeme özellikleri konularında esnek davranarak tasarımı en iyi seviyeye getirmeye çalışır ve bu konular üzerinde oynamalar yapar.

Karayolları üst yapılarının yapım harcamalarının çok fazla olmasından dolayı, karayolu bütçelerinin en verimli kullanımı için mevcut en iyi tasarım yönteminin uygulanması gerekmektedir. Yeni yada takviye tabakası uygulanacak üst yapı bünyelerinin tasarımındaki herhangi bir gelişme veya yenilik, bu yapılardaki bakım masraflarını düşürmede önemli ve gözle görülür olanaklar sunmuştur.

1986 ve 1993 AASHTO Rehberleri, takviye tabakası tasarımı için malzemelerin kullanım parametreleri, tasarım güvenilirliği ve ampirik yöntemleri hakkında bazı incelikleri içerir [2,3,4].

AASHO Yol Testinden itibaren günümüze kadar, üst yapı tasarımı teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması konusunda Üst Yapılarda AASHTO Birleşik Görev Gücü (JTFP) (Joint Task Force on Pavements) görev yapmaktadır.

JTFP tarafından, geliştirilmiş bir tasarım rehberi oluşturmak için Irvine, California' da 24-26 Mart 1996' da bir atelye toplantısı yapılmıştır. Yeni tasarım rehberine en iyi

uyum sağlayacak teknolojileri belirlemek için, trafik yüklemesi, taban zemini, malzeme özellikleri, üst yapı performansı ve çevre koşulları gibi alanlar hedef alınmıştır. Atelye toplantısının sonucunda, JTFP tarafından belirlenecek ve mümkün olduğunca analitik prensiplere dayalı, esaslı ve uzun vadeli bir hedef çıkmıştır. Bu Tasarım Rehberi, o hedefin bir sonucudur.

3.1.1. Tasarım Rehberine İhtiyaç

- **Trafik Yükleme Yetersizlikleri** : 1993 yılından sonra, taşıt teknolojilerindeki gelişmeler ve ağır taşıt trafiğindeki artışlar (10-20 kat) karşısında tasarım, özellikle kalıcı deformasyonlara (Tekerlek İzinde Oturmalar) cevap veremez hale gelmiştir. Daha önce, 1 milyon aks yükü için yapılan yol üst yapısı testi daha ömrünü 2 yıl geçmeden tamamlamaktadır. Bundan dolayıdır ki tasarımcı, çoğu zaman tasarım metodolojisinin temelini oluşturan deneyimin çok ilerisine giderek tahminde bulunur. Bu da bir nevi karanlıkta çalışmak anlamına gelmekte ve sonuçların tasarımın üzerinde ya da altında çıkmasıyla da ekonomik kayıplar çok büyük değerlere ulaşmaktadır.

- **Takviye Tabakası Uygulamada Yetersizlikler** : 1993 AASHTO yol testinde takviye tabakası konusunda, özellikle ağır trafiklerde yöntemler tamamen ampirik ve oldukça kısıtlı kalmaktadır. Bugünün karayolu trafik yüklerini karşılayacak, geliştirilmiş, takviye tabakası tasarımları daha uzun ömürlü ve daha düşük maliyetli sonuçlar doğurabilecektir.

- **İklim Etkileri Yetersizlikleri** : AASHO yol testi sadece belirli bir coğrafyada uygulandığından farklı iklim koşullarında üst yapıya etkisine bakılması mümkün değildir.

Örnek olarak ilkbaharda eriyen karlardan dolayı oluşan bozulmalar ülkenin büyük bölümünde görülmediğinden, iklim etkilerinin doğrudan düşünülmesi, geliştirilmiş üstyapı performansı ve güvenilirlik yönünden atılmış sağlam adımlardandır.

- **Taban Zemini Yetersizlikleri** : AASHO yol testi sadece belirli bir coğrafyada uygulandığından, farklı iklim koşullarındaki üst yapı etkisine bakılması mümkün değildi. İklim etkilerinin doğrudan hesaba katılması, geliştirilmiş üstyapı performansı ve güvenilirlik için gereklidir.

- **Kaplama Malzemeleri Yetersizlikleri** : Sadece bir tane bitümlü karışım (HMA- hot mix asphalt) ve bir tane Portland Çimento Betonu (PCC – portland cement concrete) kullanılmasına karşın, bugün birçok bitümlü karışım ve çimento betonu kullanılmaktadır.
- **Temel Tabakası Yetersizlikleri** : İki tane kalın granüler temel ve alt temel malzemeleri dahil edilmiştir (Esnek üst yapılar için stabilize temellerin sınırlı testleri de ilave edilmiştir). Bunlar, donma ve erezyona bağlı olarak, modüllerde önemli kayıplara neden olmuştur. Günümüzde birçok yüksek kalitede stabilize malzeme, ağır taşıt yüklemelerinde de kullanılmaktadır.
- **Ağır Taşıt Özellikleri Belirlemede Yetersizlikler** : Önceki tasarım rehberlerinde, taşıt süspansiyonu, aks tipleri ve lastik tipleri 1980' li yılları temsil etmiştir. Günümüzde ise, değişik lastik tipleri, artan lastik basınçları (örneğin eskiden, ağır taşıtlar için lastik basıncı 80 psi ken şu anda 120 psi olmuştur) kullanılmaktadır.
- **İnşaat ve drenaj Yetersizlikleri** : Yol testi zamanında hiçbir drenaj uygulaması kullanılmamıştır. Şu anda en fazla kullanılan pozitif alt drenajdır.
- **Tasarım ömrü Yetersizliği** : Mevcut esnek üst yapılar ile ilgili gözlemlenen bir diğer problem, gerçek performansı ile tasarım ömrü kıyaslandığında büyük farklılıklar göstermesidir. Bu farklılıkların olması şaşırtıcı değildir. Çünkü, mevcut AASHTO 1993 tasarım yöntemi sadece 2 yıllık performans verisine dayanır ve uzun vadeli iklim etkilerini ele alamaz.
- **Performans Yetersizlikleri** : Daha önce, üstyapı kalınlığı ile performansı arasında bir bağlantı olduğu düşünülüyordu. Gerçekte bunun böyle olmadığı görülmüştür (termal çatlaklar, yorulma çatlakları, tekerlek izi).
- **Güvenilirlik Yetersizlikleri** : Tasarım güvenilirliğini arttırmak ve kaynak yönetiminin gereklerini yerine getirmek için, işletme kriterleri ve üst yapı tasarım kriterleri aynı ölçütlü performans kriterleri ile bağlı olmalıdır [5]. Problemlerin azaltılması için, üst yapı geometrik düzgünlüğü ve sürüş kalitesinin bir ölçütü olarak esnek ve rijit üst yapılar için ana bozulma tipleri ve Uluslararası Pürüzlülük Endeksi (IRI) kullanmış ve tasarım kriteri olarak hesaplamada yer almıştır.

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

3.1.2. Tasarım Rehberinin Felsefesi

- Rehber genel olarak uygulamada karşılaşılan eski ve yeni tüm teknolojileri kullanır.
- Rehber, tasarımcıya, çeşitli tasarım ve malzeme seçenekleri sunarak çok yönlülük kazandırır.
- Rehber üst yapı tipi seçiminde, tarafsız bir tasarım altyapısı sunar.
- Rehber, hem yeni hem de takviye tabakası tasarım konularına yer verir.
- Yazılım kullanıcı dostudur.
- Rehber projenin önemi ve çalışmanın seviyesini dengelemek amacıyla, 3 hiyerarşik girdi seviyesi sunar. Bu, ileride geliştirilebilecek tasarım yöntemleri için de faydalı olmuştur.

Bundan önceki AASHTO tasarım yönteminin temel sorunlarından birisi de, tasarım yöntemine, önemli malzeme özelliklerini, yeterli ve tam olarak katamamış olmasıdır. Önceki AASHTO esnek tasarım yönteminde, malzeme özelliği olarak katılan tek unsur, yüzeysel tanımlı tabaka katsayısı “a” dır. Hiçbir unsur, bu parametreden daha belirsiz olamamıştır.

Malzeme özelliklerinin bu şekilde ele alınması çok büyük bir eksiklik ve çok erken hatalara sebep olabilir. Bu çeşit bir sınırlama, AASHO Yol testine dahil edilen malzeme kalitesindeki çeşitliliğin, deneysel bir farklılık olmadığı gerçeğinden gelmesidir. Tasarım Rehberi bütün faktörleri ve daha fazlasını doğrudan ele almaktadır. Örneğin, yorulma çatlağını kontrol etmek için asfalt sınır tabakasının altındaki şekil değiştirme, diğer üstyapı bozulma modelleri için, uygun yapısal tepkilerle beraber doğrudan olarak ele alınır. Varolan üst yapılarla ilgili gözlemlenen bir diğer problem

de, tasarım ömrüne kıyaslandığında gerçek performansın büyük farklılıklar göstermesidir [6].

Bu rehber, tasarım periyodu boyunca doğrudan, ay ay malzemelerin bozulmasını göz önüne alan teknolojiyi içerir. Tasarım Rehberi' nde bulunan analitik-ampirik tasarım yöntemi, üst yapı performansı üzerindeki çeşitliliklerin etkilerini değerlendirmek için gerekli araçları sunar.

Tasarım Rehberi inşaat ve malzeme ayrıntıları ve üst yapının tasarımı arasında mantığa dayalı bir ilişkiyi de gösterir. Analitik yöntemlerinin; iklim, eskime, bugünün malzemeleri ve bugünün araç yüklemelerini daha iyi hesaba katmasından dolayı tasarım ömrü ile ilgili performans çeşitlilikleri azaltılmalıdır. Bu kabiliyet, bütün bir karayolu ağı boyunca ömür-döngü maliyetini ciddi olarak azaltacaktır.

Tasarım yönteminin analitik ek faydaları 1986 Rehberinde farkedilmiştir [3] :

1. Yeni yükleme durumlarının sonuçlarının tahmini değerlendirilebilir. Örneğin, artırılmış yüklerin, yüksek lastik basınçlarının, birden fazla aksların ve diğer faktörlerin hasar etkileri analitik yöntemler kullanılarak modellenenebilir.
2. Eldeki malzemelerin daha iyi değerlendirilmesinin sağlanması düşünülebilir. Örneğin, hem esnek hem de rijit üst yapılarda stabilize malzemelerin kullanımı taklit edilerek ileriye dönük performans öngörülebilir.
3. Erken bozulmayı değerlendirmek için geliştirilmiş yöntemler çıkarılabilir ve bazı üst yapıların neden kendi tasarım beklentilerini aştığının analizini yapmak mümkün olabilir.
4. Performans tahminlerine eskime de katılabilir (Ör : zamanla asfaltın sertleşmesi ve böylece düşük sıcaklıktaki termal çatlakları etkilemesi).
5. Erime-zayıflama gibi mevsimsel etkiler performans tahminleri içine dahil edilebilir.
6. Rijit üst yapılar altındaki temel erozyonunun sonuçları değerlendirilebilir.
7. Yol kesitinde gelişmiş drenaj sağlanmasının uzun vadeli faydalarının daha iyi değerlendirilmesi için metodlar geliştirilebilir.

3.1.3. Tasarım Rehberin Kapsamı ve İeriği

Bu rehber, yeni ve takviye tabakası uygulanacak esnek ve rijit üst yapılar için düzgün ve kapsamlı yöntem setleri sağlar. Rehber; bütün üst yapı tipleri hakkında trafik, taban zemini, çevre ve güvenilirlik için genel tasarım parametreleri kullanır. Yeni ve takviye tabakası uygulanacak üst yapıların bünyeleri için üst yapı tabaka kalınlığını, takviye tabakası ile ilgili işlemleri, yüzey altı drenajını, temel geliştirme stratejilerini ve diğer tasarım özelliklerini içeren tavsiyeler sunulur [7].

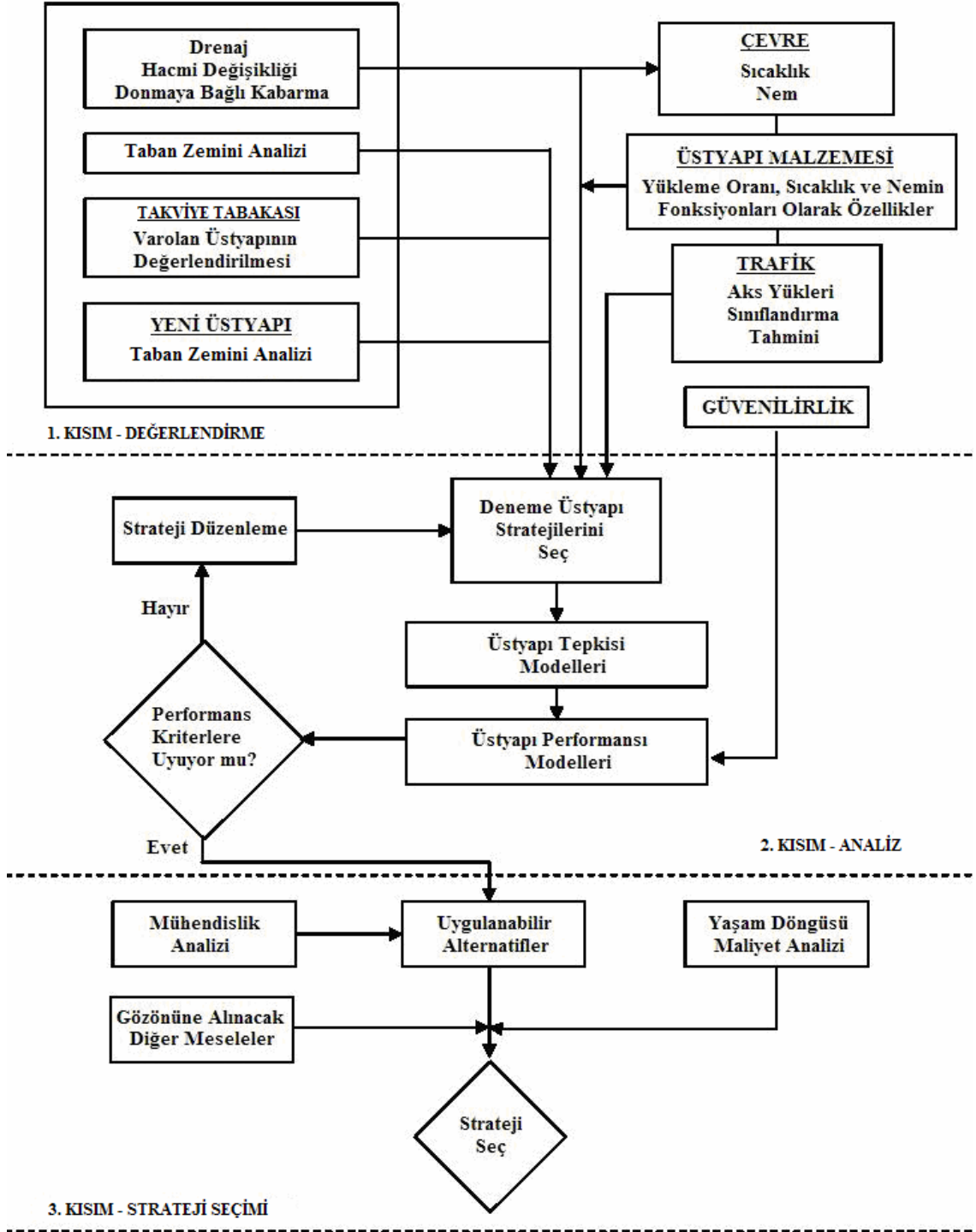
Güvenilirlik ve takviye tabakası tasarımıyla ilgili 1986 ve 1993 Rehberlerindeki malzemeleri, analitik yaklaşımlara uygun hale getirmek için, güncellenmiş ve önceden ele alınmayan takviye tabakası konularını içine alacak şekilde genişletilmiştir.

Tasarımcı' nın aklında bulundurması gereken bir husus da, üst yapı tasarımının tabaka kalınlığını seçmekten öte bir konu olmasıdır. Örneğin, malzeme özellikleri, inşaat tipi, tasarımın kalitesi, tasarım beklentilerine göre üst yapının görevini yapma kabiliyetini etkileyecek konulardır.

1. Kısım, analiz için girdi değerlerinin geliştirilmesini içerir. Bu kısım esnasında potansiyel stratejiler, analiz devresinde hesaba katılmak üzere tanımlanır. Bu sürecin anahtar basamağı taban zemini analizidir. Yeni üst yapılar için taban zemini analizi; rijitlik belirleme ve uygun olduğu takdirde hacim değişikliği değerlendirmesi, donmaya bağlı kabarma, çözülmeye bağlı zayıflama ve drenaj konularını içerir. Taban zemini analizinin bir parçası olarak, güçlendirme ve drenaj gibi taban zemini geliştirmeleri de ele alınmıştır.

Takviye tabakası projelerine ait taban zemini analizinin en önemli bölümü, varolan üst yapılarında meydana gelen bozulma tiplerinin araştırılması ve bu bozulmaların sebeplerin anlaşılmasıdır.

Ayrıca 1. kısımda, üst yapıların malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve trafik verisi geliştirilir. Geliştirilmiş Entegre İklim Modeli (EICM), güçlü bir iklim etkileri modelleme aracı olarak her üst yapı tabakası ve taban sıcaklığı ve nemi modellemede kullanılır. Rehberde yer alan EICM' nin versiyonu Entegre Klimatik model' in önceki bir versiyonuna yapılan gelişimlere dayanır [8].



Şekil 3.1: Üç kısımlı Tasarım Sürecinin Kavramsal Şeması

İklim modeli, bütün ülkenin hava durumu istasyonlarından gelen saatbaşı iklim bilgilerini ele alır (Sıcaklık, sağanak, güneş radyasyonu, bulut kaplaması ve rüzgar hızı). EICM' den gelen üst yapı tabakası sıcaklığı ve nem tahminleri tasarım periyodu boyunca saat bazında hesaplanır ve tasarım ömrü boyunca temel ve üst yapı tabakaları hakkında malzeme özelliklerini tahmin etmek için bir çok şekilde kullanılır. Donma derinliği belirlenir ve bu derinliğin altı ve üstüne uygun modüller öngörülür.

Yeni yada yeniden inşa edilmiş üst yapılar kadar takviye tabakası uygulanacak üstyapılarda da alt drenajın kullanımı için detaylı sistematik bir yaklaşım bu rehberde yerini almıştır. Tasarım Rehberi, alt drenaj tasarımının nasıl yapılacağını açıklar. Bu sayede, enkesitler yeterli ve uygun drenaj uygulamalarıyla hazırlanır. Analitik ve amprik yaklaşım kullanılarak yapısal kısımlar için yapısal bozulmalar değerlendirilir.

Tasarım Sürecinin 2. kısmı performans analizidir. Bu analiz yaklaşımı, ilk deneme tasarımının seçimi ile başlayan tekrarlı bir yaklaşımdır. İlk deneme tasarımları, tasarımcı tarafından yapılabilir, varolan bir tasarım yönteminden elde edilebilir yada genel bir katalogdan alınabilir [9]. Deneme tasarımı; tabaka kalınlığının ilk tahminleri, geometrik özellikler, başlangıçtaki düzgünlük ve varolan üst yapının gerekli bakımları, üstyapı malzemelerinin özellikleri ve diğer pek çok girdileri gerektirir. Deneme kısmı; üst yapı tepkileri ve bozulma modelleri yardımıyla, zaman içinde artarak analiz edilir. Analiz sonuçlarını, toplam hasar, zaman içinde beklenen bozulma ve geometrik düzgünlük miktarı olarak verir. Eğer deneme tasarımı, performans kriterlerine uymazsa, düzenlemeler yapılır, ve istenen sonuca ulaşılan kadar analizler tekrarlanır.

Sürecin 3. kısmı, yapısal olarak uygulanabilir alternatifleri değerlendirmek için gerekli aktiviteleri içerir. Bu aktiviteler, mühendislik analizi ve alternatiflerin yaşam döngüsü maliyet analizini içine alır.

Özet olarak, yeni ve takviye tabakası uygulanacak üst yapı tasarım süreci, aşağıdaki konuları ele alır:

- Taban zemini,
- Varolan üstyapının durumu,
- Kaplama malzemeleri,
- İnşaat faktörleri

- Çevre faktörleri (Sıcaklık ve nem),
- Trafik yüklemeleri,
- Alt drenaj,
- Banket tasarımı,
- Takviye tabakası uygulamaları ve stratejileri,
- Yeni üst yapı ve takviye tabakası seçenekleri,
- Üst yapı performansı (ana bozukluk ve düzgünlükler),
- Tasarımın güvenilirliği,
- Ömür-Döngü maaliyeti.

Rehber her ne kadar üst yapı bünyeleri hakkında alternatif tasarımlar yada takviye tabakası uygulamada tavsiyeleri belirlemek için spesifik ve özel metodlar açıklayıp sunsa da, en son tasarımı belirlemek için kullanıcının göz önünde bulundurması gereken bazı hususlar bulunur. Bunlardan bazıları, drenaj öngörüler, üstyapı yüzeyinin sürtünme ve dokusu, özel çevre konuları ve tasarımı etkileyecek yerel yasalardır.

Elbette rehber, bütün bu sahaya özel durumları, her bölge için ele alamaz. Bu yüzden, kullanıcı, rehberin kullanımını yerel deneyimlere göre adapte etmelidir. Örneğin, yerel malzemeler ve çevre, bir tek yer için dahi inanılmaz değişiklikler gösterebilir.

Rehber, malzemelerin ve çevrenin değerlendirilmesi için yöntemler sunar. Ancak, rehber, kanıtlanmış ve dokümanite edilmiş yerel deneyimle çakışırsa, kanıtlanmış olan deneyim geçerli olur. Tasarlanmış proje hakkında malzeme özellikleri ve ileriye dönük trafiğin değerlendirilmesinde mevsimsel dalgalanmaların etkisi yakından araştırılmalı ve incelenmelidir.

3.1.4. Hiyerarşik Tasarım Girdileri

Hiyerarşik yaklaşım, projenin kritikliğine ve eldeki kaynaklara göre, tasarım projesi için tasarım girdileri elde etmede, tasarımcıya büyük esneklik sağlar. Hiyerarşik yaklaşım; trafik, malzemeler ve çevre girdileri hususunda faydalı olur. Genel olarak, üç seviye belirlenmiştir :

Seviye 1 girdileri, en yüksek doğruluk seviyesine ve dolayısıyla, en az seviyede belirsizlik ve hata seviyesine sahiptir. Ağır taşıt trafik oranı fazla olan üst yapılarda yada erken bozulmaların, çok üst seviyede güvenlik ve ekonomik sonuçlarının olduğu yerlerin tasarımında kullanılır. Seviye 1 girdilerini elde etmek için, diğer seviyelere göre daha fazla kaynak ve zaman gerekir.

Seviye 2 girdileri, orta düzeyde doğruluk seviyesi sunar ve AASHTO Rehberi'nin önceki yayınlarında kullanılan tipik yöntemlere en yakın olanıdır. Seviye 1 için gereken test kaynakları ve ekipmanları mevcut değilse, bu seviye kullanılabilir. Seviye 2 girdileri, tipik olarak kullanıcı tarafından seçilir ve yüksek ihtimalle bir kurumun veri tabanından, limitli bir test programından türetilebilir yada korelasyonlardan tahmin edilir. Buna örnek olarak, kenar şeridi, agrega miktarı ve karışım özelliklerinden asfalt betonu dinamik modülünü tahmin etmek, basınç direnci testlerinden portland çimento betonu elastik modülünü belirlemek yada kuruma has aks yükü dağılımıyla bağlantılı sahaya has trafik hacmi ve trafik sınıflandırma verisini kullanmak olarak verilebilir.

Seviye 3 girdileri, en düşük doğruluk seviyesini verir. Bu seviye, erken çıkan bozuklukların, azami sonuçlarının görülebileceği tasarımlarda kullanılabilir (Ör : düşük hacimli yollarda). Girdiler genel olarak, kullanıcı tarafından seçilen değerler yada bölgeye ait tipik ortalamalar olur.

Belirli bir tasarım projesi için, girdiler, seviyelerin bir karışımı kullanılarak elde edilebilir. Hangi girdi seviyesi kullanılırsa kullanılsın, hasar için hesaplama algoritması tamamen aynıdır. Tasarım girdilerini elde etmek için hangi seviye kullanılırsa kullanılsın bozukluk ve düzgünlüğü öngörmek için aynı modeller ve yöntemler kullanılır.

3.1.5. Üst Yapı Performansı

Üst yapı performansı kavramı, performansın gözden geçirilmesi, yapısal performans ve güvenlik konularını içerir. Güvenliğin önemli bir yönü de, üst yapı/tekerlek arasındaki sürtünme direncidir. Üst yapının yapısal performansı, onun fiziksel durumuyla ilgilidir. (Esnek üstyapılar için yorulma çatlağı ve tekerlek izi) [10]. Bu tür anahtar bozulma tiplerinin birçoğu, analitik kavramlar kullanılarak doğrudan öngürülebilir ve tasarım

sürecinde doğrudan ele alınabilir. Üst yapının performansı ise, üstyapının yol kullanıcısına ne kadar iyi hizmet ettiği ile ilgilenir. Dikkat edilirse, tasarım hızı için yeterli geometrinin varolduğu kabul edilir. Sürüş konforu ve sürüş kalitesi, performansın baskın bir özelliğidir. Sürüş konforunu ölçmek için, AASHTO Yol Testi çalışanları 1957’ de Hizmet Düzeyi - Performans kavramını geliştirmiştir [11].

Rehberin bundan önceki bütün versiyonları, Hizmet Düzeyi - Performans kavramı çerçevesinde oluşturulan amprik tasarım denklemini kullanmıştır. Bu yaklaşımda, üstyapının Hizmet Düzeyi, yol kullanıcılarının mevcut hizmet düzeyi puanlamalarının aritmetik ortalaması (PSR) olarak açıklanır. PSR üstyapı durumunun ölçümleri ile bağdaştırılarak Hizmet Düzeyi İndeksi olarak (PSI) adlandırılır. Üstyapı performansı, belirli bir üstyapının hizmet edebilirlik tarihi ile temsil edilir. PSI, üstyapının hizmet ömrü sırasındaki belirli bir zamanda yapılan geometrik düzgünlük ve bozulma ölçümlerinden elde edilir (Ör: çatlama, yamalama, ve esnek üstyapısı için tekerlek izi derinliği). Boyuna profil, üstyapının PSI tahmininde baskın olan faktör olup, performansın da temel bileşenidir. Bu Rehberde seçilen fonksiyonel performans göstergesi, Uluslararası Pürüz İndeksinde (IRI) işaret edildiği gibi üstyapının geometrik düzgünlüğüdür.

IRI aşağıdaki sebeplerden dolayı düzgünlüğün standart bir ölçütü olarak uyarlanmıştır :

- IRI, boyuna yol profilinin ölçülüp hesaplanması sonucu elde edilen bir veridir.
- IRI ve diğer düzgünlük ölçüleri arasındaki ilişki, yüksek seviyededir.
- IRI, PSI ile bağıntılıdır.

Tasarımda kullanılan pratik yaklaşım, ilk olarak yapımdan hemen sonraki IRI kabul edilir, sonra zaman içinde üstyapı bozulması, saha koşulları ve bakımın bir fonksiyonu olarak IRI’deki değişimler öngörülür. Geometrik Düzgünlük-Performans kavramı aşağıdaki varsayımlara dayanır :

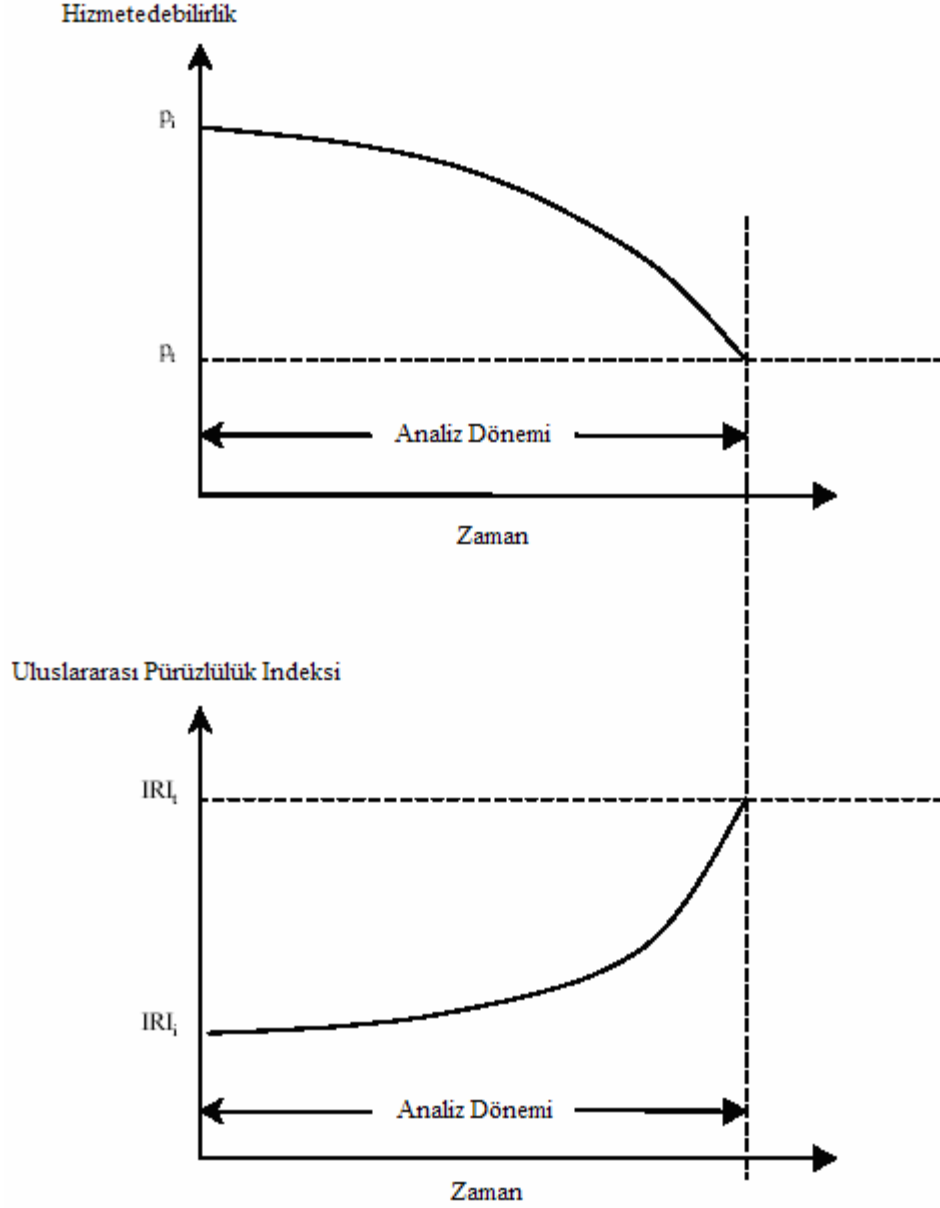
- Yollar, seyahat edenlerin konforu ve rahatlığı içindir ve bu sadece düzgün üstyapıların hazırlanmasıyla mümkün olur.
- Rahatlık ve sürüş kalitesi, herkese göre değişse de, üstyapının mevcut boyuna profili ile doğru orantılıdır.

- Ölçülen geometrik düzgünlük, hizmet edebilirliğin ve hizmet edebilirliğe bağlı olarak performansın tahmininde, AASHTO Yol Testinde de tanımlandığı gibi baskın olan faktördür.
- Belirli üstyapı bozulmaları, düzgünlüğe bağlı olarak ölçülebilir.
- Geometrik Düzgünlük kelimesinin kullanılmasındaki amaç, üstyapının olumlu bir yönünü yansıtmastandır [12].

1993 AASHTO tasarım yöntemi, üstyapının ilk ve son hizmet edebilirliği bazında performans kriterlerini sağlamak için, tasarım özelliklerini seçer. İlk hizmet düzeyi, PI , PSI cinsinden ölçülür, inşaattan hemen sonra PSI 'nin bir tahminidir. Son hizmet edebilirlik, pt , bu da PSI cinsinden ölçülür, bakımdan yada takviye tabakasından önceki en düşük ve kabul edilebilir performans düzeyidir.

Hizmet düzeyine, tipik ilk düzgünlük şartnamelerine dayanarak, ilk düzgünlük (IRI_i) ve son düzgünlük (IRI_t) aralıkları yazılımda varsayılan değerler olarak, bütün yeni üstyapılar için verilmiştir. Şüphesiz, tasarımcı istendiği gibi değişik değerler girebilir. Geometrik Düzgünlük şartnamesine sahip kurumlar, bu değerleri daha iyi tahmin edebilirler. Örnek olarak tasarımda, ilk inşa edildiği şekliyle $IRI_i = 50'$ den $100'$ e in/mi ($205'$ den $410'$ a cm/km) ve son $IRI_t = 150'$ den $200'$ e in/mi ($610'$ den $820'$ e cm/km) olarak alınabilir.

Üstyapı düzgünlük kaybına sebep olan faktörler; tasarım, malzemeler, taban zemini, trafik, yaş ve çevre etkileriyle, çatlama, sürtünme ve bozulmalar olarak açıklanabilir.



Şekil 3.2 : Hizmet Düzeyi İle Gösterilen Üst Yapı Performansı ve IRI

Geometrik düzgünlük modeli, bozulmalardaki artışa, saha koşullarına bağlı olarak düzgünlükteki değişimlere ve bakım faaliyetlerine dayanır. Şekil 3.2’ de, mevcut Hizmet Düzeyi ile ilişkili olarak üstyapı performansını, PSI ve IRI cinsinden göstermektedir.

$$S(t) = S_0 + (a_1 S_{D(t)1} + a_2 S_{D(t)2} + + a_n S_{e(t)n}) + b_j S_j + c_j M_j (3.1)$$

$S_{(t)}$ = belirli bir zamandaki üstyapı düzgünlüğü, t (IRI, in/mi)

S_0 = inşaatın hemen sonraki düzgünlük (IRI, in/mi)

$S_{D(t)(i = 1 \text{ to } n)}$ = analiz periyodunda belirli bir zamanda, t, i' inci bozukluğa bağlı olarak düzgünlükte değişim

$a_{(i = 1...n)}$, b_j , c_j = regresyon sabitleri

S_j = saha faktörlerine bağlı düzgünlükte değişim (taban zemini ve yaş)

M_j = bakım faaliyetlerine bağlı olarak düzgünlükteki değişim[13]

3.1.6. Tasarım Güvenilirliği

Genelde, yeni veya takviye tabakası uygulanacak üstyapıların tasarımı ile bağıntılı herşey değişken ve belirsizdir. Belki de belirsizliği en çok göze çarpan etken, geçmişten bugüne ağır taşıt aks yüklerinin tahmin edilmesidir. Malzeme ve inşaat konuları da değişkenlerin ilk sıralarında yer almışlardır. Bunun yanında üstyapılar, uzunluğu boyunca çok büyük değişiklikler sergilemiştir.

Üst yapı tasarımında kullanılan analitik kavramlar normalde daha doğru ve gerçekçi bir metodoloji sunsa da, tasarımda çeşitliliği ve belirsizlikleri göz önüne almak için pratik bir metoda ihtiyaç duyulur. Böylece yeni yada takviye tabakası uygulanacak üstyapı, istenen güvenilirlik seviyesinde tasarlanabilir.

Tasarım güvenilirliğini, bir üst yapının tasarım ömrü boyunca oluşabilecek her ana bozukluk tipi ve düzgünlüğünün, seçilen kritik seviyesinden daha az olması olasılığı şeklinde tanımlayabiliriz.

$R = P [\text{Tasarım Periyodunda Bozukluk} < \text{Kritik Bozukluk Seviyesi}]$

Tasarım Güvenilirliği, düzgünlük açısından (IRI) aşağıdaki gibi tanımlanır :

$R = P [\text{IRI Dizayn Periyodu boyunca} < \text{Kritik IRI Seviyesi}]$

Örnek olarak, yorulma çatlakları için güvenilirlik aşağıdaki gibi tanımlanır :

$R = P [\text{Tasarım periyodu boyunca yorulma çatlakları} < \% 20 \text{ şerit alanı}]$

Dikkat edilirse bu tanımlama, AASHTO Tasarım Rehberi'nin, önceki versiyonlarında da bulunmaktadır. Bundan önceki rehberler, güvenilirliği şu şekilde tanımlar : Son

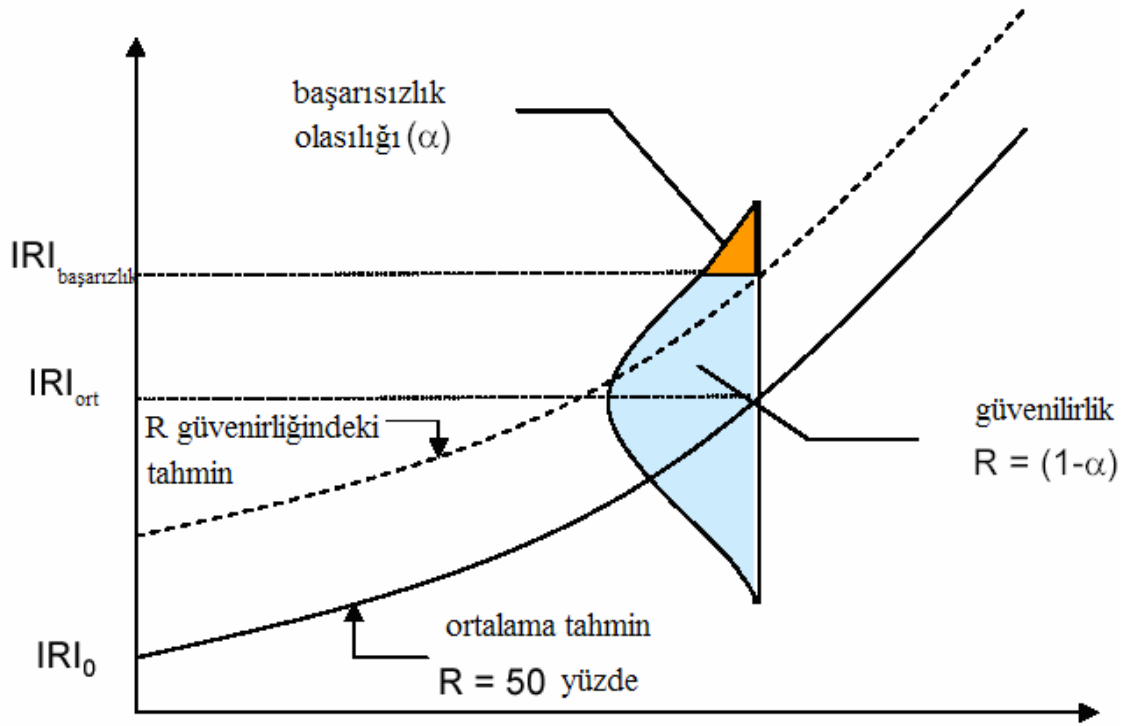
Hizmet Düzeyi'ne denk gelen aks yüklerinin tahmini sayısı (N), üst yapıya gerçekte uygulanan denk aks yüklerinden (n)' den daha azdır.

$$R = P [N < n]$$

Bu yaklaşım ile daha kalın üstyapıların tasarım güvenilirliğini daha fazla artırdığını göstermektedir. Ancak, bu rehberde yer alan ana performans ölçüleri için bu durumun her zaman böyle olmadığı görülmüştür. Rehberde ele alınan yaklaşımda, kalınlık haricindeki diğer birçok özelliğin, tasarımın güvenilirlik tahmininin artırılması için gözden geçirilmesi esas alınmıştır.

Tasarımcı, tasarım sürecine, bir deneme tasarımıyla başlar. Daha sonra Tasarım Rehberi yöntemine eşlik eden yazılım, üst yapının tasarım ömrü boyunca meydana gelecek ana bozulma tipleri ve düzgünlüğünün bir öngörüsünü sağlar. Bu öngörü, bütün girdilerin ortalama değerleri ve aritmetik ortalamasına dayanır. Böylece, öngörülen bozulmalar ve düzgünlükler aritmetik ortalama değerlerini temsil eder. Bu, % 50' lik bir güvenilirlik tahmini olarakta düşünülebilir. (Ör : Öngörülen bozulmanın yada IRI' nin, ortalama tahmininden daha büyük yada daha az olması konusunda % 50' lik bir olasılık vardır.

Genellikle bütün projeler için, tasarımcı, tasarım ömrü boyunca tasarımının performans kriterlerine uyacağı konusunda daha yüksek bir olasılığa ihtiyaç duyar. Başarısızlık düşünüldüğünde ve proje daha önemli oldukça, istenen tasarım güvenilirliği daha fazla olmaktadır. Bir şehiriçi yoldaki başarısızlığın sonucu ile, köy yolundaki başarısızlığın sonucu farklı olur. Kurumlar tasarım güvenilirliğini seçmek için, trafik hacmini yada araç trafiğini bir parametre olarak kullanmışlardır. Üstyapılardaki bozukluğun ve düzgünlüğün öngörülmesiyle ilgili hatalara bağlı olarak, gerçek bozukluk yada IRI, beklenen ortalama değerden daha yüksek yada daha düşük olabilir.



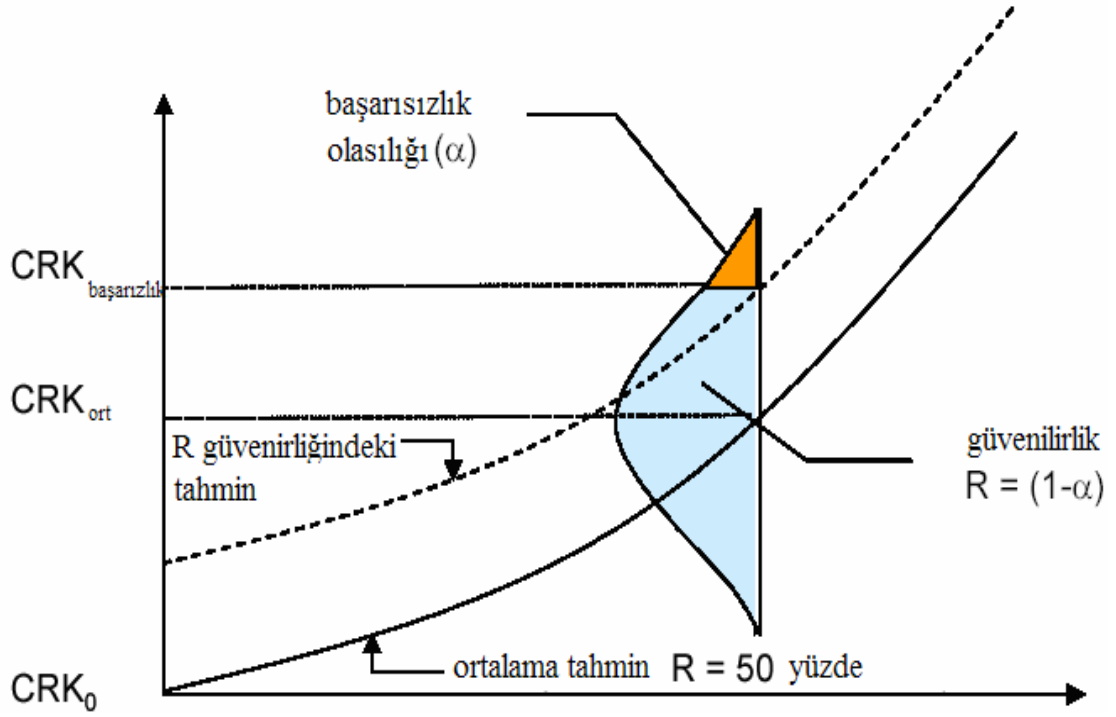
Şekil 3.3 : Düzgünlük İçin Tasarım Güvenilirliği Kavramı (IRI)

Belirli bir bozulma yada IRI için hata şu nedenlerle meydana gelebilir :

- Trafik yüklemelerinin tahminindeki hatalar,
- Uzun yıllar içinde iklimdeki dalgalanmalar,
- Proje boyunca yüzey kalınlığındaki, malzeme özelliklerindeki ve taban karakteristiklerindeki çeşitlilikler,
- Tasarım ve inşaatın kendi malzemesi arasındaki farklılıklar ve diğer tabaka özellikleri,
- Bozulma ve IRI miktarlarının ölçümündeki hatalar,
- Model kısıtlamalarının ve hatalarının öngörüsü.

Şekil 3.3' de görülen IRI için olasılık dağılımı ve Şekil 3.4' de görülen çatlama için olasılık dağılımıdır.

Bu şekillerden, olasılık, R (her bozulma yada IRI, kendi ile ilgili başarısızlık kriterlerden büyüktür) tasarım ömrü üzerinden hesaplanır ve nokta nokta işaretlenir (Ortalama tahminlerin üstündeki rastgele seçilmiş bir R seviyesindeki güvenilirlik öngörülür, şekildeki gibi noktalı çizgi halinde gösterilir).

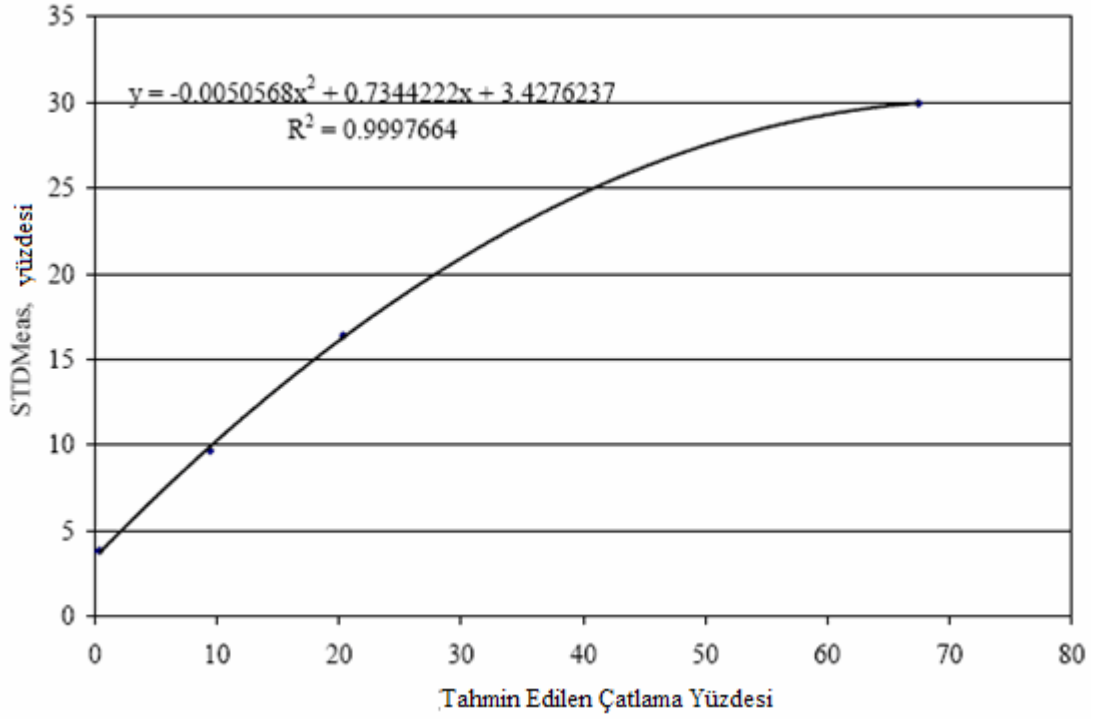


Şekil 3.4 : Belirli Bir Bozulma İçin Tasarım Güvenilirliği Kavramı

Rastgele seçilen olasılık değişkeninin olasılık dağılımının şekli ve genişliği önemlidir ve bu yaklaşımda öncelik olarak bilinmelidir. Bozukluk ve IRI, tasarımda ilgi alanındaki bozukluğun ve IRI aralığının üzerinde yaklaşık olarak normal dağılım gösterir. Bozulma tipleri için standart sapmalar, her anahtar bozulma hakkında kullanılan kalibrasyon sonuçlarından ve model tahmini hatasından belirlenir. Her model, LTPP' den ve diğer alan performansı verisi kullanılarak ayarlanır. Örneğin, tekerlek izinin tahmin hatası, tahmin edilen tekerlek izi ile veri tabanında bütün bölümler için ölçülen iz sonuçlarındaki farklılıklar olarak elde edilmiştir. Bu farklılıklar, yada hata, tahmin modelinin gözlenen tekerlek izinin açıklanmasında yetersiz kaldığı durumlarda, bütün kullanılabilir bilgileri içerir. Bozulma dağılımının, tasarım için ilgili aralık dahilinde her ay için normal olduğu farzedilir. IRI'nin standart sapması, bir kapalı form çeşitlilik modeli tahmin yaklaşımı kullanılarak belirlenir.

Bozulma dağılımının standart sapması, tahmin edilen çatlamanın bir fonksiyonu olarak belirlenir. Şekil 3.5' bir bozulma tipini kullanarak verinin resimlemesini gösteriyor.

Böylece, herhangi bir ortalama çatlak tahmini için, çatlağın tahmini bir standart sapması elde edilebilir.

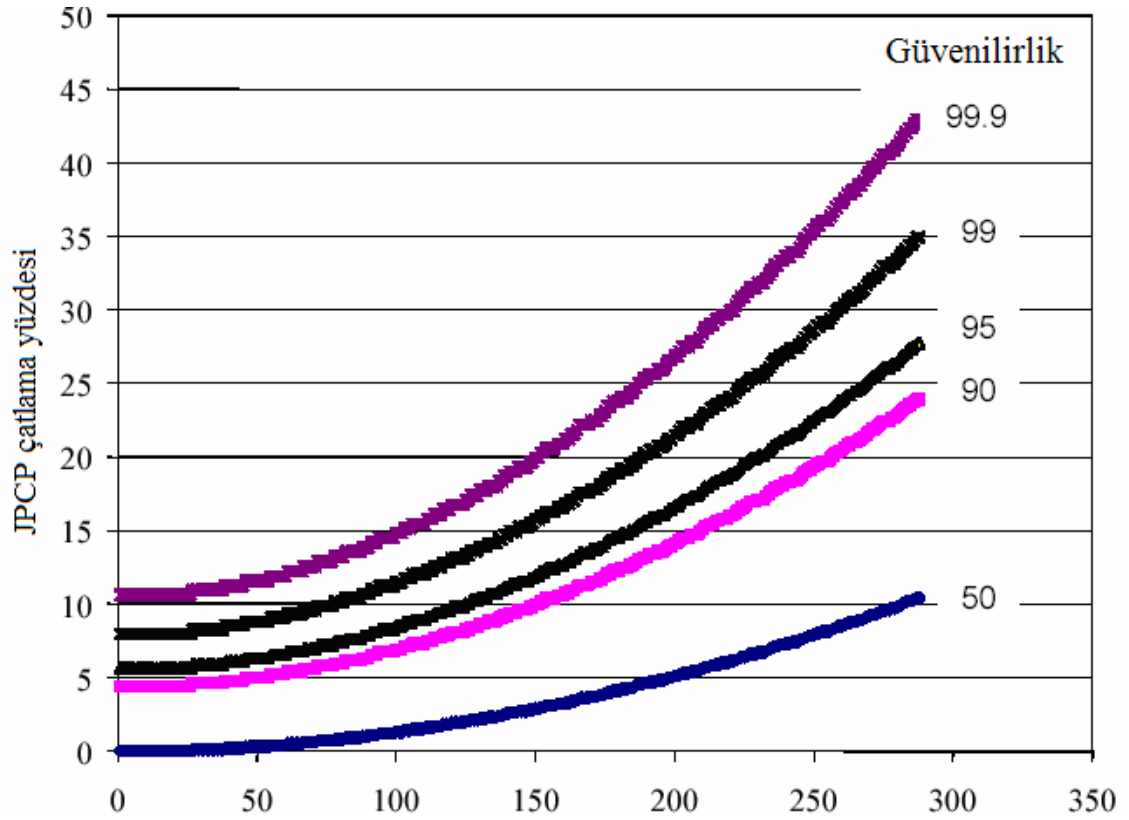


Şekil 3.5 : Ölçülen Çatlağın Standart Sapmasına Karşı Kalibrasyon Veri Sonuçlarından Elde Edilen Tahmini Çatlak

Her bozulma için istenen güvenilirlik seviyesi, tasarlanan yolun fonksiyonel sınıfına bağlı olabilir. Bazı geniş rehberlik konuları Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1 : Güvenilirlik Seviyeleri

Fonksiyonel Sınıflandırma	Tavsiye Edilen Güvenilirlik Seviyesi	
	Kentsel	Kırsal
Çevre Yolları	85 . - . 97	80 . - . 95
Başlıca Anayollar	80 . - . 95	75 . - . 90
Kollektörler	75 . - . 85	70 . - . 80
Yerel	50 . - . 75	50 . - . 75

**Şekil 3.6 : Güvenilirliğin Değişik Seviyelerinde Çatlak Tahminleri**

Eğer bir üst yapı tasarımcısı, çatlak ile ilgili olarak % 90' lık bir güvenilirlik istiyorsa, tahmin edilen % 90' lık eğrinin, çatlamanın önceden seçilmiş bir kritik değerini aşmamasıdır. Bu seviye, tasarım başlamadan önce, tasarımcı tarafından seçilir. Bu

tasarım rehberindeki tasarım için kullanılan güvenilirlik seviyeleri, bundan bir önceki AASHTO Tasarım Rehberinde kullanılanlar ile aynı değildir.

Örneğin, Şekil 3.6' da, ortalama tahmini çatlak (% 50' lik güvenilirlik seviyesi ile) 300 ayın sonunda % 10' dur. Öte yandan, % 90 güvenilirlik seviyesindeki tahmini çatlak, 300 ayın sonunda % 24'tür. % 90 güvenilirlik seviyesi ile 300 ayın sonunda % 20' lik çatlakdan fazla olmaması ile ilgili kullanıcı tanımlı tasarım kriterleriyle bu tahminlerin karşılaştırılması, Şekil 3.6' da gösterildiği haliyle yeterli olmaz. Bu yüzden, tasarım tekarlanarak değiştirilmelidir.

Tasarım için uygun bir güvenilirlik seviyesi seçmek zorlu bir iştir. Bu seçim için bazı ipuçları aşağıda verilmiştir [14] :

- Her bozulma tipi ve IRI için tasarım güvenilirliği seçilmelidir. Her bozulma ve IRI için seviyeler mutlaka birbirine eşit olmalıdır.
- Her bozulma tipi ve IRI için seçilen seviyeler ile tasarım güvenilirliği arasında yerleşik güçlü bir bağlantı vardır. Örneğin, bir tasarımcı kritik seviye olarak % 20' ik alanla çatlama için % 97' lik bir güvenilirlik seviyesi seçebilir, yada kritik seviye olarak % 10' luk alan ve daha düşük güvenilirlik seviyesi olan % 80' i seçebilir.
- Başarısızlıkların bir sonucu olarak proje daha çok önem kazanırsa, tasarım güvenilirliği de daha yüksek olur.
- Genel tasarım güvenilirliği olarak düzgünlüğün (IRI) kullanılması, PSI önceki kullanımıyla yakın olabilirdi. Tasarım güvenilirliğinin başlıca tanımı olarak sadece IRI'nin kullanımı tavsiye edilmez. Çünkü üstyapının başarısızlığı daha çok herhangi bir ana bozulmaya dayanır. Yapılması gereken, bütün bozukluklar ve IRI'lerin kullanılması ve hepsinin tasarım güvenilirlik gerekliliklerini karşılamasından emin olmaktır.
- Tasarım güvenilirliğinin seçimi, bozukluğun yada IRI'nin kritik seviyesinin seçimi ile birlikte yapılmalıdır. Yüksek tasarım güvenilirliği ile düşük bozukluk kriterlerinin beraber seçimi kabul edilebilir bir deneme tasarımı elde etmeyi imkansız hale getirebilir.

3.2. Tasarım Verileri

Tasarım verileri dört ana başlık altında incelenmiştir.

- Taban Zemini Özellikleri
- Üstyapıda Kullanılan Malzeme Özellikleri
- Çevresel Etkiler
- Trafik Yükleri

3.2.1. Taban Zemini Özellikleri

Bu kısım 4 alt bölüme ayrılarak incelenmiştir.

- Tasarım İçin Taban Zemini Özellikleri
- Taban Zemini Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Gerekli Olan Laboratuvar Deneyleri
- Hassas Zeminler
- Taban Zemininin İyileştirilmesi

3.2.1.1. Tasarım İçin Taban Zemini Özellikleri

Taban zemini özelliklerini belirlemek için yapılması gerekenler şunlardır :

- Ön inceleme sırasında, zeminden alınan örselenmemiş numunelerin alınması.
- Tahribatsız deney yöntemleri ile benzer zeminlerin incelenmesi.
- Dinamik Penetrometre (DCP) gibi ilave testlerin yapılması.
- Araştırma yapılan bölgede, taban zemini özelliklerini bilen kurumların deneyimine güvenilmesi.

Taban zemini özellikleri hakkındaki önemli bir nokta, farklı metotlarla belirlenen girdilerinin farklı çıkmasıdır. Bu farklılık tasarım sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Üstyapı malzemeleri ve taban zeminleri için özellik belirleme teknikleri; hiyerarşik farklı malzeme ve zeminler hakkında varsayılan değerlerden, kritik proje tipleri hakkında kapsamlı alan ve laboratuvar testlerine kadar geniş bir aralıkta bulunur.

Üstyapıda her yapısal tabakanın esneklik (resilient) modülünü elde etmek için 3 temel metod kullanılabilir.

- Laboratuarda Tekrarlı Yüklemler (Dinamik Yükler) altında elde edilen esneklik (resilient) modülü testleri.
- Tahribatsız deneylerden elde edilen verinin analizi yada geri hesaplama yöntemiyle hesaplama.
- Malzemelerin diğer fiziksel özellikleriyle korelasyonu (ampirik bağıntılar kullanılarak elde edilebilir).

Bütün yeni tasarımlar için, özellikle de kritik projeler hakkında, bazı zeminlerin esneklik (resilient) modülündeki nem değişikliklerinin sebep olacağı etkileri değerlendirmek için tekrarlanan yük esneklik (resilient) modülü testlerine ihtiyaç vardır.

Taban zemini tiplerindeki yatay ve düşey farklılıklarının, nem içeriğinin, yoğunlukların ve su tablası derinliklerinin, üstyapı tasarımı sürecinde göz önünde bulundurulması şarttır. Bu parametreler, taban zemini araştırmasının ve laboratuvar test programlarının gerçekleştirilmesi boyunca büyük önem arzeder. Daha da önemlisi, özel taban zemini koşulları, (donmaya duyarlı ve kabarık zeminler gibi) üstyapı tasarımında tanımlanmalı ve ele alınmalıdır.

Taban Zemini İncelenmesi

Taban zemini araştırmasının yada alan ön incelemesinin amacı, projeyi kapsayan bütün yollar için, tip, bölge ve temellerin ana boyutlarını seçmeye yardımcı olacak, yeterli düzeyde taban zemini verisini elde etmektir. Bu sayede, konuların maliyetleri konusunda yeterli bilgi alınmış olur. Daha da önemlisi, bu incelemeler, ulaşılabilir maliyete uygun üstyapı tasarımlarının geliştirilmesi için sahayı, detaylı bir şekilde tanımlıyor olmalıdır.

Herhangi bir proje için taban zemini araştırması yapılırken, üstyapı bünyesinin uzun vadedeki performansı ve inşaatı konusunda bazı özel sorunlar getirebilecek derinlik, kalınlık ve inşaatın etkilenebilecek bütün zemin ve kaya tabakasının alan bilgilerini içermesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Taban zemini malzemelerinden örselenmiş yada örselenmemiş kısımlarından laboratuvar analizi için örnekler alınmalı ve mühendislik bilgileri belirlenmelidir. Keşif programının kapsamı, hem proje hem de sahaya has taban zemini koşullarına bağlıdır. Bu yüzden, farklı zemin koşullarının düşey ve yatay profillerinin hazırlanmasını sağlamak için bir sondaj yerleşim ve örnekleme planı kurulmalıdır.

Güvenilir mühendislik verisi elde etmek için, her iş sahasının, kendi taban zemini koşullarına göre keşfi ve analizi yapılmalıdır. Tavsiye edilen adımlar aşağıda listelenmiştir :

1. Topoğrafik ve taban zemin koşullarının tam bir keşfi yapılmalıdır.
2. Mühendis tarafından tavsiye edilen şekliyle uygun aralık ve derinliğe göre inceleme amaçlı sondaj işlemi yapılmalıdır. Bu sondaj, aynı zamanda su tablası derinliğini belirlemek için de kullanılmalıdır.
3. AASHTO zemin sınıflandırma sistemi kullanılarak, bütün zeminler sınıflandırılmalıdır.
4. Nem-yoğunluk testleri, taban zemini cinslerinin ve kullanılacak malzemelerin, sıkışma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmalıdır.
5. Yapılan sondajlarla, zemin profilleri ile, laboratuvar testleri için tipik zemin tabakaları seçilmelidir.
6. Her zemin tipi ve derinliğinde, tipik bir taban zemini esneklik (resilient) modülü seçilmelidir.

Tablo 3.2 : Üstyapı Malzemesi Olarak Zemin Karakterlerinin Özeti

Ana Bölümler	Adı	Donmaya Maruz Kalmadığında Gücü	Potansiyel Donma Durumu	Sıkışma ve Genleşme	Drenaj Özellikleri
Çakıl ve Çakıllı GP Zeminler	İyi işlenmiş çakıllar yada çakıl kum karışımları, az kırıntı var yada hiç kırıntı yok	Mükemmel	Hiç yada Çok az	Neredeyse Hiç	Mükemmel
	Az işlenmiş çakıllar yada çakıl kum karışımları, az kırıntı var yada hiç kırıntı yok	İyi yada Mükemmel	Hiç yada Çok az	Neredeyse Hiç	Mükemmel
	Alüvyonlu çakıllar, çakıl kum alüvyon karışımları	İyi yada Mükemmel	Az yada Orta	Çok Az	Orta yada Az
		İyi	Az yada Orta	Az	Az yada pratikte geçirmez
	Killi Çakıllar, çakıl kum kil karışımı	İyi	Az yada Orta	Az	Az yada pratikte geçirmez
Kum ve SP Kumlu Zeminler	İyi işlenmiş kumlar veya çakıllı kumlar az kırıntı var yada hiç kırıntı yok	İyi	Hiç yada Çok az	Neredeyse Hiç	Mükemmel
	Az işlenmiş kumlar veya çakıllı kumlar az kırıntı var yada hiç kırıntı yok	Orta yada İyi	hiç yada Çok az	Neredeyse Hiç	Mükemmel
	Alüvyonlu kumlar, kum alüvyon karışımları	Orta yada İyi	Az yada Yüksek	Çok Az	Orta yada Az
		Orta	Az yada Yüksek	Az yada Orta	Az yada pratikte geçirmez
	Killi Kumlar kum kil karışımları	Az yada Orta	Az yada Yüksek	Az yada Orta	Az yada pratikte geçirmez
50'den az sıvı limitli Alüvyonlar ve Çamurlar	İnorganik alüvyonlar ve çok ince kum, kaya unu, alüvyonlu yada killiince kum veya hafif plastisiteli killi alüvyon	Az yada Orta	Orta yada Çok Yüksek	Az yada Orta	Orta yada Az
	Azdan orta plastisiteye kadar İnorganik Killer, çakıllı killer, kumlu killer ve alüvyonlu killer, kıraç killer	Az yada Orta	Orta yada Yüksek	Az yada Orta	Pratikte geçirmez
	Organik alüvyonlar ve organik alüvyon-killer yada düşük plastisite	Az	Orta yada Yüksek	Orta yada Yüksek	Az
50'den fazla sıvı limitli Alüvyonlar ve Çamurlar	İnorganik alüvyonlar, mikali yada diatomaceous ince kum yada alüvyonlu zeminler, elastik alüvyonlar	Az	Orta yada Yüksek	Yüksek	Orta yada Az
	Yüksek plastisitede inorganik killer, kalın killer	Az yada Orta	Orta yada Çok Yüksek	Yüksek	Pratikte geçirmez
	ortadan yükseğe plastisitede organik killer, organik alüvyonlar	Az yada Çok Az	Orta	Yüksek	Pratikte geçirmez
Yüksek Organik Özellikli Zeminler	Peat ve diğer yüksek organiklikte zeminler	Uygun Değil	Az	Çok Yüksek	Orta yada Az

Sondaj Bölgesi ve Derinliği

Proje tipinden bağımsız olarak, delme işlemleri, taban zemini malzemelerinin stratigrafiği detaylarına göre yerleştirilmelidir. Delmeler, üstyapı bünyesinin etkilendiği dipkaya oluşumları ve aşırı yüklemelerinin, mühendislik temel bilgilerini elde edecek şekilde yerleştirilmeli, inşaat malzemelerinin kalite ve miktarını belirlemek için olmalıdır.

Sondaj Sayısı ve Aralığı

Delmelerin sayısı ve aralığı, projenin tipi ve kapsamıyla ve de taban zemini koşullarının yapısıyla tutarlı olmalıdır. Delmelerin sayısı ve aralığı için rijit kurallar yerleştirilemez. Genel olarak, 150 m. ile 500 m. arasında değişiklik gösterebilir.

Sondaj Derinliği

Özel bir problemi olmayan alanlarda keşifler, önerilen taban zemininin minimum 2 m. altına kadar uzamalıdır. Bazı delmeler, 5 m. altındaki bir derinliğe kadar uzamalıdır. Ancak, derin şevlerin yapıldığı yerlerde, geniş toprak setleri inşa edilir. Taban zemini bilgisi zayıf tabakaların varlığı, delme derinliğinin arttırılmasına neden olur.

Bütün delmeler, uygun kaldırma kapasitesindeki yoğun yada nisbeten sert malzemelere ulaşana kadar, uygun olmayan temel tabakasından geçmelidir. Büyük kalınlıkta ve ince taneli, potansiyel olarak sıkıştırılabilir yerlerdeki delmeler, trafik yüklerinden meydana gelen baskı yada kalın toprak setinden gelen gerilmelerin çok küçük olduğu derinliklere kadar uzamalıdır.

Sert yada sıkıştırılmış zeminlerde, kayanın genel karakteri ve bölgesi biliniyorsa, sondaj, sağlam kaya içine doğru uzamalıdır. Kaya özelliklerinin belli olmadığı durumlarda yada büyük kaya tabakalarının veya düzensiz hava koşullarına maruz kalmış malzemelerin bulunduğu durumlarda, delmenin daha da çok derinleşmesi gerekir.

Tasarımı etkileyebilecek zemin mühendislik özelliklerinin temel bilgilerini elde etmek için, mümkün olduğunca, örselenmemiş numune alınmalıdır.

Örselenmemiş numuneler aşağıdaki kriterlere uymalıdır :

1. Numunelerin kenarları yatay bir düzlemde düz yada dik olmalıdır. Tabaka bozulması, çekiş sürecinde meydana gelen yatay kırılmalar ve malzeme yumuşaması olmamalıdır.
2. Spesifik düzeltme oranı (düzeltilen örselenmemiş numunenin uzunluğu/örnekleme itişinin uzunluğu) % 95' i geçmelidir.
3. Numuneler, alan oranı % 15' den az olan (örnekleme tüpünün çapraz kesit alanı/tam örnekleme tüpünün dış çapı) bir örnekleme tüpü ile alınmalıdır.

3.2.1.2. Taban Zeminlerinin Laboratuvar Testleri

Numuneler laboratuvara getirildiğinde, sınıflandırma ve esneklik modülü testi için önizleme ve tanımlama işlemine tabi tutulur. Örselenmemiş numuneler görsel kusurlardan uzak olmalı ve kendi doğal koşullarını yansıtmalıdır. Üstyapı tipini ve kalınlığını seçmek için gerekli olan bu laboratuvar test ve analizler Tablo 3.3' de listelenmiştir.

Tablo 3.3 : Tasarım İçin Minimum Laboratuvar Test Gereksinimleri

Laboratuvar Testinin Tipi	Derin Kesitler	Yüksek Toprak Setleri	Eşdüzey
Nem İçeriği ve Kuru Birim Ağırlık	X		X
Atterberg Limitleri	X	X	X
İniş Çıkış (sıralanış)		X	X
Büzülme Kabarma	X		X
Geçirgenlik	X		
Birleştirme (güçlendirme)		X	
Kesme ve Basınç Dayanımı	X	X	X
Esneklik (resilient) Modülü	X	X	X

Test Örneklerinin Sayısı

Test Örneklerinin sayısı, zemin koşullarına bağlı olduğu kadar, delmelerle tanımlanan farklı zeminlerin sayısına da dayanır. Esneklik modülü testleri, üstyapı performansı üzerinde etkisi olabilecek bütün zemin türleri üzerinde gerçekleştirilmelidir.

Testten geçirilecek örnek sayısını seçerken hatırlanması gereken bir başka önemli nokta da, tekrarlanan yük testlerinden ölçülen esneklik modülü değerinin, oldukça farklı sonuçlar verebilirmesidir. Aynı gerilme durumunda ölçülen esneklik modülü için % 25'i aşan bir varyasyon katsayısı, genelde karşılaşılan bir durumdur. Test sonuçlarındaki potansiyel farklılaşma, daha fazla sayıda test yapılmasını gerektirir (Ör : aynı zemin tipi için 2' den fazla esneklik modülü testi). Genel olarak, yolun alignmanı boyunca, her ana taban zemini üzerinde üç esneklik modülü testi yapılmalıdır. Eğer, test sonuçlarının farklılaşması (aynı gerilme durumunda ölçülen esneklik modülü) % 25' lik varyasyon katsayısını aşarsa, veri konusunda daha yüksek güvenilirlik için, ek esneklik modülü testleri yapılmalıdır.

Laboratuvar Testlerinin Tipleri

Sınıflandırma Testleri

Bu tanımlama testleri, pahalı kesme ve konsolidasyon test sonuçlarının korelasyonlarının kurulması ve verinin kullanılmasını sağlar. Atterberg limitleri ve elek analizi için seçilen numuneler, test sonuçlarından optimum düzeyde emin olunacak bölgelerden seçilir. En azından bir Atterberg limitleri ve gradasyon testi her ana zemin tabakasında yapılmalıdır.

Büzülme Kabarma testleri

Herhangi bir derinlikteki kabarmayı belirlemek için, örneklerin kabarması sağlanır. Büzülmeye bağlı hacim değişikliklerini belirlemek için testler, hacimsel yada doğrusal büzülmenin belirlenmesi şeklinde yapılır.

Geçirgenlik Testleri

Laboratuvar geçirgenlik testleri, nadiren üstyapı problemlerinde haklı çıkar.

Oturma Testleri

Oturma testleri; yerleşmenin önemli bir faktör olduğu durumlarda ve yerleşme miktarının, varolan korelasyonlardan tahmin edilemez olduğu durumlarda, çeşitli temel tabakalarından alınan tipik numuneler üzerinde gerçekleştirilmelidir.

Kesme ve Basınç Dayanımı Testleri

Kesme Testleri için seçilen örnekler, hatanın beklendiği yere yakın bölgelere yerleştirilmelidir. Kil kütlelerindeki kesme hataları, büyük derinliklerde meydana gelebilir ve bu derinliklerdeki taşıma dayanımını belirlemek için yeterli sayıda kesme testi gerçekleştirilmelidir.

Bir çok üstyapı temel problemleri hakkında tavsiye edilen, yapışık zeminlerin örnekleri üzerinde, serbest sıkıştırma ya da drenajsız üç eksenli testlerinin yapılması ve güç özelliklerini belirlemek için kum ve killerin arasında tanımlanan zemin ve alüvyonlar üzerinde, birleşik drenajsız üç eksenli testlerinin uygulanmasıdır. Kendi yerindeki zeminlerin gücünü ölçmek için alanda uygulanabilecek bir başka test de Dinamik Konik Penetrometre (DCP) testidir. Bu test, hem ince hemde kalın parçalı zeminlerin yerindeki gücünü tahmin etmek için daha yaygın olarak kullanılır.

Esneklik (resilient) Modülü Testleri

Esneklik (resilient) modülü testleri, üstyapının tasarımında, taban zeminlerini sınıflandırmak için, her ana zemin tabakası üzerinde uygulanır. Bu test yönteminin amacı, uygulamalı tekerlek yüklemelerine karşı, zeminlerin gerçek tepkisini simule eden malzeme yada zeminler için, doğrusal olmayan modülü özelliklerini belirlemektir.

Bu test, standart triaxial sıkıştırma testine benzer. Tek fark, düşey gerilmenin, hareketli yükler altındaki üstyapıya, tipik tekerlek yüklerinin şiddet ve zamanını modellemek için, değişik seviyelerde uygulanmasıdır. Alan koşullarını modelleme kapasitesine sahip olmasından dolayı Dinamik üç eksenli aracı kullanılmalıdır.

Dinamik üç eksenli testlerden, yerindeki esneklik modülünü belirlemek için, toplam yatay ve düşey gerilmelerin tahmini yapılmalı ve hareketsiz toprak basıncı bilinmelidir.

Bu değerleri belirlemek için, deneme çapraz kesitinde her üstyapı tabakası ve zemin tabakasının yoğunluk ve kalınlıkları tahmin edilmelidir.

Özel Testler

Genellikle özel zemin özelliklerini belirlemek önemlidir, organik içerik ve karbonat içeriği gibi. Bu testlerin kapsamı, gerekli görülen bilginiin miktarı ve tipine büyük oranda bağlıdır ve bu tip testler için genel kurallar konamaz.

Zemin Tabakası İçin Esneklik Modülünün Seçilmesi

Laboratuarda Dinamik üç eksenli sıkıştırma testlerinden mahalindeki esneklik (resilient) modülünü belirlemek için, toplam yanal ve düşey gerilmeler bilinmeli ve hareketsiz yer basıncı dahil edilmelidir.

Bu değerleri belirlemek için, esneklik (resilient) modülü belirleme noktasının üstündeki her üstyapı tabakası ve zemin tabakasının yoğunluğu ve kalınlığı bilinmelidir yada varsayılmalıdır. Takip edilebilecek adım - adım yöntemi aşağıdaki gibidir.

1. Esneklik (resilient) modülünü gerektiği zemin tabakası hakkında hareketsiz yer basıncı katsayısını, k_0 , tahmin edilmelidir. Yapışık zeminler için (killer gibi), hareketsiz yer basıncı katsayısı, normalde Poisson's oranının, μ , bir fonksiyonu olarak alınır, ve bu da :

$$k_0 = \mu / (1 - \mu) \dots\dots\dots(3.2)$$

Yapışık olmayan zeminler için (akıl ve kum gibi), hareketsiz yer basıncı katsayısı, kesme direnci açısının bir fonksiyonudur, $\emptyset$, ve bu da :

$$k_0 = 1 - \sin \emptyset \dots\dots\dots(3.3)$$

2. Laboratuvarda test edilen zemin tabakası da dahil edilerek, her tabaka için bir esneklik modülü ve kalınlık varsayımı yapılır ve denenir.

3. Esneklik (resilient) modülünün belirlendiği yerin üzerinde toplam düşey gerilme hesaplanır.

$$\sigma_z = \sigma_1 + p_0 \dots\dots\dots(3.4)$$

σ_1 = elastik tabaka teorisi ile hesaplanan tekerlek yükünden düşey gerilme

p_0 = Diğer tabakaların aşırı yüklenmesinden hareketsiz düşey basınç

4. Toplam yanal gerilme hesaplanır. σ_3 ,

$$\sigma_3 = \sigma_{x,y} + k_0 (p_0) \dots\dots\dots(3.5)$$

$\sigma_{x,y}$ = Üstyapı yüzeyinde uygulanan teker yüklerinden ve elastik tabaka teorisinden yatay gerilme.

5. Toplam düşey ve yatay gerilmeler için esneklik (resilient) modülü hesaplanır.

6. Varsayılan esneklik (resilient) modülü hesaplanan değerle karşılaştırılır. Eğer hesaplanan gerilmeler, laboratuvarda ölçülen esneklik (resilient) modülünün % 5' i dahilinde bir sonuç veriyorsa, esneklik (resilient) modülü olarak bu değer kullanılabilir.

Test Sonuçlarının Raporlanması

Laboratuvar testlerinin ve keşiflerin sonuçları, genellikle bir jeoloji ve zeminler raporu formunda sunulur. Üstyapılar için, tasarım analizi raporunu hazırlarken bir rehber olarak aşağıdakiler dahil edilmeli ve kullanılmalıdır :

1. Civardaki birincil topografik özellikleri işaret eden sahanın genel bir açıklamasının olduğu; yüzey hattını, önerilen yapının bölgesi ve bütün delmelerin bölgesinin gösterildiği bir plan haritası çıkartılmalıdır.
2. Önceden gerçekleştirilen diğer jeolojik çalışmaları da içeren, sahanın genel jeolojisinin açıklaması yapılmalıdır.
3. Alan araştırmalarının sonuçları, bütün altyapı delmelerinin grafik kayıtları, piezometreden (basınçölçer) ilgili verilerin bölgeleri, ana kayaya derinlik ve delmeler bazında taban zemini malzemelerinin genel açıklamaları yapılmalıdır.
4. Yer altı suyu koşulları, yer altı suyundaki mevsimsel farklılaşmalar hakkında veri ve alan pompalama testlerinin (eğer yapılmışsa) sonucu da buna dahildir.

5. Laboratuvarda gerçekleştirilen genel bir açıklama ile, test değerlerinin genel aralığı ve tipik numunelerin detaylı test verileri hakkında bilgi verilmelidir. Laboratuvar test verisi tablolarda özetlenmelidir.

6. Üstyapı bünyesinin tipi ve kullanılacak herhangi bir özel tasarım özelliği hakkında tavsiyeler verilmelidir. Belirli zeminlerin kaldırılması yada yer değiştirilmesi, zeminlerin yada diğer temel geliştirmelerin ve düzeltmelerin stabilizasyonu da buna dahildir.

7. Temel varsayımlar, uygulanan tekerlek yükleri, yerleştirme analizinin sonuçları ve taban zeminlerinde beklenen kabarmanın maksimum miktarı tahmin edilmeli, hesaplanan diferansiyel yerleşmenin etkisi ve üstyapı bünyesindeki kabarmanın etkisi de ayrıca açıklanmalıdır.

8. İnşaat teknikleriyle ilgili önlemler ve tavsiyeler de tartışılmalıdır. Doldurma ve dolgu malzemelerinin elde edilebileceği bölgeler gösterilmelidir. Gerekli sıkıştırma miktarı ve bu gereklilikleri karşılayacak yöntemler açıklanmalıdır.

Özet olarak, taban zemini tiplerindeki yatay ve düşey varyasyonlar, nem içeriği, yoğunluklar ve su tablası derinlikleri, hem yeni hemde varolan üstyapılar için tanımlanmalıdır.

3.2.1.3. Özel Taban Zemini Koşullarının Tanımlanması

Taban zemininin uygun şekilde hazırlanması ve işlenmesi, uzun vadede üstyapı bünyeleri için çok büyük önem taşır. Rehber, donmaya bağlı kabarmadan yada genişleyen zeminlerden kaynaklanan pürüzlülükteki artışı ele almaktan ziyade, bu problemli koşullardan kaynaklanan etkileri en aza indirmek için yollar gösterir. Rehber, üstyapı bünyesinin üzerine inşa edileceği, iyi ve yeterli düzeyde bir zemin elde etmek için problemli zeminleri tanımlama ve işleme konusunda detaylı bilgi sağlar. Dört özel taban zemini koşulu hedef alınır :

- Çökebilen yada büyük oranda sıkıştırılmış zeminler
- Genişleyen yada kabaran zeminler
- Taban zemini su akışı ve doymuş zeminler
- Donmaya duyarlı zeminler.

Sıkıştırılmış Zeminler

Deforme olan yada büyük oranda sıkıştırılmış zeminler zamanla deformasyonlara ve büyük yer değiştirmelere duyarlı olabilir ve bu da üstyapı performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Eğer bu sıkıştırılmış zeminler uygun şekilde iyileştirilmezlerse, dağınık kırılmalar ve geniş yüzey deformasyonları oluşabilir. Yüzey deformasyonları, üstyapının yüzeyinde su birikintileri oluşmasına ve suyun içeriye sızmasına sebep olur ve çok ciddi problemler meydana getirebilir. Daha da önemlisi, bu küçük su birikintileri, seyahat eden yolculara güvenlik tehlikesi arzedebilir.

Sıkıştırılmış zeminlerin bulunduğu yerlerde belirli bir tekniğin seçilmesi şunlara bağlıdır :

1. Zayıf zeminin derinliği.
2. Yerindeki koşullar ve minimum sıkıştırma ve güç gereklilikleri (Beklenen yerleşmeyi üstyapının performansını aksi yönde etkilemeyecek, kabul edilebilir bir değerle sınırlandırmak için).

Kabaran Zeminler

Kabaran yada genişleyen zeminler, nem içeriğindeki mevsimsel dalgalanmalarla hacim değişikliklerine (büzülme yada kabarma) duyarlıdır. Bu hacim değişikliğinin büyüklüğü, zeminin tipine ve nem içeriğindeki değişikliğe bağlıdır. Nem kaybı, zeminin büzülmesine sebep olur, ve nemdeki artış kabarmaya yada genişlemeye sebep olur. Killi zeminlerin hacim değişimi, üstyapının kenar çizgisinde uzunlamasına kırılmalara ve üstyapının uzunluğu boyunca önemli yüzey pürüzlerine (değişik kabarma ve bozulmalar gibi) sebep olur.

Kil mineralojisi ve suyun bulunması, belirli bir saha içinde kabarma probleminin ne kadar bulunabileceğini belirleme ile ilgili anahtar faktörlerdir. Farklı kil mineralleri, spesifik kimyalarına bağlı olarak daha fazla yada daha az kabarma potansiyelleri sergilerler. Kimyasal veya mikroskopik yollarla kil minerallerinin tanımlanması, zeminlerdeki yüksek kabarma potansiyelinin varlığını tanımlamanın bir metodu olarak kullanılabilir. Zemin dokusu da, kabarma potansiyelini etkileyen bir faktör haline

gelebilir, birleşmiş partiküllerin dağınık partiküllere göre ve topaklanmışların topaklanmamış olanlara göre daha yüksek kabarma meyli vardır.

Genel olarak zemin, ince taneli ve daha fazla plastik özellik gösterdikçe, daha yüksek bir kabarma potansiyeli gösterir.

Kabaran zeminlerin tanımlanması, yol için jeoteknik araştırmalarda anahtar bir bileşendir. İndeks testi, kabarma potansiyelini tanımlayan oldukça yaygın bir metottur. Plastik ve likit limitler yada büzülme limitini elde etmek için laboratuvar testi genellikle uygulanır.

Yeraltı Suyu

Doymuş zemin tabakasını, zemin suyunun derinliğini ve zemin tabakası arasındaki yeraltı su akışını tanımlamak önemlidir. Özellikle de yeraltı suyunun, kesilme ve doldurma segmentleri arasındaki geçiş bölgelerinde farkedilmesi ve tanımlanması önemlidir. Eğer granüler temel/alttemel malzemeleri ve taban zeminlerinin doymasına izin verilirse, yeraltı suyu, bu malzemelerin ve zeminlerin modülünün azalmasına sebep olabilir. Dayanımdaki ciddi azalma, erken yüzey bozulmaları, tekerlek izleri ve kırılmalar ile sonuçlanabilir. Seçilen zemin tabakasında, mevsimsel nem akışı, genişleyen zeminlerde hacim değişimlerinin etkisini ciddi oranda artırabilir. Kesilme alanları da yeraltı suyu konusunda özellikle kritik bir özellik taşır.

Donmaya Duyarlı Zeminler

Donma faaliyeti, donma periyotları sırasında kabarmaya, yüzey pürüzlenmesine ve kırılmasına, drenajın bloke olmasına ve taşıma kapasitesinde azalmaya sebep olur. Bu etkiler, taban zeminin tipi ve bütünlüğü ve suyun bulunmasına bağlı olarak hafiften şiddetliye doğru değişir.

Donma faaliyetinin, üstyapılar üzerinde sebep olduğu etkilerinden biri de, ince partiküller içeren zemin boşluklarındaki buz lenslerinin kristalleşmesiyle meydana gelen don kabarmasıdır. Don kabarması ve diğer donma problemlerinin ortaya çıkmasında 3 koşul bulunmaktadır :

- Donmaya hassas zeminler.
- Zemin içinde, donma ısısının altındaki sıcaklıklar.
- Su kaynağı.

Eğer bu koşullar hepsi birarada meydana gelirse kabarma bütünlük içinde olur, diğer türlü diferansiyel kabarma, yüzey düzensizliklerine, pürüzlere ve üstyapı yüzeyinde ciddi ve büyük kırılmalara sebep olur.

Donmanın sebep olduğu ikinci bir etki de, çözülmeden dolayı zayıflamadır. Taşıma kapasitesi çözülme periyodlarında ciddi şekilde düşebilir. Ancak don kabarması, donma-çözülme dönemlerinde daha şiddetli olur. Çünkü su, donma bölgesinde bulunmaya daha elverişlidir. Don bölgesinin güney tarafında kalan alanlarda, kış döneminde birçok donma-çözülme döngüleri yaşanır ve bir tek uzun donma dönemi geçiren kuzey bölgelere göre buralardaki hasar daha fazla olur. Bahar erimeleri, yaz ve sonbahar değerlerinin çok altında taşıma kapasitesi kayıplarına yol açar. Erime, haftalar ve aylar boyunca basamaklı bir iyileşme ile takip edilir.

Birçok kuruluş, don kabarmasından ve çözülme zayıflamasından korunmak için, üstyapının minimum kalınlığına, temel ve donmaya duyarlı taban zeminlerinin üstüne seçilen malzeme kalınlıklarını da dahil ederler. Taban zemininin üst kısımlarının harmanlanması, kış boyunca daha düzgün don kabarması ve bahar boyunca daha kararlı destek sağlamak için bazı kurumlar tarafından gerekli görülmüştür. Bu tasarım yönteminde, mevsimsel donma ve çözülmenin sebep olduğu etkileri kabul edilebilir sınırlara indirmede gerekli tabaka kalınlığını belirlemek için daha düzgün bir metod kullanılmıştır. Belirli bir bölgede üstyapı sistemi hakkında maksimum don derinliğini belirlemek için EICM kullanılmıştır.

Donmaya duyarlı zeminler 4 genel grup altında toplanabilir. Tablo 3.4. tipik zeminlerdeki bu 4 genel grubun özetini verir.

Normal donma koşulları altında temiz ve serbest kurutma yapıldığında, kumlarda, çakıllarda, parçalanmış kayalarda ve benzer taneli malzemelerde donma faaliyeti hiç olmaz yada çok az olur. Büyük hava boşlukları, suyun buz lenslerine ayrılmadan yerinde donmasına yol açar. Bunun tersine, alüvyonlar yüksek oranda donmaya karşı duyarlıdır.

Küçük boşlukların durumu, yüksek kapiler (kılcal) hareketi ve zeminlerin iyi geçirgenliği de bu özelliğe katkıda bulunur. Killer yapışkandır. Killi zeminlerde don kabarması yaşansa da, alüvyonlar için o kadar şiddetli olmaz. Çünkü killerin su geçirmeme özelliği sayesinde suyun geçişi yavaş olur. Her ne kadar ciddi oranda kabarma olmasa da, killerin destekleme kapasitesi çözülme sırasında fazlaca düşürülmelidir. Çözülme genel olarak üst tabakada çok yüksek nem içeriğini hedefleyerek yukarıdan aşağıya gerçekleşir.

Tablo 3.4 : Zeminlerin Don Hassasiyeti Sınıflandırması

Donma Grubu	Donma Hassasiyetinin Derecesi	Zemin Tipi	Ağırlıkça 0.075'den daha ince malzeme (%)	Tipik Zemin Sınıflandırması
F1	İhmal edilebilirden Düşüğe	Çakıllı Zemin	6-10	GM, GW-GM, GP-GM
F2	Düşükten ortaya	Çakıllı Zemin	10-20	GM, GW-GM, GP-GM
		Kumlar	6-15	SM, SW-SM, SP-SM
F3	Yüksek	Çakıllı Zemin	20'den büyük	GM, GC
		Kumlar, çok ince alüvyonlar hariç	15'den büyük	SM, SC
		Killer $PI < 12$	-	CL, CH
F4	Çok yüksek	Bütün Alüvyonlar	-	ML, MH
		Çok ince Alüvyonlu Kumlar	15'ten büyük	SM
		Killer $PI > 12$	-	CL, CL-ML
		farklı killer ve diğer ince parçalı birbirine bağlanmış tortular	-	CL, ML, SM, CH

3.2.1.4. Taban Zeminini İyileştirme ve Güçlendirme

Problemlı zemin koşullarının iyileştirilmesi ve zeminin hazırlanması, üstyapı bünyelerinin uzun vadeli olmasını sağlamak ve aşırı bakımlar gerektirmeyecek şekle getirmek noktasında önemlidir.Genelde, dokusal sınıflandırmaya göre düzgün zemin öngörmede, tabanın üst kısmındaki nem ve yoğunluk miktarına çok dikkat edilmez. Bu bütünlüğe, zemini alttan kesme ve diğer teknikler ile ulaşılabilir. Gücü arttırmak ve üstyapı performansı üzerindeki iklim etkisini azaltmak için beş teknik kullanılmıştır:

1. Zayıf Zeminlerin Stabilizasyonu (yüksek plastik ve sıkıştırılmış olan zeminler)
2. Kalın Taneli Tabakalar
3. Yeraltı Drenaj Sistemleri
4. Geosentetikler
5. Zemin Kapsülleşmesi (Kuşatması)

Stabilizasyon

Hacim ve güç değişikliklerine yüksek oranda duyarlı olan zemin, taşıt trafiği ile de birleşince fazla kırılma ve sürüş kalitesinde düşme formunda ciddi pürüzlere ve üstyapı bünyesindeki bozulmaların artmasına sebep olabilir. Genel olarak, bazı zeminlerin esneklik (resilient) modülü, nem ve gerilme durumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Bazı durumlarda, taban zeminin güç ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmek için, zemin, birçok malzeme ile işlenebilir.

Zeminlerin stabilize edilmesi, genelde iki sebepten ötürü yapılır :

1. Çok ıslak zeminleri kurutmak ve üst tabakalarda sıkıştırmayı kolaylaştırmak için
2. Zayıf bir zemini güçlendirmek ve fazla plastike yada sıkıştırılmış zeminin hacim değişimi potansiyelini sınırlandırmak için

Kireç, çimento, asfalt stabilizasyonu, uygun olmayan zeminlerin, güç karakteristiklerini geliştirmede ve taban zemininin, erime ve donmaya bağlı kabarmasını kontrol altına almada kullanılır.

Kireç Stabilizasyonu

Zeminlerin kireç yada puzolonik stabilizasyonunun güç karakteristiklerini geliştirir ve bazı zeminlerin kimyasal bileşimini değiştirir. İnce taneli zeminlerin gücü, kireç stabilizasyonu ile önemli ölçüde geliştirilebilir. Bununla beraber iri taneli zeminlerin gücü genel olarak orta düzeyde gelişir. Kireç stabilizasyonu, bir çok zeminde hacim değişimi potansiyelini azaltan efektif bir metod olarak görülür. Ancak, normal şartlarda ihmal edilen orta derecede don kabarması gösteren bir zeminde, kireç stabilizasyonu sonucunda, don kabarmasına oldukça duyarlı bir zemin haline gelerek, alüvyonlu topraklarda tipik olarak görünen özellikleri kazanmaya başlayabilir. Bu ters etki, yetersiz sıkıştırma çabasıyla meydana gelen yetersiz bakım periyodu sebebiyle ortaya çıkar.

Çimento Stabilizasyonu

Portland çimentosu, düşük plastisiteli killeri, kumlu zeminler ve taneli zeminlerde, gücün ve sertliğin mühendislik özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılır. Çimento içeriğini artırmak karışımın da kalitesini artırır.

Çimento ile stabilize edilecek zeminler için, uygun karışım No.45 elekten minimum % 45 geçen ve % 20' den az bir PI' si olan zemini gerektirir.

Taneli veya plastik olmayan zeminlerin çimento stabilizasyonu için, çimento içeriği, zeminin kuru ağırlığının % 3' den % 10' una kadar olmalıdır ve işlenmiş malzemenin 7 gün içinde en az 150 psi'lik sıkıştırılmış gücü olmalıdır.

Asfalt Stabilizasyonu

Genel olarak, asfalt (bitüm) ile stabilize edilen zeminler temel ve alttemel inşaatında kullanılır. Bir stabilizasyon aracı olarak asfaltın kullanılmasının değişik etkileri vardır ve zemine göre değişen bu etkiler 3 ana grupta toplanabilir :

- 1) kum - asfalt, temiz kumlar gibi yapışık olmayan zeminlerde güçlenmeye sebep olur yada tutturucu yada betonlaşma aracı olarak davranır.
- 2) zemin - asfalt, yapışık ince taneli zeminlerin nem içeriğini stabilize eder.

3) kum-çakıl asfaltı, yapısında sürtünme gücü bulunan yapışık güç ve su geçirmez özellikte çakıllı zeminler sağlar. Asfalt - stabilize karışımların dayanıklılığı genelde bunların su emme karakteristiklerinin ölçümüne göre anlaşılabilir.

Kalın Granüler Tabakalar

Kalın taneli tabakalar, genel olarak kalınlıkta 45 cm. den daha fazladır. Kalın taneli tabakalar, arttırılmış yük taşıma kapasitesi, don koruması ve geliştirilmiş drenaj gibi birçok fayda sağlarlar. Kalın taneli tabakalar tasarımda yapısal, drenaj ve geometrik sebeplerden ötürü kullanılır.

Büyük miktarda, kolay ulaşılabilir ve iyi kalitede agregası bulunan alanlarda, zemin stabilizasyonuna alternatif olarak kalın bir granüler tabaka kullanılabilir. Kalın taneli tabakalar, doğal zemin temelini geliştirmeye yardımcı olur. Zayıf ve eksik drenajlı zeminlere en uygun katkı, üstyapı tabakasının kalınlığını arttırmak değil, temel iyileştirmesi işlemlerinde bulunmaktadır.

Kalın taneli tabakaların hedefleri ve faydaları şunlardır :

- Zayıf, ince taneli tabanların destekleme kapasitesini arttırmak.
- Üstyapıların tasarım ve inşaatı için minimum taşıma kapasitesini sağlamak.
- Yüksek değişkenlikte zemin koşullarına sahip bölümlerin üstüne düzenli taban desteği sağlamak.
- Taban desteğindeki nem ve sıcaklık varyasyonlarının mevsimsel etkilerini azaltmak.
- Geometrik tasarım ile yüzey akışını iyileştirmek.
- Yeraltı drenajını ve üstyapı tabakalarının altından nemin çıkarılmasını geliştirmek.
- Yüksek su tabanlı alanlarda üstyapının yüksekliğini arttırmak.
- Donmaya maruz kalan iklimsel bölgelerde don koruması sağlamak.
- Esnek üstyapılarda taban tekerlek izi potansiyelini azaltmak.
- PCC üstyapıları altındaki pompalama ve erozyonu azaltmak.
- Geometrik tasarımların yükseltme gerekliliklerini karşılamak.

Granüler malzemelerin gücü ve sertliğini karakterize etmekte bir çok metod kullanılır. Bunlardan bazıları; Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) ve esneklik (resilient) modülü testidir. Buna ek olarak, alan levhası yükleme testlerinin birçok tipi, toprak setinin ve

zemin kompozisyonunun bileşik tepkisini belirlemek için kullanılır. Genel olarak, CBR değerleri % 20 yada daha fazla olan (esneklik (resilient) modülü yaklaşık 17.500 psi' ye denk gelen) malzemeler kullanılır. Bunlar tipik olarak kum yada taneli malzemelerdir yada sınırlı ince partiküle sahip iri taneli (AASHTO A-1 ve A-2 zeminlerine denk gelen) malzemelerdir.

Kalın taneli tabakanın kullanılması, tasarım konusunda ilginç bir durum sergiler. Nisbeten zayıf alt zemin üzerine önemli kalınlıkta taneli bir tabakanın yerleştirilmesi, homojen olmayan bir taban oluşmasına sebep olur.

Yeraltı Drenajı

Yeraltı drenaj sistemleri 3 temel sebep için kullanılır:

- Yer altı suyu seviyesini azaltmak için.
- Üstyapı bünyesi altındaki yeraltı suyunun yansal akışını engellemek için
- Üstyapı yüzeyinden sızılan suları kaldırmak için.

Derin alt drenler yer altı suyu problemlerini halletmek için yapılır. Bu alt drenlerin tasarımı ve yerleştirilmesi, sahanın jeoteknik araştırmalarının bir parçası olarak ele alınmalıdır. Sığ derinliklerdeki banketlerin altında kalan hendeklere yerleştirilen kenar drenleri, yukarıdan üstyapıya sızan su problemini halletmek için kullanılır.

Geosentetikler

Geosentetikler, bazı uygulamalarla zemin koşullarını iyileştirmek için kullanılan bir sınıf geo malzemelerdir. Bunlar, insan yapımı sistemin entegre bir parçası olarak, üstyapı yada zemin malzemeleriyle bağlantılı, polimerik malzemelerden oluşmuştur. Genelde en yaygın olarak üstyapıda; kaplamalı olan ve olmayan yollar için, temel zeminleri ve destekli toprak setleri için, kestirmelerde ve kaplama maddelerinde su akışı için bariyerler oluşturma, ve drenajı geliştirmek için kullanılırlar. Genel bir terim olarak geosentetik kelimesi, geniş bir tanım aralığındaki farklı malzemeleri (geotekstil, geogrid ve geomembranlar da dahil olmak üzere) kapsar.

Zemin Kapsüllemesi (Kuşatması)

Zemin kapsüllemesi, nem içeriğindeki büyük farklılaşmalara karşı, neme duyarlı hasas zeminleri korumak için kullanılan bir zemin geliştirme tekniğidir. Ancak, bu teknik, nadiren daha yüksek hacimli yolların zeminlerini iyileştirmek için kullanılır. Daha yaygın bir şekilde, düşük yoğunluktaki yollar için, altyapı yada zemin tabakası olarak kullanılır. Zemin kapsülleme kavramı, özellikle daha ağır taşıt trafiğın desteklenebileceğı zeminlerdeki ince taneli yapının nem içeriğinin, optimum seviyede yada biraz altında tutmak için uygulanan bir uygulamadır.

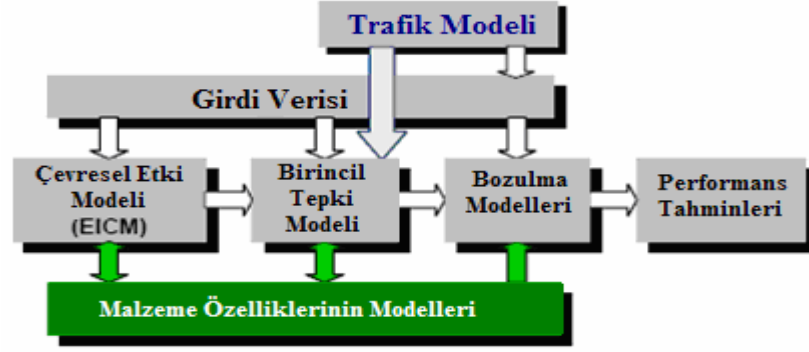
İnce taneli zeminler, nem içeriğı optimum seviyenin altında kaldığı sürece, üstyapılar ve toprak setlerindeki yapısal tabakalar olarak yeterli taşıma gücü sağlayabilir. Ancak, optimum seviyenin üstüne çıkan nem içeriğı, ince taneli malzemelerin ve zeminlerin gücünün ve esneklik (resilient) modülünün önemli ölçüde düşmesine sebep olabilir.

Zemin Kapsüllemesi kavramı, bazen membran kapsüllemeli zemin tabakası olarak da bilinir. Su geçirmez membranlardaki zemini kapsüle ederek, zemindeki nem içeriğini istenen seviyede tutmayı sağlar. Su geçirmez membranlar, suyun, neme duyarlı malzemelere sızmasını önlemek içindir. Optimum koşullarda yada altında ölçülen esneklik (resilient) modülü, üstyapının tasarım ömrü boyunca nispeten sabit kalır.

3.2.2. Malzeme Özellikleri

Rehberde malzeme girdilerinin, analitik-ampirik tasarımının diğer bileşenleri ile etkileşimi, Şekil 3.7' de gösterildiğı gibidir. Malzemeler, iklim, trafik, yapısal tepki ve performans tahmini bileşenleri arasındaki etkileşim, görülmektedir. Malzeme ihtiyaçlarını anlamak ve ortak temel sağlamak için, analitik-ampirik tabanlı alt kategoriler oluşturulmuştur;

- Üstyapı tepkilerini hesaplamak için gerekli olan malzeme özellikleri.
- Bozulma / transfer fonksiyonlarına ek malzeme girdileri.
- İklimsel modelleme için gerekli olan ek malzeme girdileri.



Şekil 3.7 : Malzemelerin Diğer Bileşenler İle Etkileşimi

İlk kategori, bir tekerlek yüküne maruz kaldığında üstyapıdaki basınç, gerilme ve yerdeğiştirme durumlarını tahmin etmek için gerekli olan malzeme özellikleridir. Tasarım Rehberi için seçilen analitik-ampirik yaklaşımında, bu özellikler, malzemenin esneklik modülünü ve poisson oranını (μ) da kapsamaktadır.

İkinci kategori, bozulma veya pürüzsüzlük modellerine doğrudan giren malzeme ile ilgilibütün girdilerdir. Esnek üstyapı tasarımında dikkate alınan bozulma tipleri, yüke bağlı yorulma çatlakları (yukarı-aşağı ve aşağı-yukarı), deformasyon ve diğer çatlakları kapsamaktadır. Bu bozuklukların her biri için, verilmiş bir tekerlek ve iklimsel yük şartları altındaki kritik yapısal tepki, modül ve poisson oranı gibi üstyapı malzemesi özelliklerinden etkilenmektedir. Buna ek olarak, mukavemet, genleşme-büzülme karakteristikleri, plak ve temel arasındaki sürtünme, alttaki tabakaların aşınılabirliği, tabaka drenaj karakteristikleri, plastisite, gradasyon ve diğer malzeme özellikleri gibi parametreler, bir malzemenin verilmiş bir bozulma mekanizmasına katkıda bulunmasını doğrudan etkiler. Son olarak, üçüncü kategoride, üstyapı enkesiti içindeki sıcaklık ve nem profillerini belirlemeye yardım eden iklimsel modüle giren malzeme ile ilgili girdiler bulunmaktadır. Bunlar, mühendislik indeksi özellikleri (mesela plastisite indeksi), gradasyon parametreleri (porozite, etkin granül ölçüleri, v.b.), ve termal özellikleri (soğurganlık, ısı kapasitesi, termal genleşme katsayısı v.b.) kapsamaktadır.

3.2.2.1. Dikkate Alınan Malzeme Faktörleri

Zamana Bağlı Özellikler

Genel olarak konuşmak gerekirse, üstyapı malzeme özellikleri, çatlama veya deformasyon ataklarının yanı sıra, kimyasal ve fiziksel güçlere, iklim etkilerine bağlı olarak daima zamanla değişmektedir. Sonuç olarak, malzeme özelliklerinin büyüklüğü iyileşmeye veya kötüleşmeye uğrar.

Özellik İyileşmesi

Uzun dönem, zamana bağlı özellik iyileşmesi aşağıdaki şartlardan birinin gerçekleşmesi ile oluşur :

Asfalt bağlayıcının zamana bağlı olarak kimyasal ve fiziksel iyileşmesi, asfalt bağlayıcı içindeki rutubetin buharlaşması ve/veya sementitik malzemelerin puzolanlı reaksiyon girmesi sonucu olur. Normal olarak, zamana bağlı özellik iyileşmesi, malzemenin rölatif modülünü ve sağlamlığını artırdığı gözlenmektedir. Bir asfalt betonu tabakasının fiziksel olarak sertleşmesi, alttaki tabakalardaki basıncı ve üstyapı sisteminde oluşan kalıcı deformasyonun olasılığını azalttığı gibi, bir esnek üstyapı sisteminde ayrıca yararlıdır. Bununla birlikte, malzeme tabakasının sertliğindeki genel artış da yük ve çevresel etkiler sebebiyle çatlak oluşma olasılığını artırmaktadır.

Özellik Kötüleşmesi

Yüke bağlı yorulma bozulmalarına maruz kalan malzemeler zaman ve yük tekrarları ile pek çok özellik kötüleşmesine uğrayabilirler. Esneklik modülünün azalmasına neden olan mikro - çatlaklar oluşabilir. Modüldeki azalma sırayla üstyapı içinde gerilme artışına ve büyük olasılıkla kalıcı deformasyona yol açabilir.

Zaman - Sıcaklık Etkileri

Bütün asfaltik malzemeler sıcaklığa ve yük oranına çok duyarlıdır. Asfalt betonunun esneklik modülü, malzemenin bir visko-elastik-plastik malzeme olmasından dolayı, yüksek sıcaklıklarda ve uzun yükleme oranlarında, granüler malzemeye yaklaşabilir. Tam tersine, düşük sıcaklıklarda ve çok kısa yük oranlarında, malzeme sırf elastik bir

moda davranmaya çalışır ve çimento betonunun modülüne yakın modül değerlerine sahip olabilir.

Asfalt betonu malzemeleri, zaman ve sıcaklık etkilerini doğrudan çözüm metodolojisinin içine dahil eden bir ana (master) eğri tarafından karakterize edilmektedir.

Doğrusal Olmayan Davranış

Bir madde, eğer elastik modülün değeri malzemede oluşan gerilmelere göre değişiyorsa, malzeme doğrusal olmayan malzeme olarak el alınır. Çok büyük gerilme durumlarında pek çok malzeme bu davranışı sergilese de, bu rehberde doğrusal olmayan olarak ele alınan malzemeler sadece granüler temel/alttemel ve taban zemini malzemeleridir.

3.2.2.2. Malzeme Kategorileri

Malzeme tiplerinin değişik kombinasyonu esnek ve rijit üstyapı sistemlerinde kullanılmaktadır. Yıllar içinde, pek çok kuruluş, özel görüşlerine ve malzemelerin kullanımına uyacak şekilde ana malzeme grupları oluşturmuşlardır. Tasarım Rehberi için oluşturulan ana malzeme grupları Şekil 3.8’ de gösterilmiştir. Burada, altı temel malzeme grubu oluşturulmuştur :

Asfalt Betonu malzemeleri, Çimento Betonu malzemeleri, kimyasal stabilize edilmiş malzemeler, stabilize edilmemiş granüler malzemeler, taban zeminleri, ve temel kaya.

Asfalt Betonu malzemeleri, bu maddelerin tepkisi ve davranışı, sıcaklık, yükün zaman oranı, karıştırma metodu, karıştırma işlemi ve maddenin hasar derecesinden etkilendiği için en karmaşık gruplardan biridir.

Kimyasal olarak stabilize edilmiş malzemelerin kategorisi, çimentolu veya puzolanlı olarak (kimyasal) reaktif malzemelerin geniş bir alanını kapsar. Granüler malzemelerle ilişkili ana malzeme özellikleri; bu maddelerin modüllerinin, gerilme durumundan ve rutubet içeriğinden yüksekçe etkilenebilir olması gerçeği ile alakalıdır. Genel bir kural olarak, granüler malzemeler, gerilme arttıkça daha yüksek modüle sahibi olabilmektedirler. Tam aksine, killi malzemelerde gerilme bileşeni arttıkça, modül değerleri azalmaktadır.

<u>Asfalt Beton Malzemeleri</u> Asfalt Beton (HMA) - yoğun karışım Yeniden Kazanılmış Asfalt Beton (Recycled) Taş Mastik Asfalt (SMA) Geçirimli Asfalt Beton Kum Asfalt Karışımları Soğuk Karışım Asfalt Beton <u>Kimyasal Olarak Stabilize Edilmiş Malzemeler</u> Çimento Stabilize Kireç, Çimento, Uçucu Kül Stabilize Kireç Stabilize edilmiş Zeminler Agrega	<u>Stabilize edilmemiş Granüler Temel/Alt Temel</u> Granüler Temel / Alt Temel Kumlu Alt Temel Soğuk Geri Kazanılmış Asfalt Beton (agrega olarak) Soğuk Geri kazanılmış Asfalt Üstyapısı (HMA artı agrega temel / Alt temel) <u>Taban Zemin Zeminler</u> Çakıllı Zeminler (A-1; A-2) Kumlu Zeminler Gevşek Kumlar (A-3) Yoğun Kumlar (A-3) Balçıklı Kumlar (A-2-4; A-2-5) Killi Kum (A-2-6; A-2-7) Balçıklı Zeminler (A-4; A-5) Killi Zeminler Düşük Plastisiteli Çamurlar (A-6) Kuru-Sert Nemli Bükülmez (stiff) Islak/ Sat-Yumuşak Yüksek Plastisiteli Çamurlar (A-7) Kuru-Sert Nemli Bükülmez (stiff) Islak/ Sat-Yumuşak <u>Ana Kaya (bedrock)</u> Katı (solid), Masif ve Devamlı Çokça parçalanmış, hava şartları yüzünden yıpranmış
---	--

Şekil 3.8 : Ana Malzeme Grupları

Hiyerarşik Girdi Yaklaşımı Konusu

Tasarım Rehberindeki malzemelerin tasarım girdilerini seçmek veya belirlemek için genel yaklaşım, bir hiyerarşik sistemidir. Seviye 1, geniş laboratuvar veya alan testleri ile, en geçerli uygulanabilir yöntemdir. Tam tersine, Seviye 3 ise, tasarımcının çok az test ile veya testsiz olarak, tecrübeye dayanarak, malzeme özelliklerinin girdi değerlerini en uygun şekilde saptamasını gerektirmektedir. Seviye 2 de ki girdiler ise, laboratuvar da veya alanda ölçülen diğer malzeme özellikleri ile korelasyon içinde saptanmaktadır.

Asfalt Betonu Malzeme Özellikleri

Dinamik Modülün Hesaplanması

Asfalt betonu malzemeleri için en önemli özellik birincil rijitlik (stiffness) özelliği, zaman-sıcaklığa bağlı dinamik modüldür (E^*). Tablo 3.5, yeni veya yeniden inşa etme tasarımında E^* yi elde etmek için çeşitli hiyerarşik girdi seviyelerindeki yöntemlerin kısa özetini sağlamaktadır.

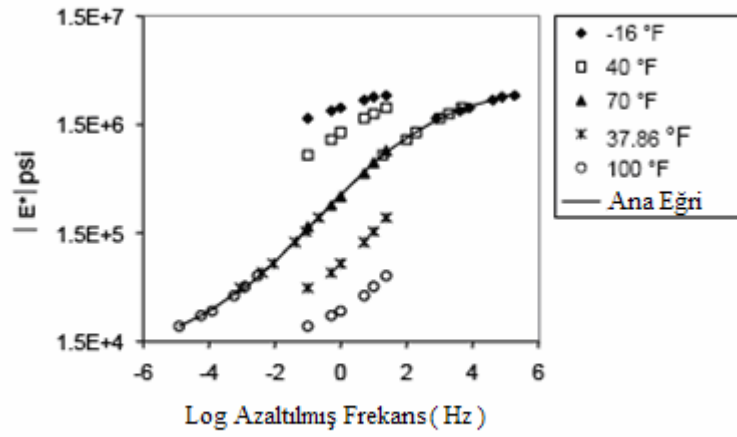
Asfalt betonlarının modül özellikleri; sıcaklık, yüklemen oranı, yaş, ve bağlayıcı rijitliği, agrega gradasyonu, bağlayıcı içeriği ve hava boşlukları gibi karışım özelliklerinin bir fonksiyonu olarak bilinir. Sıcaklığı ve yükleme etkilerinin oranını hesaplamak için, bütün analiz seviyelerindeki asfalt betonunun modülü, 70 °F referans sıcaklığında oluşturulan bir ana eğriden (master curve) belirlenecektir.

Ana eğriler, zaman-sıcaklık süper pozisyon prensibini kullanarak oluşturulur. Öncelikle, bir standart referans sıcaklık seçilir (bu durumda, 70 °F), ve sonra çeşitli sıcaklıklardaki veri, eğri bir tekil düzgün fonksiyona dönüşene kadar zamana göre değiştirilir (shift edilir). Bu şekilde zamanın bir fonksiyonu olarak oluşturulan modül ana eğrisi malzemenin zamana bağlı olmasını tarif eder. Ana eğriyi düzenlemek için gerekli olan her sıcaklıktaki shift miktarı, malzemenin sıcaklığa bağlı olmasını tarif eder. Böylece, oran ve sıcaklık etkilerinin eksiksiz tarifi için hem ana eğriye hem de shift faktörlerine ihtiyaç vardır.

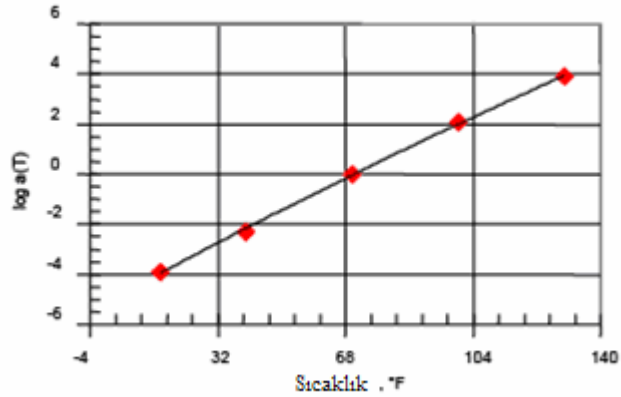
Tablo 3.5 : Asfalt Betonu Dinamik Modülü (E^*) için Çeşitli Hiyerarşik Girdi Seviyeleri

Malzeme Grubu Kategorisi	Girdi Seviyesi	Tarif
Asfalt Beton Malzemeleri	1	• Verilen bir karışım için ilgili yükleme frekansları ve sıcaklıklarda E^* (dinamik modül) laboratuvar testini yürüt. • Önerilen bitümde (AASHTO T315) $\omega = 1.59$ Hz (10 rad/s) da bir sıcaklıklar aralığı üzerinde test ederek, bağlayıcı kompleks kesme modülünü (G^*) ve faz açısını (δ) yürüt. • Bağlayıcı testinden veri, A_i-VTSi ' i karıştırma-kompaksiyon sıcaklığı için saptar. • Yaşlanmayı kapsayan zamansıcaklık bağımlılığını tam olarak tanımlayan asfalt karışımı için ana eğriyi oluştur.
	2	• E^* laboratuvar test istenmemektedir. • E^* tahmin edici eşitliğini kullan. • Önerilen bitümde (AASHTO T315) $\omega = 1.59$ Hz (10 rad/s)'da bir sıcaklıklar aralığı üzerinde G^*-δ 'yi yürüt. Bağlayıcı viskozite veya sağlamlık (stiffness); Ring and Ball Softening Point, mutlak ve kinematik viskoziteler, veya Brookfield vizkometre gibi geleneksel bitüm test verisi kullanarak saptanabilir. • Karıştırma-kompaksiyon sıcaklığı için VTSi bina et. • Yaşlanmayı kapsayan zamansıcaklık bağımlılığını tam olarak tanımlayan asfalt karışımı için ana eğriyi oluştur.
	3	• E^* laboratuvar test istenmemektedir. • E^* tahmin edici eşitliğini kullan. • Tasarım Rehberi yazılımında verilen PG, viskozite, veya bağlayıcının penetrasyon derecesi ile ilişkili tipik A_i-VTS- değerlerini kullan. • Yaşlanmayı kapsayan zamansıcaklık bağımlılığını tam olarak tanımlayan asfalt karışımı için ana eğriyi oluştur.

Referans Sıcaklık 70 °F



a. Ana Eğri (Master Curve).



b. Shift Faktörleri.

Şekil 3.9 : Ana Eğrinin ve Shift Faktörlerinin Şeması

Dinamik modül ana eğrisi, Denklem 3.6, da tarif edildiği gibi sigmoidal fonksiyon tarafından temsil edilir :

$$\log(E^*) = \delta + (\alpha / 1 + e^{\beta + \gamma (\log t_r)}) \dots\dots\dots(3.6)$$

E^* = dinamik modül

t_r = referans sıcaklıktaki yükleme zamanı

δ, α = verilen bir veri seti için uygun gelen (fitting) parametreleri

δ : E^* nin minimum değerini temsil eder ve

$\delta + \alpha$: E^* nin maksimum değerini temsil eder

β, γ = sigmoidal fonksiyonun şeklini tarif eden parametreler

Uygun gelen parametreler δ ve α agrega gradasyonu, bağlayıcı içeriği, ve hava boşluğu içeriğine bağlıdır. Uygun gelen parametreler δ ve α , bağlayıcının karakteristiğine ve δ ve α nın büyüklüğüne bağlıdır. Sigmoidal fonksiyonu, modülün referans sıcaklıkta zamana bağlılığını tarif eder. Shift faktörleri modülün sıcaklığa bağlılığını tarif eder.

$$t_r = t / a(T) \dots\dots\dots(3.7.a)$$

$$\log(t_r) = \log(t) - \log[a(T)] \dots\dots\dots(3.7.b)$$

t_r = referans sıcaklıktaki yükleme zamanı.

t = verilen ilgili sıcaklıktaki yükleme zamanı .

$a(T)$ = sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Shift faktörü.

T =ilgili sıcaklık.

Böylece, Denklem 3.7' yi kullanarak, referans sıcaklıktaki yükleme zamanı, herhangi bir sıcaklıkta yüklemenin herhangi bir zamanı için hesaplanabilmektedir. Sonra, referans sıcaklıktaki yükleme zamanını kullanarak uygun modül Denklem 3.6' den hesaplanabilmektedir.

Bu metod Seviye 1 Analizi için kullanılmaktadır. Seviye 2 ve Seviye 3 analizleri için ana eğriler, Denklem 3.8' de gösterilen dinamik modül tahmin etme eşitliğinden doğrudan elde edilebilir. Bu denklem, malzeme özellikleri veya karışımın hacimsel tasarımından elde edilen hazır bilgiden, sıcaklık, yükleme oranları, ve yaşlanma durumları aralığı için asfalt karışımlarının dinamik modülünü tahmin etme kabiliyetine sahiptir.

$$\begin{aligned} \text{Log } E^* = & 3.750063 + 0.02932 \rho_{200} - 0.001767 (\rho_{200})^2 - 0.002841 \rho_4 - 0.058097 V_a \\ & - 0.802208 [V_{\text{beff}} / (V_{\text{beff}} + V_a)] + [(3.871977 - 0.0021 \rho_4 + 0.003958 \rho_{38} - 0.000017 \\ & (\rho_{38})^2 + 0.005470 \rho_{34}) / (1 + e^{ (-0.603313 - 0.313351 \log (f) - 0.393532 \log (\eta)) })] \dots\dots\dots(3.8.) \end{aligned}$$

E^* = dinamik modül, psi

η = bitümün viskozitesi, 10^6 Poise

f = yükleme frekansı, Hz

V_a = hava boşluğu içeriği, %

V_{beff} = etkin bağlayıcı oranı, % hacim olarak

ρ_{34} = yığışımli olarak 3/4 elekten geçen %

ρ_{38} = yığışımli olarak 3/8 elekten geçen %

ρ_4 = yığışımli olarak No. 4 elekten geçen %

ρ_{200} = No. 200 elekten geçen %

Denklem 3.2.3 için istatistiksel özet aşağıdaki gibidir:

$$R^2 = 0.96$$

$$Se/Sy = 0.24$$

Veri Noktaları sayısı = 2750

Sıcaklık Aralığı = 0-130 °F

Yükleme Oranları= 0.1- 25 Hz

Karışım sayıları = 205 Toplam, 171 değiştirilmemiş bağlayıcıyla beraber, 34 değiştirilmiş bağlayıcısıyla beraber

Kullanılan Bağlayıcı sayısı = 23 Toplam, 9 değiştirilmemiş, 14 değiştirilmiş

Agrega Tipleri Sayısı = 39

Sıkıştırma Metotları = yoğurmalı ve dönel

Numune ölçüleri = silindirik 4 in x 8 in veya 2.75 in x 5.5 in

Denklem 3.8, Denklem 3.6' da gösterilen bir sigmodial fonksiyon şeklini de alabilir.

Denklem 3.9. bir karışım spesifik ana eğrisi formunda; denklem 3.8' de gösterilen dinamik modül denklemini temsil etmektedir.

$$\log(E^*) = \delta + (\alpha / 1 + e^{\beta + \gamma (\log t_r)}) \dots\dots\dots(3.9)$$

E^* = Dinamik modül (psi)

t_r = referans sıcaklıktaki yükleme zamanı

δ = E^* nin minimum değeri

$\delta + \alpha$ = E^* nin maksimum değeri

β, γ = sigmoidal fonksiyonun şeklini tarif eden parametreler.

$$\delta = 3.750063 + 0.02932 \rho_{200} - 0.001767 (\rho_{200})^2 - 0.002841 \rho_4 - 0.058097 V_a \\ - 0.802208 [V_{beff} / (V_{beff} + V_a)]$$

$$\alpha = 3.871977 - 0.0021 \rho_4 + 0.003958 \rho_{38} - 0.000017 (\rho_{38})^2 + 0.005470 \rho_{34}$$

$$\beta = -0.603313 - 0.393532 \log(\eta_{Tr})$$

$$\log(t_r) = \log(t) - c [\log(\eta) - \log(\eta_{Tr})]$$

$$\gamma = 0.313351$$

$$c = 1.255882$$

Bağlayıcının Viskozitesi (Akışkanlığı)

Bağlayıcının ilgili sıcaklıktaki viskozitesi, dinamik modül denklemi için ve shift faktörlerini belirlemede yukarıda tarif edildiği gibi kritik bir girdi parametresidir. Yaşlanmama durumları için, asfalt bağlayıcısının ilgili sıcaklıktaki viskozitesi denklem 3.10' da tarif edilen ASTM viskozitesi sıcaklık ilişkisinden belirlenir :

$$\log \log \eta = A + VTS \log T_R \dots\dots\dots(3.10)$$

η = viskozite, cP

T_R = sıcaklık, Rankine

A = regresyon durdurması

VTS = viskozite sıcaklık duyarlılığının regresyon eğimi

Bitümin Yaşlanması Etkisi

Yaşlanmanın etkisi, dinamik modülün belirlenmesinin içine, Global Yaşlanma Sistemini kullanarak dahil edilir. Bu sistem, uzun dönemde orijinal vaziyetinde yaşlanmanın yanı sıra, karıştırma ve sıkıştırma sırasında viskozitede meydana gelen değişikliği tarif eden modeller sağlar. Global Yaşlanma Sistemi dört model ihtiva eder :

- Orijinal karışım / yerleştirme (lay-down) modeli.
- Yüzey yaşlanması modeli.
- Hava boşluğu ayarlaması.
- Viskozite - derinlik modeli.

Orijinal karıştır/ser modeli, karıştırma ve sıkıştırma sırasında meydana gelen kısa dönem yaşlanmayı açıklamaktadır. Sonra, Yüzey Yaşlanması modeli, karışım / yerleştirme deki viskoziteyi kullanarak, bir zaman periyodundan sonra yüzeydeki bağlayıcının viskozitesini tahmin eder. Eğer gerekli görülürse, hava boşluğu modelini kullanarak, yüzey yaşlanma modelinden, yüzey viskozitesi farklı hava boşluğu içerikleri için uyarlanabilir. Son olarak, derinliğin bir fonksiyonu olarak viskozite, viskozite - derinlik modelinin yanı sıra yüzey yaşlanması modeli veya hava boşluğu ayarlaması modeli kullanarak elde edilebilir. Denklem 3.11, kısa dönem yaşlanma için Global Yaşlanma Sistem modelini temsil etmektedir. Kod değeri, log-log karışım / yerleştirme viskozitesi nin (RTFO) log-log orijinal viskoziteye oranı olarak tarif edilen sertleştirme oranına bağlıdır.

$$\log \log (\eta_{t=0}) = a_0 + a_1 \log \log (\eta_{orig}).....(3.10)$$

$$a_0 = 0.054405 + 0.004082 * \text{code}$$

$$a_1 = 0.972035 + 0.010886 * \text{code}$$

$\eta_{t=0}$ = karışım / yerleştirme viskozitesi, cP

η_{orig} = orijinal viskozite, cP

Code(kod) = sertleştirme oranı (ortalama için 0)

Tablo 3.6 : Tavsiye Edilen Kod Değerleri

Karışım/Yerleştirme	Beklenen Sertleştirme Oranı	Kod Değeri
Mükemmel-İyi	$HR \leq 1.030$	-1
Ortalama	$1.030 < HR \leq 1.075$	0
Fena Değil	$1.075 < HR \leq 1.100$	1
Zayıf	$HR > 1.100$	2

Denklem 3.11. yüzey şartları için yolun mevcut durumundaki viskozite-yaşlanma modelini temsil eder. Model hiperbolik bir fonksiyondur ve çevrenin uzun dönem yaşlanma üzerindeki etkisini kapsar. Çevresel parametreler, A parametresindeki ortalama yıllık hava sıcaklığının kullanımında katılır.

$$\log \log (\eta_{\text{aged}}) = (\log \log (\eta_{t=0}) + At) / (1 + Bt) \dots\dots\dots(3.11)$$

$$A = -0.004166 + 1.41213(C) + (C) \log(Maat) + (D) \log \log (\eta_{t=0})$$

$$B = 0.197725 + 0.068384 \log(C)$$

$$C = 10^{274.4946 - 193.831 \log (T_R) + 33.9366 \log (T_R)^2}$$

$$D = -14.5521 + 10.47662 \log(T_R) - 1.88161 \log(T_R)^2$$

η_{aged} = yaşlanmış haldeki vizkozite, cP.

$\eta_{t=0}$ = karışımdaki vizkozite, cP.

Maat = ort. yıllık hava sıcaklığı, °F.

T_R = Rankine olarak sıcaklık.

t = ay olarak sıcaklık.

Hava boşluğu uyarlaması faktörü, yüzey yaşlanması modelinden, viskoziteyi hava boşluğu etkileri için ayarlar. Denklem 3.12 yaşlı viskoziteyi hava boşluğu etkileri için ayarlama denklemini temsil eder. Hava boşlukları ayarlama faktörü, Fv, denklem 3.13' de gösterildiği gibi ilgili zamanlardaki hava boşluğunun fonksiyonudur. İlgili zamanlardaki hava boşlukları sırayla başlangıçtaki hava boşluklarını kullanarak Denklem 3.14 kullanılarak saptanabilir.

$$\log \log (\eta_{aged})' = F_v \log \log (\eta_{aged}).....(3.12)$$

$$F_v = (1 + 1.0367 * 10^{-4} (VA) (t)) / (1 + 6.1798 * 10^{-4} (t)).....(3.13)$$

$$VA = [VA_{orig} + 0.011 (t) - 2) / (1 + 4.24 * 10^{-4} (t) (Maat) + 1.169 * 10^{-3} (t / \eta_{orig,77})] + 2.....(3.14)$$

VA_{orig} : başlangıçtaki hava boşlukları.

t = ay olarak zaman.

Maat = ortalama yıllık hava sıcaklığı, °F.

$\eta_{orig,77}$ = orijinal bağlayıcı viskozitesi 77 °F de, MPoise.

Özet olarak, sigmodial fonksiyon şeklindeki dinamik modül ana eğrileri, laboratuvar test verisini değiştirerek (shift ederek) veya dinamik modül denklemini kullanarak oluşturulabilir. Her iki durumda da, ortaya çıkan shift faktörleri bağlayıcı viskozitesinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Shift faktörlerini viskozitenin bir fonksiyonu olarak ifade etmek, Global Yaşlanma Sistemi kullanarak bağlayıcının yaşlanmasını dikkate almaya olanak sağlar. Global Yaşlanma Sistemi, karıştırma ve yerleştirme operasyonları sırasında ortaya çıkan kısa - dönem yaşlanmalar ve servis sırasındaki uzun dönem yaşlanmalar için viskoziteyi uyarlayan pek çok modeller sağlar.

Çeşitli Hiyerarşik Seviyelerde Uygulama

Aynı temel yaklaşım bütün girdi seviyelerinde kullanılmaktadır; ana farklılık gerekli olan laboratuvar test verisi miktarındadır. Şekil 3.10, herhangi bir yük oranı, sıcaklık ve yaş için dinamik modülü ve poisson oranını elde etmede kullanılan genel akış diyagramını göstermektedir. Aşağıdaki bölümler, her girdi seviyesi için veri gereksinimlerini ayrıntılı olarak açıklamaktadır.

Girdi Seviyesi 1— Gerekli Olan Test Verisi

Seviye 1 de, ana eğri ve shift faktörlerini oluşturmak için gerçek laboratuvar test verisi gerekmektedir. Seviye 1 için laboratuvar veri gereksinimleri Tablo 3.7’da özetlenmiştir. Tablo 3.7’ da verilen sıcaklık ve frekanslar önerilen değerlerdir. Bununla birlikte, 8 sıcaklığa ve 6 frekansa kadar kullanılabilir. Hem karışım hem de bağlayıcı için test verisi bu analiz için gerekmektedir. Alternatif olarak, bağlayıcı, Tablo 3.8’ de özetlenen geleneksel bağlayıcı test serileri kullanarak da karakterize edilebilir. Penetrasyon verisi, denklem 3.15. kullanarak viskoziteye dönüştürülebilir :

$$\log \eta = 10.5012 - 2.2601 \log (\text{Pen}) + .00389 \log (\text{Pen})^2 \dots\dots\dots(3.15)$$

η = viskozite, Poise olarak

Pen = penetrasyon, 100 g,5 sn yükleme, mm/10 için

SEVİYE 1 Test Verisi

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

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

$\alpha, \delta, \beta, \gamma$, and c yi doğrusal olmayan optimizasyon ile elde et

Adım 1:

Orijinal şartlar için Ana Eğriyi ve Shift Faktörlerini oluştur

Adım 2:

Global Yaşlanma Modelinden Viskoziteyi Hesapla

- Karışım/ Yerleştirme
- Uzun Dönem
- Derinlik

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

c , deneysel olarak Adım 1'de elde edildi

Adım 3:

Uygun Viskoziteyi Kullanarak Shift Faktörlerini Hesapla

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

Adım 4:

Dinamik Modülü Hesapla

Adım 5:

Poisson's Oranını Hesapla

$$\mu = 0.15 + \frac{0.35}{1 + e^{(-12.452 + 2.291 \log E^*)}}$$

SEVİYE 2 VE 3 Dinamik Modülüs Eşitliği

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

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

a, b, d, g_1 , ve g_2 Dinamik Modül

Denkleminde bilinmektedir

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

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

Şekil 3.10 : Asfalt Betonu Malzeme Karakterizasyonu İçin Akış Şeması

Tablo 3.7 : Girdi Seviyesi 1 için Gerekli Karakterizasyon Testlerinin Özeti

Sıcaklık, °F	Karışım E* ve δ^1				Bağlayıcı G* ve δ^2 1.59 Hz
	0.1 Hz	1 Hz	10 Hz	25 Hz	
10	X	X	X	X	
25					
40	X	X	X	X	X
55					X
70	X	X	X	X	X
85					X
100	X	X	X	X	X
115					X
130	X	X	X	X	X

Tablo 3.8 : Geleneksel Bağlayıcı Test Verisi

Numara	Test	Sıcaklık °C	Viskoziteye dönüştürme, Poise
1	Penetrasyon	15	Bakınız denklem 3.2.12
2	Penetrasyon	25	Bakınız denklem 3.2.12
3	Brookfield Viskozite	60	Yok
4	Brookfield Viskozite	80	Yok
5	Brookfield Viskozite	100	Yok
6	Brookfield Viskozite	121.1	Yok
7	Brookfield Viskozite	135	Yok
8	Brookfield Viskozite	176	Yok
9	Yumuşatma Noktası	ölçülür	13,000 Poise
10	Mutlak Viskozite	60	Yok
11	Kinematik Viskozite	135	Değer x 0.948

Girdi Seviyesi 1— Test Verilerinden Ana Eğrinin Oluşturulması

Seviye 1 deki Ana Eğri, laboratuvar karışım test verisini düzgün ana eğriye dönüştürmek (shift etmek) için nümerik optimizasyon kullanılır. Karışım verisini dönüştürmeden önce, bağlayıcı viskozitesi ve sıcaklık arasındaki ilişki kurulmalıdır. Bu ilk önce denklem 3.16' yı ullanarak her sıcaklıktaki bağlayıcı sertlik verisini viskoziteye dönüştürerek yapılır. ASTM VTS denkleminin parametreleri, viskozite verisinin log - log transformasyonu ve sıcaklık verisinin log transformasyonundan sonra, Denklem 3.17' nin doğrusal regresyonu ile bulunur.

$$\eta = (G^*/10) (1/\sin \delta)^{4.8628} \dots\dots\dots(3.16)$$

$$\log \log \eta = A + VTS \log T_R \dots\dots\dots(3.17)$$

G^* = bağlayıcı kompleks kesme modülü, Pa.

δ = bağlayıcı faz açısı, °.

η = viskozite, cP.

T_R = viskozitenin saptandığı sıcaklık (Rankine olarak).

A, VTS = regresyon parametreleri

Sonuç olarak denklem 3.17' den elde edilen regresyon parametreleri bundan sonra herhangi bir sıcaklık için viskoziteyi hesaplamakta kullanılabilir. Bu denklem, düşük sıcaklıklarda kullanırken dikkatli olunmalıdır. Asfalt bağlayıcısının düşük sıcaklıkta ve yüksek yükleme oranlarında 2.7×10^{10} Poise' lik maksimum viskoziteye ulaştığı iyi bilinmektedir. Bu nedenle, düşük sıcaklıklardaki viskozite denklem 3.17. kullanılarak hesaplanan viskoziteden veya 2.7×10^{10} Poise' den daha düşüktür. Viskozite-sıcaklık ilişkisi kurulduktan sonra, laboratuvar test verisi, denklem 3.18. kullanılarak düzgün ana eğriye dönüştürülebilir :

$$\log (E^*) = \delta + (\alpha / 1 + e^{\beta + \gamma [\log (t) - c [\log (\eta) - \log (\eta_{Tr})]}) \dots\dots\dots(3.18)$$

E^* = Dinamik modül, psi

t = yükleme zamanı, sn; $\alpha, \beta, \delta, \gamma, c$ = karışım spesifik uygun parametreler.

η = ilgili sıcaklıktaki viskozite, CPoise

η_{Tr} = referans sıcaklıktaki viskozite, CPoise,

Tablo 3.9 : Seviye 1 - E* Saptaması İçin Sayısal Optimizasyon Verileri

Sıcaklık, °F	Oran, Hz	Ölçülen E*	Bağlayıcı Viskozite ¹
10	0,1	Numune 1	η_{10}
10	1	Numune 1	η_{10}
10	10	Numune 1	η_{10}
10	25	Numune 1	η_{10}
10	0,1	Numune 2	η_{10}
10	1	Numune 2	η_{10}
10	10	Numune 2	η_{10}
10	25	Numune 2	η_{10}
40	0,1	Numune 1	η_{40}
40	1	Numune 1	η_{40}
40	10	Numune 1	η_{40}
40	25	Numune 1	η_{40}
40	0,1	Numune 2	η_{40}
40	1	Numune 2	η_{40}
40	10	Numune 2	η_{40}
40	25	Numune 2	η_{40}
70 ⁱⁱ	0,1	Numune 1	η_{70}
70	1	Numune 1	η_{70}
70	10	Numune 1	η_{70}
70	25	Numune 1	η_{70}
70	0,1	Numune 2	η_{70}
70	1	Numune 2	η_{70}
70	10	Numune 2	η_{70}
70	25	Numune 2	η_{70}
100	0,1	Numune 1	η_{100}
100	1	Numune 1	η_{100}
100	10	Numune 1	η_{100}
100	25	Numune 1	η_{100}
100	0,1	Numune 2	η_{100}
100	1	Numune 2	η_{100}
100	10	Numune 2	η_{100}
100	25	Numune 2	η_{100}
130	0,1	Numune 1	η_{130}
130	1	Numune 1	η_{130}
130	10	Numune 1	η_{130}
130	25	Numune 1	η_{130}
130	0,1	Numune 2	η_{130}
130	1	Numune 2	η_{130}
130	10	Numune 2	η_{130}
130	25	Numune 2	η_{130}

Girdi Seviyesi 1—Shift Faktörleri

Denklem 3.2.16 ana eğri için shift faktörlerini göstermektedir. Parametre c, nümerik optimizasyon sonucu elde edilen değerdir. Shift faktörleri, sadece ilgili yaş ve sıcaklık, ve referans sıcaklıktaki Dönen İnce Film (RTFO) ile yaşlanmış bağlayıcının viskozitesine bağlıdır. İlgili yaş ve sıcaklıktaki bu viskozite, global yaşlanma modelinden elde edilir.

$$\log (t_r) = \log (t) - c [\log (\eta) - \log (\eta_{Tr})] \dots\dots\dots(3.19)$$

t_r = azaltılmış zaman, sn.

t = yükleme zamanı, sn.

η = ilgili yaş ve sıcaklıktaki viskozite, CPoise

η_{Tr} = referans sıcaklıktaki ve RTFO yaşlanması viskozitesi, Cpoise

Girdi Seviyesi 2 — Gerekli Test Verisi

Seviye 2’ de, dinamik modül denklemi tasarım hayatı üzerinde E^* değerlerini elde etmek için üstyapıdaki kullanım için dikkate alınan bağlayıcı derecesinden spesifik laboratuvar test verisi ile birleştirilmiştir. Dinamik modül denklemi için gerekli olan girdi verisi tablo 3.10’ da özetlenmiştir. Tablo 3.11, girdi Seviyesi 2’ de dinamik modül saptaması için gerekli olan bağlayıcı test verisini özetlemektedir. Bu, Seviye 1 analizi için gerekli olan aynı bağlayıcı test verisidir. Bağlayıcı kompleks kesme modülü (G^*) ve 1.59 Hz (10 rad/sn)’de bir sıcaklık aralığı üzerinde faz açısı ölçümlerini kapsamaktadır.

Tablo 3.10 : Seviye 2’de Dinamik Modül Denklemi Girdi Verisi

Parametre	Tarif	Birimler
H	Bağlayıcı viskozitesi	10 ⁶ Poise
F	Yükleme oranı	Hz
V _a	Hava boşluğu içeriği	Toplam karışım hacmi olarak yüzde
V _b _{eff}	Etkin asfalt içeriği	Toplam karışım hacmi olarak yüzde
ρ ₃₄	Elekte ¾ üzerinde alıkonulmuş yığılımlı yüzde	Agrega ağırlığı olarak yığılımlı yüzde
ρ ₃₈	Elekte 3/8 üzerinde kalan yığılımlı yüzde	Agrega ağırlığı olarak yığılımlı yüzde
ρ ₄	#4 Elekte kalan yığılımlı yüzde	Agrega ağırlığı olarak yığılımlı yüzde
ρ ₂₀₀	#200 Elekten geçen yüzde	Agrega ağırlığı olarak yüzde

Tablo 3.11 : Gerekli Olan Seviye 2 Bağlayıcı Test Verisinin Özeti

Sıcaklık, °F	Bağlayıcı G* ve δ ¹
40	X
55	X
70	X
85	X
100	X
115	X
130	X

Girdi Seviyesi 2— Test Verisinden Ana Eğriyi Oluşturma

Seviye 2 analizi için Ana Eğri, gerçek bağlayıcı test veriyi kullanarak dinamik modül denkleminde oluşturulur. Denklemdaki δ parametresi, agrega gradasyonu, etkin bağlayıcı içeriği ve hava boşluğu içeriğinin bir fonksiyonudur. Parametre α , sadece agrega gradasyonunun bir fonksiyonudur. Böylece, minimum ve maksimum modül değerleri bağlayıcı sertliğinden bağımsızdır. Bunlar agrega gradasyonunun, etkin bağlayıcı içeriğinin ve hava boşluğu içeriğinin fonksiyonlarıdır ve hacmsel karışım verisinden elde edilirler. Girdi Seviyesi 2’ de bağlayıcı etkilerini hesaplamak, bağlayıcı viskozitesi ve sıcaklık arasında bir ilişki kurmayı gerektirmektedir.

Seviye 2 Shift Faktörleri

Denklem 3.2.17 ana eğri için shift faktörlerini elde etmeyi sağlayan denklemi temsil etmektedir. Shift faktörleri sadece ilgili yaş ve sıcaklık için olan bağlayıcı viskozitesinden ve referans sıcaklıktaki RTFOT yaşlandırma viskozitesine bağlıdır. İlgili yaş ve sıcaklıktaki viskoziteler, global yaşlanma modelinden elde edilir.

$$\log (t_r) = \log (t) - 1.25588 [\log (\eta) - \log (\eta_{Tr})] \dots\dots\dots(3.20)$$

t_r = azaltılmış zaman, sn.

t = yükleme zamanı,sn.

η = ilgili yaş ve sıcaklıktaki viskozite, CPoise.

η_{Tr} = referans sıcaklıktaki ve RTFO yaşlanmasındaki viskozite, CPoise.

Girdi Seviyesi 3—Gerekli olan Test Verisi

Girdi Seviyesi 3’ te, bağlayıcı viskozitesi ve yükleme oranı hariç, dinamik modül denklemini için gerekli olan veri, benzer karışımların temsil verisinden doğrudan elde edilebilir. Bağlayıcı viskozitesi bilgisi, zamanın bir fonksiyonu olarak, farklı gradasyon sistemlerinden elde edilen çeşitli bağlayıcı düzeyleri için kurulmuş olan tipik sıcaklık-viskozite bağlantılarından saptanabilir.

Varsayılan A ve VTS Parametreleri

Verilen herhangi bir sıcaklık ve yaştaki asfalt bağlayıcısının viskozitesini (dinamik modül denklemi için gerekli bir girdi) saptamak için, deneyden önce sıcaklık - viskozite bağlantısı bilinmelidir. Seviye 3' te, hiçbir test istenmez.

Bu kriterlerin her birine dayandırılan tavsiye edilen varsayılan A ve VTS değerleri Tablo 3.12, 3.13 ve 3.14't e gösterilmiştir.

Seviye 3—Test veriden Ana Eğrinin Oluşturulması

Girdi Seviyesi 3' te zaman-sıcaklığa bağlı asfalt dinamik modülü ana eğrisini oluşturma yöntemi daha önce girdi Seviyesi 2 için tarif edilenle aynıdır. Tek istisna, laboratuvar testinden elde edilen A ve VTS parametreleri yerine, varsayılan A ve VTS parametrelerinin kullanılmasıdır.

Tablo 3.12 : Bağlayıcı (PG) Düzeyi için Tavsiye Edilen A ve VTS Değerleri

Yük. Sıcak. Düzey	Düşük Sıcaklık Düzeyi													
	-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				

Tablo 3.13 : Bağlayıcı Viskozite Düzeyi Üzerine Kurulmuş A ve VTS Değerleri

Düzey	A	VTS
AC-2.5	11.5167	-3.8900
AC-5	11.2614	-3.7914
AC-10	11.0134	-3.6954
AC-20	10.7709	-3.6017
AC-30	10.6316	-3.5480
AC-40	10.5338	-3.5104

Tablo 3.14 : Bağlayıcı Penetrasyon Düzeyi Üzerine Kurulmuş Tavsiye Edilen A, VTS

Düzy	A	VTS
40-50	10.5254	-3.5047
60-70	10.6508	-3.5537
85-100	11.8232	-3.6210
120-150	11.0897	-3.7252
200-300	11.8107	-4.0068

Seviye 3—Shift Faktörleri

Girdi Seviyesi 3’ te shift faktörlerini elde etme yöntemi girdi Seviyesi 2 gibidir. Shift faktörleri, sadece ilgili sıcaklıktaki bağlayıcı viskozitesine ve referans sıcaklıktaki RTFOT yaşlanma viskozitesine bağlıdır.

Asfalt Betonu Malzemeler İçin Poisson Oranı

Bitümlü malzemeler için Poisson oranı normal olarak 0.15 ve 0.50 aralığında bulunur ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. İdeal olarak, girdi Seviyesi 1’ de poisson oranı laboratuvar testinden saptanabilir. Bununla birlikte, Poisson oranını elde etmek için, üst yapı tepkisi üzerinde genişleme etkilerini modellemede, doğrusal olmayan modülleri kullanan üst yapı tepki modellerinin rutin bir taban zemini üzerine tasarım yönteminde uygulanabildiği zamana kadar bir Seviye 1 yaklaşımı gerekmemektedir. Bu nedenle, korelasyonların kullanımı veya analizler için tipik varsayılan değerler yeterlidir.

Sıcak -Karışım Asfalt Betonu

Seviye 3: Tipik Poisson Oranları

Tablo 3.15, girdi seviyesi 3’ de kullanılacak tipik poisson’s oranlarını göstermektedir.

Geçirimli (Open-Graded) Asfalt Betonu Malzemeler

Bu kategori, asfalt ile stabilize olmuş geçirgen temel malzemelerini kapsamaktadır.

Tablo 3.15 : Sıcak Karışım (HMA) İçin Tipik Poisson Oranları

Sıcaklık °F	Seviye 3 μ_{tipik}
< 0 °F	0.15
0 – 40 °F	0.20
40 – 70 °F	0.25
70 – 100 °F	0.35
100 – 130 °F	0.45
> 130 °F	0.48

Tablo 3.16, girdi Seviyesi 3’ de Geçirimli (Open-Graded) Asfalt Betonu malzemeler için kullanılabilen tipik Poisson oranlarını göstermektedir.

Tablo 3.16 : Geçirimli (Open-Graded) Asfalt Betonu Malzemeler için Tipik Poisson Oranları

Sıcaklık °F	Seviye 3 μ_{tipik}
< 40 °F	0.35
40 – 100 °F	0.40
> 100 °F	0.45

Soğuk - Karışım Asfalt Betonu (CMA) Malzemeleri

Bu kategori, hem geleneksel soğuk - karışım Asfalt Betonu, hem de geri kazanılmış (recycled) soğuk - karışım malzemelerini kapsamaktadır.

Seviye 3: Tipik Poisson Oranları

Tablo 3.17, girdi Seviyesi 3’ de soğuk - karışım Asfalt Betonu malzemeleri için kullanılabilen tipik poisson oranlarını göstermektedir.

Tablo 3.17 : Soğuk - Karışım Asfalt Betonu için Tipik Poisson Oranları

Sıcaklık °F	Seviye 3 μ_{tipik}
< 40 °F	0.30
40 – 100 °F	0.35
> 100 °F	0.45

Diğer HMA Malzeme Özellikleri

HMA’da termal çatlamayı tahmin etmek için, daha fazla malzeme özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. HMA’da termal çatlakların malzeme ile ilgili olduğuna ve bu yüzden çatlak oluşmasının ve ilerilemesinin, çevresel şartlarla birlikte HMA özellikleri ile de belirlenmekte olduğuna dikkat edilmelidir. Termal çatlakları tahmin etmekte kullanılan HMA özellikleri :

- Çekme dayanımı.
- Sünme uyumu (Creep compliance).
- Termal kontraksiyon katsayısı.
- Yüzey kısırdalga soğurganlığı.
- Termal iletkenlik ve ısı kapasitesi.

Çekme Dayanımı

Seviye 3—Diğer HMA Özellikleri ile Korrelasyon

Seviye 3 için çekme dayanımı denklemi, denklem 3.21. olarak verilmektedir.

$$TS \text{ (psi)} = 7416.712 - 114.016 * V_a - 0.304 * V_a^2 - 122.592 * VFA + 0.704 * VFA^2 + 405.71 * \text{Log}10 \text{ (Pen 77)} - 2039.296 * \text{log}10 \text{ (A)} \dots\dots\dots(3.21)$$

TS = 14 °F ‘de doğrusal olmayan çekme dayanımı

V_a = HMA hava boşluğu, %

VFA = bitüm ile doldurulan boşluklar, %

Pen77 = 77 °F’de bağlayıcı penetrasyonu, mm/10

A = viskozite-sıcaklık hassasiyet intercept

Sünme uyumu (Creep compliance)

Seviye 3— Diğer HMA Özellikleri ile Korrelasyonlar

Seviye 3 için sünme kompliansı denklemi, denklem 3.2.26 olarak verilmektedir.

$$D(t) = D_1 * t^m \dots\dots\dots(3.22.a)$$

$$\log(D_1) = -8.524 + 0.01306 * \text{Temp} + 0.7957 * \log_{10}(V_a) + 2.0103 * \log_{10}(VFA) - 1.923 * \log_{10}(A) \dots\dots\dots(3.22.b)$$

$$m = 1.1628 - 0.00185 * \text{Temp} - 0.04596 * V_a - 0.01126 * VFA + 0.00247 * \text{Pen}_{77} + 0.001683 * \text{Temp} * \text{Pen}_{77}^{0.4605} \dots\dots\dots(3.22.c)$$

Temp = sünme kompliansının ölçüldüğü sıcaklık, °F.

V_a = hava boşluğu, %

VFA = bitüm ile doldurulan boşluklar, %

Pen₇₇ = 77 °F’de bağlayıcı penetrasyonu, mm/10

Termal Büzülme Katsayısı

HMA malzemelerinin termal büzülmesini belirlemek için AASHTO veya ASTM de standard testler yoktur. Tasarım rehberi yazılımı, VMA ve agregalar için termal büzülme katsayısı gibi HMA hacimsel özelliklerini kullanarak termal büzülmeyi içten hesaplamaktadır. Asfalt betonu karışımları için termal büzülmeyi saptamakta kullanılan model Denklem 3. 23’te gösterilmiştir.

$$L_{MIX} = (VMA * B_{ac} + V_{AGG} * B_{AGG}) / (3 * V_{TOTAL}) \dots\dots\dots(3.23)$$

L_{MIX} = asfalt betonu karışımının termal büzülmesinin doğrusal katsayısı (1/°C)

B_{ac} = katı haldeki asfalt çimentosunun termal büzülmesinin hacimsel katsayısı (1/°C)

B_{AGG} = agreganın termal büzülmesinin hacimsel katsayısı (1/°C)

VMA = mineral agregadaki boşluk hacimlerinin yüzdesi (= % hava boşluğu hacmi + %asfalt çimentosunun hacmi – %soğrulan asfalt çimentosunun hacmi)

V_{AGG} = karışımdaki agreganın hacminin yüzdesi

V_{TOTAL} = % 100

Termal büzülmenin doğrusal katsayısı, termal büzülmenin hacimsel katsayısı, ve agregaların termal büzülmesinin hacimsel katsayıları için çeşitli araştırma çalışmalarında ölçülen tipik değerler aşağıdaki gibidir :

- $LMIX = 2.2 - 3.4 \cdot 10^{-5} / ^\circ F$ (doğrusal)
- $Bac = 3.5 - 4.3 \cdot 10^{-4} / ^\circ C$ (kübik)
- $BAGG = 21 - 37 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$ (kübik)

Yol Yüzeyi Kısadalga Soğurganlığı

Verilen bir tabakanın yüzeyinin kısadalga soğurganlığı, yüzeyin bileşimine, rengine ve dokusuna bağlıdır. Bu miktar, üstyapı yüzeyi tarafından soğrulan güneş enerjisi ile doğrudan ilişkilidir. Genel olarak, daha açık renk ve daha çok yansıtıcı yüzeyler, daha düşük kısa dalga soğurganlığına meyillidirler.

• Seviye 3 – Seviye 3’ te, pek çok üstyapı malzemeleri için kabul edilen varsayılan değerler aşağıdaki gibidir :

- o Hava etkilerine uğramış asfalt (gri) 0.80 – 0.90
- o Taze asfalt (siyah) 0.90 – 0.98

Termal İletkenlik ve Isı Kapasitesi

Termal iletkenlik, K , birim zamanda ve birim sıcaklık değişikliğinde bir yüzeyin birim alanından normal olarak geçen ısı miktarıdır. Nem oranı asfalt betonunun termal iletkenliği üzerinde bir etkisi vardır. Eğer nem oranı küçükse, donmamış, donan ve donmuş termal iletkenlik arasındaki farklar küçüktür. Sadece, nem oranı yüksek olduğunda (% 10’dan daha büyük), termal iletkenlik önemli ölçüde değişir. EICM, asfalt tabakalarının değişen nem oranı ile termal iletkenliği granüler tabakalara yaptığı gibi değiştirmez. Isı veya termal kapasite, birim kütlenin sıcaklığını bir derece artırmak için gerekli olan ısı enerjisinin Q gerçek miktarıdır. Tablo 3.18, çeşitli hiyerarşik girdi seviyelerinde K ve Q ’yu karakterize etmek için önerilen yaklaşımları özetlemektedir.

Tablo 3.18 : EICM İçin Gerekli Olan Asfalt Betonu Malzeme Özellikleri

Malzeme özelliği	Girdi seviyesi	Tanım
Termal iletkenlik	1	Bu seviyede doğrudan ölçüm önerilmektedir (ASTM E 1952, Niteliği Değiştirilmiş Sıcaklık Diferansiyal tarama Kalorimetrisi ile Termal İletkenlik ve Termal Yayılma Gücü için Standard Test Yöntemi)
	2	Korelasyonlar uygun değil. Seviye 3’ ten varsayılan değerleri kullanın.
	3	Kullanıcı, kurumun tarihsel verisi üzerine bina edilmiş tasarım değerlerini seçer veya aşağıda gösterilen tipik değerlerden seçer: * Asfalt betonu için tipik değerler 0.44 - 0.81 Btu/(ft)(hr)(°F) arasında değişir.
Isı kapasitesi, Q	1	Bu seviyede doğrusal bir ölçüm önerilmektedir (ASTM D 2766, “Sıvıların ve Katıların Spesifik Isısı”).
	2	Korelasyonlar uygun değil. Seviye 3’ ten varsayılan değerleri kullanın.
	3	Kullanıcı, kurumun tarihsel verisi üzerine bina edilmiş tasarım değerlerini seçer veya aşağıda gösterilen tipik değerlerden seçer: * Asfalt betonu için tipik değerler 0.22 - 0.40 Btu/(lb)(°F) arasında değişir.

Kimyasal Olarak Stabilize Edilmiş Malzeme Özellikleri

Kimyasal olarak stabilize edilmiş malzemelerin grupları, grobeton çimento stabilizeli, açık dereceli çimento stabilizeli, zemin çimentosu, kireç – çimento - uçankül, ve kireçle satbilize malzemelerden oluşur. Bu tasarım yöntemi hakkında girdi gerektiren malzemelerin hepsi için;

Tablo 3.19 : Değişik Hiyerarşik Girdi Seviyelerindeki Termal İletkenlik, Isı Kapasitesi ve Yüzey Soğurganlığının Tahmini

Girdi Seviyesi	Gerekli Özellikler	Girdi Tahmini için Opsiyonlar
1	Termal İletkenlik	ASTM E 1952 ile uyumlu olarak laboratuvar testi kullanılarak tahmin edin.
	Isı Kapasitesi	ASTM D 2766 ile uyumlu olarak laboratuvar testi kullanılarak tahmin edin.
	Yüzey kısa dalga soğurganlığı	Laboratuvar tahmini tavsiye edilir.
2	Termal İletkenlik	Seviye 1 ile aynı
	Isı Kapasitesi	
	Yüzey kısa dalga soğurganlığı	
3	Termal İletkenlik	Mantıklı değerler 0.2 ila 0.28 Btu/(ft)(hr)(°F) arasında değişirTasarım için tipik bir değer olarak 0.28 Btu/(ft)(hr)(°F) kullanılabilir.
	Isı Kapasitesi	Mantıklı değerler 1.0 ila 1.5 Btu/(ft)(hr)(oF) arasında değişirTasarım için tipik bir değer olarak 1.25 Btu/(ft)(hr)(°F) kullanılabilir.
	Yüzey kısa dalga soğurganlığı	Ancak, varsayılan özellik değerleri kullanıcı kolaylığı için erişilebilir durumdadır: Yeni kar kaplaması 0.05 – 0.25 Eski Kar kaplaması : 0.30 – 0.60 Üstyapı : 0.70 – 0.90 Tipik bir değer olarak 0.85 PCC üstyapılar için kullanılabilir.

- Güç ve modül Özellikleri
 - o İlk 28 - günlük esneklik modülü (Mr)
 - o Trafikten kaynaklanan hasardan sonraki minimum esneklik modülü
 - o İlk 28 - günlük eğilme dayanımı (sadece esnek üstyapı tasarımı için gerekli)
 - o Poisson's oranı.
- Termal Özellikler.
 - o Termal İletkenlik.
 - o Isı kapasitesi.

Genel olarak, grobeton, çimento stabilize karışımlar, daha yüksek kalitedeki malzemeler olarak kabul edilirler ve toprak çimento yada kireç stabilize zemin gibi malzemelerde daha yüksek modüle sahip olduğu kabul edilir. Eğer, bu daha zayıf kimyasal stabilize tabakalar üstyapı bünyesinde daha derine yerleştirilirse (temel yada alttemel yapısı gibi diğer yapısal tabakaların altına), bunlar neme duyarlı olmayan sabit modülü malzemeleri olarak ele alınabilirler (Ör : tipik tasarım modülüne sahip malzemeler gibi).

Kimyasal olarak stabilize edilen malzemeler, genel olarak, minimum sıkıştırma gerekliliğine ve üstyapı bünyesindeki tabakanın göreceli önemi Tablo 3.20’de gösterilmiştir. Bunun dışında, kimyasal olarak stabilize malzemelerin dayanıklılık gerekliliklerinin yerine getirdiğinden de emin olunmalıdır (Ör : donma-çözülme dayanıklılığı). Bu, malzemelerin uzun vadeli dayanımları için çok önemlidir.

Tablo 3.20 : Çimento, Kireç ve Kombine Kireç, Çimento, Uçankül Stabilizeli Malzemeler İçin Minimum Sıkıştırma Güçleri

Stabilize Tabaka	Minumum Kuşatılmamış Sıkıştırma Gücü psi ^{1,2}	
	Rijit Üstyapı	Esnek Üstyapı
Temel Sırası	500	750
Alttemel, Seçme Malzeme yada Alttemel	200	250

Esneklik Modülü

Tasarım için gerekli modül 28 günlük değerdir. Mr’ nin tahmini değeri, deneme tasarımının yapısal analizinden belirlenebilir (aşırı yükleme için düzgün hesaplama yapıldıktan sonra). Bu malzemelerin zamanla dayanım kazanabileceği yada zaman geçtikçe dayanım kaybedeceği anlaşıldıktan sonra, (asıl değişiklikler sıcaklık ve nem koşullarının, donma-çözülme döngülerinin, stabilize özellikleri ve miktarları, stabilize edilen malzemenin özellikleri, diğer saha koşullarının ve malzeme üretim sürecinin verimliliğinin fonksiyonları olarak gerçekleşir) artık 28-günlük değerler tasarımda güvenle kullanılabilir.

Seviye 3—Tipik Değerler

Girdi Seviyesi 3’ de, E yada Mr deneyim yada tarihsel kayıtlardan tahmin edilir. Kimyasal stabilizeli malzemeler için tipik Mr değerinin özeti tablo 3.21’ de verilmiştir.

Tablo 3.21 : Kimyasal Stabilizeli Malzemelerin Tipik Esneklik Modülü

Kimyasal Stabilizeli malzeme	E yada Mr tanım alanı, psi	E yada Mr tipik, psi
Grobeton	1,500,000' dan 2,500,000' e	2,000,000
Çimento Stabilizeli Agregası	700,000' dan 1,500,000' e	1,000,000
Açık Gradasyonlu Çimento Stabilizeli Agregası	—	750.000
Toprak Çimentosu	700,000' den 1,500,000' e	500.000
Kireç-Çimento-Uçankül	500,000' den 2,000,000' a	1,500,000
Kireç Stabilizeli Zeminler*	30,000' den 60,000' e	45.000
*No 200'den % 25 oranında geçen reaktif zeminler için ve en az 10'luk PI' lar için		

Tasarım için Minimum Elastik Modülü (Sadece HMA Üstyapılar için gerekli)

Yol üstyapılarında tekrarlı yüklenmesi sonucunda kimyasal stabilizeli malzemelerde bozulmaya meydana çıkabilir. Bozulma yada hasarın kapsamı uygulanan yükün büyüklüğü ve yükleme sıklığı ile yüksek oranda ilişkilidir.

Tablo 3.22, bozulmuş kimyasal stabilizeli malzemeler için tipik esneklik modülü değerlerini sunar. (Malzeme, trafik yüklemesi döngülerine maruz kaldıktan sonra).

Tablo 3.22 : Bozulmuş Kimyasal Stabilizeli Malzemeler İçin Esneklik Modülü

Kimyasal Olarak Stabilize edilen Malzeme	Bozulmuş M_R Tipik, psi
Grobeton	300,000
Çimento Stabilize Agregası	100,000
Açık Gradasyonlu Çimento stabilizeli	50,000
Toprak Çimento	25,000
Kireç – çimento - uçankül	40,000
Kireç Stabilizeli Zeminler	15,000

Tasarım için Eğilme Dayanımı (Sadece HMA Üstyapısı için Gerekli)

Stabilize edilmiş malzemelerin yaşlanma ömrü eğilme dayanımı ile stabilizeli tabaka ile bağlantılıdır. Tasarım amaçlı gereken M_R girdisi 28-günlük değerdir. Bu, yeni tasarıma, yeniden inşaya ve takviye tabakası uygulamada tasarımına uygulanabilir.

Seviye 3—Tipik Değerler

Seviye 3 Girdisinde, M_R malzeme tipine bakılarak, deneyimler ve tarihsel kayıtlardan tahmin edilir. Tipik değerler Tablo 3.23' de sunulmuştur.

Tablo 3.23 : Kimyasal Stabilizeli Malzemeler İçin Eğilme Dayanımı Değerleri

Kimyasal Stabilizeli malzeme	Tipik MR, psi
Grobeton	450
Çimento Stabilize Agregası	200
Açık Gradasyonlu Çimento Stabilizeli	200
Toprak Çimento	100
Kireç-çimento-uçankül	150
Kireç Stabilizeli Zeminler	25

Tasarım için Poisson Oranı

Yapısal analiz için başka bir girdi daha gereklidir. Bu parametre genellikle laboratuvar testinde belirlenebilir. Tipik değerler, yenive takviye tabakası tasarımları için de kullanılabilir. Bu parametrenin tavsiye edilen aralıkları Tablo 3.24’ de verilmiştir.

Tablo 3.24 : Kimyasal Stabilizeli Malzemeler İçin Poisson Oranı Aralıkları

Malzeme	Poisson oranı
Çimento Stabilizeli Agregası (Grobeton içeren)	0.1 - 0.2
Toprak Çimento	0.15 - 0.35
Kireç-Uçucukül Malzemeleri	0.1 - 0.15
Kireç Stabilizeli Zemin	0.15 - 0.2

Tasarım için Termal Geçirgenlik ve Isı Kapasitesi

Termal geçirgenlik, K, ısı kapasitesi, Q, malzeme özellikleridir ve üstyapı sistemi boyunca ısı akışını kontrol ederler ve böylece içindeki sıcaklık ve nem rejimlerini etkilerler. Termal geçirgenlik ve ısı kapasitesi EICM için anahtar girdilerdir ve üstyapının tasarım ömrü boyunca üstyapı bünyesinde ve tabanda ısı ve nem profillerinin tahmin edimesinde kullanılırlar. Tablo 3.25, kimyasal stabilizeli malzemeler için birçok hiyerarşik girdi seviyelerinde K ve Q’ nun karakterize edilmesi için tavsiye edilen yaklaşımları özetler. Bu, yeni tasarıma, yeniden inşaya ve takviye tabakası uygulamada tasarımına uygulanabilir.

**Tablo 3.25 : EICM Hesaplamaları İçin Kimyasal Stabilizeli Malzemelerin
Termal Geçirgenlik ve Isı Kapasitesi Tahmini**

Malzeme Özelliği	Girdi Seviyesi	Açıklama
Termal Geçirgenlik, K	1	Bu seviyede doğrudan ölçüm tavsiye edilir. (ASTM E 1952).
	2	Uygulanamaz.
	3	Kullanıcı, acantanın tarihi verisine dayanarak yada aşağıda gösterilen tipik verilerden tasarım değerlerini seçer: Kireç stabilizeli tabakaların tipik değerlerinin tanım aralığı 1.0'dan 1.5 Btu/(ft)(hr)(oF) dır. Tasarım için 1.25 Btu/(ft)(hr)(oF).tipik bir değer olarak kullanılabilir.
Isı Kapasitesi, Q	1	Bu seviyede doğrudan ölçüm tavsiye edilir. (ASTM D 2766).
	2	Uygulanamaz.
	3	Kullanıcı, acantanın tarihi verisine dayanarak yada aşağıda gösterilen tipik verilerden tasarım değerlerini seçer: Mantıklı değerler 0.2'den 0.4 Btu/(lb)(oF) e kadar değişir. Tasarım için tipik bir değer olarak 0.28 Btu/(lb)(oF) kullanılabilir.

Granüler ve Taban Malzemeleri Özellikleri

AASHTO zemin sınıflandırması sistemi, zeminlerin dane dağılımına ve Atterberg limitine göre sınıflandırır. AASHTO zemin sınıflandırması, çapı 75 mm. den küçük olan granüler ve taban malzemelerinin bir parçasına göre yapılır.

AASHTO sınıflandırma sistemi 2 malzeme tipini tanımlar :

- Granüler malzemeler (ağırlıkları % 35 daha az olan malzemeler, çapları 0.0075 mm. den küçük olan partiküller).
- Alüvyon - Kil malzemeleri (ağırlıkları % 35 yada daha az olan malzemeler, çapları 0.0075 mm. den küçük olan partiküller).

Bu ikiye bölünme daha sonra 7 ana grup sınıflandırılmasına dönüşür (A-1' den A-7' ye). Grup ve altgrup sınıflandırılmaları tahmini yada ölçülmüş dane büyüklüğü dağılımına yada Likit Limiti ve Plastisite İndeksi değerlerine dayanır.

- İri Taneli Zeminler (Ağırlık olarak % 50' den daha aza sahip malzemeler, çapı 0.0075 mm. den daha küçük olan partiküller)

- İnce Taneli Zeminler (Ağırlık olarak % 50’ den daha fazla olan malzemeler, çapı 0.0075 mm. den daha küçük olan partiküller)

- Yüksek organiklikte Zeminler (Belirli organik özelliklerini sergileyen malzemeler)

Granüler malzemeler taban ve derin anakaya için gerekli malzeme parametreleri, şu üç ana grubdan biri olarak sınıflandırılabilir.

- Üstyapı Tepki modeli malzeme girdisi.
- EICM malzeme girdileri.
- Diğer malzeme özellikleri.

Üstyapı tepki modeli malzemeleri için gerekli girdiler Esneklik (resilient) Modülü, M_r , Poisson Oranı, μ (ana kaya için elastik modülü) parametreleridir.

EICM ile alakalı malzeme parametreleri, üstyapı sistemi dahilinde sıcaklık ve nem koşullarını öngörmek için EICM tarafından kullanılan ve gerekli görülen parametrelerdir. Anahtar girdiler arasında gradasyon, Atterberg limitleri ve hidrolik geçirgenlik de bulunur. Malzeme özelliklerinin “diğer” kategorisini oluşturanlar, tasarım çözümü için gerekli olan ayrıcalıklı özelliklerle ilgili olanlardır. Bu kategoriye bir örnek, yanal basıncın katsayısı olarak gösterilebilir.

Üstyapı Tepki Modeli Malzeme Girdisi

Esneklik (resilient) Modülü

Esneklik (resilient) modülü, doğrudan laboratuvarla ölçülebileceği gibi, CBR gibi diğer malzeme güç özellikleriyle olan korelasyonlarının kullanımı yoluyla da elde edilebilir.

Seviye 3—Tipik Değerler (Kalibrasyon Bazında)

Girdi Seviyesi 3 için, tablo 3.26’ da sunulan tipik M_r değerleri tavsiye edilmiştir. Dikkat edilirse, Seviye 3 için sadece tipik bir M_r değeri, optimum nem içeriğinde gereklidir. EICM, mevsimsel iklim etkisi için tipik M_r ’ yi düzenlemekte kullanılır. Kullanıcıların, EICM tarafından iklim düzenlemeleri olmadan tipik M_R değerinin kullanılması konusunda özel bir opsiyonu olabilir. Tablo 3.26’ da sunulan M_R değerleri yaklaşık değer olduğu için çok dikkatli olunması tavsiye edilir. Eğer bir A-1-a taban

zemini gerçek anlamda yarı sonsuz ise, o zaman 40.000 psi' lik M_R 'nin kullanımı sonsuz derinlik için mantıklı olabilir.

Tablo 3.26 : Granüler ve Taban Malzemeleri İçin Tipik Esneklik Modülü Değerleri

Malzeme Sınıflandırması	M_r Aralığı	Tipik M_r
A-1-a	38,500 – 42,000	40,000
A-1-b	35,500 – 40,000	38,000
A-2-4	28,000 – 37,500	32,000
A-2-5	24,000 – 33,000	28,000
A-2-6	21,500 – 31,000	26,000
A-2-7	21,500 – 28,000	24,000
A-3	24,500 – 35,500	29,000
A-4	21,500 – 29,000	24,000
A-5	17,000 – 25,500	20,000
A-6	13,500 – 24,000	17,000
A-7-5	8,000 – 17,500	12,000
A-7-6	5,000 – 13,500	8,000
CH	5,000 – 13,500	8,000
MH	8,000 – 17,500	11,500
CL	13,500 – 24,000	17,000
ML	17,000 – 25,500	20,000
SW	28,000 – 37,500	32,000
SP	24,000 – 33,000	28,000
SW-SC	21,500 – 31,000	25,500
SW-SM	24,000 – 33,000	28,000
SP-SC	21,500 – 31,000	25,500
SP-SM	24,000 – 33,000	28,000
SC	21,500 – 28,000	24,000
SM	28,000 – 37,500	32,000
GW	39,500 – 42,000	41,000
GP	35,500 – 40,000	38,000
GW-GC	28,000 – 40,000	34,500
GW-GM	35,500 – 40,500	38,500
GP-GC	28,000 – 39,000	34,000
GP-GM	31,000 – 40,000	36,000
GC	24,000 – 37,500	31,000
GM	33,000 – 42,000	38,500

Ancak, eğer A-1-a sadece birkaç metre derinliğinde ise, daha zayıf taban malzemesi üzerinde toprak set olarak davranır ve böylece 2 malzemenin M_R değeri 40.000 psi’ den daha az olur. Bunun tam tersi, A-1-a’ yı yada anakayayı kaplayan zayıf A-7-6 zemini için de geçerlidir (bileşik $M_R > 8,000$ psi). Tasarımcı, bütün üstyapı temelini temsil eden M_R değerini seçmelidir. Bu da, üzerinde üstyapı inşa edilecek olan, üstyapı alttabakaları hakkında geniş kapsamlı bilgiyi gerektirir.

Poisson Oranı

Her ne kadar hesaplanmış üstyapı tepkileri üzerindeki etkisi ciddi olmasa da, Poisson oranı, yapısal tepki hesaplama modelleri için gerekli bir girdidir. Sonuç olarak, bu parametre nadiren ölçülür, daha çok varsayılır.

Seviye 3—Tipik Değerler

Girdi Seviyesi 3 için, tablo 3.27’ de gösterilen tipik değerler kullanılabilir. Granüler malzemeler ve taban için Poisson oranı tipik olarak 0.2 ve 0.45 arasında değişir. Bu seviye 3 yöntemi yeni tasarım ve takviye tabakası uygulamadak tasarımı için uygulanabilir.

Tablo 3.27 : Granüler Tabaka ve Taban Zemini İçin Tipik Poisson Oranları

Malzeme Açıklaması	μ Aralığı	μ Tipik
Kil (doymuş)	0.4-0.5	0.45
Kil (doymamış)	0.1-0.3	0.2
Kumlu Kil	0.2-0.3	0.25
Alüvyon	0.3-0.35	0.325
Yoğun Kum	0.2-0.4	0.3
İri-taneli Kum	0.15	0.15
İnce Taneli Kum	0.25	0.25
Ana Kaya	0.1-0.4	0.25

EICM Malzeme Girdileri

EICM için girdi olarak gereken malzeme özellikleri arasında Atterberg limitleri, gradasyon ve doymuş hidrolik iletkenlik vardır. Bunlar, çoğunlukla granüler temel malzemeleri ve taban zemin için gereklidirler.

Plastisite İndeksi

Plastisite İndeksi, PI, zeminin likit limiti ve plastik limiti arasındaki sayısal farklılıktır ve zeminin plastik koşulda olduğu zaman nem içeriğinin tanım aralığının büyüklüğünü gösterir.

Plastik limit, PL, nem içeriğidir, plastik ve yarı sert durumlar arasındaki sınırdır, kuru zeminin kütlesinin yüzdesi olarak ifade edilir. Bununla beraber likit limit de, LL, likit ve plastik durumlar arasındaki isteğe bağlı belirlenen sınırlardaki su içeriği olarak tanımlanır ve kuru zeminin ağırlığını yüzdesi olarak ifade edilir. PI aşağıdaki şekilde tanımlanır :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(3.24)$$

Dikkat edilirse, bu parametre için kesin hiyerarşik girdi seviyeleri yoktur ki sadece test değerleri (Seviye 1) tavsiye edilir. Bu Seviye 1 yöntemi, yeni tasarım, yeniden inşa ve takviye tabakası uygulamada tasarımında uygulanabilir.

Elek Analizi

Elek Analizi, granüler ve taban malzemelerinin dane dağılımını belirlemek için gerçekleştirilir. Gerekli bilgiler şunlardır;

No : 4 eleğinden geçen malzemenin yüzdesi (P4),

No : 200 eleğinden geçen malzemenin yüzdesi ve

Zemin malzemesinin % 60' nın geçtiği eleğin çapının mm cinsinde hali, D60.

Bu parametre için girdi seviyesi yoktur, çünkü sadece test değerleri tavsiye edilir. Bu Seviye 1 yöntemi, yeni tasarım, yeniden inşaat ve takviye tabakası uygulamada tasarımı için uygulanabilir.

Maksimum Kuru Birim Ağırlığı ve Optimum Nem İçeriği

Tasarım Rehberi yazılımı hem maksimum kuru birim ağırlığı (MKBA) için hemde granüler malzemelerin ve taban zemininin optimum nem içeriği (ONİ) (seviye 1 ve 3) için yardımcı olur. MKBA ve ONİ, yazılım tarafından PI ve gradasyon bilgisini kullanarak dahili olarak da hesaplanabilir. Seviye 3 için, tipik MKBA ve ONİ değerleri

yerel deneyimlere göre varsayılır. MKBA tipik olarak 100 ila 140 pcf arasında değişirken, ONİ % 4 ila % 15 arasında değişir. Seviye 1 yöntemi, yeni tasarım, yeniden inşaat ve takviye tabakası uygulamada tasarımı için uygulanabilir.

Zeminlerin Özgül Ağırlığı

Tasarım Rehberi yazılımı, hem granüler malzemelerin hem de taban zeminlerinin Özgül Ağırlıkları (Gs) (seviyeler 1 ve 3) bilgisi için yardımcı olur ve PI ve gradasyon bilgisini kullanarak yazılım tarafından (Seviye2) hesaplanabilir.

Doymuş Hidrolik İletkenlik

Tasarım Rehberi yazılımı hem granüler malzemelerin hemde taban zemininin doymuş hidrolik iletkenliğin (k) (seviyeler 1 ve 3) doğrudan girdisi için yardımcı olur, PI ve gradasyon bilgisini kullanarak yazılım tarafından (seviye2) dahili olarak hesaplanması içindir.

Doyma Derecesi

Doyma derecesi, S, su ile dolmuş granüler malzeme yada taban zemini içindeki hava boşluğu oranıdır. Tasarım Rehberi yazılımı dahili olarak sınırlandırılmamış malzeme ve taban parametrelerini kullanarak doyma derecesini hesaplar.

Diğer Granüler Malzeme Özellikleri

Yanal Basınç Katsayısı

Yanal basınç katsayısı, k_0 , yanal yeryüzü basıncının düşey yeryüzü basıncına oranını ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Granüler granüler, taban zemini ve anakaya malzemeleri için, mahalindeki tipik k_0 değeri 0.4 ve 0.6 değerleri arasında değişir.

Tablo 3.28' de İçsel Sürtünme Açısı, ϕ ' nin tipik tanım aralıkları sunulmuştur.

Tablo 3.28 : Granüler, Taban ve Anakaya Malzemelerde İçsel Sürtünme Açısı

Malzeme Açıklaması	Dahili Sürtünmenin Açısı Φ	Yansal basıncın Katsayısı k_0
Temiz sağlam Anakaya	35	0.495
Temiz çakıl,çakıl-kum karışımı, ve iri kum	29 - 31	0.548 - 0.575
Temiz ince-orta kum, alüvyon orta'dan iri kum,alüvyonlu yada killi çakıl	24 - 29	0.575 - 0.645
Temiz ince kum, alüvyonlu yada kilimsi ince'den orta'ya kum	19 - 24	0.645 - 0.717
İnce kumlu alüvyon, plastik olmayan alüvyon	17 - 19	0.717 - 0.746
Çok sert ve katı tortu kil	22 - 26	0.617 - 0.673
Orta sert ve sert kil ve alüvyonlu kil	19 - 19	0.717

Taban Zemini Anakaya Malzemelerinin Özellikleri

Esneklik Modülü

Sığ anakaya tabakaları, eğer sıranın altında bulunursa, üstyapının analitik tepkileri üzerinde önemli ölçüde etkilere sahip olabilir ve bu yüzden tasarımda tamamen hesaba katılması gerekir.

Tablo 3.29, rijit ve esnek üstyapılar için; yeni, yeniden inşaat veya takviye tabakası uygulamada, 2 çeşit anakaya malzemesi modülü değeri, tavsiye edilen aralığını özetler.

Bu değerler bütün hiyerarşik girdi seviyeleri arasında geçerlidir.

Tablo 3.29 : Taban Zemini Anakaya Tabaka Esneklik Modülü

Malzeme Grup kategorisi	Tip Tasarımı	Girdi Seviyesi	Açıklama
Anakaya	Yeni	1-2.	Bu seviyelerin hiçbirisi anakaya koşulları için uygulanabilir değildir.
		3	Kullanıcı tipik tasarım değerlerini seçer: Katı,büyük Anakaya Tipik aralık: 750-2000 ksi Varsayılan Değer: 1000 ksi Fazlaca Kırılmış, Havalandırılmış Tipik aralık : 250 – 1000 ksi Varsayılan Değer : 500 ksi
	Takviye tabakası	1-2.	Bu seviyelerin hiçbirisi anakaya koşulları için uygulanabilir değildir.
		3	Kullanıcı tipik tasarım değerlerini seçer : Katı, büyük Anakaya Tipik aralık : 750 -2000 ksi Varsayılan Değer : 1000 ksi Fazlaca Kırılmış, Havalandırılmış Tipik aralık : 250 – 1000 ksi Varsayılan Değer : 500 ksi

Poisson Oranı

Poisson oranının hernekadar hesaplanan üstyapı tepkileri üzerinde büyük bir etkisi olmasa da, yapısal tepki hesaplama modelleri için gerekli bir girdidir. Sonuç olarak, bu parametre nadiren ölçülür ve genellikle varsayılır, özellikle de anakaya malzemeleri ile. Tablo 3.30, hiyerarşik girdi seviye 2 ve 3 de anakaya malzemeleri için tipik Poisson oranı değerlerini sunar. Girdi Seviyesi 1 bu malzeme grubu için uygulanır değildir.

Tablo 3.30 : Anakaya İçin Poisson Oranı

Ana Kaya Malzemeleri	Seviye 2 μ aralığı	Seviye 3 μ Tipik
Katı, Büyük, Devamlı	0.10 – 0.25	0.15
Yüksek oranda kırılmış, havalandırılmış	0.25 – 0.40	0.30

3.2.3.Çevresel Etkiler

3.2.3.1. Analitik - Ampirik Tasarımda İklimin Önemi

Çevresel koşullar, hem esnek hem de rijit üstyapıların performansında önemli bir etkiye sahiptirler. Çökme, sıcaklık, donma - çözülme döngüsü ve su tablasının derinliği gibi dış faktörler, üst yapı performansı üzerinde çevrenin etkisinin tanımlanmasında anahtar bir rol üstlenirler. Üst yapı mazlemelerinin neme ve donma - çözülme hasarına hassasiyeti, kaplama tabakalarının kurutulabilmesi, üst yapı malzemesinin sızıntı potansiyeli, vb konular, üst yapının dış çevresel koşullara vereceği tepkinin alanını tanımlar.

Bir üst yapı bünyesinde, nem ve sıcaklık; üst yapı tabakasını ve taban özelliklerini ve dolayısıyla bunun yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkileyecek iki çevresel değişkendir. Üst yapı malzemeleri üstündeki bazı çevresel etkiler şunlardır:

- Asfalt betonu malzemeleri, sıcaklığa dayanarak değişen pek çok modüller gösterirler. Modül değerleri soğuk kış aylarında 2 ile 3 milyon psi yada daha fazla olabilirken, sıcak yaz aylarında 100.000 psi yada daha az olabilir.
- Çimento özelliğindeki malzemelerde, Eğilme direnci yada modül normal sıcaklık değişimlerinden önemli ölçüde etkilenmez. Ancak, özellikle çimento betonu temel tabakasındaki sıcaklık ve nemin düşüp yükselmesi, gerilmeleri ve deformasyonu önemli ölçüde etkiler ve dolayısıyla üstyapı hasarı ve bozulmaları görülebilir.
- Çok düşük sıcaklıklarda, zemin içindeki su donar ve bunun resilient modülü donmadan önceki halinin 20 ila 120 katı arasında artar. Buz 0 °C' ın altına düşmedikçe granüler malzemeler sıcaklıktan etkilenmez.
- Donma sürecine, buz lenslerinin oluşumu eklenebilir ve çözülme gerçekleşirken üstyapının belirli bölgelerinde büyük bir dayanım kaybı yaşanır.
- Diğer bütün koşullar eşit olmak üzere, nem oranı yükseldikçe, granüler malzemelerin modülü düşer, ancak nem 2 farklı olaya sebep olur :
 - Birincisi, emme yada boşluk suyu basıncı ile gerilme etkilenebilir. İri taneli ve ince taneli malzemeler, zeminin kurumasına bağlı olarak modülü 5 kattan fazla

artış gösterir. Kohezyonlu zeminlerin modülü, kil – su - elektrolit etkileşiminden etkilenir.

- İkinci olarak, zemin tanecikleri arasında çimentolamanın yıkımıyla zeminin yapısının da etkilenmesi mümkündür.
- Nemin varlığı ile bağlı malzemeler doğrudan etkilenmez. Ancak, aşırı nem, bitümlü karışımlarının soyulmasına sebep olabilir yada çimento stabilize malzemelerin yapısal bütünlüğü üzerinde uzun vadeli etkileri olabilir.
- Çimento stabilize malzemeler, donma - çözülme ve nemlenme - kuruma döngüleri sırasında modülünün azalması veya modül değişiminin artmasıyla zarar görebilir. Donma - çözülme etkileri alt tabakalarda yaşanır ancak üstyapının yüzeyinde de bozulmalara yol açar. Bu rehberde ele alınan bütün bozukluklar, bir dereceye kadar çevresel faktörlerden etkilenir. Bu yüzden, üstyapının nem ve sıcaklık profillerindeki gündüze ait ve mevsimsel dalgalanmalar; yer altı suyu tablasındaki değişiklikler, çökme/sızıntı, donma-çözülme döngüleri analitik - amprik tasarım yönteminde çok geniş olarak modellenmiştir.

3.2.3.2. Tasarımda İklim Etkilerinin Ele Alınması

Geliştirilmiş Entegre İklim Modeli

Bir üstyapının tasarım ömrü boyunca, üstyapının ve tabanın değişen nem ve sıcaklık profilleri, Tasarım Rehberinde Geliştirilmiş Entegre İklim Modeli (EICM) denilen bir iklim modelleme aracı kullanılarak bütün yönleriyle ele alınmıştır. EICM, tek boyutlu birleşik ısı ve nem akışı programı olup, işletme yılları boyunca iklim koşullarıyla bağlantılı olarak üstyapıların ve taban zemini malzemesinin davranışı ve özelliklerindeki değişikliklerin benzetimini yapar. EICM, üç ana bileşenden oluşur:

- İklimsel - Malzemeler-Yapısal Model (CMS Model) University of Illinois tarafından geliştirilmiştir.
- CRREL Don Kabarması ve Erimesi Yerleştirme Modeli (CRREL Model), Amerika Birleşik Devletleri Ordu Soğuk Bölgeler Araştırma ve Mühendislik Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir.

- Sızıntı ve Drenaj Modeli (ID Modeli) Texas A&M Üniversitesinde geliştirilmiştir.

EICM' nin orijinal versiyonu, Entegre İklimsel Model olarak isimlendirilir. Texas Ulaştırma Enstitüsünde 1989 yılında Texas Üniversitesi Federal Karayolu Yönetimi (FHWA) için geliştirilmiştir. Bu versiyon, daha önceden geliştirilen CMS ve CRREL Modellerine ID Modelini birleştirerek, bir entegre çevresel öngörü metodolojisi geliştirmeyi amaçlamıştır. Daha sonra orijinal versiyonda bazı değişiklikler yapıp Larson ve Dempsey tarafından ICM versiyon 2 olarak yayınlanmıştır. 1999 yılında bazı ek değişiklikler yapılarak, ICM versiyon 2.1. ortaya çıkmıştır. Daha ileri yenilikler Tasarım Rehberinin geliştirilmesinin bir parçası olarak ICM versiyon 2.1' in nem öngörme kapasitesi artırılmıştır. Programın bu versiyonu buradan itibaren EICM olarak adlandırılacaktır. Genelde, EICM bütün üstyapı/tabana zemini profili boyunca, genel sıcaklık, resilient modülü ayarlama faktörleri, boşluk suyu basıncı, su içeriği, donma ve çözülme derinliği, don kabarması ve drenaj performansı gibi bilgileri hesaplar ve öngörür. Kısacası, EICM' nin geliştirilmesinde yapılan önemli işler (Tasarım Rehberiyle ilgili olarak) :

- Zemin suyu karakteristikleri eğrisi (SWCC) Gardner denkleminin yerine, daha iyi fonksiyonel bir form elde etmek için Fredlund and Xing tarafından önerilen denklemlerin getirilmesidir.
- SWCC' ler, doygun hidrolik iletkenlik (k_{sat}), ve katıların belirli çekimleri (G_s), gronülotmetri gibi verilmiş bilinen zemin indeksi özellikleri (200 elek sayısından geçme yüzdesi P_{200} , ve efektif tane boyutu ağırlığa göre % 60 geçiş, D_{60}) ve plastisite indeksinin (PI) geliştirilmiş tahminlerinin oluşturulmasıdır.
- 1994 yılında Fredlund et al. tarafından önerilen SWCC' ye dayanan Doygun olmayan hidrolik iletkenlik tahmininin EICM' ye dahil edilmesidir.
- Güneş açması, yağmur, rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve nisbi nem için ABD' nin 800 hava istasyonundan alınan saat bazlı veriler içeren iklimsel veritabanının eklenmesidir. Veri kaynağı olarak, Ulusal İklim Veri Merkezi alınmıştır. (NCDC).

SWCC, bir zeminin makro yada mikroporlarında, emme hakkında, su depolama kapasitesinin çeşitliliği olarak tanımlanır. Bu ilişki genel olarak zemin emmesiyle

suyun muhtevasının (yer çekimi, hacimsel, yada doyma derecesi) çeşitliliği olarak gösterilir. SWCC' yi temsil etmek için pek çok matematiksel denklemler önerilmiştir. Pek çok durumlarda, Gardner tarafından 1958' de önerilen denklemin kullanımında ilişkideki aşırı düzeyde sınırlamalara bağlı olarak SWCC' nin yanlış temsil edildiği görülmüştür. SWCC' nin temsil edilmesi noktasında eldeki birçok farklı denklemlerin karşılaştırılması için pek çok çalışmalar düzenlenmiştir.

Bu çalışmaların genel sonucu gösterdi ki, 1994' te Fredlung ve Xing' in önerdiği denklemler genişletilmiş bir veritabanında iyi bir uyuşmaya varıldığını göstermiştir. Pratik ilişkinin bir başka önemli gelişmesi de zeminlerin özgül ağırlığı (G_s) ve doymuş hidrolik iletkenliği (k_{sat}) tahmin etmek için algoritmaların sunulması olmuştur.

Bu tahminler; G_s ve k_{sat} ' ın alan yada labaratuvar testinden tahmin edilemediği durumlarda kullanılabilir. (Ör, bunlar Seviye 2 girdilerinde kullanılabilir). G_s ve k_{sat} ; P200, PI ve D_{60} değerlerine dayanarak tahmin edilir. Bir sonraki büyük değişiklik doymamış hidrolik iletkenliğin öngörülmesi için algoritmanın işin içine alınması olmuştur.

ICM'nin 2.1inci versiyonu, doymamış hidrolik iletkenlik fonksiyonunun temsil edilmesi için Gardner' ın parametrelerini kullanmıştır. Bu da hidrolik iletkenlik ve zemin matrik emmesi arasındaki ilişkidir. Yapılan değişikliklerin bir parçası olarak, doymamış hidrolik iletkenliğin varsayılan parametreleri 1994' te Fredlund et al. tarafından önerilen denklemlerle değiştirilmiştir. Önerilen hidrolik iletkenlik fonksiyonu su içeriğine karşı emme ilişkisinin entegre bir formudur ve aynı araştırmacılar tarafından önerilen SWCC uyma parametreleri kullanılmıştır.

ICM'nin 2.1inci versiyonunda yapılan en son büyük değişiklik ise, ABD' nin 800 hava istasyonundan gelen verilerin sisteme dahil edilmesidir. Bilgi NCDC' den gelmiştir ve hemen hemen ülkenin her yerinde üstyapı bünyesindeki sıcaklık, nem ve donma düzeninin yerleştirilmesinde kullanılan birçok değişkenin saat bazındaki değişimlerini içerir. Bu gelişim, tasarım yönteminin kalitesini kayde değer şekilde geliştirmektedir.

Tasarım Rehberine EICM' nin Dahil Edilmesi

EICM yazılımı Tasarım Rehberi yönteminin entegre bir parçası olarak yapılmıştır. Bu da, Tasarım Rehberine eşlik eden yazılıma tamamen bağlı olup gerekli bütün hesaplamaları yapar. EICM' ye kullanıcı girdileri, Tasarım Rehberi yazılımının bir parçası olarak sağlanan arayüz aracılığıyla girilir. EICM, bu girdiler ile çalışarak sonucunu Tasarım Rehberinin analitik-ampirik tasarım çerçevesinin üç ana bileşenine, malzemeler, yapısal tepkiler ve performans tahmini, gönderir. Aşağıda listenen görevler, bütün tasarım sürecinde EICM modülünün rolünü özetler. Esnek üstyapı analizi ve tasarımı için, çevresel etkilerin görevleri şunlardır.

Görev 1 : Kullanıcı tarafından sağlanmış, birinci yada referans durumunda bütün bağlı olmayan tabaka malzemelerinin resilient modülü kaydedilir, M_R . Genel olarak, bu, optimum su içeriğinde ve maksimum kuru yoğunluktadır yada buna en yakın değerdedir.

Görev 2 : Başlangıç yada referans durumundan, taban zemini ve granüler malzemeler dengeye ulaşırken, nem içeriğindeki beklenen değişikliği değerlendirir. Aynı zamanda, nem içeriğindeki mevsimsel değişiklikleri de değerlendirir.

Görev 3 : Kullanıcı tarafından girilen resilient modülü üzerinden alınan referansa göre zemin nemi içeriğindeki değişikliğin etkisini değerlendirir, M_R .

Görev 4 : Tabakanın üzerindeki donma etkisinin değerlendirir, M_R .

Görev 5 : Donmuş M_R durumundan çözülme ve düzelmenin etkisini değerlendirir.

Görev 6 : Zamandan faydalanma : Kritik üstyapı hesaplamalarında ve üstyapı sistemi dahilindeki bir çok noktadaki hasarın hesaplanmasında değişken M_R değerleri

Görev 7 : Bütün asfalt sınır tabakaları için zaman fonksiyonu olarak sıcaklıktaki değişimleri değerlendirir. Görev 1' deki girdi, M_{ropt} kullanıcı tarafından sağlanan malzemeler ile ilgili bir girişdir.

Esnek ve rijit üstyapı tasarımlar için EICM' den istenen en önemli çıktılarından biri, nem içeriğinin değişmesi, donma, çözülme ve çözülmeden sonra toparlanma gibi durumlar ve çevresel parametrelerin etkileri açısından bağısız malzeme tabakaları için ayarlama faktörlerinin bir setidir. Bu faktör, F_{env} olarak belirtilir, üstyapı bünyesi dahilinde

pozisyonla ve analiz periyodu boyunca zamanla değişiklik gösterir. F_{env} faktörü, bir pozisyon ve zaman fonksiyonu olarak M_R ' yi elde etmek için M_{Ropt} ile çarpılan bir katsayıdır.

EICM' den diğer üç önemli çıktı, her bağlı alttabakanın orta noktalarındaki durum bölgesi sıcaklığı her saat için AC ve/ya PCC tabakaları dahilinde sıcaklık profilleri, ve üstyapı bünyesinde her alttabaka için ortalama nem oranıdır.

3.2.3.3. EICM' nin Ana Çıktıları

EICM' nin çıktısı, iki seviye olarak açıklanabilir – dahili ve harici. EICM' nin her iki şekildeki çıktısı kullanıcıya açıktır ve kullanılabilir. Dahili çıktılar Tasarım Rehberi yazılımının diğer bileşenlerine geçirilmez. Ancak harici çıktılar geçerilir. Fakat, kullanıcı, bu iki çıktıyı yöneten girdiler üzerinde tam kontrole sahiptir (Ör : su tablası derinlikleri, proje sahası için iklimsel bilgi).

EICM' nin Dahili Çıktısı

EICM' nin hesaplama motoru, su içeriğinin hacimsel değerlerini belirler, θ_w . θ_w' nin değerleri doymuş hacimsel su içeriklerine θ_{sat} bölünür ve doyma derecesi S değeri bulunur. Yeraltı suyu tablası girdisinde salınım olmadan ve AC tabakasında çatlaklar olmadığında, S değerleri tam dengede esas değerlerinde bulunur $Sequil$, ancak donma yada çözülmeden toparlanma söz konusu ise durum değişir.

$Sequil$, değerleri, optimum durumlardaki doyma derecesi değerleri ile birlikte S_{opt} , düğüm noktasındaki donmamış durumlar için granüler tabaka modulu ayarlama faktörünü F_u hesaplamada kullanılır. Çıktı sıcaklıkları her düğüm noktasında donmaya işaret etmek için kullanılır ve donma durumu için ayarlama faktörü de F_F her donmakta olan düğümde hesaplanır. Çözülme, normal şartlarda sıcaklığın donma noktasının üstüne çıkmasının işaretiyle, donmayı takip eder. Toparlanma periyodu sırasında, toparlanma noktalarında, toparlanma oranını RR hesaplamak için malzeme özellikleri kullanılır. Bu RR değerleri, çözölmeye bağlı büzülmme faktörleriyle beraber her toparlanma noktasında, toparlanma durumları F_R için ayar faktörlerinin hesaplanmasında kullanılır.

EICM' nin Harici Çıktıları

- Bir yer ve zamanın fonksiyonu olarak granüler malzeme M_R ayarlama faktörü, bileşik çevresel etkiler ayarlama faktörü F_{env} , her düğüm noktasında F_F , F_R , ve F_U değerlerinden her alt tabaka için hesaplanır. Alttabakalaşma, EICM tarafından dahili olarak tanımlanır ve diğer faktörler arasında donma derinliğinin bir fonksiyonudur. Bu F_{env} faktörler, doğrudan Tasarım Rehberi yazılımının ya FEA yada LEA yapısal analiz modüllerine gönderilir, orada M_R' yi yer ve zaman fonksiyonu olarak elde etmek için M_{ropt} ile çarpılır.
- Yüzeydeki ve her asfalt betonu sınır alttabakasının orta noktasının sıcaklıkları- bu değerler her analiz periyodu için istatistik özellikleri de hedef alır (1 ay yada 2 haftalık periyod). Ortalama, standart sapma ve kuantil (beşte birlik alınan kısım) yorulma ve kalıcı deformasyon tahmini modellerinde kullanılmak üzere doğrudan gönderilir.
- Yüzeyde saatbaşı sıcaklık değerleri ve sınır tabakaları dahilinde termal çatlama modelinde kullanılmak için ayarlanmış derinlik artışı (her 2.5 cm. de bir) .
- Hacimsel nem oranı- granüler malzemeler için kalıcı deformasyon modelinde kullanılmak üzere her alttabaka için bir ortalama değer.

Harici EICM çıktıları doğrudan Tasarım Rehberi yazılımının malzeme karakterizasyonu, yapısal tepki hesaplamaları ve performans tahmini modüllerine gönderilir.

3.2.3.4. Termal ve Nem Durumlarını Modellemek İçin Gereken İklim ve Malzeme Girdileri

Üst yapı tasarımı için EICM' den istenen çıktıların üretilmesinde, çok sayıda girdi parametrelerine ihtiyaç vardır. Şimdiye kadar anlatılan diğer girdiler gibi, iklim modelinin girdileri dahi Tasarım Rehberinin uygulanmasında esnekliği sağlamak için herhangi bir hiyerarşik seviyede (1, 2, yada 3) verilebilir. İklim Modelinde gerekli olan girdiler, aşağıdaki geniş kategorilere ayrılırlar :

- Genel Bilgi
- Hava Durumu İle İlgili Bilgi
- Yer Altı Suyu İle İlgili Bilgi
- Drenaj ve Yüzey Özellikleri
- Üst Yapı Bünyesi ve Malzemeler

Genel Bilgiler

- *Temel / Taban Zeminin Yapım Ayı ve Yılı*

Bu girdi sadece yeni esnek üst yapı tasarımı için gereklidir. EICM’ de nem modelinin başlatılmasında önemli bir rol oynar. Granüler malzemelerde nem hesaplamaları, zamanın içinde bu noktadan başlar ve bu tabakalardaki nem içeriği, kullanıcı tarafından optimum değerlerden denge değerine değiştirildikçe, tabaka modülü buna uygun olarak ayarlanır. Trafiğe açılış ayı ile beraber alındığında, bu girdi aynı zamanda analiz periyodunun uzunluğunu kontrol etmek için kullanılır. Örneğin, yapım ayı ile trafiğe açılış ayı arasındaki zaman farkı 2 yıl ise, beklenen tasarım ömrü 20 yıl ise, analiz periyodu 22 yıldır. Eğer bu girdi hiç bilinmiyorsa, alandaki karayolu inşaatlarında gerçekleşen en yaygın ayı kullanması gerekir.

- *Varolan Üstyapı Yapım Ayı ve Yılı*

Bu girdi sadece AC ve PCC kaplamalarında kullanılan takviye tabakası için gereklidir. Eğer temel üstyapısı esnek bir üstyapı ise, bu parametre takviye tabakası uygulamada zamanında hangi üstyapının eskidiğini anlamaya yardımcı olur.

- *Üstyapı Yapım Ayı ve Yılı*

Bu parametre, hem yeni hemde takviye tabakası uygulamada tasarımı için gereklidir. Esnek üstyapı tasarımı için, bu parametre, asfalt tabakasının sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır.

- *Trafiğe Açılma Ayı ve Yılı*

İnşaattan sonra üstyapının trafiğe açılması beklenen ay. Bu değer, trafiğe açılma zamanında iklim durumlarını tanımlar, ki bunlar sıcaklık iniş çıkışları ve tabanındaki de dahil tabaka modülleri ile ilgilidir.

- *Tasarım Tipi*

Yeni yada Takviye tabakası uygulamada ve AC yada PCC. Bu girdi; analiz, iklim modeli iklimlendirme parametreleri, üstyapı alttabaka şemaları, iklim analizinden beklenen çıktı tipleri vb için gerekli iklim kullanıcı girdi tiplerinin belirler.

Hava İle İlgili Veri

Artımsal hasar birikimi için gerekli iklim analizine ulaşmak için, Tasarım Rehberi yaklaşımı tasarımı yapılan proje hakkında,bütün tasarım ömrü boyunca saat bazında aşağıdaki beş hava durumu parametreleriyle ilgili bilgilere ihtiyaç duyar :

- Saat bazında hava sıcaklığı.
- Saat bazında Çökme.
- Saat bazında Rüzgar Hızı.
- Saat bazında güneş ışığı yüzdesi (bulut kapamasını tanımlamak için kullanılır).
- Saat bazında nisbi nem.

Hava sıcaklığı; EICM' deki ısı denge denkleminde, hava tarafından emilen uzun radyasyon dalgalarının; ve yüzeyden yukarıya konvektif ısı transferinin hesaplanması için gereklidir. Isı hesaplamalarında ek olarak, sıcaklık verisi; donma-çözülme döngüsü sayısını belirlemek amacıyla analiz zamanı çerçevesinde donma-çözülme periyotlarını tanımlamak için kullanılır.

Çökmeden meydana gelen ısı değişkenlikleri ve üstyapı bünyesinin içine sızıntı, yüzey ısı değişimi sınır durumlarının formüle edilmesinde ele alınmamıştır. Çökmenin bu şartlar altındaki rolü henüz tam olarak açıklığa kavuşmamış ve enerji dengesine bunun katılması için metodların hazırlanması girişimlerinde bulunulmamıştır. Ancak, çökme, takviye tabakası uygulanacak üstyapılar hakkında sızıntının hesaplanması için gereklidir. Bunun ötesinde, çökme,eğer ortalama hava sıcaklığının suyun donma

derecesinden daha az olduğu bir ayda olursa, bunun kar olarak sayılması durumu vardır.

Rüzgar hızı, üstyapı yüzeyindeki geleneksel (konvansiyonel) ısı transferi katsayısının hesaplanmasında gereklidir. Güneş ışığı yüzdesi, üstyapının yüzeyindeki ısı dengesinin hesaplanması için gereklidir. Saat bazında nisbi nemler JPCP ve CRCP' nin kurumaya bağılı büzülmesi üzerinde ve CRCP' de çatlak boşluğu ve ilk çatlama genişliğini belirlemede büyük bir etkiye sebep olur.

Hava Durumuyla İlgili Parametrelerin Belirlenmesi

Tasarım Rehberi yaklaşımında, hava durumuyla ilgili bilgi ilk olarak proje sahasının yakınında bulunan hava durumu istasyonlarından elde edilir. Tasarım Rehberine eşlik eden yazılımda, ABD'nin bütün bölgelerindeki yaklaşık 800 Hava durumu istasyonundan gelen bilgilerden oluşmuş bir veri temeli bulunmaktadır. Ana Hava durumu istasyonlarının pek çoğu EICM için gereken her adımda (1 saat) yaklaşık 60 ila 66 aylık iklim bilgisini içerir. Diğer hava durumu istasyonları bu miktardan daha az bilgi içerir, ancak Tasarım Rehberi hesaplamalar için en az 24 aylık gerçek hava durumu istasyonu verisi ister.

İklim veri tabanı; proje sahasının genişliği, uzunluğu ve yüksekliği basitçe verilerek bir çok avantajı sağlamaya başlar. Bir kez koordinatlar ve yükseklik belirtilince, Tasarım Rehberi yazılımı sahaya en yakın 6 hava durumu istasyonunu gösterir ve kullanıcı sanal proje hava durumu istasyonunu oluşturmak için istediğı kadar istasyonu seçebilir. Her gerçek Hava durumu istasyonun veri dosyasında kayıp veriler olabileceğı için, veriyi daha düzgün hale getirmek ve doğru bilgiyi aldığından emin olmak için mümkün olduğunca çok istasyonun beraber alınması tavsiye edilir. (En az 24 aylık iklim verisi gerekliliğı unutulmamalıdır). EICM, saha ile gösterilen her hava durumu istasyonu arasındaki uzaklığı ve bu her görünen hava durumu istasyonundaki kullanılabilir bilgi miktarını (ay sayısı olarak) gösterir. Uygun sayıda temsil kabiliyeti olan hava durumu istasyonları seçildikten sonra, sanal hava durumu istasyonu olarak depolama için bu istasyonlardan gelen iklim verisinin interpolasyonu yapılır. Bu şekilde sanal hava durumu istasyonlarından yapılan iklim verisi, Tasarım Rehberi yazılımı tarafından,

malzeme davranışındaki geçici değişiklikleri keşfetmek, çevresel yüklere bağlı yapısal tepkileri hesaplama ve üst yapı bozulmalarını tahmin etmek için kullanılır.

Tasarım için gerekli hava durumu ile ilgili bilgilerin düzenlenmesi, bütün üç hiyerarşik girdi seviyelerinde aynıdır. Belirli bir proje sahası için mümkün olduğunca çok hava durumu istasyonundan alınan iklim verilerinin enterpolasyonu, hatalı verileri düzeltmek yada eksik bilgileri tamamlamak için tavsiye edilen bir iştir.

Yeraltısuyu Tablası Derinliği

Yeraltısuyu tablası derinliği, ya yıllık ortalama derinliğinin yada mevsimsel ortalama derinliğin (yılın 4 mevsiminin herbiri için bir değer) Seviye 1 girdisinde, bu, tasarım öncesinde profil karakterizasyonu sondajından belirlenebilir. Seviye 3 girdisinde, yıllık ortalama değer bir tahmini yada mevsimsel ortalamalar sağlanabilir. Seviye 3 tahminlerinin elde edilmesi için potansiyel bir kaynak, Ulusal Kaynakları Koruma Servisi tarafından hazırlanan bölge toprağı raporudur.

Drenaj ve Yüzey Özellikleri

Yüzey Kısadalga Soğurganlığı

Bu girdi, AC ve PCC yüzey tabakaları ile ilgilidir. Belirli bir tabakanın yüzey kısa dalga soğurganlığı, onun kompozisyonuna, rengine ve dokusuna bağlıdır. Bu büyüklük doğrudan, üstyapı yüzeyi tarafından absorbe edilen güneş enerjisi ile ilişkilidir. Genel olarak, daha hafif ve daha yansıtıcı yüzeyler daha düşük kısa dalga soğurganlığına sahiptir.

- Seviye 1 – Bu seviyede, bu parametrenin labaratuvar testleri ile tahmin edilmesi tavsiye edilir. Ancak, her ne kadar kısadalga soğurganlığını ölçmek için önceden yöntemler varolsa da, üstyapı malzemeleri için onaylanmış güncel AASHTO standartları yoktur.

- Seviye 2 – Uygulanamaz.

- Seviye 3 – Varsayılan değerler aşağıdaki gibi pek çok üstyapı malzemeleri için düşünülebilir :

- Olumsuz Hava koşullarından dolayı yıpranmış Asfalt Betonu (gri) 0.80 – 0.90

- Taze Asfalt Betonu (siyah) 0.90 – 0.98
- Eskimiş PCC tabakası 0.70 – 0.90

Sızıntı

Bu parametre, tasarım ömrü boyunca bir üstyapının net sızıntı potansiyelini tanımlar. Tasarım Rehberi yaklaşımında, sızıntı dört değer olarak alınabilir– hiç almaz, az (%10 çökme üstyapıya girer), orta (% 50 çökme üstyapıya girer) ve çok büyük. Bu girdi bazında, EICM, ilk bağısız tabakanın üstünde bulunan su miktarını belirler. Birçok tasarımlar ve bakım faaliyetleri, özellikle daha yüksek sınıf üstyapılarında, sıfır sızıntıya ulaşmak için yada en düşük seviyeye indirmek için çabalar. Bu da, uygun yüzey drenaj elementleri tasarımı (enine hendek sistemi vb), sızıntıyı azaltan inşaat uygulamalarının adapte edilmesi, koruyucu rutin bakım faaliyetleri (Ör : çatlak ve derz onarma, yüzey iyileştirmeleri vb) ve drenaj tabakası yada kenar drenleri formunda yeterli düzeyde yeraltı drenaj ile yapılabilir.

Neme duyarlı olmayan malzemeler kullanarak üstyapıda sızıntıya sebep olabilecek nemin etkisini hafifletmek mümkündür. Belli bir yağmur olayına bağlı olarak zamanın belirli bir noktasında üstyapının içinde sızıntının miktarı; üst yapının durumunun, banket tipi ve nemle bağlantılı olarak drenaj özelliklerinin bir fonksiyonudur. Kolaylık için, sızıntı tahmini hakkında genel rehberlik bilgileri sadece banket tipine ve kenar drenleri varolup olmamasına göre hazırlanır. Banket tipi konuyla ilgilidir çünkü, şerit banketi derzi, üstyapı bünyesine en büyük tek nem girişi kaynağı olarak bulunur.

Kenar drenlerinin varlığı da konuyla ilgilidir, çünkü drenaj yolunu kısaltır ve bir pozitif drenaj çıkışı sunar. Dikkat edilirse, kenar drenlerine ek olarak eğer bir drenaj tabakası da bulunuyorsa, alttaki tabakaları doymuş hale getirmekten korumak üzerindeki etkisi; bu tabakanın bağısız tabakalar ve tabanın modülüsüne etkisi nasıl oluyorsa EICM dahilinde doğrudan modelleme olarak hesaba geçer.

Drenaj Yolu Uzunluğu

Drenaj yolu uzunluğu, drenaj yolunun sonuç olarak meydana çıkan uzunluğudur (Ör : Üstyapının çaprazlama ve boyuna eğiminin bir sonucu olarak ölçülen uzaklık). Üstyapı enkesit alanının en yüksek noktasından drenajın olduğu noktaya kadar ölçülür. Bu girdi,

önceden ıslak bir durumda bulunan alt temel tabakası yada granüler temeli kurutmak için gerekli zamanı hesaplamaya yarayan EICM' nin sızıntı ve drenaj modelinde kullanılır.

Üstyapı Enine - Eğim (cross slope)

Enine Eğim, trafiğin akışına dik olarak üstyapı yüzeyinin eğimidir. Bu girdi, önceden ıslak bir durumda bulunan alt temel tabakasını yada üstyapı temelnı kurutmak için gerekli zamanı hesaplamak için kullanılır.

Üstyapı Bünyesi Malzemeleri Girdileri

Tabaka Kalınlığı

Üstyapı bünyesindeki her malzemenin tabaka kalınlığı daha az yada daha çok homojen olan tabakalara denk gelmelidir. EICM dahili olarak doğruya daha yakın nem ve sıcaklık profilleri hesaplamaları için bu tabakaları tekrar böler. Yöntem her zaman hesaplama amacıyla en son stabilize tabaka altındaki iki bağısız tabakaa ihtiyaç duyar (Ör : bir tabaka sıkıştırılmış taban zemini ve diğeride doğal taban zemini olabilir yada bir tabaka sıkıştırılmış parçacıklı dolgu ve diğeri de doğal taban zemin olabilir). Eğer deneme tasarımı bunu sağlamıyorsa, zemin tabakası dahili olarak Tasarım Rehberi yazılımı tarafından 2 tabakaya ayrılır. Bunun ötesinde, bütün tabakalara ayırmalar dahili ve otomatik olarak yürütülür. Kullanıcı üstyapı tabakalarını alt tabakalara bölmemelidir.

Asfalt Betonu Malzeme Özellikleri

Esnek üstyapıların tasarımı için bir çok özellik gereklidir. Bu özelliklerin arasında üstyapı sistemi boyunca ısı akışını kontrol eden ve dolayısıyla içinde sıcaklık ve nem rejimlerini etkileyen özellikler de bulunur.

EICM hesaplamalarına giren Asfalt Betonu malzeme özellikleri aşağıdakileri kapsar :

- Yüzey kısa dalga Soğurganlığı.
- Termal iletkenlik, K.
- Isı yada Termal kapasite, Q.

Sıkıştırılmış Granüler Malzeme Özellikleri

Bu kategoride ilgili parametreler, maksimum kuru yoğunluk ($\gamma_{d\ max}$), özgül ağırlık (G_s), ve sorgulanan sıkıştırılmış granüler malzemenin ağırlıkça optimum nem oranıdır (w_{opt}). Bu üç girdiden, doymanın ilk derecesi S_{opt} , optimum hacimsel su içeriği θ_{opt} , ve doymuş hacimsel su içeriği θ_{sat} dahil, diğer bütün kütle hacim parametreleri hesaplanabilir. Bu hesaplamalar Tasarım Rehberi yazılımında dahili olarak yapılır ve önceden bahsedilen EICM' nin dahili çıktılarının bir parçasıdır.

Seviye 1' de, her granüler tabaka için standart test protokolleriyle uyumlu olarak laboratuvar ortamında $\gamma_{d\ max}$, w_{opt} , ve G_s ' nin dikkatli bir şekilde ölçülmesi gerekir. Eğer kullanıcı $\gamma_{d\ max}$, w_{opt} , ve G_s ' yi ölçmemeyi seçerse Seviye 2 girdilerini kabul etmesi tavsiye edilir. Seviye 2 girdilerinde, kullanıcı iniş çıkışları ve unbound malzemenin (örneğin ağırlıkta % 60' ı geçene denk gelen efektif parça büyüklüğü D_{60} , Elek No: 200' den geçen yüzdelik, P_{200} , ve plastisite indeksi PI) mühendislik indeks özelliklerini girer.

Bu parametrelerde, EICM, dahili olarak kodlanmış bağıntıları kullanarak γ_{dmax} , S_{opt} , w_{opt} , ve G_s ' yi hesaplar.

Her ne kadar bu bağıntılar (korelasyonlar); dikkatle ölçülmüş $\gamma_{d\ max}$, w_{opt} , ve G_s 'den elde edilmiş değerler kadar kesin ve dakik S_{opt} değerini vermeyecek olsa da, bazı mantıklı değerler da çıkarabilir.

Bunun ötesinde bağıntılar; diğer kütle hacim parametreleri ($\gamma_{d\ max}$ ve G_s gibi) dahili olarak tutarlı ve mantıklı olana kadar ayarlanmıştır. Seviye 3 girdileri, bu girdi kategorisi için uygun değildir.

S_{opt} , θ_{opt} , θ_{sat} . Tahminleri

Bu parametreler EICM' de dahili olarak aşağıda verilen denklemler kullanılarak $\gamma_{d\ max}$, w_{opt} , and G_s ' den hesaplanır :

$$\theta_{opt} = w_{opt} * \gamma_{d\ max} / \gamma_{water} \dots\dots\dots(3.25)$$

$$S_{opt} = \theta_{opt} / (1 - (\gamma_{d\ max} / (\gamma_{water} * G_s))) \dots\dots\dots(3.26)$$

$$\theta_{sat} = \theta_{opt} / S_{opt} \dots\dots\dots(3.27)$$

γ_{water} = Suyun birim ağırlığı

Denge Nem Oranı

Denge Nem Oranı Takviye tabakası uygulamada Tasarımı için gerekli bir girdidir. Ancak, yeni üstyapı tasarımı için gerekli değildir. Bu parametre, sahadan yada diğer uygun kaynaklardan elde edilen yığın şeklindeki numelerin doğrudan testten geçirilmesiyle elde edilen sonuçlardan tahmin edilmesi tavsiye edilir.

Doymuş Hidrolik İletkenlik

Doymuş Hidrolik İletkenlik, k_{sat} , sıkıştırılmış granüler malzemelerde kısa süreli nem profillerini belirlemede ve drenaj özelliklerini hesaplamada gereklidir.

Kuru Termal İletkenlik ve Kuru Isı Kapasitesi

Tablo 3.31, “kuru” termal iletkenliğin (K) ve granüler malzemelerin ısı kapasitesinin (Q) karakterize edilmesinde tavsiye edilen yaklaşımları özetler: EICM, zeminin güncel nem oranına göre otomatik olarak K ve Q için başlangıç değerlerini ayarlar.

Zemin Suyu Karakteristik Eğim (SWCC) Parametreleri

SWCC, belirli bir zeminde su içeriği ve emme arasındaki ilişkiyi tanımlar. Tasarım Rehberi gelişiminin bir parçası olarak, zemin indeksi özelliklerinden Fredlund ve Xing denklemlerine tam uyan parametreleri elde etmek için büyük uğraş verilmiştir. Zeminin sıfırdan büyük PI ‘sı olması durumunda, SWCC parametreleri P_{200} (ondalık) ve PI ‘nın çarpımı olan $P_{200}PI$ ile bağıntı (korelasyon) halindedir. PI ‘nın sıfıra eşit olduğu durumlarda, parametreler D_{60} ile korelasyon halindedir.

Tablo 3.31 : Kuru Termal İletkenlik, K, Kuru Isı Kapasitesi, Q

Malzeme Özelliği	Girdi Seviyesi	Açıklama		
Kuru Termal İletkenlik, K	1	Bu seviyede doğrudan ölçüm tavsiye edilir. (ASTM E1952)		
	2	Geçerli değil.		
	3	<u>Zemin Tipi</u>	<u>Aralık</u> <u>Tavsiye Edilen</u> <u>Btu/(ft)(hr)(°F)</u>	
		A-1-a	0.22 – 0.44	0.30
		A-1-b	0.22 – 0.44	0.27
		A-2-4	0.22 – 0.24	0.23
		A-2-5	0.22 – 0.24	0.23
		A-2-6	0.20 – 0.23	0.22
		A-2-7	0.16 – 0.23	0.20
		A-3	0.25 – 0.40	0.30
		A-4	0.17 – 0.23	0.22
A-5	0.17 – 0.23	0.19		
A-6	0.16 – 0.22	0.18		
A-7-5	0.09 – 0.17	0.13		
A-7-6	0.09 – 0.17	0.12		
Kuru ısı Kapasitesi, Q	1	Bu seviyede doğrudan ölçüm tavsiye edilir. (ASTM D2766)		
	2	Geçerli değil.		
	3	Kullanıcı, kurumun geçmişe dayanan verisi yada aşağıda gösterilen tipik değerler bazında tasarım değerlerini seçer. Tipik değerler 0.17 ile 0.20 arasında değişir. Btu/(lb)(F)		

Sıkıştırılmamış Granüler Malzeme Özellikleri

Her ne kadar bu aşağı tabakalarda bulunan malzemelerin özellikleri üstyapının yük-tepki davranışının tümü için önemli olsa da üzerlerindeki sıkıştırılmış malzemelerin özellikleri ile karşılaştırıldığında daha az seviyede bir çalışma genel olarak bunları karakterize etmek için yeterli olur.

Bu yüzden, Seviye 1 girdileri genelde mahalindeki malzemeler için gerekli değildir. Mahalindeki tabakalar için sadece PI , P_{200} , P_4 , ve D_{60} ölçülmesi tavsiye edilir.

Tablo 3.32 : EICM Hesaplamalarında Granüler Malzemeler İçin Girdiler

Gerekli Özellikler	Belirleme İşlemi için Opsiyonlar
Spesifik Çekim (gravity), G_s	Doğrudan ölçüm gerekmez (seviye 1).
Doymuş Hidrolik İletkenlik, k_{sat}	Doğrudan ölçüm gerekmez (seviye 1).
Maksimum Kuru Birim Ağırlık, γ_{dmax}	Doğrudan ölçüm gerekmez (seviye 1).
Kuru termal İletkenlik K , Isı Kapasitesi, Q	Doğrudan ölçümler yda varsayılan değerler birleştirilip kullanılabılır.
Plastisite İndeksi, PI	AASHTO T90 ile uyumlu olarak Doğrudan ölçüm gerekiyor.
P_{200} , P_4 , ve D_{60}	AASHTO T27 ile uyumlu olarak Doğrudan ölçüm gerekiyor.
Optimum Gravimetrik Su, w_{opt}	Gerekli değil
Denge Gravimetrik Su İçeriği	Takviye tabakası uygulanacak üstyapı analizleri için doğrudan ölçüm gerekir. Bu parametre yeni üstyapı tasarımı için gerekli değildir.

3.2.3.5. Ayar Faktörü, F_{env} , Ayarlamak İçin M_R **Tasarımın F_{env} ile İlgisi**

Tasarım Faktöründe kullanılan granüler malzemelerin esneklik (resilient) modülünü değerlendirmek için, modülü etkileyen bir çok faktörün değerlendirilmesi gerekir :

- Gerilme Durumu.
- Nem / yoğunluk değişimleri.
- Donma / Çözülme Etkileri.

Herhangi bir bölge ve zamanda belirli bir üstyapı bünyesinin esneklik modülün değerleri yukarıdaki faktörlerin bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Granüler tabakaların M_R 'si üstündeki gerilme durumunun etkisi; Tasarım Rehberi yaklaşımında üstyapı dahilinde herhangi bir bölgede atmosferik basınç, kırılma gerilmesiyle esneklik modülün alakasını kuran dünyaca kabul edilmiş denklemin kullanılması ile ele alınmış olur.

Her ne kadar gerilme duyarlılığı sadece Seviye 1 girdileri kullanıldığında ele alınıyor olsa da, M_R üzerinde nem ve sıcaklığın geçici değişkenliklerinin etkisi bütün seviyelerde bileşik çevresel ayarlama faktörü F_{env} yoluyla tam olarak dikkate alınır. EICM, bütün çevresel faktörler ile ilgili olup, F_{env} 'nin oradan belirlenebileceği granüler tabakalardaki herhangi bir bölgede bir zaman fonksiyonu olarak zemin nemi, emme ve

sıcaklığı verir. Bundan sonra herhangi bir zaman ve yerde(konumda) Esneklik modülü M_R şu şekilde ifade edilir :

$$M_R = F_{env} * M_{Ropt} \dots\dots\dots(3.28)$$

F_{env} faktörü, bir ayar faktörüdür ve M_{Ropt} optimum koşullarda (maksimum kuru yoğunluk ve optimum nem oranı) ve gerilmenin herhangi bir seviyesinde esneklik modülüdür. Gerilme ile modül değişimi ve çevresel faktörler (nem, yoğunluk ve donma/çözülme) ile modülün değişimi bağımsız olarak varsayılır.

Ayarlama faktörü F_{env} , çevresel faktörlerin sadece bir fonksiyonu olarak, M_{Ropt} ' u bilmeden,daha sonra EICM dahilinde hesaplanabilir.

Granüler Malzemelerinin M_R ' si Üzerindeki Etkiler

Bu konuda daha öncede belirtildiği gibi, bir üstyapı bünyesinde, nem ve sıcaklık, granüler malzemelerin esneklik modülünün önemli ölçüde etkilenmesine sebep olabilecek çevre kaynaklı değişkenlerdir.

Diğer bütün şartların eşit olması halinde, nem içeriğinin daha yüksek olması modülün daha düşük olması anlamına gelir, ancak nem iki ayrı etkiye sebep olur:

- Emme veya boşluk suyu basıncı yoluyla Gerilmenin durumu etkilenir
- Zemin partikülleri arasında betonlaşmanın bozulmasıyla zeminin yapısı etkilenir.

Donma derecelerinde, zemindeki su donar ve esneklik modülü donma öncesindeki değerlerin 20 ila 120 kat üstündeki değerlere çıkar. Bu sürece aynı zamanda çözülme gerçekleşirken üstyapıda büyük ölçüde güç kaybına sebep olacak buz lensleri oluşumu eşlik eder.

Granüler malzemelerin esneklik modülü üzerinde donma/çözülme döngüsü ve nem değişikliklerinin etkisini hedef alan tahmine yardımcı denklemlerin ve tekniklerin geliştirilmesi, aşağıdaki iki alt bölümde açıklanmıştır.

Zemin Neminin Fonksiyonu Olarak Esneklik Modülü

Esneklik modülün nem ile değişiklik göstermesini konu alan önceki modellerin özetlenmesi amacıyla yoğun bir literatür gözden geçirme çalışması tamamlanmıştır.

Literatürden yayınlanmış bu modelleri kullanarak, nemdeki değişikliklere bağlı olarak modüldeki değişiklikleri analitik olarak tahmin edebilecek bir model geliştirmek mümkündür. Bu model Denklem 3.29’ de sunulmuştur :

$$\log (M_R / M_{Ropt}) = a + [(b - a) / (1 + \text{EXP} (\ln (-b / a) + k_m * (S - S_{opt})))] \dots (3.29)$$

$M_R / M_{ropt} =$ Esneklik Modül oranı; M_R belirli bir zamandaki esneklik modülüdür ve M_{opt} ireferans bir koşuldaki esneklik modülüdür.

$a = \log(M_R/M_{Ropt})$ ’un minumumu

$b = \log(M_R/M_{Ropt})$ ’un maksimumu

$k_m =$ Regresyon parametresi

$(S - S_{opt}) =$ Ondalık olarak doymanın derecesindeki değişim

Denklem 3.29, doyma derecesi için doğrusal bir form yaklaşımında bulunuyor, S , S_{opt} ’ un +/- % 30 dahilinde, ancak optimumun % 30 altında doyma dereceleri için düzeltilmiştir.

Bu ekstrapolasyondoymamış malzemelerin bilinen davranışlarıyla genel bir ortaklık içindedir ki bir malzeme yeterince kuru olduğunda, bundan daha kurumanın artırılması sertlikte ve güçte daha az artışa sebep olur.

Literatür verisini kullanarak ve ince parçalı malzemeler için 2.5’ luk maksimum modül oranını ve iri taneli malzemeler için 2’ yi adapte ederek, iri taneli ve ince taneli malzemeler için a , b ve k_m değerleri Tablo 3.33’ de verilmiştir..

Tablo 3.33 : İri Taneli ve İnce Taneli Malzemeler İçin a,b ve k_m Değerleri.

Parametre	İri - Taneli Malzemeler	İnce - Taneli Malzemeler	Yorumlar
a	-0.3123	-0.5934	Regresyon Parametresi
b	0.3	0.4	Tutucu bir varsayım, sırasıyla modül oranları 2 ve 2.5' a denk gelecek şekilde
k_m	6.8157	6.1324	Regresyon Parametresi

Granüler malzemelerin sertliği için gerekli kullanıcı girdisi, optimum nem ve maksimum kuru yoğunlukta yada buna yaklaşık tahmini M_R değeridir.

- Literatür bulgularına göre esneklik modülü testlerinin (diğer durumlara nisbeten) büyük bir kısmı optimum durumlardaki örneklerde gerçekleştirilmiştir ($\gamma_d = \gamma_{dmax}$, $w = w_{opt}$ and $S = S_{opt}$). Bundan dolayı, eğer optimum referans durumunu teşkil ediyorsa, M_{Ropt} değeri için veri temeli hızla büyür ve bununla beraber esneklik modülü testi olmadan yapılan M_{Ropt} ' un tahminlerinin mantıklı olma kabiliyeti de artar.

- Genel bir uygulama, sıkıştırıcılar temeli T180 (Modifiye edilmiş) ile γ_{dmax} ' ın en az % 95' i kadar ve diğer tabakaları T99 (Standart) ile γ_{dmax} ' ın % 95' i kadar sıkıştırmalıdır. Sıkıştırıcıların tipik olarak sıkıştırmayı minimum gerekliliğin bir parça üstünde hedeflemeleri de göz önüne alındığında, $\gamma_d = \gamma_{dmax}$ ' ın alan sıkıştırması Tasarım Rehberinde referans durum olarak kullanılan mantıklı bir yaklaşık değerdir. Nem içeriği, talimatlarla nadir olarak kontrol edilir, ancak iyi inşaat uygulamaları; sıkıştırıcıları, sıkıştırmayı kolaylaştırmak için optimum seviyeye yakın şekilde malzemelerin ıslatılmasına zorlar. Böylece, $w = w_{opt}$ ve $S = S_{opt}$ referans durumları için mantıklı varsayımlardır, her ne kadar alan sıkıştırması için gerçek nem içeriği optimumun biraz altı ve biraz üstü arasında farklılaşabiliyor olsada.

Hem Referans durumu hemde başlangıç durumu olarak optimumun seçilmesi hem mantıklı hemde pratiktir. Elbette gerçek sıkıştırma yoğunluğu ve nemi üstyapının pek

çok farklı spesifik noktasında ölçülebilir, ama inşaattan önce değil. Ancak, üstyapının tasarımı inşaattan çok önce yapılır. Bunun ötesinde kesin γ_d ve w değerleri tasarım aşamasında biliniyor olsada, bu durumda M_R değerlerinin bir veritabanına sahip olma ihtimali yüksek değildir.

Referans ve başlangıç durumu olarak optimumun seçiminin uygulamaları Şekil 3.3.6'ya bakarak incelenebilir. Eğer S_{opt} daki sıkıştırma varsayılrsa, o zaman aynı şekilde S 'in (artış yada düşüş) zamanla bir denge değerine, S_{equil} , doğru değiştiği varsayılmış olur. Her iki durumda, S_{equil} EICM tarafından yer altı suyu tablasının derinliği, y_{GWT} , ve zemin - su karakteristik eğrisi, SWCC kullanılarak hesaplanır.

Denge durumları altında M_R ' nin en iyi tahmin etme süreci aşağıdaki gibidir:

1. M_{Ropt} ' u elde etmek için optimum durumlardaki M_R ' yi tahmin edin yada ölçün.
2. S_{opt} ' u tahmin edin yada ölçün.
3. S_{equil} ' i hesaplamak için EICM' yi kullanın.
4. M_R ' nin referans durumundan (M_{Ropt}) en son denge durumuna (M_{Requil}) değişimini değerlendirmek için $(S_{opt} - S_{equil})$ ' u kullanın.

Donmuş / Çözülmüş Granüler Malzemeler İçin Esneklik Modülü

Donma/çözülme koşulları altında granüler malzemelerin davranışını incelemek için, önemli sayıda literatür kaynaklarına başvurulmuş ve modülün çarpıcı değerlerine ve modülün oranlarına ulaşılmıştır. Taramanın ana hedefi donmuş malzeme için mutlak moduli değerlerini (M_{Rfrz} olarak tanımlanır), ve çözülmeden hemen sonra M_R ' nin (M_{Rmin} olarak tanımlanır) doğal, donmamış malzemeninin M_R ' sine (M_{Runfrz} olarak tanımlanır) oranını elde etmektir. Oran bir azaltma faktörü olarak kullanılır ve RF ile temsil edilir.

Bazı verilerin referans olarak literatürden M_{Runfrz} bazında RF değerleri üretmesi ve bazılarının referans olarak M_{Ropt} bazında olmasından dolayı, referans olarak M_{Runfrz} ve M_{Ropt} değerlerinin daha küçük olanlarının kullanılması uygun bir tercih olarak kabul edilmiştir. Bu tanımlar denklem formunda aşağıdaki gibi tekrarlanır.

$$M_{Rfrz} = M_{Rmax} = M_R \text{ donmuş malzemeler için}$$

$$M_{Runfrz} = \text{donmamış malzeme için normal } M_R$$

M_{Rmin} = hemen çözülme sonrası M_R

RF = modülü azaltma faktörü = $M_{Rmin} / (M_{Runfrz}, M_{Ropt})$ daha küçük olanı

M_{Rfrz} için literatürde raporlanmış ortalama değerler aşağıdaki gibidir:

- $M_{Rfrz_ave} . 3 \cdot 10^6$ psi iri taneli malzemeler için.
- $M_{Rfrz_ave} . 2 \cdot 10^6$ psi ince taneli alüvyon ve alüvyonumsu kumlar için.
- $M_{Rfrz_ave} . 1 \cdot 10^6$ psi çamur (kil) için.

Bütün donmuş zeminler için birtek değer seçilmiş olsa, $2 \cdot 10^6$ psi mantıklı ve önyargısız bir tahmin olurdu ve $1 \cdot 10^6$ psi ise tutucu bir tahmin olurdu.

Çözülmüş malzemeler için, çözülme üzerine M_R ' nin düşüş derecesinin don duyarlılığı ile yada elverişli koşullar altında buz lensi oluşumunu destekleme noktasında zeminin kabiliyeti ile korelasyonu bulunmuştur. Don duyarlılığı bunun karşılığında No. 200 eleğinden geçen yüzdelikten, P_{200} ve plastisite indeksinden, PI, tahmin edilebilir. Tablolar 3.3.9 ve 3.3.10, Tasarım Rehberinde yaklaşımında kullanılan RF değerleri, P_{200} ve PI ' nin bir fonksiyonu olarak iri taneli ve ince taneli malzemeler için verilmiştir.

Tablo 3.34 : İri Taneli Malzemeler İçin RF Değerleri ($P_{200} < \% 50$)

Dane Dağılımı*	$P_{200} (\%)$	$PI < \% 12$	$PI = \% 12 - \% 35$	$PI > \% 35$
Çoğunlukla	< 6	0.85	-	-
Çakıllı	$6 - 12$	0.65	0.70	0.75
$P_4 < 50\%$	> 12	0.60	0.65	0.70
Çoğunlukla Kumlu	< 6	0.75	-	-
$P_4 > 50\%$	$6 - 12$	0.60	0.65	0.70
	> 12	0.50	0.55	0.60

*Eğer malzemenin daha çok kumlu mu yoksa çakıllı mı olduğu bilinmiyorsa, kumlu olarak varsayılır.

Tablo 3.35 : İnce Taneli Malzemeler İçin RF Değerleri ($P_{200} > \% 50$)

P200 (%)	PI < % 12	PI = % 12 - % 35	PI > % 35
50 - 85	0.45	0.55	0.60
> 85	0.40	0.50	0.55

Toparlama malzemeleri zaman içinde modülüte M_{Rmin} ' den M_{Runfrz} ' e bir artış yaşar ve bu 0 ile 1 arasında değişen bir toparlama oranı (RR) kullanarak takip edilebilir:

- RR = 0 “ donmadan hemen sonraki durum ” için, fazla su, emmeyi sıfıra götürdüğü durumda $M_{Rrecov} = M_{Rmin}$.
- RR = 1 yer altı suyu tablasının derinliğine göre dikte edilen emme ile gerçekleşen emme birbirine eşit olduğunda, örneğin, dengeye ulaşıldı, $M_{Rrecov} = M_{Runfrz}$.

$$RR = \Delta t / T_R \dots \dots \dots (3.30)$$

RR = Toparlama Oranı

Δt = Çözülme başladıktan sonra geçen saat sayısı

T_R = Toparlama Periyodu: Çözülme durumundan sonra malzemenin normale dönmesi için (donmamış duruma) gereken saat sayısı

Tasarım Rehberi için, toparlama periyodu, T_R , malzemenin özelliğinin bir fonksiyonu olarak algılanır, aşağıdaki gibi :

- $T_R = 90$ gün $P_{200} PI < 0.1$ ' lik kumlar / çakıllar için
- $T_R = 120$ gün $0.1 < P_{200} PI < 10$. ' lık alüvyon / çamur (kil) için
- $T_R = 150$ gün $P_{200} PI > 10$ ' luk çamur (kil) için.

Çevresel Ayar Faktörünün Hesaplanması, F_{env}

Herhangi bir zaman veya pozisyonadaki esneklik modülü, bileşik çevresel faktör, F_{env} , ve optimum durumundaki esneklik modülünün M_{Ropt} bir çarpımı olarak belirlenir.

Çevresel ayar faktörü, F_{env} , bileşik bir faktördür ve genelde birçok mümkün durum için uygun faktörlerin bir ağırlıklı ortalamasını temsil eder:

- Donmuş: donmuş malzeme – F_F (donmuş malzemeler için faktör)
- Toparlanma: donma gerçekleşmeden önceki eski haline dönme durumundaki çözölmüş malzeme – F_R (toparlanan malzemeler için faktör)
- Donmamış/tamamen toparlanmış/normal : hiçbir zaman donmamış yada tamamen toparlanmış malzemeler için – F_U (donmamış malzeme için faktör)
- Her bir düğümde : EICM’ de üstyapı bünyesi, herhangi bir zamanda, t, bir düğümler heyeti tarafından hesaplanan sıcaklık, emme ve nem değeri üst yapıyı karakterize eder. Dikkat edilmesi gereken o ki, yapısal hesaplamalar için FEA modölünde kullanılan tanımlı element bağının düğüm noktaları denk gelmeyebilir.
- Belirli bir tabakada (temel, alttemel, taban) : Dikkat edilirse, donmuş, çözölmüş ve önceden hiç donmamış malzemeler bir tak tabakanın dahilinde beraber bulunabilirler. Bir bileşik ayar faktörünün hesaplanması, bir tabakadaki malzemelerin hepsinin aynı durumda olması durumunda (donmamış veya toparlanmakta olan) faydalıdır. Bunun sebebi, düğümden düğüme ayar faktörlerinin değışiklik göstermesi ve bütün tabaka hakkında denk bir faktörün gerekli olmasındandır. F_{env} ’ nin tahmini için gereken bütün hesaplamalar, Tasarım Rehberinin dahilinde gerçekleştirilir ve kullanıcıya açıktır.

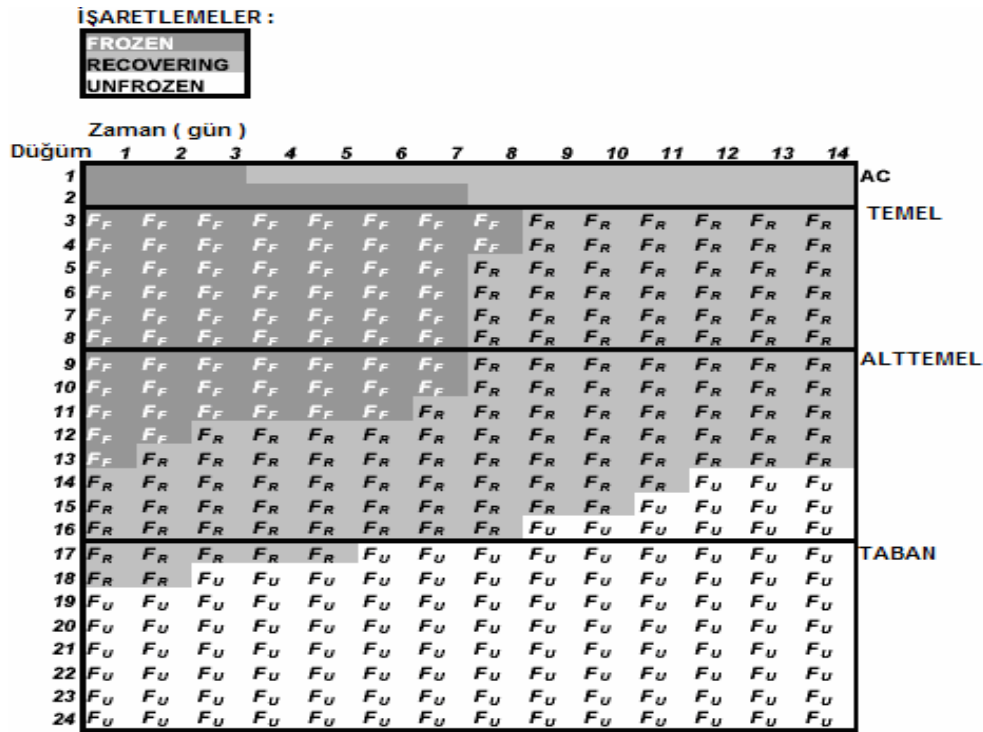
Zamanla fiziksel durumdaki değışikliklerden kaynaklanan M_R ’ deki olası değışimleri göstermeye yardım için, tipik bir üstyapı bünyesi hakkında zaman - derinlik diyagramı Şekil 3.11’ de sunulmuştur. Malzemenin 3 olası durumu tanımlanmıştır : donmuş (koyu gri, F_F ile temsil edilir), toparlanmakta olan (açık gri, F_R ile temsil edilir) ve donmamış yada tamamen toparlanmış (beyaz, F_U ile temsil edilir).

Bir Bileşik Ayar faktörü F_{env} geliştirme problemine çözüm bir matris oluşturmaktır. Bu matris i düğümündeki ve t zamanındaki M_R ayar faktörleri kadar elemente sahip olmalı, düğüm sayısı kadar satır sayısı ve analiz periyodunda (2 haftadan 1 aya kadar) ele alındığı şekliyle zaman artışı kadar kolon sayısı (her zaman artışı için 1 saat) bulunmalıdır. Zaman - derinlik diyagramına denk gelen matris Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Matriks elementleri malzemenin durumuna göre F_F , F_R ve F_U olarak gösterilir. Şekil 3.12’ de F_F , F_R ve F_U ’ nun numerik değeriinin örneği her düğüm / zaman için değeriendirilir ve sembollerin yeri sayılar ile değıştirilir.

Bir kez ayar faktörlerinin matrisi yerleştirildikten sonra, aşağıdaki alt kısımlara ayrılırlar:

- (a) Yapısal tabakalara denk gelen tabakalarda, (kullanıcı tarafından tanımlanan temel, alt temel, taban)
- (b) Alttabakalarda, sonraki modüller tarafından gerekli görüldüğü gibi tanımlandı. Bu alttabakalar da ayrıca donma penetrasyon derinliğinin bir fonksiyonudur.
- (c) Her analiz periyodu için, (2 hafta yada 1 ay) M_R ayar faktörlerinin bir altmatrisi her alt tabaka için tayin edilmiştir.

Eğer matrikslerin elementleri geçici bir varsayım olan $M_{Ropt} = 1'$ e denk geliyorsa, o zaman denk modülü elde etmenin kolay bir yolu elastik sıçrama serileri analojisidir.



Şekil 3.11 : Ayar Katsayılarının Matrisi ve Zaman-Derinlik Diyagramı

İŞARETLEMELER :

FROZEN
RECOVERING
UNFROZEN

Zaman (gün)

Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1															AC
2															TEMEL
3	50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
4	50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
5	50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
6	50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
7	50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
8	50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
9	75	75	75	75	75	75	75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	ALTTEMEL
10	75	75	75	75	75	75	75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
11	75	75	75	75	75	75	75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
12	75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	
13	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
14	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	
15	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	
16	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1	
17	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	TABAN
18	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
19	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
20	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
21	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
22	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
23	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
24	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	

Şekil 3.12 : Ayar Katsayılarının Matrisi

Sıçrayışlar (her sıçrayış bir düğüm) serisinin elastik modülü olarak, düğüm / zaman matrisinin kolon 1' inin (örneğin, Saat 1'e denk olarak) elementlerini ele alın. Eğer bu modele uygulanan gerilme σ ise, o zaman herhangi belirli bir düğümde ve zaman artışında bir sıçrayıştaki yer değişikliği aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\delta_{\text{node},t} = \sigma * h_{\text{node}} / M_{R \text{ node}, t} \dots \dots \dots (3.31)$$

node = düğüm sayısı

t = zaman (söz konusu matriksdeki kolona denk gelen)

h_{node} = söz konusu düğüme tayin edilen sıçrayışın uzunluğu

$M_{R \text{ node}, t}$ = düğüm için modül

h_{total} = söz konusu tabaka / alttabakanın toplam yüksekliği ve :

$$h_{\text{total}} = \sum_{\text{node} = 1}^n h_{\text{node}} \dots \dots \dots (3.32)$$

Söz konusu alt tabaka için (alt matriks) bir bileşik ayar faktörü F_{env} , şu şekilde elde edilebilir :

$$(h_{total} / F_{env} * M_{Ropt}) = (1 / t_{total}) * \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^n [h_{node} / (F_{node,t} * M_{Ropt})] \right] \dots\dots\dots(3.33)$$

$$F_{env} = (h_{total} * t_{total}) / \sum_{t=1}^{t_{total}} \left[\sum_{node=1}^n [h_{node} / F_{node,t}] \right] \dots\dots\dots(3.34)$$

F_{env} = Söz konusu alt tabaka için bileşik ayar faktörü

$F_{node,t}$ = Belirli bir düğüm ve zaman artışındaki Ayar faktörü (malzemenin durumuna bağlı olarak F_F , F_R , yada F_U olabilir)

Örnek olarak, F_{env} , temel ve altemel için şekil 3.13’ de hesaplanmıştır. Basitleştirmek için, her düğüme tayin edilen uzunluklar eşittir.

İŞARETLEMELER :

FROZEN
RECOVERING
UNFROZEN

		Zaman (gün)														
Düğüm		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
3	TE MEL	50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	$F_{env} = 1.45$
4		50	50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
5		50	50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
6		50	50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
7		50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
8		50	50	50	50	50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
9	ALTTE MEL	75	75	75	75	75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	$F_{env} = 0.92$
10		75	75	75	75	75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
11		75	75	75	75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	
12		75	75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
13		75	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
14		0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	
15		0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	
16		0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1	1	

Şekil 3.13 : F_{env} ’ nin Hesaplanmasının Örneği

F_{env} Uygulaması

Her ne kadar EICM saat bazında çevresel veri sağlasa da, doğrusal elastik yada tanımlı element analizini saat bazında gerçekleştirmek uygulama noktasında pratik değildir. Bunun için, tasarım ömrü sonunda gerilme - şekil değiştirme analizi yapılan 1 aylık yada 2 haftalık periyodlara bölünür. Bu da, analizi yapılacak yapısal modelin girdi parametreleri için denk / ağırlık değerlerini hesaplama problemini ortaya çıkarır.

LEA modülünde, belirli bir yapısal tabaka için (yada alttabaka) bir modül değeri kullanılır. Bu değer, bu malzeme için referans modülünün değeri ile bu belirli tabaka ve analiz periyodu için EICM tarafından geliştirilen F_{env} değeri ile çarpılmasından elde edilir. Ele alınan yapısal tabaka için referans modülü, optimum seviyedeki nem içeriğinde ve maksimum kuru yoğunluktaki (M_{Ropt}) malzemenin esneklik modülüdür.

Her ne kadar, bir malzemenin esneklik modülü ölçülen gerilmenin durumundan güçlü şekilde etkilendiği için, doğrusal esneklik varsayımı her tabaka / alttabaka için sabit modül değerleri gerektirir. İdeal olarak, kullanılacak sabit değerlerin analiz sonuçları; gerilmeden bağımsız moduli yada tanımlı element kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir şekilde olmalıdır. Bunu garantiye almanın tek yolu, tanımlı element analizi yürütmektir ki böylece doğrusal elastik analizine gerek kalmaz. Bundan ötürü, gerçek test verisi kullanılır durumda olduğunda yada gerilmenin bir fonksiyonu olarak esneklik modülün tahmininde bulunabilecek tahminsel model kullanıldığında, bütün tabakalar için geçerli olabilecek bir gerilme durumu tahmin edilmeli ve belirli bir gerilme durumunda bulunan esneklik modülü sabit bir değer olarak girilmelidir.

FEA modülünde, her zaman periyodu için (1 ay yada 2 haftalık periyod) tanımlı element analizi gerçekleştirilir ve tanımlı element ağının her düğümündeki esneklik modülü sadece çevresel faktörlerden değil aynı zamanda gerilmenin durumundan da etkilenir. Böylece, her düğüm noktasındaki denk modülü değerlerinin çözümü problemleri bir hale gelir. Tanımlı element analizinde M_{Ropt} ' un sabit bir değerini varsayarak bileşik çevresel faktör hesaplanırken, M_{Ropt} gerilmenin durumunun bir fonksiyonudur.

$$M_{Ropt} = k_1 * p_a * (\theta \setminus p_a)^{k_2} * [(\tau_{oct} / p_a) + 1]^{k_3} \dots\dots\dots(3.35)$$

k_1, k_2, k_3 = Regresyon Sabitleri

p_a = Atmosferik basınç

θ = Hacim Gerilmesi

τ_{oct} = Kesme Gerilmesi

Bileşik F_{env} hakkında çözüm sunmak için, zaman derinlik matrisinin her kolonu için saat bazında gerilme durumu bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu işlem de F_{env} değeri hakkında denk, bileşik bir değer bulma amacını alt eden saat bazında tanımlı element analizi gerçekleştirmeyi içerir ve hesaplama zamanı olarak (1 aylık bir zaman periyodunda 720 analiz, 20 yıllık tasarım periyodunda 1.7 milyon analiz) analizi oldukça elverişsiz bir hale getirir. Bu problemten kurtulmak için, ilk kanı olarak M_{Ropt} ' un sabit olduğu varsayımı yerine, tanımlı element ağının her düğümünde modülü hakkında F_{env} değerini bir ayar faktörü olarak kullanmak kabul görür bir tercih olmuştur. Bundan dolayı, tanımlı element analizinde gerilmeye dayalı modülü hesaplamak için kullanılan denklem şudur :

$$M_R = F_{env} * k_1 * p_a * (\theta \setminus p_a)^{k_2} * [(\tau_{oct} / p_a) + 1]^{k_3} \dots\dots\dots(3.36)$$

M_R = Ele alınan tanımlı element için gerilmeye dayalı esneklik modülü

F_{env} = Tanımlı elementin bir parçası olan tabaka / alttabaka için bileşik çevresel ayar faktörü

3.2.3.6. Üstyapı Sistemi Boyunca Sıcaklığın Belirlenmesi

Sıcaklık ve Nem gibi iklimsel faktörlerin malzeme davranışı ve üstyapı performansı üzerinde önemli bir rolü vardır. Ancak, nemin etkisi, sınırlandırılmış malzemelere nazaran granüler malzemeler üzerinde daha büyük ölçüdedir. Diğer taraftan, sıcaklık, hem sınırlandırılmış (asfalt ve çimento) hemde granüler tabakalarda önemli ölçüde etkindir.

Asfalt Betonu bir viskoelastik malzeme olduğu için, özellikleri sıcaklığa oldukça bağlıdır. Çok düşük sıcaklıklarda, sertliği PCC' ninkine çok yakın olur, bununla beraber çok yüksek sıcaklıklarda sertliği granüler malzemelere yakın olur.

Granüler malzemelerde, daha düşük sıcaklıklar don oluşumuna ve sonuç olarak modülde bir artışa sebep olur. Donma koşulları için, Taban zeminlerinin esneklik modülü ince taneli malzemeler için genellikle 1 milyon psi olarak ve iri taneli malzemeler için 2.5 milyon olarak varsayılır. Diğer taraftan, çözölmeye sebep olan daha yüksek sıcaklıklar nem içeriğinde bir artışa ve dolayısıyla modülü değerlerinde bir düşüşe sebep olur. Çözölme süreci sırasında, granüler malzemelerin esneklik modülü optimum değerin çok altına inebilir (M_{Ropt} çarpı 0.5' den 0.85' e bir değeri)

EICM' deki CMS ve CRREL modelleri pek çok sıcaklık hesaplamalarında başlıca sorumluluğu üzerlerine alırlar.

CMS Modeli

CMS modeli ilk olarak University of Illinois' de geliştirilmiştir. Bu, tek boyutlu, ileriye dönük tanımlı farklılık ısı transferi modeli üstyapı sisteminde don penetrasyonu ve sıcaklık dağılımını belirlemek içindir. Bu model, radyasyon, konveksiyon, iletim ve yansal ısıнын etkisini ele alır. Terleme, buğulanma, buharlaşma veya süblümleşmeyi ele almaz. Bu yan etkiler hesaplanmalarındaki belirsizlikler yüzünden ve ihmal edilmeleri üstyapı yüzeyindeki ısı dengesinde önemli bir hataya sebep olmadığından göz ardı edilir. Çökölmenin ve nem sızıntısının sebep olduğu ısı akışları da aynı zamanda ihmal edilir. Modelin girdileri arasında şunlar bulunur :

- Üstyapı malzemelerinin ısı kapasitesi.
- Üstyapı malzemelerinin termal iletkenliği.
- Üstyapı Yüzeyinin soğurganlığı ve emisyonu meylı.
- Hava sıcaklığı.
- Rüzgarın hızı.
- Gelen güneş radyasyonu.

Dikkate değeri bir nokta, üstyapı tabakaları için (AC yada PCC), EICM, kullanıcı girişli ısı kapasitesi ve termal iletkenliğin zamanla değışmediğini varsayar. Ancak, granüler tabakalar için (temel tabakası ve zeminler), nem ve don içerikleri zamanla değıştikçe ısı kapasitesi ve termal iletkenlik de değışir. Kullanıcı girişı kuru halde ısı kapasitesi ve kuru halde termal iletkenlik ile beraber EICM tarafından tahmini yapılan su ve buz

içeriği, dahili olarak ıslak ısı kapasitesi ve ıslak termal iletkenliği hesaplamak için kullanılır. Bu şekilde, EICM' nin ısı/sıcaklık hesaplamaları, EICM' nin nem tahminleriyle birleştirilir.

Zemin matrisinde tutulan suyun miktarı, ister buz ister sıvı şeklinde olsun, malzemenin termal özellikleri üzerinde etkili bir rol oynar.

CMS modeli tarafından gerçekleştirilen tek boyutlu tanımlı farklılık hesabının 2 sınırı vardır, üstyapı yüzeyi olan üst sınır ve sabit derin zemin sıcaklık düğümü olan alt sınır.

Üst sınırdaki hava sıcaklığı, rüzgar hızı, güneş radyasyonu miktarı ve üstyapı soğurganlığı ve emme kabiliyeti gibi parametreler üstyapının içine yada dışına doğru akan ısı miktarını belirler. Alt sınır sabit bir sıcaklık düğümüdür ki o düğümde sıcaklığı sabit tutmak için sonsuz miktarda ısı sağlama kabiliyetindedir. Üstyapı boyunca ısı akışını modelleyerek, bir çok derinlikteki sıcaklıklar kolayca hesaplanabilir.

Konveksiyon (Isı Yayın) İşlemi

Konveksiyon hava sıcaklığı yada üstyapı yüzeyi sıcaklığındaki farklılıklardan dolayı ısı enerjisinin taşınması sürecidir. Eğer üstyapı yüzeyi havadan daha soğuksa, ısı üst sınıra eklenir. Meydana gelen konveksiyon miktarı doğrudan bu sıcaklık farkına ve ölçülen rüzgar hızına bağlıdır. Daha yüksek rüzgar hızları, daha yüksek konveksiyon oranlarıyla doğrudan olarak ilintilidir.

Radyasyon İşlemi

Yüzeydeki ısı akışının ikinci metodu radyasyondur. Radyasyon ısı akışının başlıca kaynağı güneşten gelen kısa dalga güneş radyasyonudur. Üst yapı yüzeyine çarpan güneş radyasyonu miktarı aşağıdaki faktörlere bağlıdır :

- Güneşin gökyüzündeki konumu.
- Bulutma kapatmasının miktarı.

Modellemesi yapılan sahanın yüksekliği ve günün ve yılın zamanı gökyüzünde güneşin konumunu belirler. Bu hesaplamalar EICM tarafından dahili olarak yapılır ve yükseklik dışında kullanıcı girdisi gerektirmez. Bulut kapaması miktarı bir kullanıcı girdisidir ve iklimsel veritabanından elde edilebilir. Bu iki değişken üstyapının

yüzeyine çarpan güneş radyasyonu miktarını belirler. Üstyapı tarafından gerçekte absorbe edilen radyasyon miktarı kullanıcı girdisi kısa dalga soğurganlığı ile belirlenir.

Diğer tipteki radyasyon kaynaklı ısı akışı, uzun dalga radyasyondur. Uzun dalga radyasyon, kara gövde radyasyon teorisine göre üstyapı tarafından yayılan termal radyasyondur.

Kelvin derecelerindeki bir malzemenin mutlak sıcaklığına dayalı olarak, spesifik bir miktarda ısı enerjisi uzun dalga radyasyonu formunda yayılır. EICM üstyapılar hakkında yayılma için sabit bir değer varsayar..

CRREL Modeli

Tasarım Rehberinde kullanılan ikinci model CRREL modelidir. Bu, suyun donma sıcaklığının üzerinde yada altındaki sıcaklıklarda taban zemininde tek boyutlu birleşmiş bir ısı ve nem akışıdır. Buna ek olarak, bu model donma ve çözülme penetrasyonunun derinliğini de öngörür. Ayrıca, don oluşumuna bağlı düşey kabarmayı ve zemin çözüldüğünde düşey yerleşmeyi de tahmin eder. CRREL modeli, zemin sıcaklığı profilindeki değişiklikleri ve dolayısıyla donma penetrasyonu ve çözülme yerleşmesini hesaplamak için CMS modeli tarafından yerleştirildiği şekliyle asfalt tabakaları boyunca bulunan sıcaklık profillerini kullanır.

CMS Modeli İçin Sınır Durumları

Isı Akışı Sınır Durumu

Üstyapı Bünyesi boyuncaki sıcaklıklar, yüzeydeki atmosferik durumların baskısı altındadır. Hava sıcaklıklarını ölçmek kolay iken, hava sıcaklıkları ve üstyapı yüzeyi sıcaklıkları arasında doğrudan bir uygunluk yoktur. Üst yapı sıcaklığını tahmin etmek için CMS modelinde yüzeydeki enerji dengesi kullanılır ve şu şekilde açıklanır :

$$Q_i - Q_r + Q_a - Q_e \pm Q_c \pm Q_h \pm Q_g = 0 \dots\dots\dots(3.37)$$

Q_i = Gelen kısa dalga radyasyon.

Q_r = Yansıtılan kısa dalga radyasyon.

Q_a = Gelen uzun dalga radyasyon.

Q_e = Giden uzun dalga radyasyon.

Q_c = Konvektif ısı transferi.

Q_h = Terleme, buğulanma, buharlaşma ve yükselmenin etkileri.

Q_g = Toprak tarafından absorbe edilen enerji.

Yüzeydeki bütün dalga uzunluklarındaki radyasyon Q_n ' dir.

$$Q_n = Q_s - Q_l \dots\dots\dots(3.38)$$

Q_s = Net kısa dalga radyasyon

Q_l = Net uzun dalga radyasyonu

$$Q_s = Q_i - Q_r \dots\dots\dots(3.39)$$

$$Q_l = Q_a - Q_e \dots\dots\dots(3.40)$$

Q_s , Barker ve Haines tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir :

$$Q_s = a_s R^* [A + B S_c \sqrt{100}] \dots\dots\dots(3.41)$$

a_s = üstyapı yüzeyinin Yüzey kısa dalga soğurganlığı

R^* = Dış Atmosferde yatay yüzey üzerinde Uzay kaynaklı Radyasyon Olayı

Sahanın yüksekliğine ve güneşin solar yükselinimidir (sapması) (ekvatorun kuzey yada güneyine göre güneşin pozisyonu) ve sadece yılın zamanının bir fonksiyonudur.

A, B = Yaygın Serpinti ve atmosferden absorbe edilenleri temsil eden sabit sayılar

Midwest için A ve B değerleri sırasıyla 0.202 ve 0.539 olduğu gösterilmiştir

S_c = Bulut kapamasının etkisini hesaba katmak için günışığı yüzdeliği

Özet olarak, yukarıdaki hesaplamalar yüzey sıcaklığını belirler ve böylece alttaki malzemeler boyunca sıcaklığı kontrol eder. Donmanın derinliği, zeminin donma sıcaklıklarıyla hesaplanan sıcaklıkların karşılaştırılmasıyla saptanır. Donma derinliğinin yayılması 30 °F isotherm' in pozisyonu olarak tanımlanmıştır.

Rüzgarın Hızı

Rüzgarın hızları yukarıda açıklanan konvansiyon ısı transferi hesaplanmasında gereklidir. Günlük Konvansiyon ısı transferi katsayısı hesaplanması için gerekli günlük hızlar bitişik aylar arasında doğrusal enterpolasyon ile belirlenir.

Günüşığı

EICM için veri sağlamakta kullanılan birinci derecede hava durumu istasyonlarının hepsinde olası gün ışığı yüzdesi verisi kaydedilmez. Bu tür durumlarda en yakın istasyondaki günüşığı verisi, genellikle bilginin eksik olduğu yere transfer edilir. Algılanan odur ki, bu ayarlamalar üstyapı yüzeyindeki ısı dengesi hesaplamasını önemli ölçüde etkilememelidir.

Hava Sıcaklığı

Önceden sunulan açıklama gösteriyor ki, ısı dengesi denklemi hava tarafından yayılan uzun dalga radyasyon hesaplaması için ve yerden havaya transfer edilen konvektif ısı için hava sıcaklıklarına ihtiyaç vardır. Hava durumu istasyonlarında sadece maksimum ve minimum değerler kaydedildiği için her zaman basamağı için değerler EICM’deki hesaplamalar için gereklidir. Gözlemlemelere göre, 24 saatlik periyotta sıcaklık farklılaşmaları, güneş doğmasından hemen sonra minimum seviyesine ulaşan ve öğleden sonra en yüksek seviyesine gelen sinus dalgası ile uygun şekilde modellenebilir. Gün doğumu saatleri mevsimlere göre önemli farklılıklar gösterdiği için (özellikle de kuzey bölgelerde) program tarafından uygun bir ortalama hesaplanır.

Yağış Miktarı

Üstyapı bünyesindeki sızıntı ve çökme sonucunda oluşan ısı akışı, yüzey ısı akışı sınır durumlarını formüle ederken ele alınmamıştır. Bu koşullar altındaki çökmenin rolü, tam olarak açık değildir ve bunu enerji dengesine dahil etmek için metodların oluşturulmasına teşebbüs edilmemiştir.

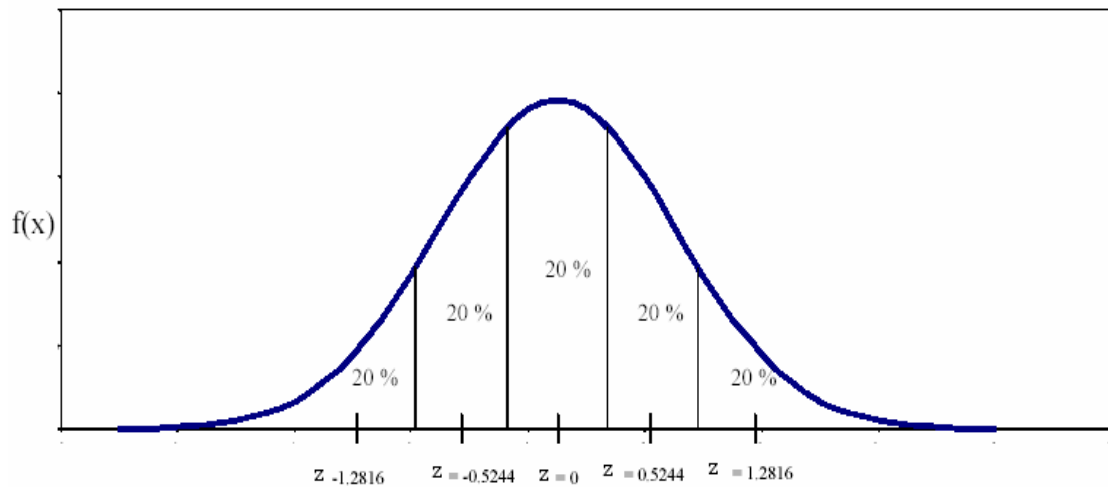
Isı Dağılımı Profili

Üst yapı yüzeyinde konveksiyona ve radyasyona bağlı ısı girişi/çıkışının miktarını belirledikten sonra, ısıнын bu miktarı üst sınırdaki ısı miktarına eklenir yada bundan çıkarılır. EICM üstyapı sistemi için yeni bir ısı profili hesaplayarak tek bir zaman basamağını tekrarlar. Bu güncellenmiş ısı profili bir sonraki basamakta konveksiyon ve radyasyon hesaplamaları için kullanılır.

Esnek Üstyapı Analizi için Sıcaklık Verisi

Tasarım Rehberinde bir ayın baz ünitesi artan hasar hesaplamasında kullanılır. Üstyapının donma ve çözülme döngülerine maruz kaldığı durumlarda, 1 aylık baz ünitesi 15 günlük (yarım ay) bir devreye değiştirilir ve böylece üst yapı malzemelerinin donma/çözülme periyodu sırasında meydana gelen hızlı değişimler daha iyi hesaba katılabilir. Eğer ortalama aylık (yada yarım aylık) sıcaklıklar analizde kullanılacaksa, aşırı sıcakların etkileri hasar hesaplamalarında yansıtılmayacaktır. Bu sorunun üstesinden gelmek için Tasarım Rehberinde bu yaklaşım adapte edilmiştir ve bir ay içinde aşırı sıcaklıkları da dahil etmek için (yada donma/çözülme için 15 gün içinde) bir yöntem aşağıda açıklanmıştır.

EICM, analiz periyodu boyunca 0.1 saatlik yada 6 dakikalık sıcaklığı verir. Bir ay için (yada 15 gün) olan bu sıcaklık, belirli bir orta değerli (μ) ve standart sapmalı (σ), $N(\mu, \sigma)$ normal dağılım ile temsil edilebilir. (Şekil 3.14' deki gibi)



Şekil 3.14 : Belirli Bir Analiz Periyodu İçin Sıcaklık Dağılımı

Tekerlek izi (sürtünme)/Eskime Sıcaklık Verisi

Sıcaklık, asfaltın sertliğini ve dolayısıyla asfalt betonu karışımının dinamik modülünü etkileyen önemli bir faktördür. Üstyapı bünyesi dahilinde asfalt betonu tabakalarının modülü bütün üstyapı tepkisini etkilediği için, sıcaklığı, bir zaman ve derinlik fonksiyonu olarak düzenli şekilde hesaba katmak önemlidir.

EICM modeli üstyapı sıcaklığının frekans dağılımını, zaman ve derinlik fonksiyonu olarak verir. EICM kullanarak elde edilen sıcaklık verisinin frekans dağılımının, normal olarak dağıldığı varsayılır, şekil 3.314’ de gösterildiği gibi. EICM’ den elde edilen dağılım diyagramı, spesifik bir derinlik ve zamandaki dağılımı temsil eder.

Belirli bir ay tekerlek izi ve eskimeye bağlı hasar için önemli olabilecek bazı aşırı sıcaklıklara sahip olabilir. Ortalama değeri kullanmak aşırı sıcaklıklardan kaynaklanan hasarı yakalayamaz. Aşırı sıcakları da hesaba katmak için, belirli bir aralık 5 farklı alt mevsime bölünür. Her alt mevsim için Alt tabaka sıcaklığı, üstyapı sıcaklığı için frekans dağılımının % 20 sini temsil eden bir sıcaklık olarak tanımlanır. Bu alt mevsim aynı zamanda, aylık trafiğin % 20’ lik kısmı gerçekleştiği durumları da temsil eder. Buna da, -1.2816, -0.5244, 0, 0.524 ve 1.2816’ lık standart normal sapmalara denk gelen üstyapı sıcaklıklarını hesaplayarak ulaşılır. Bu değerler, belirli bir ayda % 10, 30, 50, 70 ve 90’ lık birikmiş frekanslara denk gelir. Örnek olarak, rapor edilen ortalama aylık sıcaklık (μ) 50 °F ise ve standart sapması (σ) 15°F ise quintile (beşte bir parça olarak) sıcaklıklar Tablo 3.36’ da verilmiştir.

Tablo 3.36 : Quintile Sıcaklık Dağılımı

Alt Mevsim	z değeri	Sıcaklık °F = $\mu + z (\sigma)$
1	-1.2816	30.8
2	-0.5244	44.8
3	0	50.0
4	0.5244	55.2
5	1.2816	69.2

Yukarıda gösterilen her alt mevsim, karşılık gelen aralıktaki trafiğin % 20' sini hesaba katmaktadır. EICM her tanım aralığı ve her seçilen derinlik için (örneğin, tekerlek izi), eskime için, sıcaklık değerleri altyapı bünyesinin yüzeyinde ve bütün asfalt betonu sınırlı alt tabakaların orta derinliklerinde gereklidir) 5 quintile sıcaklık değerleri oluşturur. Asfalt betonu için ilk alt tabaka 12.7 mm. olduğu için, sıcaklıklar yüzeyden aşağıya 6.3 mm. lik bölgede verilir. Analiz için gerekmediğinden, diğer tabaka tipleri için sıcaklık bilgileri oluşturulmaz.

Yüzey sıcaklığı ve 6.3 mm. deki sıcaklık yüzeydeki (yukarıdan aşağı kırılma) eskimeyi tahmin etmek için kullanılır. Yüzeyde ve 12.7 mm. te gelişen yaşlanmaya bağlı şekil değiştirme, yukarıdan aşağıya yaşlanmayı tahmin etmek için bu derinlikteki termal şekil değiştirme ile üstüste getirilir.

Özet olarak, EICM yaşlanmaya bağlı kırılma ve kalıcı deformasyon modellerinde kullanmak için sıcaklık dağılım profilinin beşte birlik her parçası hakkında sıcaklık değerlerini verir. Bunlar zaman ve derinlik fonksiyonu olarak sunulur. Sıcaklık dağılımlarının hesaplanması gereken derin bölgelerde asfalt betonu alt tabakalarının kalınlığı olarak tanımlanır.

Termal Çatlak Sıcaklık Verisi

Termal çatlak analizi, saat bazında sıcaklık verisi gerektirir. Sıcaklık değerleri yüzeyde, 12.7 mm ve asfalt betonu tabakası içinde her 25.4 mm. de gereklidir. Bu, asfalt betonu tabakası içindeki sıcaklık - derinlik ilişkisini tanımlar. Termal çatlak modülü için, en son derinlik sıcaklığı her 50 mm. derinlik için olmalıdır. Eğer asfalt betonu tabakasının kalınlığı 175 mm. ise, 200 mm. derinliğe kadar saat bazındaki sıcaklıklara ihtiyaç vardır. 175 mm. lik bir asfalt betonu tabakası için, 200 mm. derinlikteki sıcaklık, onun altındaki tabakaya karşılık gelir. Bu sıcaklık, alttaki tabakanın malzeme tipine göre değişir. Çatlağı tahmin etmek için termal çatlama modülü hakkında sıcaklık - derinlik profili geliştirmenin yanı sıra, yüzeydeki ve 12.7 mm. deki sıcaklıklar, gerilmeye bağlı şekil değiştirmeleri tahmin etmek için kullanılır. Bu iki derinlikteki gerilmeye bağlı şekil değiştirmeler, yukarıdan aşağı çatlağı tahmin etmek için trafik nedeniyle oluşan şekil değiştirmeler ile birleşir. Termal çatlak modülü sadece gerilmeye (sünmeye) bağlı

şekil değiştirmelerini rapor eder ve basınca bağlı şekil değişikliği için sıfır değeri rapor olarak geçer.

Özet olarak, EICM, Esnek üstyapı termal çatlak öngörüsünde kullanılmak için sıcaklık-derinlik ilişkisini tanımlayan bir sıcaklık dosyası oluşturacaktır. Bu dosya, bütün analiz periyodu için saat bazında sıcaklık değerlerini içerir. Sıcaklıklar, yüzeydeki ve 12.7 mm. derinlikteki yukardan aşağıya çatlak hakkında gerilmeye bağlı şekil değiştirmeleri ile beraber çatlağı öngörmek için termal çatlama modeli tarafından kullanılır.

3.2.4. Trafik

Trafik verisi, üst yapıların yapısal tasarımı / analizi için gerekli en önemli anahtar veri elementlerinden biridir. Bu veri özellikle tasarım ömrü boyunca üst yapıya uygulanacak yükleri ve bunların ne kadar sıklıkta uygulanacağının tahmini için gereklidir. Tasarım Rehberi Yöntemi için gereken trafik verisi, üst yapı tipi (esnek yada rijit) ve tasarım tipine (yeni yada takviye tabakası uygulanacak) göre değişiklik göstermez. Tasarım için gerekli tipik trafik verileri aşağıdakiler gibidir:

- Yıl bazında ağır taşıt trafiği yoğunluğu (tasarım hesapları için yıl baz alınır)
- Ağır taşıtın ticari hızı.
- Ağır taşıt - trafik istikameti ve şerit dağılımı faktörleri
- Ağır taşıt sınıf dağılımı.
- Aks yükü (dingil yükü) dağılımı faktörleri.
- Aks ve tekerlek bazı ayarları.
- Lastik nitelikleri ve hava basıncı.
- Ağır taşıt yanal dağılım faktörü
- Ağır taşıt büyüklüğü faktörleri.

Kuruluşlar tipik olarak, Hareket halindeki ağırlık ölçümü (WIM), otomatik araç sınıflandırması (AVC) ve taşıt sayımı, üç çeşit trafik verisi toplarlar. Bu veriler trafik tahmini ve seyahat modelleri kullanılarak hesaplanan trafik tahminleriyle çoğaltılabilir. Hareket halindeki ağırlık ölçüm (WIM) verileri genelde FHWA W - 4 Ağır taşıt Ağırlık Tabloları formatına benzer olarak raporlanır. Örneğin, veriler, yükleme grubu serileri içinde gözlemlenen aks sayılarının bir tabloya yerleştirilmesiyle sunulur. Her yükleme

grubunda önceden belirlenmiş bir yük aralığı vardır. [1,000 - 2,000 - and 3,000 – lb]. Otomatik Araç sınıflandırması (AVC) verileri, belirli bir zaman aralığında *araç tipine göre* araçların sayısını gösteren bir rapor şeklinde sunulur. Bununla birlikte, araç sayımı sadece belirli bir dönemde araçların sayısını gösteren daha basit bir rapor şeklinde sunulur. Bu bölümde, Tasarım Rehberini kullanan yeni veya takviye tabakası uygulanacak üst yapı tasarımları için gerekli trafik verileri açıklanmıştır (*tekli, ikili,üçlü ve dörtlü* akslar için aks yükleme tayfı ve üst yapının tasarım ömründe üzerinden geçen ağır taşıtların hacmi cinsinden ağır taşıt hacimleri ve yüklemeleri gibi veriler). Bunlar aynı zamanda sahaya özgü yada bölgesel/ülke geneli trafik verileri bulunmadığı zaman, trafik karakteristiklerinde kullanılabilecek varsayılan trafik verilerini üst yapı tasarımcıları için sağlar.

AASHTO Üst Yapı Tasarımı için Rehber'in önceki versiyonunda trafik karakteristiklerini belirlemek için kullanılan Eşdeğer Dingil Yüğü (ESAL) yaklaşımı bu rehberde sunulan analiz için gerekli değildir. Tasarım Rehberi programı, ağır taşıt trafiği yüklemelerinin büyüklüğünü gösteren genel bir ölçü olarak, tasarım şeridinde ağır taşıtların toplam sayısını aylık bazda çıkarır (FHWA 4 sınıf ve üzeri). Tasarım şeridindeki ağır taşıtların toplam sayısı, taşıt trafiğinin seviyesinin genel bir göstergesi olarak kabul edilir. Örneğin, bir (üst yapı), tasarım ömrü boyunca 1 milyon ağır taşıt yada 100 milyon ağır taşıt taşıyan üstyapı olarak tanımlanır.

3.2.4.1. Hiyerarşik Yaklaşım

Her aks tipi için Tam aks-yükleme spektrumu (tayfı) verileri, hem yeni hemde takviye tabakası uygulamada tasarım yöntemleri için tasarım rehberinde gereklidir. Ancak, bazı kurumların tasarım hakkında gelecekteki trafik durumunu doğru olarak nitelendirmek için zaman içinde gerekli detaylı trafik verisini toplama konusunda yeterli kaynakları olamayabileceği de görülmektedir. Eldeki trafik verilerinin detay seviyesinden bağımsız olarak Rehberin kullanımını kolaylaştırmak adına, yeni ve takviye tabakası uygulanacak kaplama tasarımı için gerekli trafik girdilerini geliştirmek üzere hiyerarşik bir yaklaşım ortaya konmuştur. Tasarım Rehberi, kullanılabilir trafik verilerinin miktarı bazında (Seviye 1' den 3' e kadar) üç büyük trafik veri girişi seviyesi tanımlar. Bu üç seviye, tasarlanan yol için ağır taşıt trafiğinin, kaplama tasarımcısı tarafından ne kadar

iyi ve gerçeğe yakın şekilde tahmin edebileceğini gösterir. Bu üç seviye basitçe aşağıdaki şekilde tanımlanabilir :

- Seviye 1 – Geçmiş ve Gelecek Trafik tanımlamaları hakkında çok iyi bilgi var.
- Seviye 2 – Geçmiş ve Gelecek Trafik tanımlamaları hakkında orta derecede bilgi var.
- Seviye 3 – Geçmiş ve Gelecek Trafik tanımlamaları hakkında çok az bilgi var.

Seviye 1 Girdiler - Çok iyi Seviyede Trafik Nitelikleri Bilgisi

Seviye 1, sahaya has trafik yoğunluğu ve yük verilerinin toplanmasını ve analizinin yapılmasını gerektirir. Sahanın içinde yada yakınında ölçülen trafik verileri; yoldan geçen ağır taşıtların sayılması ve sınıflandırılmasıyla şeritte bulunan çökme ve bozulmalar ile bunların yönünü ve bununla birlikte yapımdan sonraki ilk yılda ağır taşıt trafiğini belirlemek için her ağır taşıt sınıfının aks yüklemelerinin ölçümünü içermelidir. Seviye 1 en doğru ve güvenilir olarak algılanır. Çünkü proje sahasının yanında yada üstünde ölçülen gerçek aks ağırlıkları ve ağır taşıt trafiği yoğunlukları dağılımı bilgilerini kullanır.

Seviye 2 Girdiler - Orta Seviyede Trafik Nitelikleri Bilgisi

Seviye 2, tasarımcının sahada doğru olarak ağır taşıt hacmini ölçmesi için yeterince ağır taşıt hacmi bilgisi toplamasını gerektirir. Bu işlem hafta içi/haftasonu hacim değişikliklerini ve ağır taşıtların yüklerindeki önemli mevsimlik değişimlerini gözlemlemeyi de içerir (Örneğin, mevsimlik tarımsal hasat dönemlerinden etkilenen alanlar). Araç ağırlıkları, her eyalet tarafından tutulan (FHWA' nın Trafik İzleme Rehberi, 2001) ağır taşıt ağırlığı yol grupları bölgesel ağırlık fezlekelerinden alınır ve ağır yükler (yükli ağır taşıtlar) ile hafif yüklere (yüksüz ağır taşıtlar) göre güzergahlardaki farklılıkları belirlemede kullanılır. Her ağır taşıt hakkında bölgesel aks yükleme dağılımının analizi trafik modülünün dışında tamamlanır.

Seviye 3 Girdiler – Düşük Seviyede Trafik Nitelikleri Bilgisi

Seviye 3, tasarımcının söz konusu yol hakkındaki ağır taşıt hacmi bilgisinin çok az olduğu durumlarda kullanılır. (Örneğin, bütün elde olan veriler sadece Yıl Bazında Ortalam Günlük Trafik [YOGT] ve bir ağır taşıt yüzdesi olduğunda). Bu seviye, YOGT

ve ağır taşıt yüzdesinden yada bu ağır taşıtların taşıdığı yüklerin boyutu ile ilgili sahaya özgü olmayan bilgi ile sayılan basit ağır taşıt hacminden başlar. Bu yük bilgilerinin eksikliği; bölgesel yada ulusal yük dağılımı ortalamalarının (yada bunun benzeri varsayılan yük dağılımı tablolarının) kullanılması gerektiği anlamına gelir. Aynı zamanda Yerel gözlemlere dayanan trafik girdi tahminleri de 3. Seviyeden sayılır.

Üst yapı tasarımcıları yeni yollar hakkında sahaya özgü geçmiş trafik verilerine ulaşamayabilirler. Bu durumda trafik verileri, detaylı trafik tahminleri ve seyahat modelleri kullanılarak trafik girdileri tahmin edilebilir ve bu Seviye 1 girdisi olarak algılanır. Önemli olan; ağır taşıt yükleme kalıpları, trafik tahmini ve seyahat modellerinden elde ediliyor olsada tasarımcının ağır taşıt trafik yükleri ve hacimleri hakkında yeterli ve iyi düzeyde bilgiye sahip olmasıdır. Trafik tahmini ve seyahat modelleri Seviye 2 ve seviye 3 girdi verileri oluşturmalarında da kullanılabilir. Trafik tahmini ve seyahat modelleri uygulamaları, Tasarım Rehberi için trafik modulünün alanı ve amacının dışında kalır. Bu tip çalışmaların Tasarım Rehberi yazılımı trafik modulünün dışında tamamlanması gerekir.

Hakkında geçmiş ve geleceğe bakan çok iyi düzeyde ağır taşıt hacmi ve ağırlığı bilgileri olan yollar için trafik yükleme tahminlerinde yüksek seviyede güvenilirlik beklenir ve bununla birlikte çok daha güvenilir üst yapı tasarımlarından bahsedilebilir. Trafik yüklerinin (ağır taşıt hacimleri ve ağırlıkları) daha az bilindiği durumlarda, trafik-yükleme tahminleri de daha az güvenilir olur ve sonuç olarak üst yapı tasarımları da daha az güvenilir olur. Seviye 1 ve Seviye 2 trafik girdilerinin kullanımı, yüksek yoğunluklara sahip ve yük/yolcu taşımacılığı için önemli güzergahların tasarımında tercih edilir. Buna karşın, yazılımda girdi olarak sağlanan trafik verisinin seviyesinden bağımsız olarak, tasarım yada analiz periyodu üzerinden trafik modülü yazılımı, her aks tipi ve yükleme grubu için aks uygulamalarının toplam sayısını belirler. Her aks tipi ve yük artışı için uygulama sayısı; üst yapı analizi ve üst yapının tepkilerinin hesaplanması, hasar hesapları ve sonuç olarak yeni ve takviye tabakası uygulanacak üstyapılar için yükle ilgili çıkabilecek sorunların önceden bilinebilmesi için kullanılır.

3.2.4.2. Trafik Yüğü / Hacmi Veri Kaynakları

WIM Verisi

WIM verisi, belirli bir zaman aralığında, ağırlığı ölçülen her araç için araç tipi ve aksların sayısı, aralığı ve ağırlığı bilgilerinin tablo haline getirilmesiyle ortaya çıkar. WIM verisi her ağır taşıt sınıfına dahil her aks tipi için aralığı veya normalleştirilen aks yükü dağılımını belirlemek için kullanılır. Normalleştirilen aks yükü dağılımlarını belirlemek için yapılan WIM verisi analizi Tasarım Yazılımının dışında tamamlanır. Seviye 1' den 3' e kadar yapıldığı gibi, WIM verisinin sınıflandırılması, verinin toplandığı belirli bir konum baz alınarak yapılır (Örneğin, sahaya has, bölgesel / ülke geneli yada ulusal).

Tablo 3.37 : 3 Seviye İçin Gerekli Girdi Verileri

Veri Kaynakları		Girdi Seviyesi		
		1	2	3
Trafik / Hacim Verisi	WIM Verisi-sahaya / bölüme has	X		
	WIM Verisi-bölgesel varsayılan Özetler		X	
	WIM Verisi-ulusal varsayılan özetler			X
	AVC Verisi-sahaya/bölüme has	X		
	AVC Verisi-bölgesel varsayılan Özetler		X	
	AVC Verisi-ulusal varsayılan özetler			X
	Araç Sayısı – sahaya / bölüme has		X	X
	Trafik tahminleri ve seyahat modelleri	X	X	X

Tablo 3.38 : Üç Hiyerarşik Girdi Seviyesi İçin Gerekli Trafik Verisi

Veri Elementleri/Değişkenleri		Girdi Seviyesi		
		1	2	3
Ağır taşıt Trafığı ve Lastik Faktörleri	Ağır taşıt Doğrultusu dağılım faktörü	Sahaya Has WIM yada AVC	Bölgesel WIM yada AVC	Ulusal WIM yada AVC
	Ağır taşıt Şeridi Dağılım Faktörü	Sahaya Has WIM yada AVC	Bölgesel WIM yada AVC	Ulusal WIM yada AVC
	Her ağır taşıt sınıfına aks tipine göre aks sayısı	Sahaya Has WIM yada AVC	Bölgesel WIM yada AVC	Ulusal WIM yada AVC
	Aks ve lastik boşluğu	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		
	Lastik basıncı yada sıcak hava basıncı	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		
	Ağır taşıt trafiği büyüme fonksiyonu	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		
	Aracın eylemsel Hızı	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		
	Ağır taşıtın yansal Dağılım Faktörü	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		
	Ağır taşıtın aylara göre dağılım Faktörü	Sahaya Has WIM yada AVC	Bölgesel WIM yada AVC	Ulusal WIM yada AVC
	Ağır taşıtın saatlere göre dağılım Faktörü	Sahaya Has WIM yada AVC	Bölgesel WIM yada AVC	Ulusal WIM yada AVC
Ağır taşıt Trafığı Dağılımı ve Hacim Değişkenleri	Baz alınan yıl için YOGT yada YOGAT	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		
	Baz alınan yıl için ağır taşıt sınıfına göre ağır taşıt dağılımı/aralığı	Sahaya Has WIM yada AVC	Bölgesel WIM yada AVC	Ulusal WIM yada AVC
	Ağır taşıt sınıfı ve aks tipine göre Aks yükü dağılımı/ aralığı	Sahaya Has WIM yada AVC	Bölgesel WIM yada AVC	Ulusal WIM yada AVC
	Üst Yapı tasarımı için Ağır taşıt Trafığı sınıflandırması grubu	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		
	Ağır taşıtların Yüzdesi	Hiyerarşik seviyeler bu girdi için geçerli değil.		

AVC Verisi

AVC verisi belirli bir zaman aralığında sayılan araçların tipi ve sayısı gibi bilgileri içeren tablo haline getirilmiş bir veri formudur. (FHWA sınıfı 4' den 13' e kadar) AVC Verisi normalleştirilmiş ağır taşıt sınıfı dağılımını belirlemek için kullanılır. Normalleştirilmiş Ağır taşıt sınıfı dağılımını belirlemek için yapılan AVC veri analizi, Tasarım Yazılımının dışında tamamlanır. Seviye 1' den 3' e kadar olduğu gibi AVC verisinin sınıflandırılması, verinin toplandığı yere göre yapılır.

Araç Sayımı

Araç sayımı basitçe, belirli bir zaman aralığı içinde; yolcu araçları, (FHWA sınıfı 1' den 3' e), otobüsler (FHWA sınıfı 4), ve ağır taşıtlar (FHWA Sınıfı 5' den 13' e) olarak katagorize edilen araçların toplamını bulmak için saymaktan ibarettir. Araç sayımları devamlı, mevsimsel yada kısa dönemli olarak yapılabilir. Sayımlar bir yılda 365 gün yapılır ve trafik özelliklerini belirlemede kullanılan araç sayımı verilerinin en tutarlı ve doğru olanıdır.

Mevsimsel sayımlar genelde yılda 2 ila 12 defa arasında, 24 saat ile 2 haftalık zaman aralığı içinde gerçekleştirilir. Bunun yanında kısa dönemli sayımların yapılması 6 saat ile 7 gün arasında değişiklik gösterir. Detaylı ağır taşıt trafik verilerine ulaşılmadığı durumlarda Seviye 2 ve 3 tipindeki verileri elde etmek için araç sayımları yapılması gerekir. Seviye 2 ve 3 şeklinde araçların sınıflandırılması verinin toplandığı bölgeye göre olur. (Ör : sahaya has, bölgesel/ülke geneli yada ulusal)

Trafik Tahmini ve Seyahat Modelleri

Seviye 1 yada Seviye 2 trafik girdileri, sahaya has yada bölgesel/ülke geneli verilerle uyumlu hale getirilmiş detaylı trafik tahmini ve seyahat modelleri kullanılarak değerlendirilip saptanabilir. Trafik tahmini ve seyahat modelleri özellikle şehir içlerinde daha kullanışlı olup, güzergah araştırmaları, O-D çalışmaları, gibi kaynaklardan alınan bilgilere dayanır. Ulusal trafik tahmini ve seyahat modellerinin kullanılması tavsiye edilmez. Trafik tahmini ve seyahat modellerinin uygulamaları Tasarım Rehberinin konu ve ilgi alanında değildir.

3.2.4.3. Varsayımlar

Tasarım Rehberi Yazılımında, Trafik Özellikleri Belirleme konusunda iki ana varsayım kullanılır:

1. Her ağır taşıt sınıfı için, aks tipine göre normalleştirilmiş aks yükü dağılımları; aksdaki yada bütün ağır taşıtdaki maksimum yüklerin üzerinde yapılabilecek politik veya ekonomik değişimler dışında yıldan yıla farklılık göstermez ve sabit kalır.
2. Belirli bir mevsimde; aks tipine ve ağır taşıt sınıfına göre normalleştirilmiş aks yükü dağılımı ve normalleştirilmiş ağır taşıt hacmi dağılımı gün içinde yada hafta içinde (hafta içi - haftasonu ve gece – gündüz) değişiklik göstermez.

3.2.4.4. Trafiğin Özelliklerini Belirlemede Gereken Girdiler

Üst yapının tasarımı için dört ana tipte trafik verisi gerekmektedir:

- Trafik Hacmi (baz alınan yıl bilgisi)
- Trafik Hacmi ayarlama faktörü
 - Aylık ayarlama
 - Araç sınıfı dağılımı
 - Saate göre ağır taşıt dağılımı
 - Trafik büyüme faktörleri
- Aks yükü dağılımı faktörleri
- Genel trafik girdileri
 - Aksların/ağır taşıtların sayısı
 - Aks düzeni
 - Akslar arası mesafe

Trafik Hacmi

Trafik girdileri için baz alınan yıl, tasarımdaki söz konusu yol bölümünün trafiğe açılmasından itibaren ilk yılı olarak tanımlanır. Aşağıdaki baz alınan yıl bilgileri gerekli görülür:

- Çift Yönlü yıllık ortalama günlük ağır taşıt trafiği (YOGAT)
- Tasarım istikametindeki şerit sayısı

- Tasarım istikametindeki ağır taşıtların yüzdesi
- Tasarım şeridindeki ağır taşıtların yüzdesi
- Ağır taşıt ticari hızı

Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafiği

Çift Yönlü YOGAT, 24 saatlik bir periyotta her iki istikamette tasarımı yapılacak yolun bir kesiminden yada bir geçiş noktasında geçen ağır taşıt trafiğinin (trafikteki ağır taşıtların [sınıf 4' ten 13' e kadar] toplam sayısı) toplam hacmidir. Bu bilgiler genel olarak belirli bir zaman aralığında (1 günden fazla tam günler ve 1 yıldan az bir sürede) WIM, AVC, araç sayımı ve trafik tahmini ve seyahat modellerinden elde edilen trafik sayımından sağlanır. YOGAT basitçe, belirli bir zaman aralığındaki ağır taşıt trafiğinin toplam sayısının o zaman aralığındaki gün sayısına bölünmesiyle elde edilir. Yıl bazında YOGAT aşağıdaki gibi tanımlanır:

- Seviye 1—Sahaya has WIM, AVC, araç sayımı yada saha ayarlı trafik tahmini ve seyahat modellerinden tahmin yürütülen YOGAT. Baz alınan yıl için, son üç yılın doğru verilerinin ortalamasının kullanılması tavsiye edilir.
- Seviye 2— Bölgesel / ülke geneli WIM, AVC yada araç sayımı verisi yada bölgesel ayarlı trafik tahmini ve seyahat modellerinden tahmin yürütülen YOGAT. Baz alınan yıldan önceki son üç yılın ortalamasının YOGAT baz yılı olarak kullanılması tavsiye edilir.
- Seviye 3— Daha çok trafik sayımlarından ve trafik akışında beklenen ağır taşıt yüzdesinin bir tahmininden elde edilen YOGT' den çıkarılan YOGAT. YOGT ve ağır taşıtların yüzdesi (araç sınıfı 4 – 13) veri ile son üç yılın ortalaması olarak alınmalıdır.

Tasarım İstikametindeki Şerit Sayısı

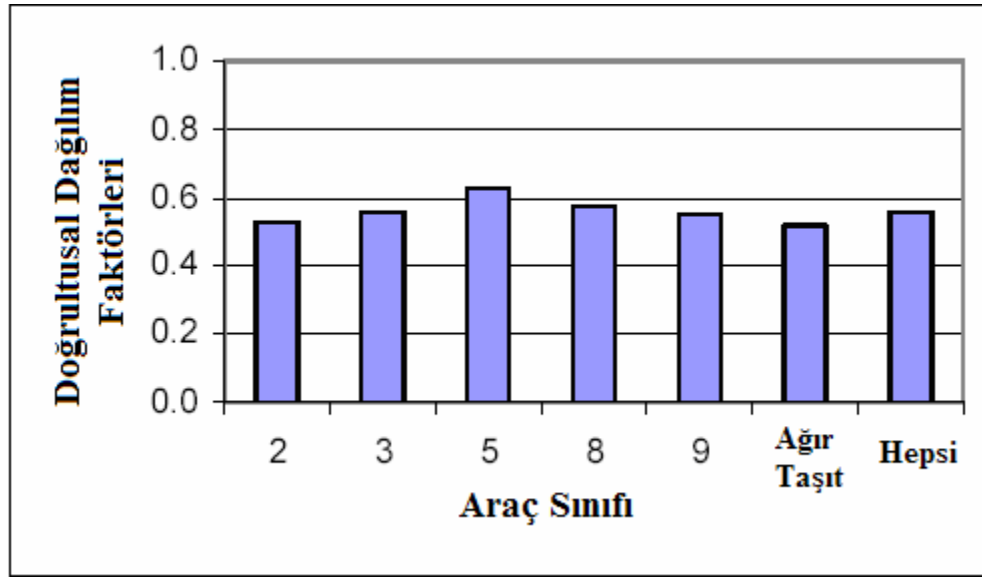
Tasarım istikametindeki şerit sayısı tasarımın koşullarından belirlenir ve bir istikametteki toplam şerit sayısını belirtir.

Tasarım İstikametindeki Ağır Taşıtların Yüzdesi

Tasarım istikametindeki Ağır Taşıtların yüzdesi veya doğrultusal dağılım faktörü (DDF), her iki istikamette genel ağır taşıt hacmindeki herhangi bir değişikliği ölçmek

için kullanılır. Her iki istikamette de YOGT ve YOGAT verildiğinde % 50 olarak kabul edilir ancak her zaman durum böyle olmaz. Aslında, yük taşınması için farklı rotaların kullanılması oldukça yaygındır ve diğer bölgesel / ülke geneli trafik kalıplarına olduğu kadar taşınan ticari malların çeşidine de bağlıdır. Tasarım istikametinde ağır taşıt yüzdeleri için girdi seviyeleri aşağıdaki gibi açıklanır:

Tasarım Rehberi yazılımı, LTPP veri tabanındaki trafik verileri kullanılarak hesaplanan bölgeler arası yol tipi için varsayılan değer olarak (Seviye 3) % 55' i alır. Şekil 2.15, seçilen araç sınıfları için (2, 3, 5, 8 ve 9), toplam ağır taşıt trafiği ve bütün araçları (LTPP verisinden elde edilir) gösterir.



Şekil 3.15 : Farklı Araç Sınıfları İçin Doğrultusal Dağılım Faktörleri

Sınıf 5 tipi araçların haricinde, gözlemlenen doğrultusal dağılım faktörü 0.5 - 0.6 aralığında bulunur. LTPP trafik veri tabanındaki veriler kullanılarak hesaplanan bu değerler aşağıda listelenmiştir.

- Araç sınıfı 4, Otobüsler - 0.50, yerel ve belediyeye ait otobüs güzergahı hariç. Yerel güzergah için otobüsler için DDF 0.8 ile 1.0 arasında değişir.
- Araç sınıfları 5 - 7, Tek Üniteli Ağır taşıtlar – 0.62. Bu tür ağır taşıtlar genel olarak en büyük doğrultusal dağılım faktörüne sahiptir.
- Araç sınıfları 8 – 10, Traktör- Römorklu Ağır taşıtlar – 0.55.
- Araç sınıfları 11 – 13, Çok Römorklu Ağır taşıtlar– 0.50.

DDF için varsayılan yada Seviye 3 değerler, yolu kullanan başlıca ağır taşıt tipini temsil edebilmelidir. Eğer sahaya has yada bölgesel/ülke geneli ağır taşıt trafiği verileri ulaşılmaz durumdaysa en çok kullanılan ağır taşıt tipi için ağır taşıt DDF' si (Ör : araç sınıfı 9), bütün ağır taşıt trafiği için bir varsayılan değer olarak kullanılması tavsiye edilir.

Tasarım Şeridindeki Ağır taşıtların Yüzdesi

Tasarım Şeridindeki Ağır taşıtların Yüzdesi, yada ağır taşıt şeridi dağılım faktörü (LDF) bir istikametteki şeritler arasındaki ağır taşıt trafiğinin dağılımının ölçülmesi ve açıklanması içindir. İki şeritli ve çift yönlü yollar için (bir istikamette bir şerit), bu faktör 1.0 dır. Çünkü bir istikametteki bütün ağır taşıt trafiği aynı şeridi kullanmak zorundadır. Bir istikametteki birden fazla şeritler için, bu değer, YOGAT ve diğer geometrik bilgilere ve sahaya has durumlara bağlıdır. LDF için girdi seviyesi aşağıdaki gibi açıklanır :

LTPP veri tabanından veri kullanan 2 ve 3 şeritli/yönlü yollar için araç sınıfları 2, 3, 5, 8, 9, bütün ağır taşıtlar ve bütün araçlar hakkında hesaplanan ortalama şerit dağılımı faktörleri Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Genel olarak, 2 şeritli/yönlü yollar hakkında ağır taşıt sınıfı 9 için LDF 0.89 ve bütün ağır taşıtlar için 0.78' dir. 3 şeritli/yönlü yollar hakkında ağır taşıt sınıfı 9 için LDF 0.59 ve bütün ağır taşıtlar için 0.43' tür. En çok kullanılan ağır taşıt tipi için LDF bazlı kullanım hakkında tavsiye edilen varsayılan değerler (Seviye 3) aşağıdaki gibidir:

- Bir istikametteki tek şeritli yollar, LDF = 1.00.
- Bir istikametteki iki şeritli yollar, LDF = 0.90.
- Bir istikametteki üç şeritli yollar, LDF = 0.60.
- Bir istikametteki dört şeritli yollar, LDF = 0.45.

Taşıt Ticari Hızı

Ağır taşıtlarda ticari hız yada ortalama sayahat hızı genel olarak yol tipine (eyaletlerarası yada başka türde) arazi, trafikteki ağır taşıtların yüzdesi v.b. gibi bir çok faktöre dayanır. Tasarım Rehberi yazılımı varsayılan eylemsel değer olarak 50 km/sa kullanılır. Ancak bu hız, yerel/sahaya has durumlara göre değiştirilebilir.

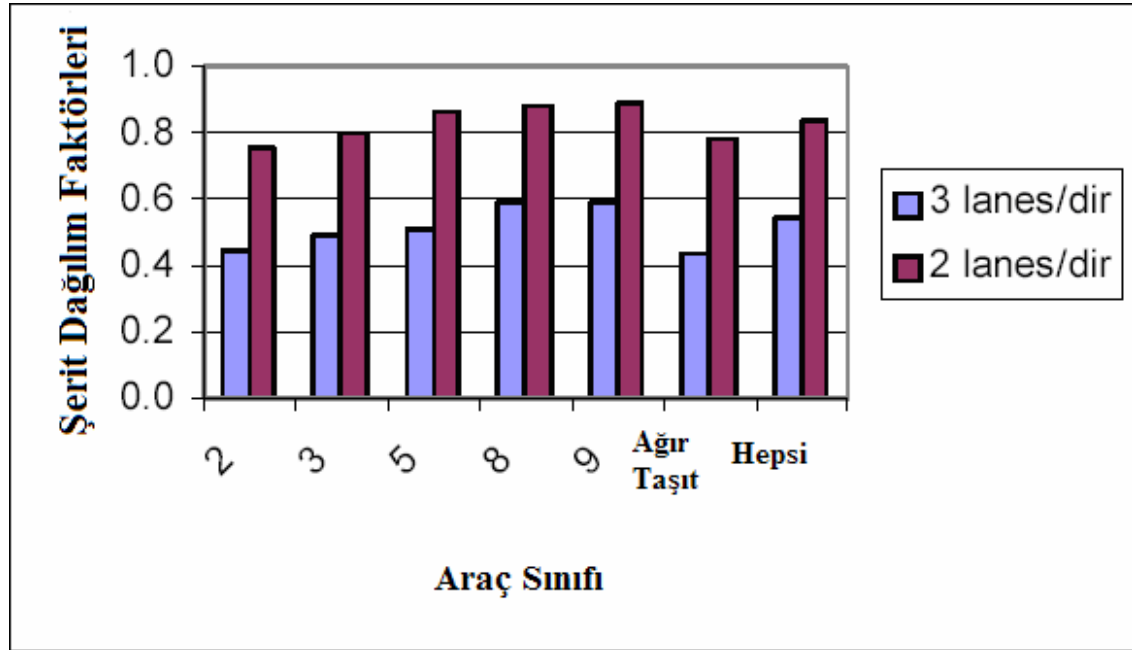
Trafik Hacmi Ayarlamaları

Aşağıdaki ağır taşıt - trafik hacmi ayar faktörleri trafik özelliklerinin belirlenmesi için gereklidir ve her biri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır :

- Aylık ayar faktörleri.
- Araç sınıfı dağılım faktörleri.
- Saate göre ağır taşıt dağılım faktörleri.
- Trafik büyüme faktörleri.

Aylık Ayar Faktörleri

Ağır taşıt trafiğinin aylık ayar faktörleri basitçe, belirli bir ayda belirli bir ağır taşıt sınıfı hakkında gerçekleşen yıllık ağır taşıt trafiğinin oranını temsil eder. Bir başka deyişle, belirli bir ay hakkında aylık dağılım faktörü, ay için belirli bir sınıftaki aylık ağır taşıt trafiğinin bütün bir yıl için aynı sınıfa dahil ağır taşıtlar hakkındaki toplam ağır taşıt trafiğine bölümüne eşittir.

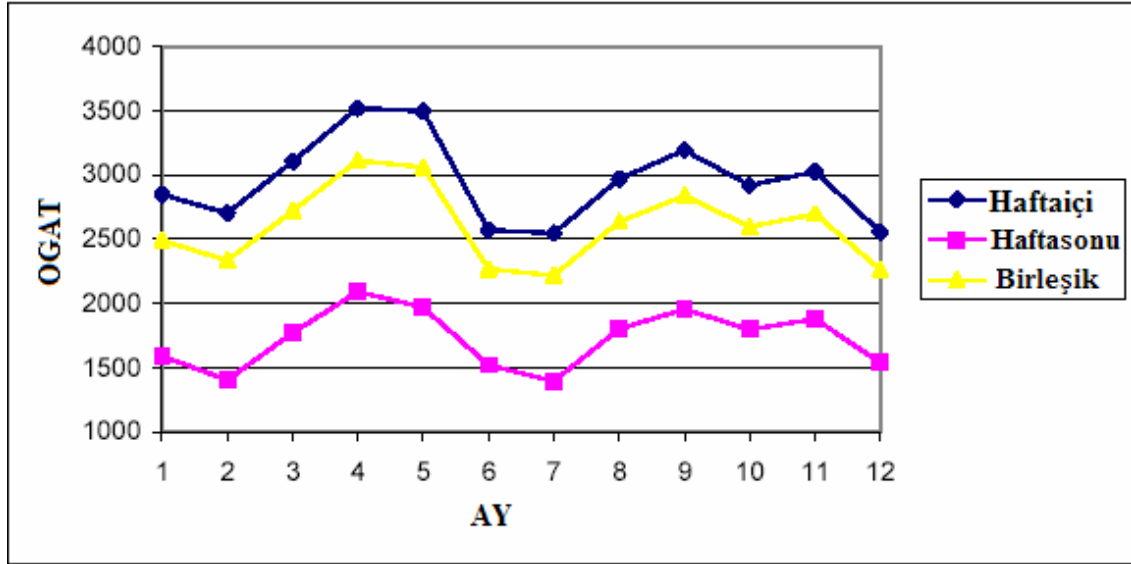


Şekil 3.16 : Dört yada Altı Şeritli Yollar İçin Şerit Dağılım Faktörleri

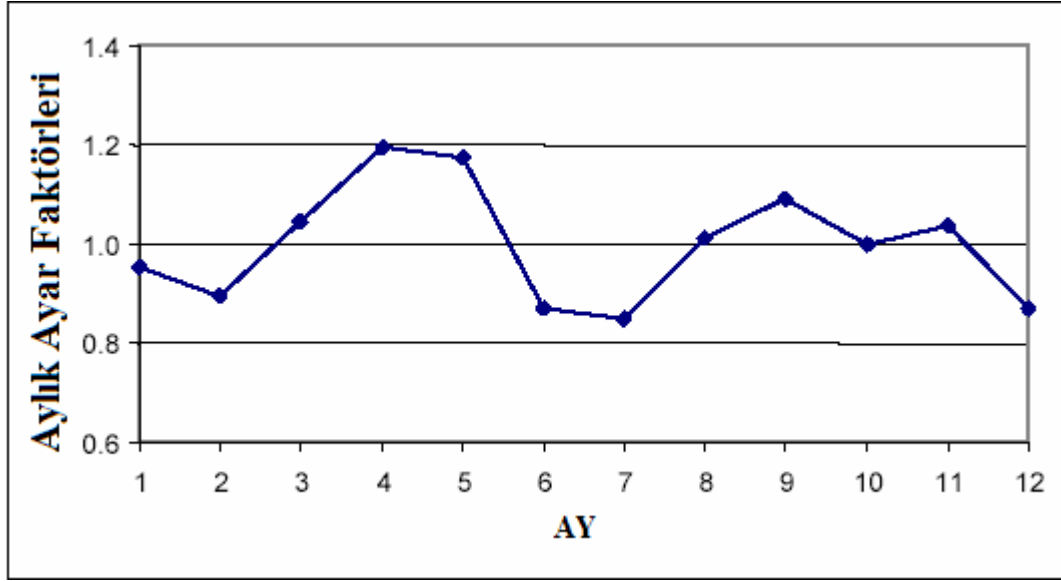
Ancak, bu Tasarım Rehberi için, ağır taşıt trafiğinin aylık dağılımı, bütün tasarım periyodu için sabit kabul edilmektedir.

Dikkat edilmesi gereken bir başka durum ise, her ne kadar Şekil 3.17, hafta içi ve hafta sonu trafiği hakkında mutlak YOGAT değerlerinde bir değişim gösterse de, Tasarım Rehberi belirli bir ay yada yıl içinde bütün günler için değişmeyen bir trafik dağılımı varsayar. Trafik verisi toplama planı hafta içi ve hafta sonu ağır taşıt trafiği arasındaki potansiyel farkı ve YOGAT baz yılını belirlemedeki farklılığı göz önünde bulundurmaları gerekir (Şekil 3.18).

Görüldüğü gibi, ağır taşıt trafiği hacimlerindeki aylık dalgalanmalar sahaya has olabileceği gibi yerel ekonomiye ve iklim durumlarına da oldukça bağlıdır. Girdi seviyeleri aşağıdaki gibi belirtilir :



Şekil 3.17 : Hafta İçi, Hafta Sonu ve Ağırlıklı Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafiği



Şekil 3.18 : Şekil 3.17’ de Gösterilen OGAT Verisinden Ağır Taşıt Aylık Ayar Faktörleri (AAF)

Verilerin kaynağından bağımsız olarak (WIM, AVC, araç sayımı, v.b.) her kurum değişik tipteki kara yolları için bu aylık ayar faktörlerini şu şekilde çıkartabilir:

1. Sağlanan trafik verisi hakkında (24 saat boyunca devamlı bilgi toplama), her 24 saat için ağır taşıtların toplam sayısını belirlenir. Eğer veri, 24 saatlik bir sürenin tamamında toplanmış değilse, 24 saatlik bir periyodu temsil edebilecek şekilde ayarlanmalıdır.
2. Bir yıl süresince farklı aylar için toplanmış tipik günlük veriler kullanarak, yıl içindeki her ay hakkında günlük ağır taşıt trafiği ortalamasını belirlenir.
3. Bütün yıl içindeki bütün aylar hakkında ağır taşıt trafiğinin günlük ortalamaları toplanır.
4. Aylık ayar faktörlerini hesaplanır (Her ay için günlük ortalama ağır taşıt trafiği değerini bütün yılda her ay için ortalama günlük ağır taşıt trafiği toplamına bölünür ve 12 ile çarpılır) .

Bütün aylar için AAF toplamı 12’ ye eşit olmalıdır.

Üst yapı tasarımları AAF’ ye duyarlı olabilir. Eğer herhangi bir bilgi yoksa, tasarımcıların Tablo 3.39’ da gösterilene denk yada eşit bir dağılım almaları önerilir. (Ör : bütün araç sınıfları için bütün aylar hakkında 1.0.)

Tablo 3.39 : Trafik Özelliklerini Belirlemede AAF Varsayılan Değerleri

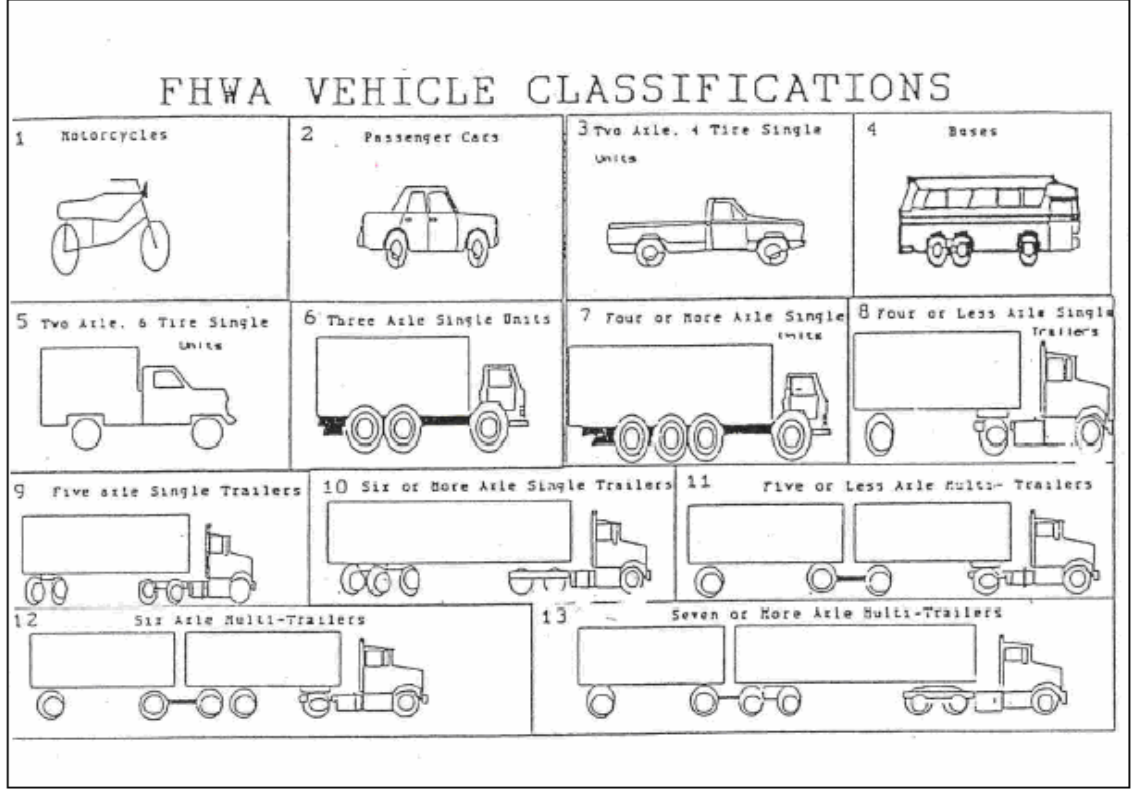
Ay	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 6	Sınıf 7	Sınıf 8	Sınıf 9	Sınıf 10	Sınıf 11	Sınıf 12	Sınıf 13
Ocak	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Şubat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mart	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nisan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mayıs	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Haziran	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temmuz	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ağustos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Eylül	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ekim	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kasım	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Aralık	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Dikkat edilirse yıl için ilgili araç / ağır taşıt sınıfı hakkında bütün faktörlerin toplamı 12' dir.

Araç Sınıfı Dağılımı

Araç sınıfı dağılımı AVC, WIM ve araç sayımı gibi araç sınıflandırması sayım programlarından elde edilen verilerde hesaplanır. Araç sınıflandırması sayımı programları kısa yada uzun süreli olabilir. Tipik olarak, araç sınıfı dağılımlarını hesaplamada kullanılan verilerin çoğu, WIM ve AVC sahalarından, şehir trafiği yönetimi merkezleri, geçiş yapıları ve ağır taşıt hacmi bilgileri toplayan diğer kurumlar gibi kısa dönemli sayımlardan gelir.

Başarılı bir veri toplama programı sınıflandırmasının anahtarı verinin kaynağı değil, onu düzenli olarak elde edilebilme, geçerliliğini doğrulama, kullanılabilir kalıplar halinde özetleme, tasarımcıların işine yarayacak şekilde raporlama ve süreci verimli biçimde yönetmektir. Şekil 3.19, özetleme için kullanılan standart araç sınıflarını ve FHWA ve LTPP için araç sınıflandırma verisini göstermektedir.



Şekil 3.19 : Trafik Verisi Toplamak İçin Kullanılan Araç Sınıfları Şekilleri

Normaleştirilmiş araç sınıfı dağılımı, baz alınan yıl için YOGAT'deki her ağır taşıt sınıfının (4' den 13' e kadar) yüzdeliğini temsil eder. Her ağır taşıt sınıfının YOGAT yüzdeliğinin toplamı 100' e eşit olmalıdır. Değişik seviyelerdeki girdiler aşağıdaki gibidir:

LTPP trafik verisi kullanılarak belirlenmiş varsayılan araç sınıfı dağılımı faktörleri (Seviye 3) Tasarım Rehberi yazılımının bir parçası olarak sağlanır. Varsayılan araç sınıfı dağılımı faktörleri; yol fonksiyonu sınıfına yada ilgili yolda beklenen trafik akışını açıklayan Ağır Taşıt Trafiği Sınıflandırması (ATTS) gruplarının en iyi kombinasyonuna göre seçilir.

Ana bağlantılar için varsayılan araç sınıfı dağılımı faktörlerine bir örnek (şehirlerarası ve savunma güzergahı) Tablo 3.40' da gösterilmiştir. Varsayılan değerler, bir fonksiyonel sınıf ve beklenen trafik akışını en iyi karakterize eden ATTS gruplarının (ör : 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11 ve 13) bir kombinasyonu seçilerek elde edilir. Değişik fonksiyonel sınıflar için trafik akışını en iyi açıklayan ATTS grubunun bir standart seti

Tablo 3.41’ de sunulmuştur. Her ATTS grubu, belirli ve benzersiz ağır taşıt trafiği özellikleri taşıyan trafik akışlarını temsil eder.

Seviye 1 ve Seviye 2 girdileri hakkında, analizde kullanılan verilerin yeterli olduğundan emin olmak için tasarımın başlamasından yıllar önce sahaya has yada bölgesel/ülke geneli trafik verilerinin toplanmasına başlanmasıdır. Bu işlem pratik olmadığı için bir kurum gerekli verilerin toplanmasında gerekli zamanı azaltmak için sahaya has yada bölgesel verilerin bir kombinasyonunu kullanmayı seçebilir.

Ağır taşıt Saat Başı Dağılım Faktörleri

Ağır taşıt Saat Başı Dağılım Faktörleri (SDF) günün her saati içindeki YOGAT’ nin yüzdeliğini temsil eder. Değişik seviyelerdeki girdiler aşağıdaki gibidir.

1’ den 3’ e kadar seviyede girdiler için, SDF, 24 saatlik bir zaman periyodu üzerinden devamlı ölçülen ağır taşıt trafiği verisi kullanılarak hesaplanabilir. İlerleyen her zaman diliminin günlük ağır taşıt trafiği yüzdeliğinin toplamı % 100’ e ulaşmalıdır. Tablo 3.42’de Tasarım Rehberi yazılımında sunulan varsayılan SDF’ nin özetini göstermektedir.

Tablo 3.40 : Ağır taşıt trafiği sınıflandırması grup açıklaması ve buna bağlı araç sınıfı dağılımı varsayılan değerleri (yüzdelikler)

TTC Grubu	TTC Açıklaması	Araç / Ağır taşıt Sınıfı Dağılımı (Yüzdelik)									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Tek römorklu ağır taşıt ana güzergahı (tip1)	1.3	8.5	2.8	0.3	7.6	74.0	1.2	3.4	0.6	0.3
2	Tek römorklu ağır taşıt ana güzergahı (tip2)	2.4	14.1	4.5	0.7	7.9	66.3	1.4	2.2	0.3	0.2
3	Tek ve Çok Römorklü ağır taşıt ana güzergahı (tip1)	0.9	11.6	3.6	0.2	6.7	62.0	4.8	2.6	1.4	6.2
4	Tek römorklu ağır taşıt ana güzergahı (tip3)	2.4	22.7	5.7	1.4	8.1	55.5	1.7	2.2	0.2	0.4
5	Tek ve Çok Römorklü ağır taşıtu ana güzergahı (tip2)	0.9	14.2	3.5	0.6	6.9	54.0	5.0	2.7	1.2	11.0
6	Orta düzeyde hafif ve tek römorklu ağır taşıt güzergahı (tip1)	2.8	31.0	7.3	0.8	9.3	44.8	2.3	1.0	0.4	0.3
7	Muhtelif Ağır taşıtlar ana güzergahı (Tip1)	1.0	23.8	4.2	0.5	10.2	42.2	5.8	2.6	1.3	8.4
8	Çoklu Römork Ağır taşıtu ana güzergahı (tip1)	1.7	19.3	4.6	0.9	6.7	44.8	6.0	2.6	1.6	11.8
9	Orta düzeyde hafif ve tek römorklu ağır taşıt güzergahı (2)	3.3	34.0	11.7	1.6	9.9	36.2	1.0	1.8	0.2	0.3
10	Muhtelif Ağır taşıtlar ana güzergahı (Tip2)	0.8	30.8	6.9	0.1	7.8	37.5	3.7	1.2	4.5	6.7
11	Çoklu Römork Ağır taşıtu ana güzergahı (tip2)	1.8	24.6	7.6	0.5	5.0	31.3	9.8	0.8	3.3	15.3
12	Orta düzeyde hafif ve tek römorklu ağır taşıt güzergahı (3)	3.9	40.8	11.7	1.5	12.2	25.0	2.7	0.6	0.3	1.3
13	Muhtelif Ağır taşıtlar ana güzergahı (Tip3)	0.8	33.6	6.2	0.1	7.9	26.0	10.5	1.4	3.2	10.3
14	Hafif Ağır taşıt Ana güzergahı (Tip1)	2.9	56.9	10.4	3.7	9.2	15.3	0.6	0.3	0.4	0.3
15	Hafif Ağır taşıt Ana rotası (Tip2)	1.8	56.5	8.5	1.8	6.2	14.1	5.4	0.0	0.0	5.7
16	Hafif ve Çoklu Römork Ağır taşıtu ana güzergahı	1.3	48.4	10.8	1.9	6.7	13.4	4.3	0.5	0.1	12.6
17	Otobüs ana güzergahı	36.2	14.6	13.4	0.5	14.6	17.8	0.5	0.8	0.1	1.5

Tablo 3.41 : Karayolu Fonksiyonel Sınıflandırması Hakkında Uygun ATTS Grupları

Karayolu Fonksiyonel Sınıflandırma Açıklamaları	Uygulanabilir Ağır taşıt Trafik Sınıflandırması Grup Numarası
Ana Bağlantılar - Şehirlerarası ve Savunma Rotaları	1,2,3,4,5,8,11,13
Ana Bağlantılar- karayolları ve Express yollar dahil Şehirlerarası yollar	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,16
İkincil (minör) Ana Bağlantılar	4,6,8,9,10,11,12,15,16,17
Birincil (majör) Kolektörler	6,9,12,14,15,17
İkincil (Minör) Kolektörler	9,12,14,17
Yerel Rotalar ve Caddeler	9,12,14,17

Tablo 3.42 : LTPP Trafik Verisine Dayanan Saat Başı Ağır Taşıt Trafiği Dağılımı

Zaman Periyodu	Dağılım Yüzdesi	Zaman Periyodu	Dağılım Yüzdesi
12:00 a.m.-1:00 a.m.	2.3	12:00 p.m.-1:00 p.m.	5.9
1:00 a.m.-2:00 a.m.	2.4	1:00 p.m.-2:00 p.m.	5.9
2:00 a.m.-3:00 a.m.	2.5	2:00 p.m.-3:00 p.m.	5.9
3:00 a.m.-4:00 a.m.	2.6	3:00 p.m.-4:00 p.m.	5.9
4:00 a.m.-5:00 a.m.	2.7	4:00 p.m.-5:00 p.m.	4.6
5:00 a.m.-6:00 a.m.	2.8	5:00 p.m.-6:00 p.m.	4.6
6:00 a.m.-7:00 a.m.	5.0	6:00 p.m.-7:00 p.m.	4.6
7:00 a.m.-8:00 a.m.	5.1	7:00 p.m.-8:00 p.m.	4.6
8:00 a.m.-9:00 a.m.	5.2	8:00 p.m.-9:00 p.m.	3.1
9:00 a.m.-10:00 a.m.	5.3	9:00 p.m.-10:00 p.m.	3.1
10:00 a.m.-11:00 a.m.	5.9	10:00 p.m.-11:00 p.m.	3.1
11:00 a.m.-12:00 p.m.	5.9	11:00 p.m.-12:00 a.m.	3.1

Trafik Artış Faktörü

Belirli bir sahada yada bölümde trafik artış faktörü, devamlı trafik sayımı verisi ulaşılabilir olduğunda, en iyi şekilde tahmin edilebilir, çünkü bilindiği gibi bir tek sahadaki trafik hacimleri pek çok ve değişik dışsal faktörlerden etkilenebilir ve bundan dolayı sınırlı sayıdaki yerlerden toplanan sınırlı verilerden hesaplanan büyüme faktörleri önyargılı olabilir. Büyüme faktörlerinin daha az güvenilir bir tahmini, kısa süreli sayımlardan elde edilen verilerle de hesaplanabilir, çünkü bu tür sayımlardan olan YOGAT' nin bireysel tahminleri, devamlı trafik sayımlarından elde edilenler kadar doğruya yakın olmayabilir.

Hem devamlı hemde kısa süreli sayımlar için, eğer, uzun yıllar boyunca toplanan aynı sayım bölgelerindeki veriler artış faktörlerinin hesaplanması için kullanılacaksa, YOGAT tahmininin yanlışlığından kaynaklanan belirli bölgedeki hatalar kendiliğinden düzelebilir. Yani, eğer bu yılın YOGAT sayımı çok yüksek ise, bu yılın büyüme tahminini de çok yüksek yapar; gelecek senenin doğru YOGT değeri daha düşük bir büyüme tahmininin yapılmasına sebep olur ve böylece yıllar içinde daha güvenilir büyüme tahminleri ortaya çıkar.

Tasarım Rehber yazılımı, kullanıcılara zaman içinde ağır taşıt trafiğindeki büyüme yada küçülmeyi hesaplamak için 3 değişik büyüme fonksiyonu kullanmasına izin verir. İleriye dönük ağır taşıt trafiği hacimlerini tahmin için kullanılacak bu üç fonksiyon, Tablo 3.43' de verilmiştir.

Tablo 3.43 : Zaman İçinde Ağır Taşıt Trafiğini Tahmin İçin Kullanılan Fonksiyonlar

Fonksiyon Açıklaması	Model
Büyüme Yok	$YOGAT_X = 1.0 * YOGAT_{BY}$
Doğrusal Büyüme	$YOGAT_X = GR * AGE + YOGAT_{BY}$
Bileşik Büyüme	$YOGAT_X = YOGAT_{BY} * (GR)^{AGE}$

$YOGAT_X$: X yılda,yıl bazında ortalama günlük ağır taşıt trafiği, GR Trafik büyüme oranı, ve $YOGAT_{BY}$ Baz alınan yılda yıl bazında ortalama günlük ağır taşıt trafiği

Tasarım rehberi yazılımı, kullanıcılara hem büyüme oranını hem de büyüme fonksiyonunu girmelerine olanak sağlar. Bütün ağır taşıt sınıfları için ortak bir büyüme

fonksiyonu seçilebilir yada değişik ağır taşıt sınıfları için farklı fonksiyonlar seçilebilir. Seçilen fonksiyona, yolun trafiğe açılış tarihine ve üstyapı tasarım ömrüne göre, YOGAT üst yapının bütün tasarım ömrü için bir öngörüdür.

Aks Yük Dağılımı Faktörleri

Aks yük dağılımı faktörleri basitçe, belirli bir aks tipi (tekli, ikili, üçlü,dörtlü) ve araç sınıfı için (Sınıf 4' ten 13' e kadar) her yükleme aralığı dahilinde toplam aks uygulamalarının yüzdeliğini temsil eder. Her aks tipi için yükleme aralıklarının tanımı aşağıda verilmiştir :

- Tekli aks – 3,000 lb' den 40,000 lb' ye 1,000 - lb aralığında.
- İkili Akslar – 6,000 lb' den 80,000 lb' ye 2,000 - lb aralığında.
- Üçlü ve dörtlü akslar – 12,000 lb' den 102,000 lb' ye 3,000 - lb aralığında.

Normalleştirilmiş aks yükleme dağılımı, sadece WIM verisinden belirlenebilir. Bu yüzden, girdinin seviyesi verinin kaynağına dayanır. Bu tasarım yöntemi için, yük dağılımını yıllık bazda normalleştirilir çünkü yıldan yıla yada aydan aya hiçbir sistematik yada kayda değer değişim LTPP WIM verisinin analizinde bulunmaz.

Seviye 1 girdileri için, aks yükü dağılımı faktörleri daha önceden hazırlanmış verilerden çağırılabilir, aynı zamanda Seviye 3 girdileri varsayılan değerleri de, LTPP veri tabanından alınan verilerle hazırlanır. Aşağıda, WIM verisi kullanarak hazırlanan aks yükü dağılımı faktörlerini hesaplamak için tavsiyeler verilmiştir :

1. WIM verisini toplayıp (her ağır taşıt sınıfına dahil aks tipine göre her aks yükü aralığı dahilinde hesaplanan aks sayısının toplamı) ve verinin her yılı için her aks tipi ve ağır taşıt sınıfı hakkında her yük aralığı dahilindeki aks uygulamalarının toplam sayısının yüzdeliği hesaplanır.
2. Her ağır taşıt sınıfı içindeki her aks tipi hakkındaki her aks yükü dizisi için yıllık aritmetik ortalama ve varyansı (sapmayı) hesaplanır.
3. Sahada en fazla ağır taşıt uygulamaları sayısına sahip ağır taşıt sınıfı için yıllık normalleştirilmiş aks yükü dağılımını karşılaştırın. Eğer yıllık normalleştirilmiş değerler yıldan yıla büyük değişiklik göstermiyorsa, bütün yıllar her ağır taşıt sınıfı ve

aks tipi için bir tek saha normalleştirilmiş yük dağılımını netice verecek şekilde bütün yıllar birleştirilebilir.

Tablo 3.44 : Her Ağır Taşıt Sınıfı İçin Tek- Aks Yük Dağılımı

Aks Yüklemesi, lbs	Taşıt Sınıfı									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3000	1.80	10.03	2.47	2.14	11.62	1.74	3.64	3.55	6.68	8.88
4000	0.96	13.19	1.78	0.55	5.36	1.37	1.24	2.91	2.29	2.67
5000	2.91	16.40	3.45	2.42	7.82	2.84	2.36	5.19	4.87	3.81
6000	3.99	10.69	3.95	2.70	6.98	3.53	3.38	5.27	5.86	5.23
7000	6.80	9.21	6.70	3.21	7.98	4.93	5.18	6.32	5.97	6.03
8000	11.45	8.26	8.44	5.81	9.69	8.43	8.34	6.97	8.85	8.10
9000	11.28	7.11	11.93	5.26	9.98	13.66	13.84	8.07	9.57	8.35
10000	11.04	5.84	13.55	7.38	8.49	17.66	17.33	9.70	9.95	10.69
11000	9.86	4.53	12.12	6.85	6.46	16.69	16.19	8.54	8.59	10.69
12000	8.53	3.46	9.47	7.41	5.18	11.63	10.30	7.28	7.09	11.11
13000	7.32	2.56	6.81	8.99	4.00	6.09	6.52	7.16	5.86	7.34
14000	5.55	1.92	5.05	8.15	3.38	3.52	3.94	5.65	6.58	3.78
15000	4.23	1.54	2.74	7.77	2.73	1.91	2.33	4.77	4.55	3.10
16000	3.11	1.19	2.66	6.84	2.19	1.55	1.57	4.35	3.63	2.58
17000	2.54	0.90	1.92	5.67	1.83	1.10	1.07	3.56	2.56	1.52
18000	1.98	0.68	1.43	4.63	1.53	0.88	0.71	3.02	2.00	1.32
19000	1.53	0.52	1.07	3.50	1.16	0.73	0.53	2.06	1.54	1.00
20000	1.19	0.40	0.82	2.64	0.97	0.53	0.32	1.63	0.98	0.83
21000	1.16	0.31	0.64	1.90	0.61	0.38	0.29	1.27	0.71	0.64
22000	0.66	0.31	0.49	1.31	0.55	0.25	0.19	0.76	0.51	0.38
23000	0.56	0.18	0.38	0.97	0.36	0.17	0.15	0.59	0.29	0.52
24000	0.37	0.14	0.26	0.67	0.26	0.13	0.17	0.41	0.27	0.22
25000	0.31	0.15	0.24	0.43	0.19	0.08	0.09	0.25	0.19	0.13
26000	0.18	0.12	0.13	1.18	0.16	0.06	0.05	0.14	0.15	0.26
27000	0.18	0.08	0.13	0.26	0.11	0.04	0.03	0.21	0.12	0.28
28000	0.14	0.05	0.08	0.17	0.08	0.03	0.02	0.07	0.08	0.12
29000	0.08	0.05	0.08	0.17	0.05	0.02	0.03	0.09	0.09	0.13
30000	0.05	0.02	0.05	0.08	0.04	0.01	0.02	0.06	0.02	0.05
31000	0.04	0.02	0.03	0.72	0.04	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05
32000	0.04	0.02	0.03	0.06	0.12	0.01	0.01	0.04	0.01	0.08
33000	0.04	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.06
34000	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
35000	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
36000	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
37000	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
38000	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01
39000	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
40000	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00
41000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 3.45 : Her Ağır Taşıt Sınıfı İçin İkili- Aks Yüğü Dağılımı

Aks Yüklemesi, lbs	Taşıt Sınıfı									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6000	5.88	7.06	5.28	13.74	18.95	2.78	2.45	7.93	5.23	6.41
8000	1.44	35.42	8.42	6.71	8.05	3.92	2.19	3.15	1.75	3.85
10000	1.94	13.23	10.81	6.49	11.15	6.51	3.65	5.21	3.35	5.58
12000	2.73	6.32	8.99	3.46	11.92	7.61	5.40	8.24	5.89	5.66
14000	3.63	4.33	7.71	7.06	10.51	7.74	6.90	8.88	8.72	5.73
16000	4.96	5.09	7.50	4.83	8.25	7.00	7.51	8.45	8.37	5.53
18000	7.95	5.05	6.76	4.97	6.77	5.82	6.99	7.08	9.76	4.90
20000	11.58	4.39	6.06	4.58	5.32	5.59	6.61	5.49	10.85	4.54
22000	14.20	2.31	5.71	4.26	4.13	5.16	6.26	5.14	10.78	6.45
24000	13.14	2.28	5.17	3.85	3.12	5.05	5.95	5.99	7.24	4.77
26000	10.75	1.53	4.52	3.44	2.34	5.28	6.16	5.73	6.14	4.34
28000	7.47	1.96	3.96	6.06	1.82	5.53	6.54	4.37	4.93	5.63
30000	5.08	1.89	3.21	3.68	1.58	6.13	6.24	6.57	3.93	7.24
32000	3.12	2.19	3.91	2.98	1.20	6.34	5.92	4.61	3.09	4.69
34000	1.87	1.74	2.12	2.89	1.05	5.67	4.99	4.48	2.74	4.51
36000	1.30	1.78	1.74	2.54	0.94	4.46	3.63	2.91	1.73	3.93
38000	0.76	1.67	1.44	2.66	0.56	3.16	2.79	1.83	1.32	4.20
40000	0.53	0.38	1.26	2.50	0.64	2.13	2.24	1.12	1.07	3.22
42000	0.52	0.36	1.01	1.57	0.28	1.41	1.69	0.84	0.58	2.28
44000	0.30	0.19	0.83	1.53	0.28	0.91	1.26	0.68	0.51	1.77
46000	0.21	0.13	0.71	2.13	0.41	0.59	1.54	0.32	0.43	1.23
48000	0.18	0.13	0.63	1.89	0.20	0.39	0.73	0.21	0.22	0.85
50000	0.11	0.14	0.49	1.17	0.14	0.26	0.57	0.21	0.22	0.64
52000	0.06	0.20	0.39	1.07	0.11	0.17	0.40	0.07	0.23	0.39
54000	0.04	0.06	0.32	0.87	0.06	0.11	0.38	0.13	0.20	0.60
56000	0.08	0.06	0.26	0.81	0.05	0.08	0.25	0.15	0.12	0.26
58000	0.01	0.02	0.19	0.47	0.03	0.05	0.16	0.09	0.07	0.18
60000	0.02	0.02	0.17	0.49	0.02	0.03	0.15	0.03	0.19	0.08
62000	0.10	0.01	0.13	0.38	0.06	0.02	0.09	0.06	0.09	0.14
64000	0.01	0.01	0.08	0.24	0.02	0.02	0.08	0.01	0.04	0.07
66000	0.02	0.01	0.06	0.15	0.02	0.02	0.06	0.01	0.02	0.08
68000	0.01	0.00	0.07	0.16	0.00	0.02	0.05	0.01	0.04	0.03
70000	0.01	0.02	0.04	0.06	0.00	0.01	0.11	0.00	0.12	0.01
72000	0.00	0.01	0.04	0.13	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.04
74000	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
76000	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04
78000	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
80000	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
82000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Genel Trafik Girdileri

Bu katagorinin altındaki girdilerin çoğu üstyapı tepkilerini ölçmek için kullanılan aks yükü ayarları ve yükleme detaylarını tanımlar. Buradaki istisna ise, “ Her ağır taşıt sınıfı aks tipine göre aksların sayısı” ve “Dingil aralığı” girdileridir (Bunlar trafik hacmi hesaplamalarında kullanılır).

Orta Tekerlek Bölgesi

Tekerleğin dış kenarından üstyapı dış kenarına kadar olan mesafedir. Değişik seviyelerdeki girdiler aşağıdaki gibidir:

Tasarım Rehberi yazılımında Varsayılan (Seviye 3) bir ortalama tekerlek bölgesi 50 cm. olarak verilir. Eğer daha doğru bir bilgi bulunmuyorsa bunun kullanılması tavsiye edilir.

Trafik Yüğü Sapması

Bu, trafik yükü uygulanma noktasından saptalarını belirtir. Sapma; bir nokta üzerindeki performans ve basıncı öngörmek için, o noktaya uygulanan aks yükü uygulamalarının sayısını belirlemede kullanılır. Tasarım Rehberi yazılımında, varsayılan (Seviye 3) ortalama ağır taşıt trafiği yükü standart sapması 25 cm. olarak verilir. Eğer daha doğru bir bilgi yoksa, bu değer tavsiye edilir.

Tasarım Şeridi Genişliği

Bu parametre, tasarım şeridinin her iki tarafında şerit işaretleri arasındaki mesafeyle tarif edildiği gibi, gerçek trafik şeridi genişliğine işaret eder. Bu bir tasarım faktörüdür ve plak genişliğine eşit olabilir yada olmayabilir. Standart genişlikte şeritler için varsayılan değer 3.0 m. dir.

Her Ağır Taşıt Sınıfı İçin Aks Tipleri Sayısı

Bu girdi, her aks tipi (tekli, ikili, üçlü,dörtlü) hakkında her ağır taşıt sınıfı için (sınıf 4’ ten 13’ e kadar) ortalama aks sayısını temsil eder. Değişik seviyelerdeki girdiler aşağıdaki gibidir :

Tasarım Rehberi yazılımında sunulan her ağır taşıt sınıfına göre aks tipi sayısı varsayılan (Seviye 3) tahminleri ve LTPP verisi kullanılarak tahmini yapılmış değerler tablo 3.46’ da gösterilmiştir.

Tablo 3.46 : Ağır Taşıt Sınıfları İçin Aksların Ortalama Sayısı

Ağır taşıt Sınıflandırması	Her ağır taşıtıda Tekli Aks sayısı	Her ağır taşıtıda İkili Aks sayısı	Her ağır taşıtıda Üçlü Aks sayısı	Her ağır taşıtıda Dörtlü Aks sayısı
4	1.62	0.39	0.00	0.00
5	2.00	0.00	0.00	0.00
6	1.02	0.99	0.00	0.00
7	1.00	0.26	0.83	0.00
8	2.38	0.67	0.00	0.00
9	1.13	1.93	0.00	0.00
10	1.19	1.09	0.89	0.00
11	4.29	0.26	0.06	0.00
12	3.52	1.14	0.06	0.00
13	2.15	2.13	0.35	0.00

Not : Her ağır taşıt sınıfı için dörtlü aksların sayısı 0.00, çünkü LTPP trafik veritabanında çok az bulunduğu görülmüş.

Aks Yapılandırması

Yola uygulanacak aks yükleri ve tipik lastik yapılarını açıklamak için bir seri veriye ihtiyaç vardır. Çünkü, hesaplanan üstyapı tepkileri, genelde hem tekerlek bölgelerine hemde belirli bir aks için tekerlekler arasındaki etkileşime duyarlıdır. Bu veri doğrudan üreticilerin veri tabanından elde edilebileceği gibi doğrudan arazide de ölçülebilir.

- Ortalama aks genişliği - Bir aksın dıştaki iki kenarı arasındaki uzaklık. Tipik ağır taşıtların aks genişliği için 260 cm alınabilir.
- Çift lastik boşluğu – Çift lastiğin merkezleri arasındaki uzaklık. Ağır taşıtlar için tipik çift lastik boşluğu 30 cm. dir.
- Aks boşluğu – tekli, ikili,üçlü,dörtlü ardışık iki aksın arasındaki uzaklık. Tekli aks için ortalama boşluk 130 cm., ikili,üçlü,dörtlü aks için 125 cm. dir.

Bireysel ağır taşıt kayıtları verisinin bir gözden geçirmesi; birinci ve ikinci akslar arasındaki normal, eğik, yada çift tepeli dağılımın ağır taşıt sınıfına göre değiştiğini göstermektedir. Tablo 3.47, birinci (direksiyon) ve ikinci (sürme) aksların aritmetik ortalamasının, orta noktasının ve pik boşluğu ve dağılım tipini listeler. Baskın olan ağır taşıt sınıfı için akslar arası boşluğun kullanılması gerekir.

Tablo 3.47 : Direksiyon ve Sürme Aksı Arasındaki Boşluk İle Dağılımı

Ağır taşıt sınıfı	Akslar arasındaki Boşluk			
	Dağılım Tipi	Ortalama Boşluk, cm	Orta nokta Boşluk, cm	Ortaya Çıkma Pikleri,cm
4	Çift Doruklu	910	910	820 ve 930
5	Daha yüksek boşluğa eğimli	600	570	490
6	Normal	630	640	660
7	Normal	480	460	450
8	Normal	420	490	490
9	Çift Doruklu	590	610	460 ve 670
10	Daha alçak boşluğa eğimli	619	640	710
11	Daha alçak boşluğa eğimli	540	500	510
12	Çift Doruklu	549	521	460 ve 661
13	Çift Doruklu	540	500	479 ve 701

Dingil Aralığı

Üstyapıların tepkilerinin ölçülmesinde kullanılmak üzere araçların dingil aralığı detaylarının açıklanmasında bir seri veri elementlerine ihtiyaç vardır.

Ortalama Aks boşluğu - kısa, orta yada uzun. Tavsiye edilen değerler 30, 40, ve 50 cm. sırasıyla kısa,orta ve uzun içindir. Kısa, orta, uzun aks boşluklu sınıf 8' den 13' e kadar olan ağır taşıtların yüzdeliğidir. (Daha doğru bir bilgi var olmadığı sürece eşit dağılımı kullanılır, ör : sırasıyla % 33, % 33, ve % 34, kısa, orta ve uzun akslar için)

Eğer trafik akışındaki diğer araçlarda yukarıda tanımlanan kısa, orta yada uzun akslar aralığında aks boşlukları varsa, bu araçların geçiş sıklıklarının da ağır taşıt traktörlerinin aks boşluğu dağılımına eklenmesi gerekir. Örneğin, eğer ağır taşıt trafiğinin % 10' u römorktan römorka kısa aks boşluklu çoklu römorktan (sınıf 11 ve yukarısı) ise, kısa aks için ağır taşıt yüzdeliğine bu % 10 eklenmelidir. Bu durumda, kısa, orta ve uzun kategorilerdeki ağır taşıt yüzdeliklerinin toplamı 100' den büyük olabilir.

Lastik Boyutları ve Şişirme Basıncı

Lastik Boyutları ve Şişirme Basıncı, performans öngörüsü modellerindeki önemli girdilerdendir. Büyütülmüş lastikler, kullanımından ötürü boyutlarında mümkün olan maksimum seviyesine ulaşan lastiklerdir. Bu genişlikler minumum çift boşluğu (çiftli uygulamalarda lastikler arasındaki boşluk) belirlemek için kullanılır.

Tasarım Rehberi Yazılımında sıcak şişirme basınçlarının kullanılması gerekir. Sıcak şişirme basıncı tipik olarak soğuk şişirme basıncına göre % 10 - 15 arası daha fazladır. Tasarım Rehberi Yazılımında varsayılan sıcak şişirme basıncı 120 psi olarak kullanılır.

Girdilerin İşlenmesi

Bu konunun bir önceki bölümünde açıklanan trafik girdileri, uygulanan tekerlek yüklerine göre üstyapının tepkilerinin ölçülmesinde kullanılmak üzere Tasarım Rehberi Yazılımına girilir. Çıkan sonuçlar, bütün tasarı periyodu boyunca ve belirli bölgede artarak (saate göre yada aya göre) uygulanan aks yükü sayılarıdır. Amaç, saatler yada aylar bazında (analizin tipine göre) her tekerlek yükleme katagorisi ve tekerlek bölgesi için aşağıdaki sonuçları üretmektir:

- Tekli aksların sayısı.
- İkili Aksların Sayısı.
- Üçlü Aksların Sayısı.
- Dörtlü Aksların Sayısı.
- Ağır taşıt sayısı

Gerekli işlenmiş girdilerin geliştirilmesi için Tasarım Rehberi yazılımı tarafından gerçekleştirilen 8 ana adım vardır :

1. Artışların belirlenmesi (saate göre yada aya göre)
2. Baz alınan yıl için YOGAT değerinin belirlenmesi
3. Baz alınan yıl için normalleştirilmiş ağır taşıt trafiği sınıfı dağılımının belirlenmesi.
4. Her ağır taşıt sınıfı için aks tipine göre aks sayısının belirlenmesi.
5. Her aks tipi ve ağır taşıt sınıfı için normalleştirilmiş aks yükü aralığının belirlenmesi.
6. Ağır taşıt trafiği tahmini yada ters tahmin fonksiyonu üzerinde karar verilmesi ve tasarım/analiz periyodunda birbirini izleyen yıllar için artan ağır taşıt trafiğinin yeniden gözden geçirilmesi
7. Normalleştirilmiş aks yükü dağılımı ile normalleştirilmiş ağır taşıt sınıfı aralığının artan ağır taşıt trafiği ile çarpılması ve böylece tasarım / analiz periyodu içinde heryılın her ayının her saati için her aks tipi hakkında her aks yük grubu içindeki toplam aks uygulamalarının sayısının belirlenmesi.
8. Aks ve Lastik yükü detaylarının belirtilmesi.

Sahaya Özgü AVC ve WIM Verisi İçin Trafik Örneklem Planı

Bu bölüm, bir yolun belirli bir tasarım kesiti için ölçülen AVC ve WIM verisinden ağır taşıt trafiği özelliklerini tahmin etmek için örneklem planı gereksinimlerinin bir genel açıklamasını yapar. Trafik girdilerinin bölgesel / ülke çapında yada ulusal veriden belirleneceği durumlarda; benzer trafik özelliklerine sahip yollar üzerinde ölçülen geçmişe ait AVC ve/ya WIM trafik verisi, tasarım için gerekli trafik girdilerini hesaplamak için birleştirilmeli ve hesaplanmalıdır.

Örneklem Bölgesi (Trafik Ölçüm Ekipmanı Bölgesi)

Birçok durumda, bir proje için normalleştirilmiş aks yükü dağılımı, belirli bir ağır taşıt sınıfı ve aks tipi için sabit olarak alınabilir. Ancak, ağır taşıt trafiği dağılımı bir karayolun belirli bir kesiti boyunca, özellikle şehir bölgelerinde değişiklik gösterebilir. Bunun gibi, her proje için bir WIM bölgesi yeterli olmalı, ancak AVC ekipmanlarının birden çok bölgeleri, bir proje boyunca ağır taşıt hacimleri ve dağılımlarını tahmin etmek için gerekebilir. Proje limitleri dahilindeki AVC örneklem bölgelerinin sayısı

hakkındaki tercih, ağır taşıt hacmi ve dağılımı üzerinde etkisi olan proje boyunca kesişen yollara ve endüstri bölgelerine ve deneyim ile gözlemlere dayalı olmalıdır.

Örneklem Büyüklüğü ve Sıklığı

Tablo 3.48’ den 3.50’ ye kadar olan tablolar, belirli bir saha hakkında trafikten alınan yeterli miktarda veriyi toplamak için gerekli gün sayısının seçimi için rehber olarak kullanılabilir. Trafik örnekleme için günlerin sayısı, sahadaki ağırlıklı ağır taşıt tipi ve yüklemesini kullanan LTPP trafik verisinin analizine dayanır ve tasarımcı için kabul edilebilirliği olan beklenen hata ve güvenilirlik seviyesine göre değişir. Örneklem büyüklüğü (minumum gün sayısı), trafik akışı içinde çok az operasyonu olan ağır taşıt sınıfının yada en ağır yüklerin ölçümüne dayanmaz.

Tablo 3.48 : Normalleştirilmiş Aks Yüğü Dağılımını Tahmin Etmek İçin Gereken Minimum Örneklem Büyüklüğü (Her Yılın Günlerinin Sayısı) - WIM Verisi

Beklenen Hata (+yüzdelik)	Güvenilirlik yada Değer seviyesi / yüzdelik				
	80	90	95	97.5	99
20	1	1	1	1	1
10	1	1	2	2	3
5	2	3	5	7	10
2	8	19	30	43	61
1	32	74	122	172	242

Tablo 3.49 : Normalleştirilmiş Ağır Taşıt Trafiği Dağılımını Tahmin Etmek İçin Minimum Örneklem Büyüklüğü – AVC Verisi

Beklenen Hata (+yüzdelik)	Güvenilirlik yada Değer seviyesi / yüzdelik				
	80	90	95	97.5	99
20	1	1	1	2	2
10	1	2	3	5	6
5	3	8	12	17	24
2	20	45	74	105	148
1	78	180	295	***	***

*** Bu durumlar için devamlı örnekleme gerekmektedir.

Not : Eğer hafta içi ve haftasonu ağır taşıt hacimleri arasındaki farklılık gerekiyorsa, her mevsimin günlerinin sayısı hem hafta içi hemde haftasonunda ölçülmelidir.

Tablo 3.50 : Her Yıl ve Günün Toplam Araç Sayısını Tahmin Etmek İçin Minimum Örneklemme Büyüklüğü – AVC Yada Araç Sayımı Verisi

Beklenen Hata (+yüzdelik)	Güvenilirlik yada Değer seviyesi / yüzdelik				
	80	90	95	97.5	99
20	3	7	12	16	23
10	12	27	45	64	90
5	47	109	179	254	***
2	292	***	***	***	***
1	***	***	***	***	***

*** Bu durumlar için devamlı örneklemme gerekir.

WIM Verisi

Normalleştirilmiş aks yükü dağılımının zaman ve mevsimler içinde sabit kaldığı anlaşılmıştır. Bundan dolayı eğer önceki deneyimlerde yada çalışmalarda aks yükü dağılımı hakkında kayda değer büyük değişimler gözlenmemişse, WIM verisinin toplanması için tavsiye edilen ayırım büyüklüğü 1 yıldır. Tablo 3.48, belirli bir güvenlik aralığı yada beklenen hatalar için gerekli yıllık devamlı WIM günleri sayısının seçiminde bir rehber olarak kullanılabilir.

AVC Verisi

Trafik Hacmi Örneklemesine dahil edilen yılların Minimum sayısı

Trafik verisinin herhangi bir yılında ortaya çıkabilecek herhangi bir anormallikten doğabilecek örneklemme ile ilgili bir önyargının azaltılması için eğer mümkünse, trafik örneklemesine en az 3 yıllık bir sürenin dahil olması gerekir. Kurumun benzer yolları için genişletilmiş bölgesel verisi olduğu durumda, bu minimum değer 1 yıla da indirilebilir.

Mevsimsel Numuneler

Örneklemme planı, hasar hesaplamaları veya performans öngörülerinde kullanılan zaman çerçevesiyle uyumlu olmalı. Trafik Modülü trafik girdilerini belirlemek için aya göre bir zaman aralığını kullanır. Eğer kurumun karayolu kesiti hakkındaki trafik karakteristikleri üzerine hiç bölgesel verisi yada bilgisi yoksa, ayırma büyüklüğü

yeterince veri toplanması ve analiz yapılması için 1 ay olmalıdır. Tablo 3.49, her mevsim için AVC verisine ait gün sayısını tahmin etmede bir rehber olarak kullanılabilir.

Gruplandırılmış Rastgele Örneklem Planı

Gruplandırılmış Rastgele Örneklem Planı, trafik yoğunluğunda bulunabilecek herhangi bir aylık (yada mevsimlik) ve yıllık değişiklikleri tanımlamak için geliştirilmeli ve uygulanmalı.

Trafik Hacmi Verisi

Toplanmış Trafik hacmi verisi, AVC verisi ile tutarlı olmalı. Tablo 3.50, her yıl için araç sayımı verisine ait gün sayısını tahmin etmek için kullanılabilir. Günlerin sayısı, mevsime ve haftanın gününe göre gruplanmalıdır (haftasonuna karşı hafta içi gibi).

3.2.5. Banketler

Geniş, yüzeysel banketler, duran taşıtların dar yollarda emniyette durmaları için uygun, her havaya elverişli alanlar sağlar. Asfalt betonu kaplı banketler bütün şehirlerarası yollar için gerekli olup, dış taraf banketi tipik olarak 2.5 m. genişliğinde ve iç taraf banketi ise 1.0 m. genişliğindedir. Kullanıldığı zaman, banketler her mevsime elverişli bir yüzeye ve yeterli yapısal kabiliyete sahip olmalıdır.

Acil durum park alanı olarak hizmet vermenin yanı sıra, seyahat yolu üstyapısına destek verir, manevra alanı sağlar, ve dönüşlerde görüş alanını artırır. Acil durumlarda veya düzenli trafik yollarının bakım için kapatılması durumlarında trafik yolu olarak kullanılabilen banketlerin genişliği, tali yollarda 60 cm. den , ana yollarda 300 cm. ye kadar değişmektedir. Banketler, yol yüzeyi ve trafik şeridinin kenarı ile aynı düzeyde olmalıdır. Bütün banketler, taşıt kullanımını kısıtlayacak derecede olmamak üzere suyu yoldan boşaltacak kadar eğimli olmalıdır. Asfalt betonu ve çimento betonu yüzeyli banketlerin eğimi yüzde 2-6, çakıl veya kırmataş banketlerin eğimi yüzde 4-6, ve toprak banketlerinki de yüzde 8 civarında olmalıdır. Aşırı derecede yükseltilmiş kesitlerin dış tarafının betonlanmış yüzeyleri drenaj yapan banket eğimleri, enkesit eğimi artırmayı engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Tüm genişlikte asfaltlanmış

banketler arzu edilendir. Bununla birlikte, ek maliyet nedeniyle bütün projelerde istenmeyebilir. Bu durumlarda, genişletilmiş şeritlerin kullanımı şiddetle dikkate alınmalıdır. Genişletilmiş şeritler, üstyapı kenarı ve ağır taşıt tekerleği arasındaki mesafeyi artırmakla, kenar gerilmelerini, zorlanmaları, böylece yapısal hasarları azaltarak, tehlikeli kenar düşmelerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Kısaca, üstyapının yük taşıma kapasitesini, güvenliğini artırır ve bakım maliyetlerini düşürürler. Genişletilmiş şeritler sadece, trafik şeritleri, trafik şeridi içinde olan ve genişletilmiş alan içinde olmayan taşıtları yönlendirmekte yardımcı olması için, standart şerit genişliğinde çizgilendikleri zaman etkili olmaktadır.

3.2.5.1 Yapısal Tasarım

Banket Üzerindeki Trafik Yüklemleri

Banket üstyapısı kalınlığı tasarımı, banketin maruz kalacağı yüklerin büyüklüğü ve frekansı üzerinden tahmin edilmelidir. Bununla birlikte, bir banketin alacağı yüklerin sayısını etkileyen çok fazla sayıda değişken vardır. Ağır taşıtların tecavüzü, banketlerin rehabilitasyon sırasında geçici yol olarak kullanımı, ve banketlerin ek yol olarak birleştirilmesi, banket üstyapıları üstünde önemli etkiye sahiptirler. Buna ek olarak, çok sayıda ağır taşıt gece değişim ve dinlenme alanlarında banket üzerine sıklıkla park eder ve bu statik yükleme tasarımı dikkate alınmalıdır.

Tasarımcı, banket için bir üstyapı biçimi seçerken, benzer kesitlerdeki banket üstyapılarının geçmiş performanslarını, banketin beklenen kullanımını, ve güzergah için olası planları dikkate almalıdır. Banketlerin tasarımında, aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır:

1. Anayol – banket derzindeki bakım problemlerini azaltmak için, banket anayol üstyapısı ile aynı maddelerden inşa edilmelidir.
2. Özellikle yüksek hacim tesisatlarında, anayolun altında olduğu gibi, banketin altında da aynı tip ve genel kalınlıktaki taban ve alt temel malzemeleri kullanılmalıdır. Şerit/banket derzi altında ve banket kenarında suyun birikmesini önlemek için, beton banketler altındaki temel ve alt temel kesiti eğimini tasarlarken dikkatli olunmalıdır.

3. Banket drenaj sisteminin pompalama ve tıkanmasını minimize etmek için, en azından suyun temelden biraz yavaş sızmasını sağlamak için yüzde 6 oranında No. 200 elek malzemelerine sahip granüler temel biçimini kullanmaktan kaçınılmalıdır.
4. Kentsel yollarda ve yüksek ağır taşıt hacimleri taşıyan diğer güzergahlarda, anayol ve banket arasındaki ara yüzde yeterli yük kapasitesini sağlamak, kolay ve ekonomik inşaat sağlamak ve üstyapıda bir “banyo küveti” ni engellemek için, banketler anayol üstyapısı ile aynı yapısal kesite inşa edilmelidir.
5. Banket üzerine park etmiş ağır taşıtların sayısı da banket tasarımında dikkate alınmalıdır. Bu sıklıkla geceleme, değiştirme ve dinlenme alanlarının yola açılan kısımlarında görülür ve eğer banket bu yüklemeye göre tasarlanmadıysa önemli hasarlara yol açabilir. Banket yapısında asfalt bağlayıcı malzemesi kullanıldığı zamanlarda, bu statik yükleme, yükleme girdisi için düşük bir hız kullanarak yaklaşık olarak hesaplanabilir.

Asfalt Betonu

1. Eğer tüm genişlikte asfalt betonu kullanılmadıysa, kenar yüklemesi durumlarını azaltmak için stabilize AC malzemesine yoğunlaştırılmalıdır. Küçük bir genişletme (mesela, 30 cm) bile yararlı olabilir.
2. Şehiriçi ekspres yollar ve otoyollar dışındaki yollar için, anayolun yapısal enkesitinden daha az bir yapısal enkesit banket için gerekli olabilir.
3. Yükleri desteklemeyen ve önemli bakım isteyen bitümlü yüzey kaplamalara karşıt olarak, yoğun trafikli otoyolların banketleri için HMA kullanılması önerilmektedir.

3.3. ANALİZ

Yeni ve yeniden inşa edilmiş üstyapıların analitik ve amprik tasarımı, tasarımcı tarafından tekrarlı aktif yaklaşımı gerektirmektedir. Tasarımcı bir deneme tasarımı seçmeli ve daha sonra tasarımcı tarafından verilen performans kriterlerine uyup uymadığını belirlemek için detaylı olarak tasarımı analiz etmelidir. Bu rehberde ele alınan esnek üstyapı performans ölçüleri, kalıcı deformasyon (tekerlek izi), yorulmaya bağlı çatlama (hem aşağıdan yukarıya hemde yukarıdan aşağıya), termal çatlak ve

geometrik düzgünlük (Uluslar arası Pürüzlülük İndeksi, IRI) konularını içerir. Eğer, deneme tasarımı performans kriterlerini tatmin etmiyorsa, bütün kriterler yerine gelinceye kadar tasarım değiştirilip tekrar tekrar analiz edilir. Uygulanan performans kriterlerini yerine getiren tasarımlar bundan sonra yapısal ve fonksiyonel olarak ulaşılabilir varsayılır ve ömür döngü malşyet analizi gibi diğer başka değerlendirmeler için ele alınabilir.

3.3.1. Esnek Üstyapı Tasarım Sürcine Genel Bakış

Terim olarak “asfalt üstyapı” kelimesi, yüzey tabakası olarak asfalt betona sahip olan herhangi bir yeni, yeniden inşa edilmiş yada takviye tabakası uygulanacak üstyapı sistemini belirtir. Tasarım sürecindeki ana adımlar şunlardır:

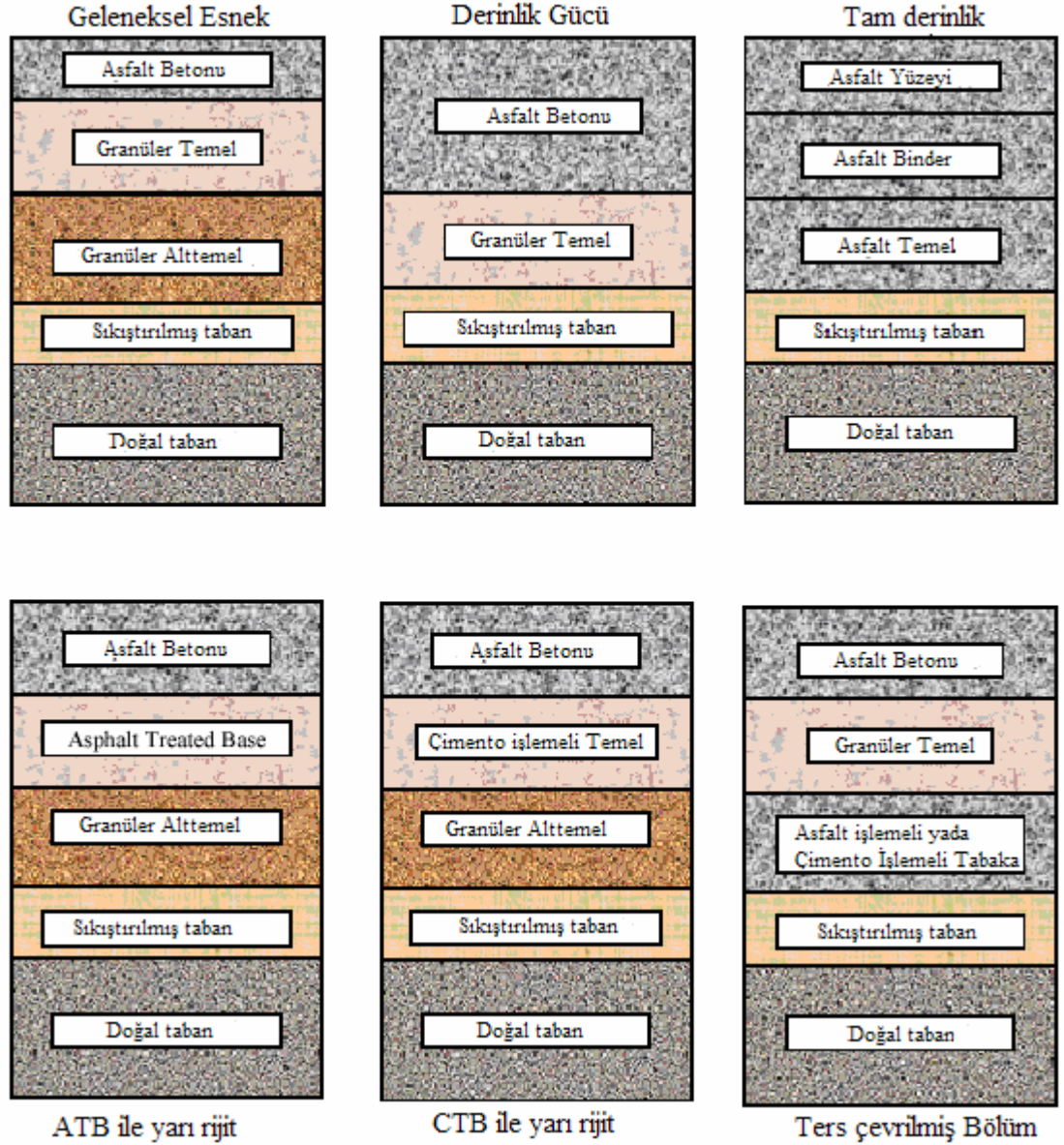
1. Spesifik saha koşulları için bir deneme tasarımı düzenleyin— taban zemini, asfalt beton ve diğer kaplama malzemeleri özelliklerini, trafik yüklerini, iklimi, üstyapı tipini ve tasarımını ve inşaat özelliklerini tanımlayın.
2. Tasarım periyodunun sonunda kabul edilebilir üstyapı performansı için kriterler saptayın (Ör., tekerlek izi, yorulma, termal çatlak ve IRI için kabul edilebilir seviyeler).
3. Uygulamalı Performans göstergelerinin herbiri için güvenilebilirlikte istenen seviyeyi seçin (Ör, tekerlek izi, yorulma , termal çatlak ve IRI için güvenlik seviyelerini seçin).
4. Bütün tasarım periyodu için trafik girdileri, malzemenin mevsimsel değişiklikleri ve tasarım değerlendirmelerinde gereken iklim girdilerinin aylık değerlerini elde etmek için girdiyi analiz edin.
5. Tasarım periyodu boyunca her hasar hesaplaması artışı için ve her aks tipi ve yükü için tanımlı element yada çok tabakalı elastik teori bazında üstyapı tepki modelleri kullanarak yapısal tepkileri (gerilmeler ve şekil değişiklikleri) hesaplayın.
6. Bütün tasarım periyodu için her analiz periyodunun sonunda toplam gerilme veya hasarı hesaplayın.
7. Rehberde sağlandığı gibi kalibreli analitik-amprik performans modellerini kullanarak tasarım ömrü boyunca her analiz periyodunun sonunda anahtar bozulmaları (tekerlek izi, aşağıdan yukarıya-yukarıdan aşağıya yorulma çatlağı, termal çatlak) öngörün.

8. İlk IRI' nın bir fonksiyonu olarak pürüzsüzlüğü, zamanla biriken bozulmaları ve saha faktörlerini her analiz ilerlemesinin sonunda öngörün.
9. Belirli güvenilirlik seviyesindeki deneme tasarımının beklenen performansını değerlendirin.
10. Eğer deneme tasarımı, performans kriterlerine uymuyorsa, tasarımı yeniden düzenleyin ve tasarım kriterleri karşılayana kadar yukarıdaki adımları 4'den 9'a yineleyin.

3.3.2. Tasarım Girdileri

3.3.2.1. Deneme Tasarımı Girdileri ve Saha Koşulları

Kabul edilebilir bir tasarım, tekrarlı bir analizle ve analiz periyodu boyunca bütün performans kriterleri (Ör. Tekerlek izi, yorulma kırılması, IRI) karşılanıncaya kadar deneme tasarımlarının düzenlenmesiyle belirlenir.



Şekil 3.20 : Asfalt Betonu Üstyapı Tabaka Sistemleri

Deneme tasarımına ek olarak, tasarımcı, proje saha koşulları için girdiler de sağlamak zorundadır; taban zemin özellikleri (anakayanın varlığı da dahil olarak), trafik ve iklim verisi gibi. Ayrıca, başlangıç IRI tahmini, inşaat ayı ve üstyapının trafiğe açılacağı tahmini ayı, gibi inşaat ile ilgili birçok tasarım girdileri de vardır.

Yeterli girdileri elde etmede önemli bir zorluk, proje için istenen spesifik bilgilere genelde tasarım aşamasında ulaşılamaması ve çoğu zaman inşaatın yıllarca önce tahmininin yapılmasıdır. Projede kullanılan malzemeler, inşaatın başlamasından birkaç

hafta öncesine kadar bile bilinmeyebilir. Tasarımcı, gerçekçi bir tasarım elde etmek için mahalindeki malzeme özellikleri, trafik ve tasarımda kullanılacak diğer girdiler hakkında mümkün olduğunda çok veri toplamalıdır. Ayrıca, tasarımcılar, üstyapı performansını etkileyebilecek anahtar faktörleri tanımlamak için bir duyarlılık analizi de uygulamalıdır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre, anahtar malzeme özelliklerinin (Ör: asfalt betonu sertliği), yada üstyapı performansını sorgulanan girdiye daha az duyarlı yapmak noktasında kalitesinin sıkı kontrolü için öngörüler yapılabilir.

3.3.3. Üstyapı Tepki Modelleri

Esnek üstyapı tepki modellerinin amacı trafik yüklerine ve çevresel etkilere bağlı olarak üstyapı sisteminin yapısal tepkisini belirlemektir.

Çevresel etkiler doğrudan olabilir (Ör: termal genişleme yada büzülmeye bağlı olarak sertlikteki değişimler) yada malzeme özellikleri üzerindeki etkisinden dolayı olabilir.

Üstyapı tepki modelinin çıktıları üstyapı tabakaları arasındaki gerilmeler, şekil bozuklukları ve yer değişimleridir. Önemli olan konu kritik tepki değişkenlerinin analitik-empirik tasarım yönteminde üstyapı bozulma modellerine girdi olarak gerekmesidir.

Her üstyapı tepki değişkeni, üstyapı tabakası dahilindeki kritik bölgede (parametrenin en uç değerlerinin bulunduğu bölgede) değerlendirilmelidir. Tek tekerli yükleme için, kritik bölge araştırma ile belirlenebilir. Örneğin, Tek tekerlek yükü altındaki HMA tabakasının en altındaki yatay şekil değiştirme için kritik bölge tekerleğin merkezinin hemen altında kalan yerdir. Birden fazla tekerlek veya aks için, kritik bölge tekerlek yükü konfigürasyonu ve üstyapı bünyesinin bir fonksiyonu olacaktır. Karışık trafik koşulları (tekli artı çoklu tekerlek/aks araç tipi), problemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Üstyapı bünyesi dahilindeki kritik bölge, bütün araç tipleri için genelde aynı olmaz. Üstyapı tepki modeli, bu durumlarda her tepki parametresi hakkında kritik bölgeler için araştırma yapmalıdır.

Üstyapı bünyesindeki bütün malzemelerin gerçekçi bir yaklaşımla doğrusal elastik olarak işlendiği durumlar için, çok tabakalı elastik teorisi üstyapının tepkisini belirlemek için kullanılır.

Çok tabakalı elastik teori, doğrusal üstyapı analizleri için analiz özellikleri, teorik katılma ve hesaplama hızının iyi bir kombinasyonunu sağlar. Granüler malzemenin doğrusal olmayışlığının da ayrıca ele alındığı durumlarda, doğrusal olmayan tanımlı eleman yöntemi, üstyapı gerilmelerinin, şekil değiştirmelerin ve yer değiştirmelerin belirlenmesi yerine kullanılır.

Ancak, rutin tasarım için rehber yazılımı ile verilen doğrusal olmayan tanımlı eleman kodunu kullanırken dikkatli olmak gereklidir. Üstyapı yapısal tepki hesaplama metodlarının öncelikli olarak araştırma amaçlı kullanılması düşünülmüştür

3.3.4. Yığışımli Bozulma ve Hasar Birikimi

Deneme Tasarımı, hedef tasarım ömrünün trafiğe açılış ayı ile birlikte daha kısa tasarım analizi periyodlarına yada adımlarına bölünmesiyle doğruluğu konusunda analizden edilir. Her adımda (her analiz periyodu), üstyapı tepkilerini ve hasarını etkileyen bütün faktörler sabit tutulur. Bunlar:

- Trafik Seviyeleri.
- Asfalt betonu modülü.
- Temel ve Alttemel modülü.
- Taban zemini modülü.

Her bozulma tipi için kritik gerilme ve/ya şekil değiştirme değerleri, her analizde belirlenir. Bu kritik gerilme ve/ya şekil değiştirme değerleri yığışımli bozulmalara çevrilir. Yığışımli bozulmalar ve/ya hasarlar bütün adımlar üzerinden toplanır ve tasarım rehberi yazılımı tarafından her analiz periyodu sonunda çıktı olarak sunulur.

3.3.5. Bozulma Tahmini

Yığışımli bozulma, formüle edilen deneme tasarımlarının yapısal doğruluğunu değerlendirmede bir baz teşkil eder. Yapısal bozulmaların bir çoğu, esnek üstyapı tasarımı ve analizinde ele alınır. Bunların arasında:

- Aşağıdan yukarıya yorulma (yada timsah sırtı) çatlağı.
- Yüzeyden aşağı yorulma (yada boyuna) çatlağı.
- Kimyal Stabilizeli tabakalarda yorulma (sadece yarı rijit üstyapılarda ele alınır)

- Kalıcı Deformasyon (yada tekerlek izi).
- Termal Çatlak.

Tekerlek izi mutlak değerlerle öngörülür. Bu yüzden, her analiz periyodu için hesaplanan artışlı bozulma; üstyapı için bütün hedef tasarım ömrü için doğrudan biriktirilebilir.

Çatlak (aşağıdan yukarı/yüzeyden aşağı yorulma çatlağı, termal kırılma) üstyapı bünyesi içinde yük ile ilgili hasarı endeksini temsil eden analitik bir parametredir. Hasar çok az olduğunda, (Ör: 0.0001) üstyapı bünyesinin önemli ölçüde bir çatlama sergilemesi beklenmez. Hesaplanan hasar arttıkça, görünen çatlamanın proje boyunca birkaç bölgede gelişmesi beklenebilir. Yığışlı hasar, Miner's kuralını kullanan her analiz periyodu için biriktirilir. Yığışlı hasar, hesaplanan hasarı gözlemlenen bozulmalarla ilişkilendiren kalibre edilmiş modeller kullanarak fiziksel çatlama dönüştürülür. Kalibre edilmiş bozulma tahmin modelleri; LTPP veritabanı yada birçok farklı iklim koşullarında yer alan ve değişik trafik ve çevresel yükleme durumlarına maruz kalan esnek üstyapı tiplerinin uzun vadeli üstyapı performans verilerini kullanarak geliştirilmiştir.

3.3.5.1. Aşağıdan Yukarı Yorulma veya Timsah Sırtı Çatlağı

Bu tip yorulma çatlağı en başta tekerlek izinde hızla yayılan kısa boyuna çatlaklar olarak ortaya çıkar ve daha sonra bunlar timsah sırtı çatlağı kalıbında bir form ile birbiriyle birleşirler. Bu çatlaklar HMA tabakasının alt kısmında başlarlar ve tekrarlı yük nedeniyle yol yüzeyine doğru harekete geçerler.

Bu tip yorulma çatlağı, trafik altında HMA tabakasının tekrar tekrar eğilmesiyle meydana gelir. Temel olarak, üstyapı ve HMA tabakası tekerlek yükleri altında zarar görür ve tabakanın alt kısmında şekil değiştirmeler ve gerilmeler oluşur. Devam eden eğilmeler, gerilmeler ve şekil değiştirmeler tabakanın alt kısmından başlayan çatlaklara sebep olur ve daha sonra yol yüzeyine doğru harekete geçerler. Gerilme ve şekil değiştirmelerinin, HMA tabakasının alt kısmında oluşmasının bazı nedenlerini kısaca şöyledir.

- Taşıt yüklerinin büyüklüğü ve tekrarlı oluşuna göre HMA tabakalarının ince yada zayıf olması.
- Daha fazla tekerlek yükleri ve daha yüksek lastik basınçları .
- Granüler Agrega temel malzemeleri yada taban zeminindeki yumuşak noktalar veya alanlar.
- Yetersiz sıkıştırma sonucu oluşan zayıf agrega temel/alttemel tabakaları yada nem içeriğindeki artışlar veya aşırı yüksek yer altı suyu seviyesi

Aşağıdan yukarıya yorulma çatlaklarının tipik değerleri toplam şerit alanının % 25 - % 50 düzenindedir.

3.3.5.2. Yüzeyden Aşağıya Yorulma Kırılması veya Boyuna Çatlak

Birçok yorulma çatlak HMA tabakasının alt kısmında başlar ve üstyapının yüzeyine doğru harekete başlar. Ancak, artan kanıtlar, yüklerle ilgili çatlaklar aslında yüzeyde başlayıp aşağıyı doğru harekete geçtiğini göstermektedir. Bu tür çatlaklara sebep olan mekanizmalar hakkında bir çok varsayım vardır, fakat, varsayımlardan birinin diğerinden daha uygun olduğunu gösteren bir veri yoktur. Önerilen mekanizmalardan bazıları şunlardır:

- Tekerlek yükü gerilmelere ve şekil değiştirmelere sebep olur, yüzeyde meydana gelen ve çatlaklara sebep olan şekil değiştirmeler gerilmeleri başlatır ve harekete geçirir. HMA karışımının yaşlanması da bu çatlak başlaması/harekete geçmesi sürecini hızlandırır.
- Radyal lastiklerin kenarına yakın bölgedeki yüksek dokunma basınçlarının neden olduğu HMA yüzeyindeki kesmeler. Bu durum da, çatlamların başlamasına ve kesme gerilmesinin oluşmasına yolaçar.
- Yüksek oranda sertleşme sonucunda yüzeyin yakınındaki HMA karışımının yaşlanması ve yüksek dokunma basınçları ile birleştirildiğinde, lastik yüklerinin bitişiğinde çatlakların başlamasına ve/veya diğerlerinin harekete geçirmesine sebep olur.

Yüzeyden aşağı yorulma çatlaklarının kabul edilebilir tipik değerleri, üstyapının 1000 ft/mil (500 m/km) düzenindedir. Dikkat edilirse, her ne kadar yüzeyden aşağı yorulma

çatlağı modelinin kalibrasyonu 500-feet (150 m) bölümlerinden elde edilen verilerden olsa da, sonuçlar dönüştürülür ve mil bazında raporlanır.

3.3.5.3. Kalıcı Deformasyon yada Tekerlek İzi

Tekerlek izi, bütün üstyapı tabakalarında, tabandaki plastik deformasyonların sebep olduğu tekerlek izindeki oturmadır. Bu deformasyonlar tipik olarak aşağıda belirtilen etkilerin bir sonucudur:

- 1) Tekerlek hattında yoğunlaşma veya düşey basınç artışı,
- 2) Yanal hareketler yada yol malzemelerin plastik deformasyonu (HMA, agrega temeli, ve taban zeminleri).

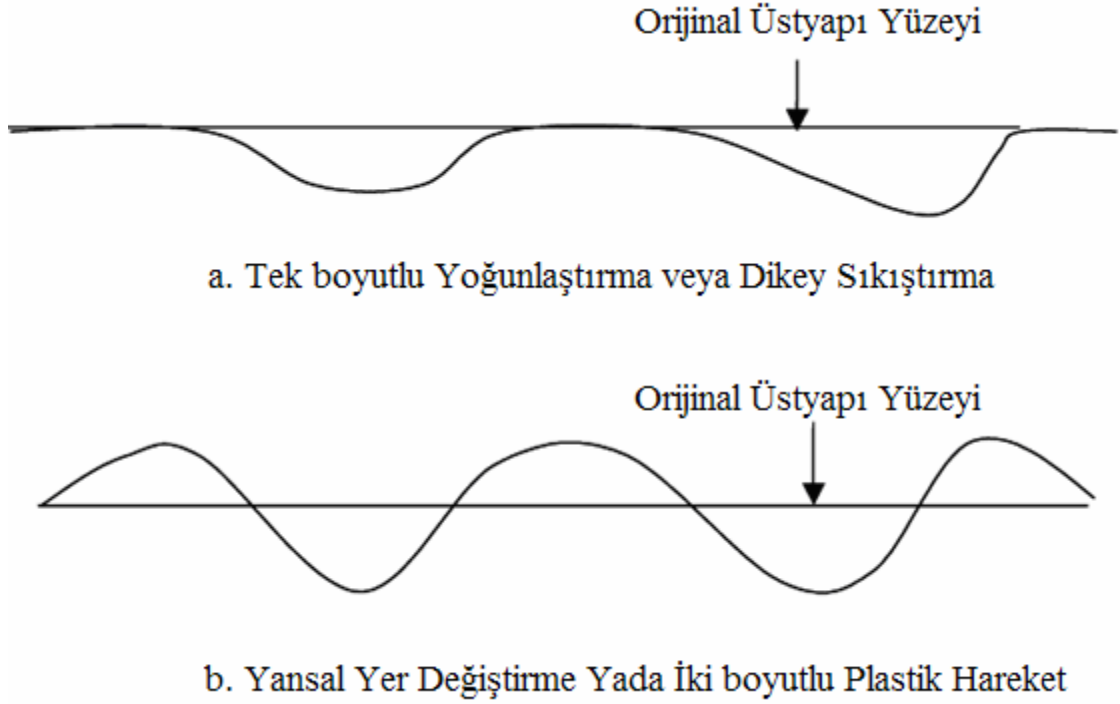
Daha ciddi erken bozulmalar ve tekerlek izi hataları, yoğunlaşmadan ziyade herhangi üstyapı tabakası yansal akışı veya yetersiz kesme dayanımı ile ilgilidir. Tekerlek izi aşağıda belirtildiği gibi 2 türde sınıflandırılır.

- *Yoğunlaştırma veya düşey basınç*

Yük yoğunlaşmasından kaynaklanan tekerlek izi derinliği, çökmenin her iki tarafında ona eşlik eden bir tümseği olmayan tekerlek yolu merkezinin yakınındaki bir deformasyondur. Malzemelerin yoğunlaşması genelde aşırı hava boşlukları, granüler veya stabilize üstyapı tabakalarının herhangi biri için yetersiz sıkışmadan kaynaklanır.

- *Yanal hareketler veya plastik deformasyonu*

Malzemenin yanal deformasyonundan kaynaklanan (aşağıya doğru ve yukarıya doğru) bir iz derinliği, çökmenin iki tarafında da kesme kabarmasıyla tekerlek izi merkezine yakın bir çökmedir. Bu tipteki iz derinliği genelde orta seviyeden yüksek seviyeye kadar tekerlek izine yol açar olur. HMA tabakasının ağır tekerlek yükleriyle aşırı etkileşimi aynı zamanda üstyapıda tekerlek temas yüzeyinde düzleşme etkisine (flushing) sebep olur. Bu tip tekerlek izleri en zor öngörülen ve laboratuvarda en zor ölçülen bir cinstir Toplam kalıcı deformasyon için tipik maksimum iz derinlikleri 0.7-1.3 mm. düzeninde olur.



Şekil 3.21 : Esnek Üstyapılarda Tekerlek İzi Türleri ve Mekanizmaları

3.3.5.4. Termal Çatlak

Düşük hava sıcaklıklarına yada sıcaklık döngülerine bağlı olarak esnek üstyapılardaki çatlaklara genel olarak termal çatlaklar denir. Termal çatlaklar tipik olarak, üstyapı merkez çizgisine dik olarak üstyapı yüzeyinde çaprazlama çatlaklar şeklinde ortaya çıkar. Bu çatlaklar, düşük sıcaklığa bağlı olarak HMA yüzeyinin büzülmesi, bağlayıcının sertleşmesi veya günlük sıcaklık döngülerinden kaynaklanabilir.

Düşük sıcaklıklardan kaynaklanan çatlaklara düşük sıcaklık çatlağı denir. Termal döngüden kaynaklanan çatlamaya genel olarak termal yorulma çatlağı denir. Düşük sıcaklık çatlağı aşırı soğuk bölgelerle ilişkilirken, termal yorulma çatlağı günlük ve mevsimlik sıcaklıklarda büyük farklılıklar yaşayan bölgelerle ilgilidir.

İki tür yükle ilgili olmayan termal çatlak vardır : Çapraz çatlak ve blok çatlağı. Çapraz çatlaklar genelde ilk önce oluşur ve karışım yaşlandıkça ve zamanla daha kırılgan hale geldikçe, blok çatlakları bunu izler. Çapraz çatlağı, tasarım rehberinde modellerle öngörülen bir tür olmasına rağmen blok çatlağı, malzeme ve inşaat değişkenleri ile ele alınır. Çatlağın kabul edilebilir tipik değerleri üstyapının her mili için 1000 ft (305 m) düzeyindedir.

3.3.5.5. Kimyasal Stabilizeli Tabakalarda Yorulma Çatlağı

Yorulma çatlağı, kalıcı deformasyon ve termal çatlak gibi bozulmaların ele alınmasından ayrı olarak; yarı rijit üstyapılarda ele alınması gereken bir başka bozulma da kimyasal stabilizeli temel tabakalarının altındaki yorulma çatlağıdır. Kimyasal stabilizeli tabakalar çimento, uçankül yada kireç-uçankül gibi malzemelerle stabilize edilmiş yüksek kalite temel malzemeleridir. Tekrarlı yükler altında, bu tabakalarda mikro çatlaklar oluşur ve bu da sertleşmeye yada modülün azalmasına ve sonuçta yorulma çatlağına neden olur. Bu süreç aynı zamanda üstteki HMA tabakalarındaki bozulmanın ilerlemesi üzerinde çok önemli bir rolü vardır. İyi bir karışım tasarımı, yapısal tasarım ve inşaat uygulamaları, kimyasal stabilizeli tabakalardaki yorulma çatlağını en aza indirebilir.

Burada dikkat edilecek önemli bir nokta, her ne kadar kireç stabilizeli taban zenmini kimyasal stabilizeli tabakalar sınıfına dahil olsa da, bu tabakaların yorulma çatlaklarının ele alınması tasarımda isteğe bağlıdır. Sonuç olarak, yorulma çatlağı analizi için bu tabakaların özelliklerinin belirlenmesinde gerekli görülen ek malzeme girdilerine, bazı durumlarda izin verilmez. Bu ve daha zayıf kimyasal stabilizeli tabakaların üstyapıda daha derinde olduğu yerlerde bu olay kısmen doğrudur. Ancak, bu tabakaların, yapının daha yukarı kısımlarda olduğu durumlarda ve trafikten kaynaklanan eğilme gerilmeleri taşınması beklendiğinde, Ör: düşük hacimli yollarda yorulma çatlağı ele almak , daha önemli olabilir. Kimyasal Stabilizeli tabakalardaki yorulma çatlağı için tipik tasarım hasar indeksi değerleri % 25 düzenindedir.

3.3.6. Geometrik Düzgünlük (IRI) Öngörüsü

Tasarım periyodundaki IRI ve ilk IRI 'nın hesaplanması, ilk yapım durumundaki yol profiline dayanır ve zaman içinde bozulmaların artması prensibiyle çalışır. Bu bozulmaların arasında, esnek üstyapılar için tekerlek izi, aşağıdan yukarı/yukarıdan aşağı yorulma çatlağı ve termal çatlak vardır. IRI modeli, zaman içindeki pürüzsüzlüğü öngörmek için bulunan modelleri, ilk IRI'yı ve saha faktörlerini kullanarak tahmin edilen bozulmaları kullanır. Saha faktörleri, büzülen yada kabaran zeminlerden meydana gelen ve pürüzlülüğe sebep olan taban ve iklim faktörlerini ve donma-çözülme koşullarını içerir. IRI, bütün tasarım periyodu boyunca artımlı olarak tahmin

edilir. Tipik olarak, son IRI için 150-250 in/mil (610' den 820' e cm/km) arasındaki değerler kullanılır ve bu değer karayolunun fonksiyonel sınıfına ve tasarım güvenilirliğine de bağlıdır.

3.3.7. Performans Değerlendirmesi ve Tasarım Değişiklikleri

Uygulanabilir tasarımlar, analitik bir tasarım yönteminde tekrarlı olarak elde edilir. Bu süreç aşağıdaki adımlardan oluşur:

1. Performans kriterlerini oluşturulması (Ör: Tasarım ömrünün sonundaki tekerlek izi seviyesi, çatlak ve pürüzsüzlük için istenen güvenilirlik seviyesi).
2. Bir Deneme Tasarımı Kurulması
3. Tasarım Ömrü üzerinden performansı öngörülmesi.
4. Tasarım gerekliliklerine karşı öngörülen performansı değerlendirilmesi
5. Eğer tasarım kriterleri yerine gelmiyorsa, tasarımı gözden geçirilir ve 3 ve 4' ü adımlar tasarım performans gerekliliklerini tatmin edinceye kadar tekrarlanır.

3.3.8. Tasarım Güvenilirliği

Trafik yükleri ve tasarım ömrü boyunca iklim faktörlerinde olduğu kadar, üstyapı tasarımı ve inşaatında da büyük ölçüde belirsizlikler ve değişkenlikler vardır. Analitik-amprik tasarımda, ilgi alanındaki anahtar çıktılar bireysel bozulma değerleridir (Ör: esnek üstyapılar için tekerlek izi, yorulma çatlak ve termal çatlak). Bu yüzden, öngörülen bozulma, güvenilir tasarımında ilgilenilen rastgele değişken halindedir. Bu değişkenin olası tahminleri ve bununla ilgili momentler için varsaydığı dağılımın ölçümü, güvenilirlik tahmininin ilgi alanına girer. Bu Rehberde, tahmin edilen bozulma büyüklüğü ile ilgili değişken, alandaki tahmini ve gerçek bozulmalar arasında farklılığın dikkatli analizinden sonra kalibrasyon sonuçları bazında tahmin edilir. Tasarım amaçlı olarak, tasarım güvenilirliği, ortalama tahminin civarındaki belirlenen performans varyasyonunun bilgisine dayalı olarak alınır. Bireysel üstyapı bozulma modelleri için tasarım güvenilirliği, kalibrasyon sürecinden elde edilen her bireysel modelin tahminlerinin standart hatasına dayanır. Bu hata tahminleri arasında kombine edilmiş girdi değişkenliği, inşaat sürecindeki değişkenlik ve model yada sadece hata bulunur.

İstenen güvenlik seviyesi, üstyapı tasarımı için performans gerekliliklerinin tanımlanmasında tasarım ömrünün sonunda bozulmanın istenen seviyesi ile birlikte belirlenir. Örnek olarak, bir kriter % 90' lık bir tasarım güvenilirliğinde tekerlek izi derinliğinin 25 mm olarak sınırlandırılması verilebilmektedir. Bu yüzden, eğer tasarımcı 100 proje tasarlırsa, tasarım ömrünün sonunda bu projelerin 90 tanesinin tekerlek izi derinliği 25 mm'nin altında olabilir. Farklı güvenilirlik seviyeleri aynı tasarımda farklı bozulmalar için belirlenebilir. Örnek olarak, tasarımcı tekerlek izi için %95 belirlemeyi seçebilir ancak termal çatlak ve IRI için %90 güvenilirlik seçebilir. Elbette ki, belirli bir bozulma için daha yüksek tasarım güvenilirliği demek, üstyapının ilk yapım maliyetini daha yüksek olması demek, fakat ileriye dönük bakım maliyeti daha düşük demektir.

3.3.9. Ömür Döngüsü Maliyeti Tahmini

Bir deneme tasarımı yapısal (bozulma) ve fonksiyonel (pürüzsüzlük) gereklilikleri yerine getirdikten sonra, teknik olarak uygulanabilir bir tasarım alternatifi haline gelir. Bu noktada, üstyapı diğer uygulanabilir tasarımlarla karşılaştırma için kendi ömür döngüsü için analiz edilebilir. Uygulanabilir tasarım alternatiflerinin öngörülen bozulması ve IRI'sı, ömür döngü maliyet analizi yapılırken tasarımcı tanımlı bakım ve takviye tabakası uygulama politikasıyla beraber, tasarım alternatiflerinin ortalama ömürleri ve bunların standart sapmalarının tahmininde de kullanılabilir.

3.3.10. Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemi

Buradaki "Esnek üstyapı" terimi, yüzeyinde asfalt beton karışımı bulunan herhangi bir yeni, yeniden inşa edilmiş yada takviye tabakası uygulanacak üstyapı sistemi anlamına gelir. Kullanılan tasarım metodolojisi, birçok bozulma tiplerinin öngörülmesi için analitik-ampirik yaklaşımları baz alır :

- Asfalt yorulma çatlak (yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya)
- Kalıcı deformasyon (HMA tabakası granüler tabaka, taban zemini ve toplam kalınlıkta)
- HMA termal çatlak (çevrenin sebep olduğu)
- Kimyasal Stabilizeli yüklerle ilgili olarak yorulma çatlak

Tasarım Rehberi, yüzeyi asfaltla kaplanmış üstyapılarda karşılaşılan genel bozulma tiplerinin bir çoğunu hedef alırken, bazı önemli mazleme dayanıklılık konuları tasarım sürecinde doğrudan alınmaz (Ör : nem duyarlılığı, soyulma v.b.). Bu yüzden, tasarımcı, Rehberde doğrudan ele alınmayan potansiyel bozulma tiplerini hedef almak için yine de güncel teknoloji ve malzeme standartlarına başvurmak zorundadır. Bununla birlikte yine de, yeni ve yeniden inşa edilen üstyapı tasarımı için, kimyasal stabilizeli tabakalarda yansıma çatlakları (orta-rijit üstyapı kısımları), sonuç olarak asfalt betonu yüzey tabakasında meydana gelebilecek çatlağın derecesini belirlemede ilk faktördür.

Analitik-amprik yaklaşımlardan geliştirilen bozulma öngörülerini aynı zamanda, tasarım sürecinde kullanılabilecek fonksiyonel performans kriterleri (özel bozulma öngörülerini ile birlikte) olarak IRI'nin tahmini ile bağlantılıdır. Hem determenistik hemde güvenilirlik temelinde çözümler rehberde bulunmaktadır.

3.3.10.1 Deneme Tasarımı Parametreleri

Değişik esnek üstyapı tipleri rehberdeki yöntemler kullanarak tasarlanabilir. Bunlar;

- (1) Geleneksel esnek üstyapı, nisbeten ince HMA den ve kalın granüler temel/alttemel tabakalarından oluşan,
- (2) Daha kalın asfalt betonu karışımlar,
- (3) Tüm derinlikte HMA kısımları, asfalt betonu tabakanın doğrudan taban zemini üzerine yerleştirildiği yerler,
- (4) Kimyasal stabilizeli tabakalara sahip “ yarı-rijit ” sistemler vardır.

Malzemelerin tabakalaşması geleneksel tarzda yani derinlikle birlikte malzeme kalitelerinin düşmesi şeklinde olabilir. Tasarımcı, analizi yapılacak ilk üstyapı bölümü için üstyapı enkesit alanını tanımlamalı ve tabaka malzeme tiplerini ile tabaka kalınlıklarını belirlemelidir. Tasarımcı daha sonra, mevsimsel analizin gerekli olup olmadığını seçmelidir. Eğer mevsimsel analiz seçilmezse, bütün HMA olmayan tabakaların bütün analiz periyodu boyunca sabit E ve μ (modül ve poisson oranı) değerleri olduğu varsayılacaktır. Eğer mevsimsel analiz opsiyonu seçilmemiş olsa da, asfalt beton malzemelerinin kalınlığındaki sıcaklık ve yaşlanma üzerinde mevsimsel

değişimlerin etkileri yine de ele alınacaktır. Aşağıdaki opsiyonlar mevsimsel analiz için uygundur:

- EICM öngörülleri
- Aylık mevsimsel değerler

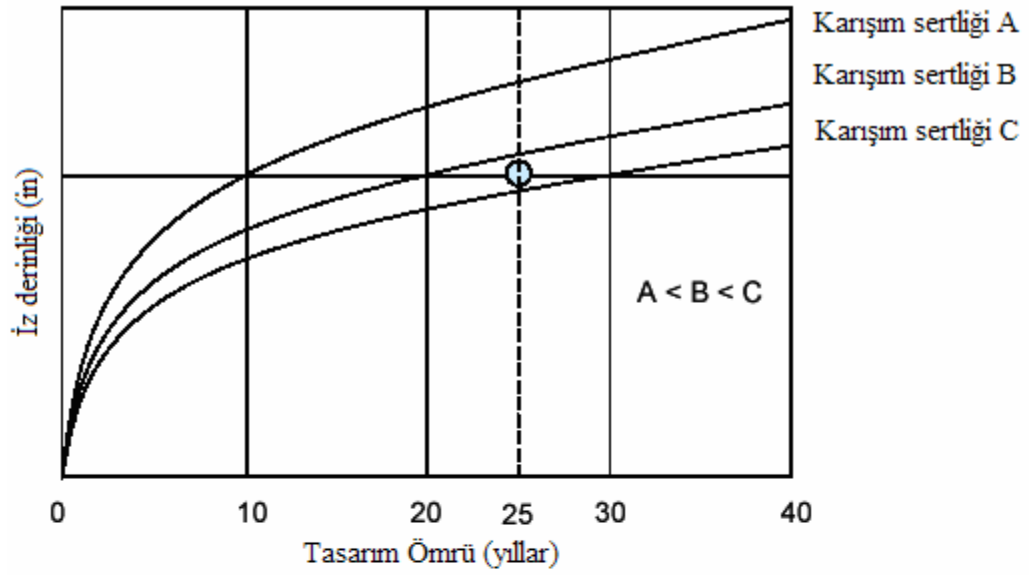
Eğer EICM opsiyonu seçilirse, program içsel olarak aylık yada yarım aylık aralıklarda mevsimsel malzeme değişimlerini tahmin etmek için kullanıcı tarafından girilen esneklik modülü değerleri hakkında çevresel uyum faktörleri geliştirir. Donmanın olmadığı mevsimler sırasında aylık aralıklar kullanılır. Eğer üstyapı bölgesinde donma öngörülüyorsa, analiz periyodu çözülme-toparlanma dönemi sırasında zayıflama konusunda daha doğru hesaplamalar yapabilmek için 2 haftaya indirilir.

Aylık mevsimsel değerler opsiyonu için, tasarımcı her yıl her ay için modülü ve nem değerlerini girmesi gerekir. Girdi modül değerleri doğrudan üstyapı tepki modelinde kullanılırlar. Nem içeriği, granüler tabakada kalıcı deformasyon modeli için gereklidir. Kullanıcı tarafından girilen değerler analiz periyodu boyunca her yıl tekrarlanır.

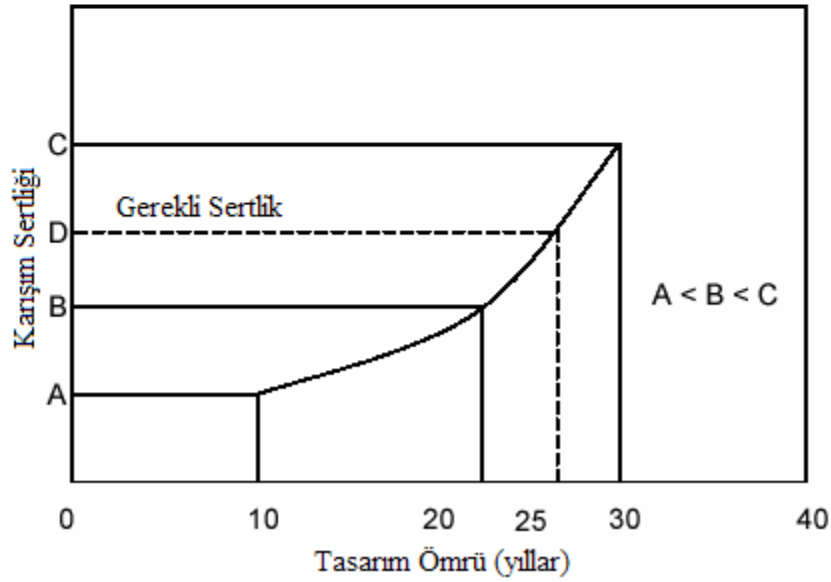
Bir sonraki önemli seçim, her bozulma tipi hakkında tasarım performans kriterlerinin seçimidir. Tasarım performans kriterleri için gerekli spesifik bilgi, deterministik veya güvenilirlik tasarım analizinin seçilip seçilmemesine bağlıdır. Deterministik bir analizde, üstyapı analizi için sadece iki parça bilgiye ihtiyaç vardır : bozulma için sınırlı tasarım değeri (yada IRI), ve tasarım ömrü. Örneğin, bir performans kriteri “ Tasarım 25 yıllık bir periyotta, HMA da tekerlek izi 1.0 cm geçmemeli” şeklinde ifade edilebilir. Şekil 3.22a, A,B,C değerinde sertliklere sahip 3 farklı bitümlü karışımı için zaman fonksiyonu olarak izdeki derinlik artışını şematik olarak gösterir. Daha sert karışımlar, daha yumuşak karışımlarla karşılaştırıldığında daha az tekerlek izine sahip olurlar. Şekilde gösterildiği gibi, karışım A'daki tekerlek izi 10 yılda 1.0 cm olacakken, karışım C'de aynı tekerlek izine 30 yılda ulaşacaktır. Buna bağlı olarak, 25 yıldan sonraki 1.0 cm. tekerlek izinin belirlenmiş performans kriteri için, optimum sertlik karışım A ve karışım C arasında olur.

Şekil 3.22b, 1.0 cm. lik bir iz derinliği için tasarım ömrü üzerinde karışım sertliğinin etkisini gösteriyor; karışım sertliği D, 1.0 cm derinliği aşmayan bir iz ile 25 yıllık bir tasarım ömrüne ulaşmak için karışım sertliği D optimumdur.

Deterministik analizin tersine olarak, güvenilirlik yaklaşımı 3 parça bilgiye ihtiyaç duymaktadır. Bunlar, bozulma için sınırlı tasarım değeri (yada IRI), tasarım ömrü ve istenen güvenilirlik seviyesidir. Böylece, bir performans kriteri örneğin şu şekilde ifade edilebilir, Tasarım; 25 yıllık bir periyod dahilinde, 1.0 cm. lik bir HMA tekerlek izi seviyesini geçmeyen, % 90' lık bir olasılığa sahip olmalıdır.



(a)



(b)

Şekil 3.22 : Performans Öngörüsü İçin Kullanılan Deterministik Yaklaşım

Karışım A, en yumuşağı ve tekerlek izine en duyarlı olanı iken karışım C en sertidir ve dolayısıyla tekerlek izine en duyarsız olandır. Her nokta üzerindeki normal dağılım, tekerlek izi derinliği öngörü değişimini temsil eder. İz derinliğindeki bu değişkenlik,

trafik seviyelerindeki, malzeme özelliklerindeki, inşaat kalitesindeki ve tekerlek izine katkıda bulunan diğer değişkenlerdeki farklılaşmalardan meydana gelebilir.

3.3.11.Üstyapı Tepki Modelleri

3.3.11.1. Analiz Modelleri

Üstyapı tepki modelinin amacı, trafik yükleri ve çevresel etkilere bağlı olarak üstyapı sisteminin yapısal tepkisini belirlemek içindir. Çevresel etkiler termal genişleme veya büzölmeye bağlı olarak doğrudan (ör: şekil değıştirmeler) olabilir yada malzeme özelliklerinin etkisine bağlı olarak dolaylı olabilir (sıcaklık veya nem etkilerine bağlı olarak sertlikteki değışimler). Esnek üstyapı tepki modellerinin girdilerine şunlar dahildir :

1. Üstyapı geometrisi
 - Tabaka kalınlığı
2. Çevre
 - Sıcaklığa karşılık her mevsim için derinlik
 - Neme karşılık her mevsim için derinlik
3. Malzeme Özellikleri
 - Elastik özellikler.
 - Doğrusal olmayan özellikler
4. Trafik
 - Yük dağılımı
 - Lastik temas basıncı dağılımları ve alanları

3.3.12. Performans Öngörüsü

Belirli bir üstyapı bünyesinin tasarımı ve analizi, zaman ve trafiğin bir fonksiyonu olarak hasar birikimine dayandırılır. Esnek üstyapılar için Tasarım Rehberinde ele alınan birincil bozulmalar :

- Kalıcı Deformasyon (tekerlek izi)
- Yorulma çatlağı (aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı)
- Termal çatlaktır.

Buna ek olarak, üstyapı pürüzsüzlüğü (IRI) bu bozulmalara ve diğer faktörlere göre öngörülür.

Tasarım rehberi metodolojisi, artırlı (yığılımlı) hasar yaklaşımına dayandırılır. Bozulma yada hasar her analiz aralığı için tahmin edilir ve yığılımlı olarak biriktirilir. Bir aylık bir analiz aralığı hasarın tahmin edilmesi için temel birim olarak tanımlanır. Ancak, analiz aralığı, bu şartlar altında modüldeki hızlı değişimden dolayı donma ve çözülme periyodları sırasında yarım-aya indirilir. Sıcaklık ve nemdeki değişim doğrudan malzeme tepkisini ve dolayısıyla performansı etkiler. Her bozulma öngörüsü için kullanılan modeller, ilerdeki bölümlerde daha detaylı olarak açıklanacaktır.

3.3.12.1. Kalıcı Deformasyon

Kalıcı deformasyon, esnek üstyapı sistemlerinde meydana gelen yükle ilgili en önemli bozulma tiplerindendir. Bu, özellikle tekerlek temas bölgelerinde, aşamalı olarak yükün tekrar tekrar uygulanma sayısının artmasıyla gelişen tekerlek iziyle ilgilidir. Tekerlek izi normalde, kenarlarda küçük kabarmalarla birlikte çıkan tekerlek izindeki boyuna bozukluklar olarak görünür. Tekerlek izi profilinin genişliği ve derinliği; tasarım sahasındaki çevreye olduğu kadar üstyapı bünyesine (tabaka kalınlığı ve kalitesi), trafik yüküne ve miktarına da oldukça bağlıdır.

Genel olarak, tasarım mühendisi üstyapı bünyesinin toplam deformasyonu ile ve önemli bir güvenlik konusu olduğu için yüzeydeki enine ve boyuna profilleri nasıl etkilediği ile ilgilenir. Ana problemler; yüzey seviyesini değiştiren takviyeye göre bu profillerdeki değişimlerle bağdaştırılabilir. Enine profiller ise, tekerlek izi boyunca drenaj karakteristiklerini değiştirir ve drenaj kapasitesini azaltır. Su, şeritlerde birikebilir, bu da araçlar için kızaklamaya ve güvenlik azalmasına yol açar. Ayrıca, daha soğuk ortamlarda, kar ve buz bakımı (kaldırma) işi zorlaşır çünkü yüzey tam olarak düz değildir. Boyuna profile, malzemenin veya inşaatın değişkenliğine bağlı olarak kalıcı deformasyonlar pürüzü artırır ve yolun hizmet düzeyi düşebilir.

Uzun yıllar boyunca birçok analitik - amprik üstyapı tasarımı yaklaşımlarında en çok uygulanan bir durumda ise, kalıcı deformasyonları ile taban zemininin üstündeki aşırı düşey şekil değiştirmeleri ilişkilendirmektir. Varsayım ise; eğer üstyapı iyi tasarlanmış

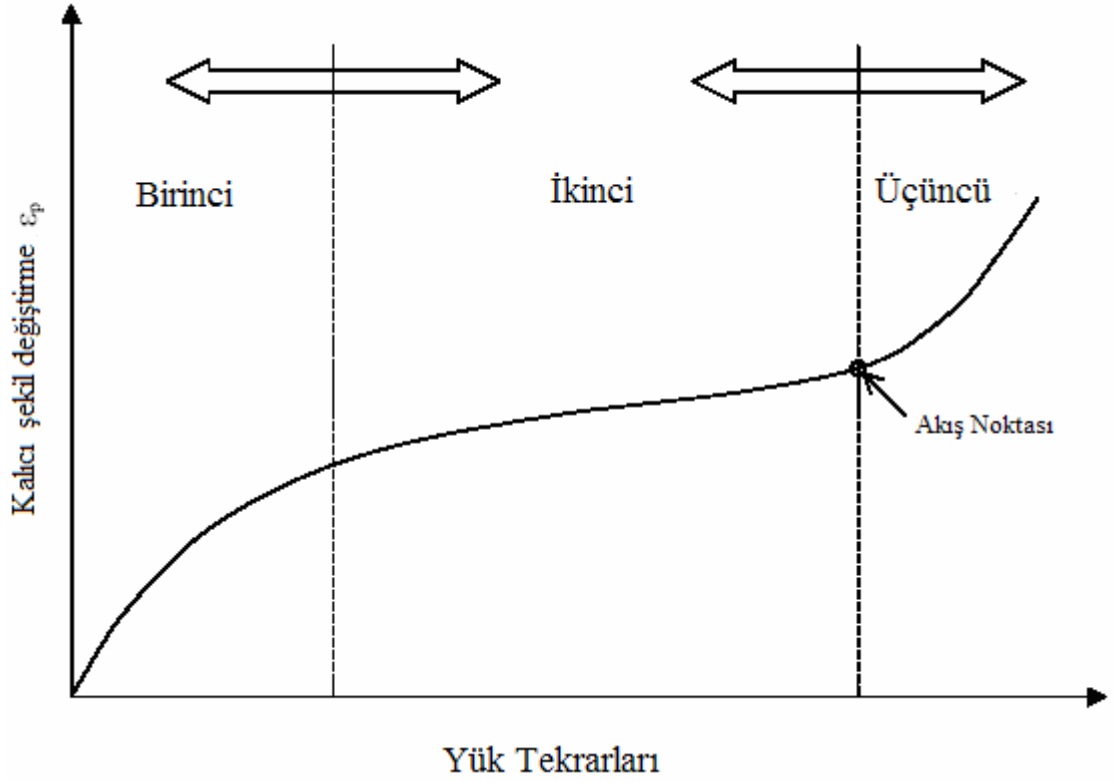
ve taban zemininin üstündeki üstyapı malzemelerinin kalitesi iyi kontrol edilmiş ise, taban zemininin üstündeki düşey şekil değiştirmeler sınırlandırılarak tekerlek izi tolere edilebilir seviyelere indirilebilir. Bu yaklaşım, esnek üstyapılar için tarihsel tasarım yaklaşımları da yansıtmaktadır. Burada, yapısal tasarım sadece taban zemini tabakasını kontrol ederken, kesme gerilmelerini azaltmak için bir yöntemdir.

Bununla birlikte, zaman içinde ve teknik kapasitelerin artmasıyla, tasarım mühendisleri için toplam kalıcı deformasyon, üstyapı sisteminin bütün tabakalarında meydana gelen yığışım izlerin bir sonucu ortaya çıkmaktadır. Tasarım Rehberinde oluşan kalıcı deformasyonun bir ana hedefi de, bitümlü karışım tasarımının kesinlikle yapısal tasarım süreciyle ilgili olduğundan emin olmaktır.

Tasarım Rehberi için, öngörülü tekerlek izi sistemi, analiz periyodu dahilinde üstyapıda bütün ize duyarlı tabakaları (genelde asfalt betonu ve bütün granüler malzeme tabakaları) içindeki kalıcı deformasyonu değerlendirmek için bulunmaktadır. Bireysel tabakalardaki tekerlek izi derinlikleri, her tabaka için zaman ve tekrarlı trafik yükünün bir fonksiyonu olarak öngörülür.

Ele alınan malzeme tipinden bağımsız olarak, belirli bir malzeme, yük ve çevresel koşullar setinde üstyapı malzemelerinin kalıcı deformasyon davranışı için genel olarak üç farklı aşama vardır. Şekil 3.23, bu üç aşamayı göstermektedir :

- *İlk Aşama* : Tekerlek izinde ilk seviye yüksek, plastik deformasyonun oranı düşük, daha çok hacimsel değişimlerle ilgilidir.
- *İkinci Aşama* : Küçük oranlı tekerlek izi, sabit oranda tekerlek izi değişimi gösterir, bu da hacimsel değişimle ilgilidir; ancak kesme deformasyonları artarak yükselir.
- *Üçüncü Aşama* : Hacim değişimi olmayan koşullar altında plastik (kesme) deformasyonları ile ilgili yüksek seviyede tekerlek izi.



Şekil 3.23 : Üstyapı Malzemelerinin Tipik Tekrarlı Yük Kalıcı Deformasyonu

Tasarım Rehberi, hem birinci hemde ikinci aşamaları modelleyen, birinci aşamanın ikinci aşama ile ekstrapolasyonu kullanılarak modellendiği bir yaklaşımı kullanır. Üçüncü aşama, her ne kadar önemli olsa da, Tasarım Rehber metodolojisinde ayrıntılı olarak ele alınmamıştır. Kalıcı deformasyon testlerinin bu aşamaya ulaşması; aşırı derecede zaman kaybettirici, gerçekleştirmesi zor ve uygulama için tahmin metodolojisinden yoksundur. Ancak, bu konuda araştırma çalışmaları devam etmekte ve analitik olarak bu tipteki deformasyonları düzeltmesi beklenmektedir. Gerçek plastik kesme deformasyonları sistem içinde modellenmemiştir (aslında, çok az, eğer o da varsa, tekerlek izi öngörü modelleri bu aşamaya dahil olur).

Önceden de dile getirildiği gibi, rehberde sunulan yaklaşım artışlı hasar'a dayanır. Hasar yada tekerlek izi, üstyapı sistemindeki her alttabakanın orta derinliğinde her alt mevsim için tahmin edilir. Her bireysel alttabakanın kalıcı deformasyonunu tahmin etmek için, sistem tabaka tipini sınırlar, alttabakanın malzeme tipine uygun modeli uygular ve her alt mevsimin sonunda biriken şekil değiştirmeleri hesaplar. Belirli bir

mevsim için Genel kalıcı deformasyon, her bireysel tabaka için kalıcı deformasyonların toplamı olup matematik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir :

$$RD = \sum_{i=1}^{n_{sublayers}} \epsilon_p^i h^i \dots \dots \dots (3.42)$$

RD = Üstyapı Kalıcı Deformasyonu

$n_{sublayers}$ = Alt tabakaların sayısı

ϵ_p^i = Alttabaka i'de Toplam Plastik Şekil Değiştirme

h^i = Alttabaka i'nin kalınlığı

Bu süreç, her yük seviyesi, alt mevsim ve analiz periyodunun ayı için tekrarlanır. Tasarım rehberi içinde, kalıcı deformasyon sadece asfalt stabilize ve granüler tabakalar için tahmin edilir. Kimyasal stabilizeli malzemeler için kalıcı deformasyon tahmini yapılmaz.

Asfalt Betonu Karışımlarda Kalıcı Deformasyon

Asfalt betonu karışımların kalıcı deformasyonları (tekerlek izi), esnek üstyapı sistemlerindeki en önemli bozulma tiplerinden biridir. Asfalt karışımlarında tekerlek izini öngörmek için rehberde verilen ilişki, laboratuvarda tekrarlı yüklemeli kalıcı deformasyon testlerinden elde edilmiş istatistiksel analize dayanır. Seçilen laboratuvar modeli :

$$\epsilon_p / \epsilon_r = a_1 T^{a_2} N^{a_3} \dots \dots \dots (3.43)$$

ϵ_p = Yükün N tekranında biriken plastik şekil değiştirme

ϵ_r = karışım özelliklerinin, sıcaklığın ve yüklemenin zaman oranının (in/in) bir fonksiyonu olarak asfalt malzemenin Esneklik şekil değiştirmesi

N = Yük Tekrarlarının sayısı

T = Sıcaklık (deg. F)

a_i = Doğrusal olmayan regresyon katsayıları

Asfalt betonu karışımlar üzerinde laboratuvar testlerinden değerlendirilen istatistiksel ilişkiler mantıklı bulunmuş olsa da; alan kalibasyonu faktörleri, β_{ri} , en son alan bozulma

modelini araştırmak zorundadır. Tasarım Rehberinde uygulanan en son asfalt tekerlek izi denklemi, şu formdadır :

$$\varepsilon_p / \varepsilon_r = \beta_{r1} a_1 T^{a2\beta_{r2}} N^{a3\beta_{r3}} \dots\dots\dots(3.44)$$

Bu denklem, uygulama sürecinde, kullanılması nisbeten kolay olan bir denklemdirAlan kalibresi/ teyidi süreci için birincil olarak seçilen en son laboratuvar denklemi :

$$\varepsilon_p / \varepsilon_r = 10^{-3.15552} T^{1.734} N^{0.39937} \dots\dots\dots(3.45)$$

$$R^2 = 0.644$$

$$N = 3476 \text{ gözlemler}$$

$$S_e = 0.321$$

$$S_e/S_y = 0.597$$

Tasarım Rehberinde kullanılan ulusal kalibreli model sayısal optimizasyon ile belirlenir ve ulusal kalibrasyon faktörleri sonucunu veren diğerkarşılaştırma modları:

$$\beta_{r1} = 0.509$$

$$\beta_{r2} = 0.9$$

$$\beta_{r3} = 1.2 \text{ dır.}$$

En son model:

$$\varepsilon_p / \varepsilon_r = k_1 * 10^{-3.4488} T^{1.5606} N^{0.479244} \dots\dots\dots(3.46)$$

şeklindedir. Bu denklemler, mümkün olduğunca doğru bir tekerlek izi derinlik öngörü modeli sağlamak için derinlik parametresi “k₁” sunmuştur.

$$k_1 = (C_1 + C_2 * \text{depth}) * 0.328196^{\text{depth}} \dots\dots\dots(3.47a)$$

$$C_1 = -0.1039 * h_{ac}^2 + 2.4868 * h_{ac} - 17.342 \dots\dots\dots(3.47b)$$

$$C_2 = 0.0172 * h_{ac}^2 - 1.7331 * h_{ac} - 27.428 \dots\dots\dots(3.47c)$$

k₁ = toplam asfalt betonu tabakalarının kalınlığı ve derinliğinin fonksiyonu, hesaplama noktasına değışik derinliklerdeki basınç için düzeltme

$$R^2 = 0.648$$

$$N = 387 \text{ gözlemler}$$

$$S_e = 0.063 \text{ in}$$

$$S_e / S_y = 0.574$$

Granüler Malzemelerde Kalıcı Deformasyon

Granüler malzeme tabakalarındaki kalıcı deformasyonu öngörmek için kullanılan ilk model çerçevesi Tseng and Lytton tarafından önerilmiştir. Temel ilişki şöyledir :

$$\delta_a (N) = \beta_1 (\epsilon_o \setminus \epsilon_r) e^{-(\rho \setminus N)} \epsilon_v h \dots \dots \dots (3.47c)$$

δ_a = Tabaka/alttabaka (in) için kalıcı deformasyon

N = Trafik tekrarlarının sayısı

ϵ_o , β , and ρ = Malzeme özellikleri

ϵ_r = Yukarıda listelenen malzeme özelliklerini elde etmek için laboratuvar testinin ortaya koyduğu Esnek şekil değiştirme ϵ_o , β , and ρ (in/in)

ϵ_v = İlk tepki modelinden elde edildiği şekliyle tabaka/alttabakada ortalama düşey esneklik şekil değiştirmesi (in /in)

h = tabaka/alttabaka'nın kalınlığı (in)

β_1 = Granüler-Granüler ve taban zemini malzemeleri için kalibrasyon faktörü

Geliştirme süreci ve alan kalibrasyonu çalışmaları sırasında, mantıklı ve kalibreli bir ilişkiyi belirlemek için birçok modifikasyonlar gerekmektedir. Modelde gerilme teriminin çıkarılmasına, “ β ” ve “ ρ ” denklemlerindeki büyük sadeleştirmelere ve bütün granüler ve taban zemini malzemelerinin sonuç olarak bir model haline getirilmesi için birleştirilmeleri işlemine götüren değişiklikler yapılmıştır.

Granüler temel için en son kalibreli model aşağıdaki gibidir:

$$\delta_a (N) = \beta_{GB} (\epsilon_o \setminus \epsilon_r) e^{-(\rho \setminus N)} \epsilon_v h \dots \dots \dots (3.48)$$

Ulusal kalibrasyon faktörü $\beta_{GB} = 1.673$ ‘ün belirlenmesiyle

$$R^2 = 0.677$$

$$N = 387 \text{ gözlem}$$

$$S_e = 0.023 \text{ in}$$

$$S_e/S_y = 0.524$$

Bütün taban zeminleri için en son kalibreli model aşağıdaki gibidir:

$$\delta_a (N) = \beta_{SG} (\epsilon_o \setminus \epsilon_r) e^{-(\rho \setminus N)} \epsilon_v h \dots \dots \dots (3.49)$$

Ulusal kalibre faktörü $\beta_{GB} = 1.35$ 'in belirlenmesiyle.

$$R^2 = 0.136$$

$$N = 387 \text{ gözlem}$$

$$S_e = 0.045 \text{ in}$$

$$S_e/S_y = 0.850$$

Toplam Üstyapı Bünyesinin Kalıcı Deformasyonu

Üstyapı Bünesindeki toplam tekerlek izi, her mevsim için bireysel tabaka kalıcı deformasyonun toplamına eşittir.

$$RD_{Total} = RD_{AC} + RD_{GB} + RD_{SG} \dots \dots \dots (3.51)$$

$$R^2 = 0.399$$

$$N = 387 \text{ gözlem}$$

$$S_e = 0.121 \text{ in}$$

$$S_e/S_y = 0.822$$

Esnek Üstyapılarda Kalıcı Deformasyonu Etkileyen Faktörler

Üstyapı tabakalarındaki kalıcı deformasyonun etkilenmesinde birçok faktör rol oynar. Bunlardan bazıları kontrol edilebilir ve düzenlenebilirken, geriye kalanlar dış faktörlerdir ve kontrol edilemezler. Aşağıdaki faktörler, üstyapı bünyesinin farklı tabakalarındaki kalıcı deformasyon miktarını etkileyen faktörlerdir:

- HMA tabaka kalınlığı
- HMA tabaka dinamik modülü
- HMA karışımındaki bağlayıcı

- Asfalt betonu tabakalarındaki hava boşlukları
- Asfalt tabakalarında efektif bağlayıcı içeriği
- Temel tipi
- Temel Kalınlığı
- Temel sertliği
- Trafik yükü, temas alanı ve lastik basıncı
- Trafik yükü yoğunlaşması
- Trafik eylemsel hızı
- Sıcaklık ve Çevresel koşullar

Yukarıdaki parametrelerin birçoğu tasarım periyodu boyunca sabit kalırken, diğerleri mevsimler, aylar, saatler veya üstyapı yaşı bazında değişiklik gösterir. Doğru sonuçlar için, ciddi anlamda farklı gerilmeler doğuran bütün durumlar ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu rehberde tanımlanan tekerlek izi birikmesi, aşağıdaki durumlara göre saptanır:

Üstyapı yaşı – HMA dinamik modülünün değişimi ve asfalt bağlayıcısının sertleşmesi
 Ay – Yüzeydeki ve üstyapı sıcaklıklarındaki aylık değişimler hesabına, bu taban zemin ve temel tabakalarındaki nem değişimini olduğu kadar HMA dinamik modülünü de etkiler,

Trafik hızı (yük frekansı), HMA karışımının dinamik modülünü etkiler,

Yük yapılanışı, tekli, ikili, üçlü ve dördü,

Yük Seviyesi –

Trafik yükü yoğunlaşması – Sabit bir yoldaki sabit trafik, yükün belli noktada yoğunlaşmasına sebep olur, bu da bu bölgeye daha fazla tekerlek izine sebep olur. Ancak, genel tekerlek yarı genişliği yük yoğunlaşmasını azaltacak ve dolayısıyla tabakalarındaki tekerlek izini de azaltacaktır.

Sıcaklık ve Çevresel Koşullar – Sıcaklık, asfalt sertliğini etkileyen ve sonuç olarak asfalt beton karışımlarının dinamik modülünü değiştiren önemli bir faktördür. Çevresel koşullar, taban ve granüler zemindeki nem değişikliği ile temsil edilir. Nem içeriği değişimi, granüler malzemenin belli bir tipi hakkında tekerlek izi miktarı için en önemli

faktördür. Donma mevsimi sırasında, nem donacaktır ve tabakanın sertliği büyük ölçüde artacaktır. Bu da (bütün pratik amaçlar için) tekerlek izi ortaya çıkmamasıyla sonuçlanacaktır.

Kalıcı Deformasyon Öngörü Yöntemi

Esnek üstyapılar hakkında tekerlek izi öngörüsünde bulunmak için, bazı adımların takip edilmesi gerekir, bunlar,

1. Girdi verisini tablo haline getirin – tekerlek izini öngörmek için gerekli bütün girdileri özetleyin.
2. Trafik verisini işleme koyun – İkili,üçlü ve dörtlü aksların geçişinden ortaya çıkan tekli,ikili ve üçlü aksların denk sayısını belirlemek için işleme konan trafik verisinin daha fazla işlenmesi gerekir.
3. Üstyapı sıcaklık profili verisini işleme koyun – EICM kullanılarak oluşturulan saat bazlı üstyapı sıcaklık profilleri (doğrusal olmayan dağılım), takvim aylarıyla denk doğrusal sıcaklık farklılıklarının dağılımına çevrilmelidir.
4. Aylık nem koşulları verisini işleme koyun – Temel taban modülü üzerindeki nem koşulları değişikliğinin etkileri.
5. Gerilme ve şekil değiştirme durumlarını hesaplayın – Her tabakanın orta derinliğindeki tasarım periyodu dahilindeki her ay için; her yük, yük seviyesi, yük pozisyonu ve sıcaklık farklılıklarına denk gelen gerilmeyi hesaplayın. Malzeme modülü ve Poisson's oranını kullanarak, her hesaplama noktasındaki elastik şekil değiştirmeyi belirleyin.
6. Kalıcı Deformasyonu hesaplayın – Her alt mevsim için tekerlek izini hesaplayın ve her tabaka hakkında biriken tekerlek izini belirlemek için bunları toplayın.

Tasarım rehberinde, kalıcı deformasyon için modeller, yük tekrarlarının toplam sayısı için spesifik üstyapı koşulları altında plastik şekil değiştirmeyi sağlar. Koşullar bir mevsimden diğerine değiştiği için ve toplam plastik deformasyonun belirli bir mevsime bağlanması gerektiği için, yığılımlı deformasyon altsistemine bu değişken parametrelerinin dahil edilmesi amacıyla şekil değiştirme güçlendirme adındaki özel yaklaşımı kullanmak gereklidir.

Genel çözüm için, kalıcı deformasyon, her alttabakanın orta derinliğinde hesaplanan üstyapı tepkilerini kullanarak, hesap bölgesindeki her tabaka için tahmin edilmelidir.

Kalıcı Deformasyonların hesaplamaları, düzenli trafik için analiz modülüyle tanımlanan bölgelerde yapılır. Alternatif olarak, özel tekerlek yapıları hakkında, kullanıcının değerlendirme için ilgili bölge noktalarını seçmesine izin verilir. Aşağıdaki model açıklamasında, her alt mevsim için yük sayısı, güncel altmevsimde biriken deformasyonla N için kalıcı deformasyon modelinin ve güncel alt mevsimde geçerli olan malzeme özellikleri ile yük koşullarının çözülmesiyle bulunur.

Şekil 3.23’de gösterilen yaklaşım, şu formdaki model içindir :

$$\varepsilon_p = f (\varepsilon_r, T, N) \dots\dots\dots(3.52)$$

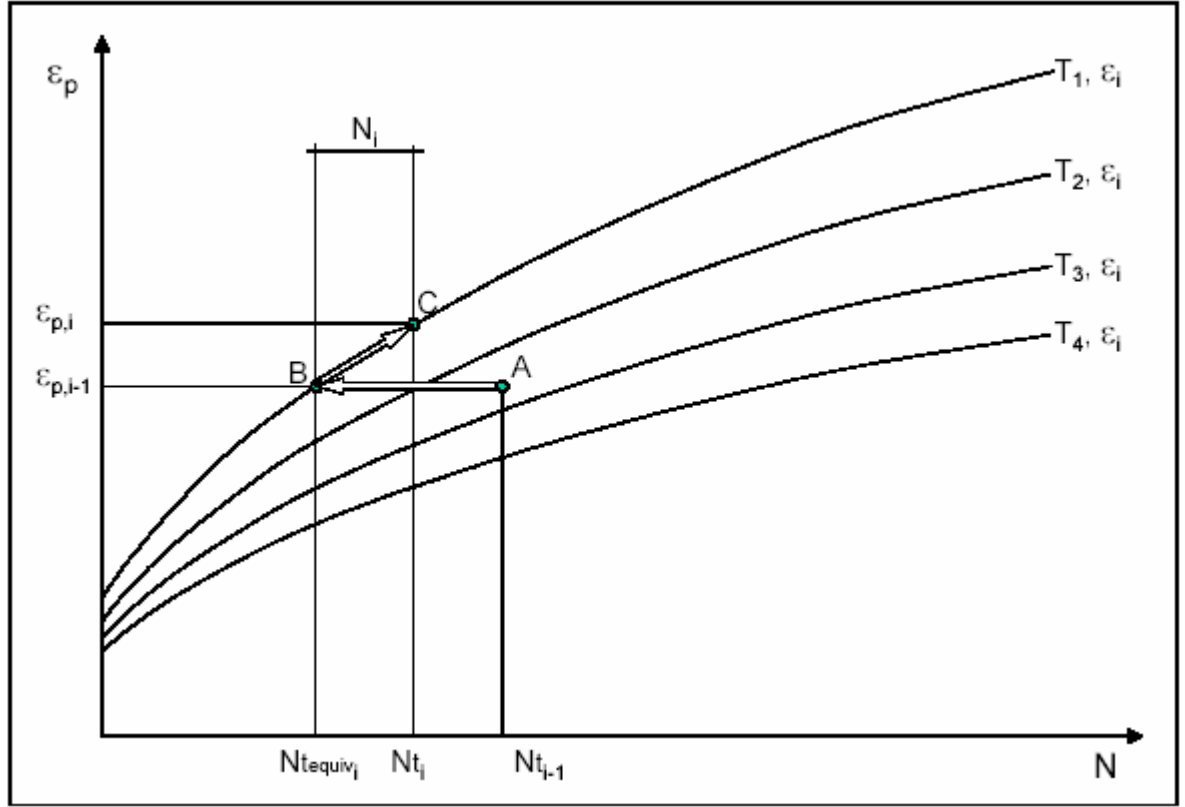
ε_p = Toplam plastik şekil değiştirme (in / in)

ε_r = Dinamik modülle (E^*) ilişkili elastik şekil değiştirme (in / in)

T = Sıcaklık (deg. F)

N = Yük toplam sayısı

Altmevsim i-1’ de toplam plastik şekil değiştirmeye $\varepsilon_{p,i-1}$ denk gelen trafik tekrarlarının toplam sayısı N_{ti-1} (A noktası). Bir sonraki altmevsim i’ de, tabaka sıcaklığı T_1 ’ dir, ve i ’ de hüküm süren yük ve malzeme koşulları için elastik şekil değiştirme $\varepsilon_{r,i}$ ’dir.



Şekil 3.24 : Kalıcı Deformasyon Yaklaşımı

Bir sonraki alt mevsim i 'nin başlangıcında (B noktası) $i-1$ altmevsiminin sonunda toplam deformasyon ile bağdaştırılan trafik yükü tekrar $N_{teq,i}$ sayısına denktir, ancak bu yeni alt mevsimin geçerli olduğu koşullar altındadır ($T_1, \epsilon_{r,i}$). Bu yaklaşım gereklidir çünkü, kalıcı deformasyon için modeller mevsimsel trafiğe bağlı olarak şekil değiştirmedeki artıştan çok toplam deformasyonun bir tahminidir.

Özel Malzeme Modelini kullanarak, Mevsim i 'deki trafik yükü tekrar sayısını (N_i) tekrarların toplam denk sayısına ekleyerek $N_{teq,i}$; altmevsim i 'nin sonunda toplam plastik şekil değiştirmeye senk gelen C noktasını tahmin etmek mümkündür. Taban zemini tabakaları için, sunulan yaklaşım çok fazla derinliklerdeki tabakalar -ve bazen pratik amaçlı olarak tanımsız derinlikte bir tabaka- hesabına ayarlanmalıdır. Mevsim i 'de trafik tekrarlarının sayısını, spesifik malzeme modeli kullanıp tekrarların toplam denk sayısına ekleyerek, altmevsim i 'nin sonunda toplam plastik şekil değiştirmeye denk gelen C noktasını tahmin etmek mümkündür.

Taban zemini tabakaları için, sunulan yaklaşım çok fazla derinliklerdeki tabakalar -ve bazen pratik amaçlı olarak tanımsız derinlikte bir tabaka- hesabına ayarlanmalıdır.

Bundan dolayı, pek çok durumda, kalın bir tabanı alttabakalara bölmek ve toplam taban kalıcı deformasyonu tahmin etmek için, her alttabakanın orta noktasındaki plastik şekil değiştirmeleri hesaplamak, çok fazla hesaplama çalışmaları gerektirdiği için ulaşılabilir görülmemiştir.

Gerilme ve şekil değiştirmeler üstyapı tepki modeli ile hesaplanır, program tarafından hesaplanan gerilmeler ile birleştirilerek kalıcı deformasyon modelleri ile beraber kullanılır. Tabakanın orta derinliğindeki düşey şekil değiştirmeler de önemlidir. Gerilme ve şekil değiştirmeler, taban zemini hariç olmak üzere, her zaman üstyapı bünyesinin her tabaka/alttabakanın orta derinlik bölgesinde hesaplanır. Taban zemini tepkisi, önceden de açıklandığı gibi, taban zemini ve en alttaki üstyapı tabakası arasındaki arabirimde ve ayrıca bu arabirimden 15 cm. derinlikte tahmin edilir.

Kalıcı Deformasyonun Güvenilirliği

Güvenilirlik Tasarımı, istenen seviyedeki öngörölmüş tekerlek izini belirleyerek elde edilir :

$$RD_P = \sum_i (RD_i) + \sqrt{(Se_{RDAC}^2 + Se_{RDGB}^2 + Se_{RDSG}^2)} * Z_P \dots \dots \dots (3.53)$$

RD_P = Güvenilirlik seviyesi P' de öngörülen tekerlek izi, inç

RD_i = orta girdiler bazında öngörülen tekerlek izi, inç

Se_{RD_i} = Ortadaki tekerlek izinin öngörülen seviyesinden standart sapma

Z_P = standart normal sapma

i = tabaka tipi, HMA, temel, veya taban

$$Se_{RDAC} = 0.1587 RD_{AC}^{0.4579}$$

$$Se_{RDGB} = 0.1169 RD_{GB}^{0.5303}$$

$$Se_{RDSG} = 0.1724 RD_{SG}^{0.5516}$$

Kalıcı Deformasyonu Azaltmak İçin Esnek Tasarımın Düzenlenmesi

Eğer, öngörülen tekerlek izi tasarım gerekliliklerinden daha büyükse, deneme tasarımı yapısal kapasiteyi artırmak ve bütün tabakalarda kullanılan malzemenin kalitesi için modifiye edilmelidir. Farklı tasarım parametrelerinin, farklı performans ölçümleri üzerinde farklı etkileri vardır. Mühendisin ilk olarak, ilk tasarım çalışmasında tabaka malzeme tipiyle ilk öngörülen tekerlek izi derinliği miktarlarını kritik olarak değerlendirmektir. Bu çok önemli bir adımdır. Çünkü, tasarım opsiyonu en fazla tekerlek izi derinliği öngörülerine sahip tabakalarla tutarlı olmalıdır. Uygulamada ise, hangi malzeme tabakasının en yüksek oranda toplam üstyapı tekerlek iz derinliği verdiği üzerinde durulur.

HMA Tabakası Tekerlek İzi

Eğer tekerlek izinin ana kaynağı HMA asfalt tabakasında gerçekleşmişse, önemli bir tasarım konusu yerleştirilen HMA tabakasının kalitesini arttırmaktır. Tasarım Rehberi yaklaşımında, kontrol edilebilen doğrudan faktör; karışım Ana Eğri bölgesini artırarak HMA karışım modülünü arttırmaktır. Bu durum, daha sert bağlayıcı gradasyonu, daha az bağlayıcı kullanarak ve alanda sıkıştırma talimatlarının tam anlamıyla yerine getirildiğinden emin olmakla başarılabılır. Mühendisin farketmesi gereken bir diğer önemli konu ise, HMA tabakasındaki bütün tekerlek izlerinin büyük çoğunluğu, genel olarak üstten 7-12 cm.lik bölgede meydana gelir. Bu yüzden, eğer düşük kaliteli HMA karışımları kullanılırsa, bu düşük kaliteli tabakanın kalınlığının artması, HMA tabakasındaki tekerlek izini azaltmayacaktır. Aslında, büyük ihtimalle tekerlek izi artacaktır. Bu yüzden, düşük kalitedeki HMA tabakanın kalınlığının artırılması, toplam üstyapı tekerlek izi derinliğinin azaltılması açısından hiçbir fayda sağlamayacaktır.

Son olarak, eğer mühendis HMA karışım tasarımının yeterli olduğu konusunda ikna olursa, HMA tabaka kalınlığını artışı, potansiyel HMA tabakada tekerlek izinin azaltılmasının hangi derecede olacağının kesinleşmesi için değerlendirilebilir. Genel olarak, bu düşüş, ciddi olmayabilir. Ancak, bir sonraki kısımda da açıklanacağı gibi, HMA kalınlığının artırılması; granüler temel, alttemel ve özellikle de taban zemini tabakasındaki tabaka iz derinliğinin azaltılmasında kesinlikle hiçbir fayda sağlamayacaktır.

Granüler Temel ve Alttemel Tekerlek İzi

Genel bir kural olarak, granüler temellerde ve alttemelerde tekerlek izinin öngörüsü, tasarımda güncel malzeme ve inşaat talimatlarına uyulduğu sürece tipik olarak ciddi bir problem olmayacaktır. Eğer tekerlek izi, istenen tipik hedef değerlerin üstünde ise, mühendis sorgudaki granüler tabakanın kalitesini (CBR yada R değerini) artırmalıdır.

Kimyasal stabilizeli tabaka kullanımı, temel/alttemel tabakası dahilinde tekerlek izi problemini ortadan kaldırma yönünde olacaktır. Bu işlem aynı zamanda, temel/alttemel sistemi altındaki alttabakalar (taban zemini) dahilinde tekerlek izi potansiyelini azaltma yönünde olacaktır. Genel bir kural olarak, eğer, temel/alttemel dahilindeki herhangi bir tabaka düşük kaliteli ise, düşük kaliteli tabakanın kalınlığını artırmak sadece tekerlek izinin artmasına sebep olur. Son olarak, herhangi bir temel/alttemel tabakasında fazla nem bulunması, tabaka malzemesinin modülü değerinin düşmesi için doğru bir yoldur. Modülü azaldıkça, şekil değiştirme de ciddi şekilde artar ve sonuç olarak tekerlek izi de artar. Bu da herhangi bir tasarımda bulunan kuru temel/alttemel sistemlerin olması ihtiyacını artırır.

Granüler Taban Tekerlek İzi

Bütün uygulama araçları için, ilk deneme tasarımı analizinde, temel seviyeleri dahilinde tolere edilebilir tekerlek izi derinliklerinden daha büyük tekerlek izi ile karşılaşılır. Tekerlek izi büyüklüğünü azaltmak için, mühendis; tabanın zemini üzerinde bulunan bütün üstyapı bünyesinin sertliği ve rijitliğinin artmasına sebep olan bütün faktörleri anlaması ve farketmesi, taban tabakalarındaki tekerlek izini azaltmaya sebep olacaktır. Bu, taban tabakaları üzerindeki, herhangi bir tabakanın tabaka sertliğini ve/ya tabaka kalınlığını artıracak herhangi bir tasarım değişimi, elastik şekil değiştirmeyi azaltma yönünde olacak ve dolayısıyla taban zemini tabakalarındaki plastik şekil değişmeye de sebep olacaktır. Bu hareketin net bir etkisi, azaltılmış taban iz derinliği öngörüsüdür.

Genel olarak, üst üste HMA tabakalarının kullanımı, iki önemli faktörü başarır. Birincisi, daha kalın tabakanın arttırılmış modülü, tabakadaki “nisbi sertliğin” ciddi şekilde artması sonucunu verir. Bu durum tabandaki gerilme ve şekil değiştirmenin azalmasına sebep olur ki bu da tekerlek izi derinliğinin büyüklüğünü azaltır. İkinci

olarak, tabandaki tekerlek izinin azaltılmasında etkili bir yol, granüler alttemel tabakalarının kalınlığının artırılmasıdır. Bu işlem, alttemel tabakalarındaki gerilme (şekil değiştirme) durumlarını da azaltır ve bu da taban zemininde azaltılmış tekerlek izi derinliklerine yol açar.

Son olarak, bütün önceki tasarım konuları en son taban zemini şekil değiştirmesini azaltmak için üstyapı tabaka yapısındaki değişiklikler üzerine odaklanırken, mühendis tarafından yapılan en son tasarım konuları taban zemininin kendisinin sertliğini artıracak bütün tasarım faaliyetlerine odaklanmalıdır. Buraya kadar, taban zemini modülünü artırmada en önemli konu, bu kritik tabakayı nemin zararlı etkilerinden korumakla ilgilidir. Alandaki nemin sadece yüzde olarak birkaç sayı artışı, taban zemini gücünde (modülünde) çok ciddi değişimlerin olmasına sebebiyet verebilir. Taban zeminindeki aşırı tekerlek izlerini en aza indirmek yada yoketmek için ele alınabilecek tasarım opsiyonları, kireçle, çimento vb ile stabilize taban zemini kullanımı, yeraltı drenaj sistemlerinin etkili kullanımı, geotekstil kullanımı, su geçirmez nem bariyer sarmaları ve hatta taban zemini kendisinin yüzeyi ile yer altı suyu tablası arasındaki mesafenin artırılması için yol profilinin yükseltilmesidir.

3.3.12.2. Yorulma Çatlağı

Yükle ilgili yorulma çatlağı, esnek üstyapı sistemlerinde meydana gelen en önemli bozulma tiplerinden biridir. Trafik yüklerinin tekrarı, stabilize tabakalarda ve kesme gerilmelerine sebep olur bu da sonuç olarak stabilize tabakaların yapısal bütünlüğünde kayıplara yol açar. Tekrarlı yükler veya yorulma; kritik gerilme ve şekil değiştirmelerin olduğu noktalarda çatlakları başlatır. Kritik şekil gerilme ve şekil değiştirme bölgesi birçok faktörlere dayanır. Bunlardan en önemlisi, tabakanın kalınlığı ve yükün yapısıdır.

Tüm tabaka kalınlığı boyunca çatlakların yayılması, suyun daha derindeki granüler tabakalara sızmasına ve genel performansın azalmasına sebep olur. Bu durum da, üstyapı bütünlüğünün sürülebilirliğinin azalmasına sebep olan pürüzsüzlük kayıplarıyla sonuçlanır. Çatlak başlangıcı, sadece yüzey tabakasında değil, aynı zamanda altındaki bütün stabilize tabakalarda da gerçekleşir. Alt tabakalardaki çatlak, çimento

stabilizelerde olduğu gibi, genel yapısal kapasiteyi düşürür ve üst tabakalardaki yansıma çatlaklarına sebep olur.

Üstyapı teknolojisinin son 30-40 yılı boyunca, yorulma çatlaklarının normalde asfalt betonu tabakasının altında başladığı (aşağıdan-yukarıya çatlak) ve yüzeye yayıldığı gerçeğinin varsayılması oldukça yaygındı. Bu durum, bağlayıcı tabakanın altında gelişen gerilmeler sonucu üstyapı tabakalarının eğrilme hareketine bağlıdır. Ancak, dünya çapındaki sayısız güncel araştırmalar, açıkça, yorulma çatlakları aynı zamanda yukarıdan başlayıp aşağı doğru da yayılabileceğini göstermiştir. Bu tip yorulma, klasik aşağıdan yukarı çatlamaına göre analitik bakış açısından günümüzde iyi tanımlanmış değildir. Genel olarak bu durum, lastik kenarları üstyapı arabiriminde, aşırı büyük temas basınçlarının sebep olduğu; okside olmuş yaşlı (sert) ince yüzey tabakası ile birleşmiş kritik kesme gerilmelerine bağlıdır.

Tasarım Rehberi, hem yukarıdan aşağıyı hemde aşağıdan yukarıya çatlakları modelleyen bir yaklaşımı kullanır. Yaklaşım da, yukarıdan aşağıya çatlak için yüzeyde yorulma hasarını hesaplama ve aşağıdan yukarıya çatlak için her asfalt betonu tabakasının altında yorulma hasarını hesaplar.

$$D = \sum_{i=1}^T n_i / N_i \dots \dots \dots (3.54)$$

D = hasar.

T = periyodların toplam sayısı.

n_i = i periyodu için gerçek trafik

N_i = Hüküm süren i koşulları altında izin verilen trafik yükü

Asfalt Karışımlarında Yorulma Çatlakları

Asfalt betonu tabakada yorulma hasarını karakterize etmek için, varolan literatür içinde çok sayıda model bulunabilir. Yorulma çatlaklarına yol açan yük tekrar sayısını öngörmek için en yaygın olarak kullanılan model, şekil değiştirme ve karışımın sertliğidir (modülüdür). Kritik bölgeler ya yüzeyde, yukarıdan aşağıya çatlakla sonuçlanır veya asfalt betonu tabakanın altında, yukarıdan aşağıya çatlak ile sonuçlanır.

Yorulmanın ifadesi için yaygın olarak kullanılan matematiksel ilişkisi aşağıdaki şekildedir :

$$N_f = C k_1 (1 / \epsilon_t)^{k_2} (1 / E)^{k_3} \\ = \beta_{f1} k_1 (\epsilon_t)^{-\beta_{f2} k_2} (E)^{-\beta_{f3} k_3} \dots\dots\dots(3.55)$$

N_f = Yorulma çatlağına yol açan yük tekrar sayısı.

ϵ_t = Kritik bölgede Şekil değiştirme

E = Malzemen in sertliği.

k_1, k_2, k_3 = Laboratuvar regresyon katsayıları

$\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$ = kalibrasyon parametreleri

C = laboratuvardan alan uyum faktörüne

Yorulma çatlağına yol açan tekrar sayısının öngörüsü için kullanılan en son ilişki, Asfalt Enstitü modelidir, ki bu sabit gerilme kriterlerine dayanır ve şu şekilde açıklanabilir.

$$N_f = 0.00432 C (1 / \epsilon_t)^{3.291} (1 / E)^{0.854} \dots\dots\dots(3.56)$$

$$C = 10^M$$

$$M = 4.84 [(V_b / (V_a + V_b)) - 0.69]$$

V_b = efektif bağlayıcı içeriği (%)

V_a = hava boşluğu (%)

Tasarım Rehberinde kullanılan ulusal alan kalibreli model, sayısal optimizasyon ve diğer karşılaştırma modlarıyla belirlenir ve buradaki ulusal kalibrasyon faktörleri değerlerini verir :

$$\beta_{f1} = k_1' * \beta'_{f1}$$

$$\beta'_{f1} = 1.0$$

$$\beta_{f2} = 1.2$$

$$\beta_{f3} = 1.5$$

Bu da, modelin son şeklidir:

$$N_f = 0.00432 * k_1' * C (1 / \epsilon_t)^{3.9492} (1 / E)^{1.281} \dots\dots\dots(3.56)$$

Bu denklemde, k_1' parametresi farklı asfalt betonu tabak kalınlıkları (h_{ac}) etkileri için bir düzeltme katsayısıdır ve aşağıda şekilde ifade edilir:

a. Aşağıdan yukarıya çatlak için

$$k_1' = 1 / (0.000398 + (0.003602 / (1 + e^{(11.02 - 3.49 * h_{ac})}))))$$

b. Yukarıdan aşağıya çatlak için

$$k_1' = 1 / (0.01 + (12.00 / (1 + e^{(15.676 - 2.8186 * h_{ac})}))))$$

h_{ac} = Asfalt tabakalarının toplam kalınlığı, in

Yorulma hasarından yorulma çatlağını hesaplamak için en son transfer fonksiyonu şu şekilde ifade edilir :

a. Aşağıdan yukarıya çatlak için (toplam şerit alanının %)

$$FC_{bottom} = (600 / 1 + e^{(C_1 * C'_1 + C_2 * C'_2 * \log 10 (D * 100)) }) * (1 / 60) \dots\dots\dots(3.57)$$

FC_{bottom} = aşağıdan yukarıya yorulma çatlağı, şerit alanının yüzdesi

D = aşağıdan yukarıya yorulma hasarı

$$C_1 = 1.0$$

$$C'_1 = -2 * C'_2$$

$$C'_2 = 1.0$$

$$C'_2 = -2.40874 - 39.748 * (1 + h_{ac})^{-2.856}$$

b. Yukarıdan aşağıya çatlama için (feet / mil)

$$FC_{top} = (1000 / 1 + e^{(7.0 - 3.5 * \log 10 (D * 100)) }) * (10.56) \dots\dots\dots(3.58)$$

D = yukarıdan aşağıya yorulma hasarı

FC_{top} = yukarıdan aşağı yorulma çatlağı

Esnek Üstyapılarda Yorulma Çatlağını Etkileyen Faktörler

Aşağıdaki faktörler, üstyapı bünyesinin asfalt betonu tabakalar içinde yorulma çatlağının miktarını etkileyen faktörlerdir :

- HMA tabaka kalınlığı
- HMA tabakası dinamik modülü
- HMA karışımında bağlayıcı gradasyonu
- Asfalt betonu tabakalarındaki hava boşlukları
- Asfalt tabakalarındaki efektif bağlayıcı içeriği
- Temel kalınlığı
- Taban modülü
- Trafik yük yapısı
- Trafik yük, temas alanı ve lastik basıncı
- Trafik yük tekrarları
- Sıcaklık ve çevresel koşullar

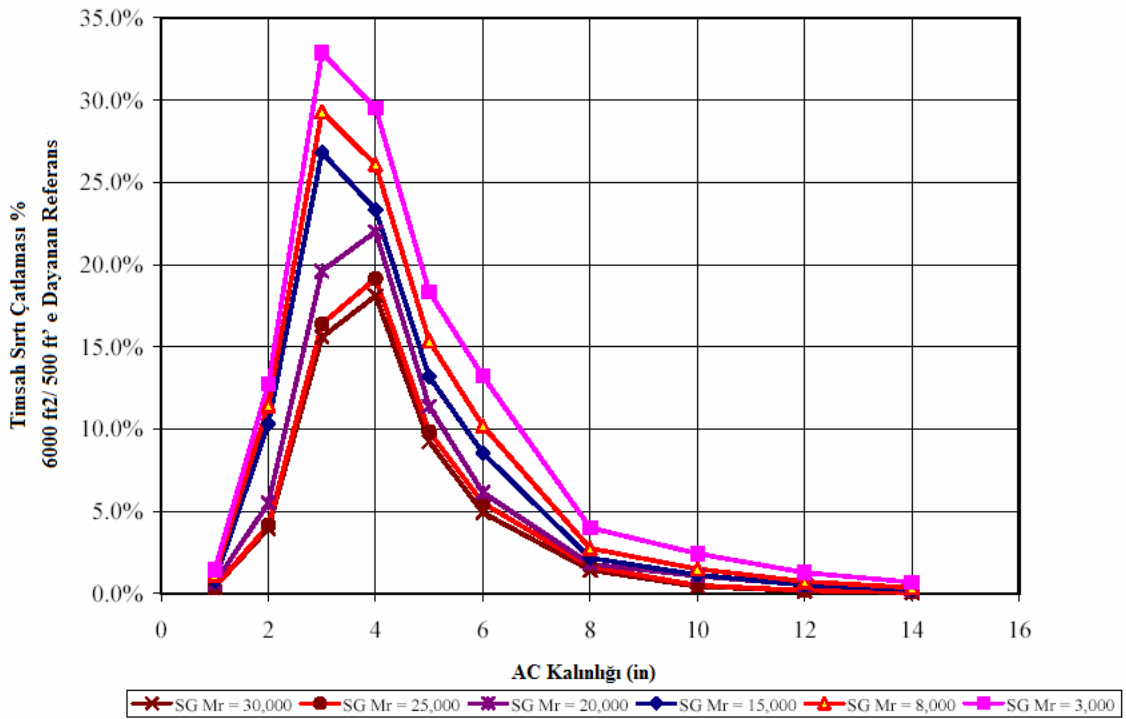
Rehberde açıklanan yorulma çatlağı birikmesi aşağıdaki gibi belirlenir :

- Üstyapı yaşı – HMA dinamik modülündeki değişimler ve asfalt bağlayıcısındaki sertleşme hesabına.
- Ay – yüzey ve üstyapı sıcaklıklarındaki aylık değişimler hesabına, ki bunlar taban zemini ve temel tabakalarındaki nem değişimini etkilediği kadar HMA dinamik modülünü de etkiler.
- Trafik hızı– HMA karışımının dinamik modülünü etkiler.
- Yük Yapısı – Tekli, ikili,üçlü ve dördü
◦ Yükleme Seviyesi –
- Sıcaklık ve Çevresel Koşullar – Sıcaklık asfalt sertliğini etkileyen ve sonuç olarak asfalt beton karışımlarının dinamik modülünü etkileyen önemli bir faktördür. Çünkü, üstyapı bünyesi dahilindeki asfalt betonu tabakaların modülü, genel bütün üstyapı tepkisini etkiler, sıcaklığın zaman ve derinlik fonksiyonu olarak hesaba katılması önemlidir.

Granüler malzemelerdeki çevresel koşullar prensip olarak tabandaki ve temel/alttemel tabakalarındaki nem değişiklikleriyle temsil edilir. Granüler tabakanın nem içeriğindeki artış, tabakanın elastik modülünde düşmeye sebep olur.

HMA Kalınlığı ve Timsah Sırtı Çatlak

Şekil 3.24' de gösterilen ilişki, esnek üsttypı sistemleri için timsah sırtı yorulma çatlağının dağılımıyla ilgili çok temel bir ve önemli bir gerçeği gösterir. HMA kalınlığının bütün seviyeleri için, taban zemini desteği azaldıkça, timsah sırtı çatlağının büyüklüğü artar.



Şekil 3.25 : HMA Tabaka Kalınlığının Timsah Sırtı Yorulma Çatlağı Üzerindeki Etkisi

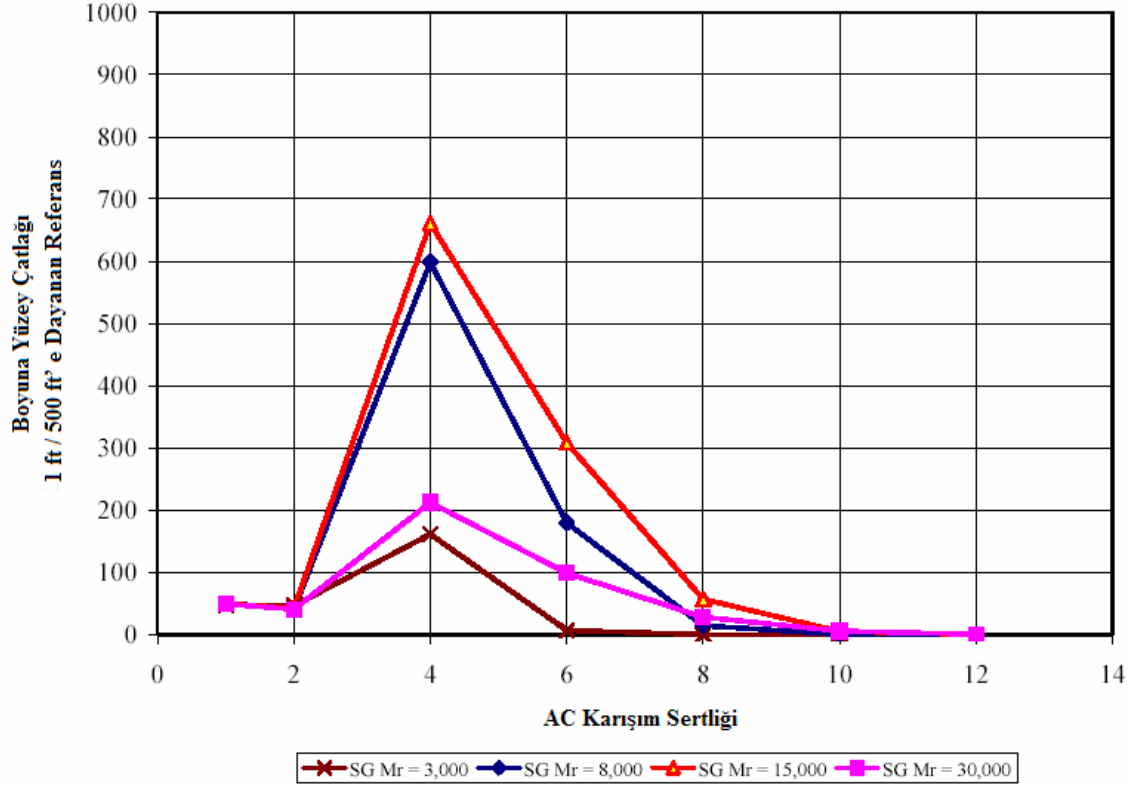
Gözlemlenebilecek bir diğer konu da, timsah sırtı çatlağı üzerinde taban zemini desteğinin etkisi ve duyarlılığının, HMA tabakasının kalınlığı ile doğrudan bağlantısının olmasıdır. Belki de şekilde çıkarılabilecek en önemli temel sonuç, iyi bir performans için HMA tabakasının uygun kalınlığı ya uygulanabilecek kadar ince olmalı yada mümkün olduğunca kalın olmalıdır. Şekil bize açıkça gösteriyor ki, yorulma çatlağı için enbüyük potansiyel, tipik olarak 5-12 cm. kalınlık aralığında bulunan HMA tabakaları ile bağdaştırılır.

Şekilde gösterilen sonuçların arkasındaki temel mantık, üstyapı tasarımına analitik yaklaşımın kullanılmasının güçlü bir örneğidir. HMA kalınlığı 10 cm. daha fazla arttıkça, HMA tabakasının altında gelişen şekil değiştirmeler HMA kalınlığının artmasıyla azalır.

Bu yüzden, HMA kalınlığı 10 cm. den daha fazla arttıkça üstyapı sisteminde gerçekleşen daha küçük şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak yorulma ömrü doğrudan artar. Bununla birlikte, asıl anlaşılması gereken önemli gerçek şekil değiştirmenin büyüklüğü kesin olarak HMA kalınlığındaki azalmayla doğru orantılı olarak artmaz. Aslında, HMA kalınlığı, maksimum çatlama seviyesi olan 7-12 cm' den aşağıya düşerse şekil değiştirme azalmaya başlar ve aslında doğasında sıkıştırılmış hale gelebilir. Bu yüzden, çok ince HMA tabakalarında, HMA tabakasının altında çok az gerilme veya şekil değiştirmeler bulunabilir, yada hiç bulunmaz.

HMA Kalınlığı ve Boyuna Çatlak

Boyuna Çatlak üzerinde HMA kalınlığının ve taban modülünün etkisini gösteren benzer bir çalışma Şekil 3.25' de gösterilmiştir. HMA kalınlığının etkisi ile yüzey boyuna çatlamanın ani karşılaştırılması; timsah sırtı çatlama bozulmasıyla karşılaştırıldığı gibi aynı etkileri gösterir. Genel olarak, yorulma hasarı HMA kalınlık seviyesinde maksimum 7-12 cm. de bulunur. Bu yüzden, yorulma bozulmasının her iki modu da, ortalama (7-12 cm) HMA kalınlığı aralığı için en büyüktür.



Şekil 3.26 : Boyuna Yüzey Yorulma Çatlağı Üzerinde HMA Tabaka Kalınlığının Etkisi

Ancak, taban modülünün etkisi, aşağıdan yukarıya timsah sırtı çatlağı için gösterilen hasar eğiliminin tamamen aksi olduğu çok iyi gözlemlenmelidir. Boyuna çatlağı, temel zemini tabakasının artmasıyla artış göstermesi şekilden görülebilir. Bundan dolayı, temel desteğini artırma eğilimdeki herhangi bir değişken, yüzey tabakasında daha büyük şekil değiştirmeye sebep olma eğilimindedir ve boyuna yüzey çatlamasını arttırma eğilimi gösterir.

Yorulma Çatlağı Öngörüsü Yöntemi

Yükle bağlantılı yorulma çatlağını öngörmek için, belirli bazı adımların takip edilmesi gerekir.

1. Girdi verilerini tablo haline getirilmeli. Çatlamayı öngörmek için gereken bütün girdileri özetlenmeli.

2. Trafik verisini işlemeli–İşlenmiş trafik verisi, bütün trafik yükü – aks dağılımı tarafından üretilen tekli, ikili ve üçlü aksların denk sayısını belirlemek için daha ileri düzeyde işlenmeye ihtiyaç gösterir.
3. Üstyapı sıcaklık profil verisini işlemeli–EICM (doğrusal olmayan dağılım) kullanılarak oluşturulan saat bazlı üstyapı sıcaklık profilleri, takvim aylarına göre denk doğrusal sıcaklık farklılıklarının dağılımına çevrilmelidir.
4. Aylık Nem koşulu verisini işleyin–temel/alttemel modülü üzerinde nem koşullarındaki mevsimsel değişimlerin etkileri belirlenmelidir.
5. Gerilme ve şekil değiştirme durumlarını hesaplamalı – Her tabakanın her asfalt tabakasının yüzeyinde ve dibinde tasarım periyodu dahilinde her ay için her yük, yük seviyesi, yük pozisyonu ve sıcaklık farkına denk gelen Şekil değiştirmeyi hesaplamalı. Malzeme modülü ve Pisson's oranını kullanarak her hesaplama noktasında elastik şekil değiştirmeyi belirlenmelidir.
6. Yorulma çatlağını hesaplamalı–hesaplanan hasardan her tabaka için çatlamayı hesaplayın.

Yorulma Çatlağı Güvenilirliği

Güvenilirlik tasarımı, güvenilirliğin istenilen seviyesinde yorulma çatlağı ile bağlantılı öngörülen yükü belirleme ile elde edilir :

$$FC_P = (FC_i + Se_{FC_i} * Z_P) \dots\dots\dots(3.59)$$

FC_P = P güvenilirlik seviyesindeki öngörülen çatlak % veya ft / mil

FC_i = Ortalama girdiler bazında öngörülen çatlak (% 50' lik güvenilirliğe karşılık) % veya ft / mile

Se_{FC_i} = ortalama çatlağın öngörülen seviyesinde çatlağın standart hatası

Z_P = standart normal sapma

$$Se_{FC_{Bottom}} = 0.5 + 12 / (1 + e^{1.308 - 2.949 * \log D})$$

$$Se_{FC_{Top}} = 200 + 2300 / (1 + e^{1.072 - 2.1654 * \log D})$$

Yoruma Çatlağını Azaltmak İçin Esnek Üstyapı Tasarımın Düzenlenmesi

Timsah Sırtı Çatlak

En büyük dereceli timsah sırtı çatlağı genelde HMA tabakalarında 7-12 cm. lik kalınlıklarda görülür. Timsah sırtı çatlağını azaltmanın çok mantıklı bir yolu da, basitçe HMA tabakalarının toplam kalınlığının arttırılmasıdır. İnce HMA tabakalarının kullanımı, kullanılan HMA tabakasının sertlik (ana eğri) özelliklerinde sıkı tedbirler alındığı durumlarda gerçekleştirilebilir. Teoride bu doğrudur. Ancak, daha ince HMA tabakalarının kullanımı (7-10 cm. den daha az) granüler temel/alttemel tabakalarında kalıcı deformasyonla bağlı diğer potansiyel bozulmaların artmasına sebep olur, ki bu da ince HMA tabakalarının olası herhangi bir avantajını da fazlasıyla etkiler. Eğer ince HMA tabakaları kullanılırsa, düşük sertlikte (düşük E^*) malzemesi alınması ısrarla istenir. İnce, çok sert HMA tabakasının varlığı, timsah sırtı çatlağına oldukça duyarlıdır. Bunun tersine, daha kalın HMA tabakaları kullanıldıkça, üstyapı mühendisi mümkün olan en yüksek sertlikteki (yüksek E^*) HMA'yı kullanmayı denemelidir. Bu durum HMA tabakasının altındaki kritik şekil değiştirmeyi düşürmebilir.

Timsah sırtı çatlağındaki toplam karışım sertliğinin (E^*) genel özelliklerine ek olarak, iki karışım hacimsel özelliklerinin de yorulma hasarını yönetmede önemli bir rol oynadığını da takdir etmek gerekir. Belirli herhangi bir karışım için, daha fazla V_{beff} (bitümün efektif hacmi) ve daha az V_a (hava boşlukları), HMA yorulma ömründe ciddi bir artma sonucunu verecektir.

Boyuna Çatlama (Yukarıdan Aşağı)

HMA kalınlığının bir fonksiyonu olarak, boylamasına, yüzeyden aşağı yorulma çatlağının genel kapsamlı etkisi, timsah sırtı çatlağının etkisine kavramsal olarak benzer. Genel olarak, her iki çatlama türü en çok 7-12 cm. arasındaki HMA kalınlığında olurken, daha düşük karışım hava boşlukları (V_a) ve asfalt çimentosunun (V_{beff}) daha yüksek miktarları da, boyuna çatlak için yorulma ömrünü artıracaktır.

Temel bir prensip olarak, boyuna çatlak daha düşük sertlikte karışımların kullanımı ile artırılabilir. Bu doğrudan, daha geniş yüzeysel şekil değiştirmelerinin bu daha düşük sertlik HMA' larda oluşması gerçeğinden dolayıdır.

Temel desteğindeki ve temel desteğinin timsah sırtı (aşağıdan yukarıya) çatlağı ve boyuna (yukarıdan aşağıya) yüzey çatlağı üzerindeki etkilerindeki değişimler, mühendisin önem vermesi ve anlaması gereken anahtar sorunlardır. Genel olarak, bünyesel üstyapı kesit alanının üst parçasında kalın ve/veya sert tabakaların bulunması yüzey şekil değiştirmesinde ve bu nedenle boyuna yüzey çatlağında bir artışa sebep olma eğiliminde olur. Bu, timsah sırtı çatlağı için tamamen ters eğilimdir. Sert temellerin üzerini kaplayan daha yumuşak HMA yüzey tabakaları, geniş yüzey şekil değiştirmelere ve boyuna çatlamlara sebep olma eğilimindedir.

Eğer boyuna yüzey çatlağı oluşma ihtimal var ise, mühendis HMA tabakası özelliklerini dikkatlice değerlendirmeli ve mümkün olan en iyi şekilde bütün potansiyel bozulma tiplerinin optimize edilmesini sağlamalıdır.

Son olarak, mühendis, yüzey boyuna çatlağı ve timsah sırtı çatlağı arasından bir tercih gerektiğinde, normal olarak boyuna yüzey çatlağı bozulmasının timsah sırtı çatlağına tercih edilmesinin tavsiye edilebilir olduğunun farkında olmalıdır. Bunun sebebi, en üst HMA tabakalarında kalıcı deformasyon gibi eninde sonunda oluşacak olan yüzey (yukarıdan aşağı) çatlaklar, gelecekte rehabilitasyon stratejileri ile her zaman azaltılabilir. Fakat eğer timsah sırtı çatlağı oluşmuşsa, bütün HMA tabakaları için tüm “plak-tabaka” hasarı ihtimali oldukça yüksektir. Eğer sorun bu ise, HMA tabakalarının veya çok kalın kaplamaların tamamen kaldırılması tercih edilen tek iyileştirme seçeneğidir.

3.3.12.3. Termal Çatlak Modeli

Üstyapı sisteminde beklenen enine çatlama miktarı, aşağıdaki ifade ile çatlak derinliğinin bir çatlama miktarı ile ilişkilendirilmesi ile tahmin edilir:

$$C_f = \beta_1 * N ((\log C / h_{ac}) / \sigma) \dots\dots\dots(3.60)$$

C_f = termal çatlamanın gözlemlenen miktarı

β_1 = alan ölçümlemesi ile elde edilen regresyon katsayısı

$N(z)$ = (z) de tayin edilen standart normal dağılımı

σ = Üstyapıdaki çatlakların derinliğinin kaydının (log) standart sapması

C = Çatlak derinliği

h_{ac} = Asfalt tabakasının kalınlığı

Verilen bir termal soğutma döngüsü tarafından sebep olunan çatlak yayılması miktarı Paris çatlak yayılması kanununu kullanarak tahmin edilir :

$$\Delta C = A \Delta K^n \dots\dots\dots(3.61)$$

ΔC = Bir soğutma döngüsü sebebiyle çatlak derinliğindeki değişim

ΔK = Bir soğutma döngüsü sebebiyle gerilme şiddetindeki değişim

A, n = Asfalt karışımı için çatlak parametreleri

A ve n parametrelerine değer tayin etmek için kullanılan yaklaşım, kısmen geçmişteki çalışmalar üzerine oluşturulur. Ana sünme uyumu (Sünme Uyumu) eğrisinin

$$D (\xi) = D_0 + D_1 \xi^m$$

denklemini elde etmek için güç fonksiyonu olarak ifade edilebileceğini hatırlayarak; uyum eğrisinden elde edilen m değeri, aşağıdaki eşitlikle n çatlak parametresini hesaplamakta kullanılabilir :

$$n = 0.8 (1 + 1 \setminus m)$$

n değeri bir kere bilindikten sonra, A çatlak parametresi, aşağıdaki denklemden hesaplanabilir :

$$A = 10^{(\beta * (4.389 - 2.52 * \log (E * \sigma_m * n)))}$$

E = Karışım sertliği

σ_m = Hasarsız karışım gerilimi

β = Kalibrasyon parametresi

Ulusal kalibrasyon için, uygun veri üzerine bina edilen üç hiyerarşik seviye için önerilen parametreler Tablo 3.51' de özetlenmiştir.

Tablo 3.51 : Termal Çatlak Modeli İçin Ulusal Kalibrasyon Parametreleri

SEVİYE	β_1	σ	E	β
1	400	0.769	10,000	5.0
2	400	0.769	10,000	1.5
3	400	0.769	10,000	3

Termal Çatlak İçin Bünyesel Tepki Modeli

Aşağıdaki faktörler, HMA tabakasındaki termal çatlak tahmini etkilemektedir:

- Asfalt tabakasının içindeki sıcaklık-derinlik profili
- Sünme uyumu
- Sünme uyumu testi sıcaklığı
- Çekme gerilmesi
- Karışım VMA
- Termal büzülmenin agrega katsayısı
- Termal büzülmenin karışım katsayısı
- HMA tabakası kalınlığı
- Hava boşlukları
- Asfaltla doldurulmuş boşluklar, VFA
- RTFO şartlarında bağlayıcı viskozite - sıcaklık ilişkisinin durdurulması
- 77 °F’ da penetrasyon

Yukarıdaki parametrelerin pek çoğu tasarım periyodu boyunca sabit kalırken diğerleri mevsimsel olarak veya üstyapı yaşı ile beraber değişirler. Hatasız termal analizi sonuçlandırabilmek için, önemli ölçüde farklı gerilemeler üreten bütün durumlar ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu rehberde tanımlanan termal çatlak artışı, aşağıdaki durumları açıklamak için bir aya eşit olarak belirlemiştir:

- Asfalt betonu içindeki sıcaklık - derinlik profili- termal çatlak bozulması tahmininde kullanılan genel yaklaşım yöntemi, asfalt betonu tabaka içindeki sıcaklık-derinlik profilini bütün analiz periyodu (20-30 yıl) üzerinde saatlik zaman aralıklarında

belirlemek için, EICM' yi klimatik algoritma olarak kullanır. Bu, asfalt betonu tabaka içinde verilen herhangi derinlik ve zamanda termal gerilmeyi tahmin etmeye yarar.

- Sünme uyumu–sıcaklık 0, -10, ve -20 °C ta ölçülür. Termal çatlağın analizinin dayandığı doğrusal visko-elastik özelliklerini açıklar. Termal çatlak uzunluğunun artmasını hesaplamak için kullanılan çatlak parametrelerini elde etmeyi imkanlaştırır.
- Çekme gerilmesi – Doğrusal olmayan ölçüm, termal çatlağı analizinin dayandığı doğrusal visko-elastik özelliklerini de hesaplar. Termal çatlak uzunluğunun artışını hesaplamak için kullanılan çatlak parametrelerini elde etmeyi mümkün kılar.

Termal Çatlak Tahmin Yöntemi

Termal çatlağının miktarını hesaplamak için, aşağıdaki adım-adım yöntemi izlenir :

Adım 1: Girdi verisini toplama

Termal kırılma analizi doğrusal visko-esneklik üzerine bina edildiği için, asfalt karışımlarının anahtar visko-elastik özellikleri ölçülmektedir. Bu ölçülen özellikler; analizin seviyesine bağlı olarak bir veya üç sıcaklıkta (0, -10, ve -20 °C) doğrusal olmayan testleri kullanarak ölçülen sünme uyumu; ve sadece bir sıcaklıkta (-10 °C) değeri ölçülen doğrusal olmayan dayanımdır.

Geliştirilen işlemin çok önemli yönlerinden biri, normalde gerilmeleri, şekil değiştirmeleri, sünme uyumu, dayanım ve hatta Poisson'un oranını ölçmek için kullanılan denklemler dizisi için, bir dizi düzeltme faktörünün geliştirilmiş olduğu gerçeği ile ilişkilidir. Klasik olarak doğrusal olmayan test sonuçlarını yorumlamakta kullanılan, varsayılan, idealleştirilen 2D düzlem gerilmesi durumundan, numune tepkilerinin gerçek sapmasını hesaplamak için gereklidirler.

İdealize edilmiş iki eksenli gerilme durumu için, sünme uyumu $D(t)$, Hooke Kanunu ile elde edilir:

$$D(t) = \varepsilon_x / (\sigma_x - \mu \sigma_y) \dots\dots\dots(3.62)$$

Roque et al. tarafından geliştirilen düzeltme faktörü aşağıdadır :

$$D(t) = \varepsilon(t) / \sigma = (H_m(t) * D * t / P * GL) * C_{CMPL}$$

$$C_{CMPL} = 1.071 * \pi * C_{BX} / 2 (C_{SX} + 3 \mu C_{SY})$$

D(t) = t zamanında sünme uyumu tepkisi.

H_m(t) = t zamanında ölçülen yatay saptırma.

GL = ölçek uzunluğu (=25.4 mm, 101.6 mm çap için; =38.1 mm, 152.4 mm çap için).

P = Sünme yükü

t = Numune kalınlığı

D = Numune çapı

μ = Poisson oranı

C_{CMPL}, C_{SX}, C_{SY}, C_{BX} = sıra ile, boyutsuz sünme uyumu için düzeltme faktörleri, yatay gerilme düzeltme faktörü, düşey gerilme düzeltme faktörü, ve yatay şişme faktörü

Düzeltilme faktörleri için denklemler:

$$C_{CMPL} = 0.6354 (X / Y)^{-1} - 0.332$$

$$0.20 \leq t / D \leq 0.65$$

sınırları ile kısıtlanmış faktör ile :

$$[0.704 - 0.213 (t / D)] \leq C_{CMPL} \leq [1.566 - 0.195 (t / D)]$$

$$C_{SX} = 0.948 - 0.01114 (t / D) - 0.2693 (\mu) + 1.436 (t / D) (\mu)$$

$$C_{SY} = 0.901 - 0.138 (\mu) + 0.287 (t / D) - 0.251 (\mu) (t / D) - 0.264 (t / D)^2$$

$$C_{BX} = 1.03 - 0.189 (t / D) - 0.081 (\mu) + 0.089 (t / D)^2$$

(X / Y) değeri, ölçülen yatay sapmanın düşey sapmaya oranının mutlak değerini temsil eder. Bunun gibi, aşağıdaki denklem ile test sırasında malzemenin Poisson oranını hesaplamakta da kullanılır :

$$\mu = - 0.10 + 1.480 (X / Y)^2 - 0.778 (t / D)^2 (X / Y)^2$$

$$0.05 \leq \mu \leq 0.50$$

Sünme uyumu testi için yeni gözden geçirilmiş bir protokol, 100 dakika sünme testinin kullanılmasına dayanmaktadır. Genel olarak, üç kopya numune, önceden Seviye 1 için not edilen üç sıcaklıkta ve Seviye 2 için not edilen bir sıcaklıkta test edilir. Seviye 3 analizi için, sünme uyumu hacimsel ve karışım özellikleri ile bağlantılarına dayanarak elde edilir. Bir t zamanında sünme uyumu tepkisi aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$D(t) = D_1 t^m$$

D_1, m = Çatlak katsayıları

t = Saniye olarak yükleme zamanı

D_1 çatlak parametresi için kullanılan bağıntı:

$$\log (D_1) = - 8.5241 + 0.01306 T + 0.7957 \log (V_a) + 2.0103 \log (VFA) - 1.923 \log (A_{RTFO})$$

T = Test sıcaklığı (°C) (Ör : 0, -10, ve -20 °C)

V_a = Hava boşlukları (%)

VFA = Void filled with asphalt (%) = $[V_{beff} / (V_{beff} + V_a)] * 100$

VFA = Asfalt ile doldurulan boşluk (%)

V_{beff} = Etkin bağlayıcı içeriği, (%)

A_{RTFO} = RTFO durumu için Bağlayıcı Viskozite - Sıcaklık ilişkisi

m parametresi için, kullanılan korelasyon :

$$m = 1.1628 - 0.00185 T - 0.04596 V_a - 0.01126 VFA + 0.00247 Pen_{77} + 0.001683 Pen_{77}^{0.4605} T$$

T = Test sıcaklığı (°C) (Ör: 0, -10, ve -20 °C)

V_a = Hava boşlukları (%)

VFA = Asfalt ile doldurulan boşluk (%)

$$Pen_{77} = 77 \text{ °F'de penetrasyon} = 10^{290.5013 - (\sqrt{81177.288 + 257.0694 * 10^{(A + 2.72973 * VTS)}})}$$

A = Bağlayıcı Viskozite- Sıcaklık ilişkisinin kesişmesi

VTS = Bağlayıcı Viskozite- Sıcaklık ilişkisinin eğimi

m değerinin sonucu aşağı limit 0.01 olarak ayarlanmıştır

Adım 2: Ana Sünme Uyumu Eğrisinin Geliştirilmesi

Bu analizde, karışım tepki modellerini en iyi şekilde tahmin etmek için özel bir veri deneme tekniği kullanılır. Eğer üç örnek tekrarlı olarak kullanılırsa, herbirinin her iki yüzünde de ölçümleri olursa, toplam olarak altı şekil değiştirme zaman eğrileri geliştirilebilir. Deneme yaklaşımı, aşırı yüksek ve alçak değerleri elemeyi tavsiye eder ve daha sonra geride kalan dört ölçüm şekil değiştirme zaman tepkisinin ortalamasını kullanır.

$$D(\xi) = D(0) + \sum_{i=1}^N D_i (1 - e^{-\xi/\tau_i}) + \xi / \eta_v \dots \dots \dots (3.63)$$

$$\xi = t / a_T$$

ξ = Azaltılmış zaman

t = gerçek zaman

a_T = sıcaklık kayması faktörü

$D(\xi)$ = Azaltılmış zamanda ξ sünme uyumu

$D(0)$, D_i , τ_i , η_v = prony serileri parametreleri

Ana sünme uyumu eğrisinin sonuçları ayrıca Power Modele de uyar :

$$D(\xi) = D_0 + D_1 \xi^m$$

Ek bir model belirlemenin sebebi, Power eğimi parametresi, m'nin, sonuç olarak çatlak modelinde birçok çatlak (çatlak yayılması) parametrelerini hesaplamak için kullanılmasıdır.

Adım 3: Termal Gerilmelerin Öngörüsü

Viskoelastik dönüşüm teorisini kullanarak, sünme uyumu $D(t)$, asfalt betonu karışımının relaksasyon modülü, E_r , ile bağdaştırılabilir. Bu parametrenin bilinmesiyle, EICM modelinden elde edilen sıcaklık verisi ile eşleştirilerek, asfalt betonu tabaka içindeki herhangi bir derinlik ve zamanda termal gerilmenin öngörüsü yapılabilir.

Relaksasyon modülü fonksiyonu, sünme uyum fonksiyonunun dönüştürülmesiyle elde edilir. Relaksasyon modülü genelleştirilmiş Maxwell modeli ile temsil edilir ve Prony serileri ilişkisi ile ifade edilir:

$$E(\xi) = \sum_{i=1}^{N+1} E_i e^{-\xi/\lambda_i} \dots\dots\dots(3.64)$$

$E(\xi)$ = Azaltılmış zamanda Relaksasyon Modülü ξ

E_i, λ_i = Ana Relaksasyon modülü eğrisi için Prony serileri parametreleri

$$\sigma(\xi) = \int_0^{\xi} E(\xi - \xi') (d\varepsilon / d\xi') d\xi'$$

$\sigma(\xi)$ = Azaltılmış zamanda Gerilme ξ

$E(\xi - \xi')$ = Azaltılmış zamanda Relaksasyon modülü $\xi - \xi'$

ε = Azaltılmış zamanda şekil değiştirme $\xi (= \alpha (T(\xi') - T_0))$

α = Termal büzülmenin Doğrusal katsayısı

$T(\xi')$ = Azaltılmış zamanda Üstyapı sıcaklığı ξ'

$T_0 = \sigma = 0$ olduğunda üstyapı sıcaklığı

ξ' = Entegrasyonun değişkeni

Adım 4: Termal Çatlak Uzunluğu Artışının Hesaplaması

Çatlama mekanikleri (Paris kanunu) asfalt betonu tabaka içindeki termal çatak uzunluğu artışını hesaplamada kullanılır. Bu iş, gerilme yoğunluğu faktörü, K, sünme uyumu ve karışımın dayanımından elde edilen A ve n çatlak parametrelerinin bilinmesiye başarılır. Daha önceden de dikkat çekildiği gibi, asfalt betonu tabaka içindeki belirli bir zaman ve yerde, termal gerilmenin hesaplanması için iklim girdisi ve viskoelastik özellikler (sünme uyume- relaksasyon modülü) yardımcı olmuştur. Paris kanununa dayanarak çatlama mekanikleri, malzemenin gerilme yoğunluğunu ve çatlama özelliklerini hesaplamak için kullanılır.

Bu analiz kullanılara K tahmin edilebilir :

$$K = \sigma (0.45 + 1.99 C_o^{0.56})$$

K = Gerilme yoğunluğu faktörü

σ = Çatlak ucunun derinliğindeki üstyapı tepki modelinden uzak-alan gerilmesi

C_o = Şimdiki çatlak uzunluğu, feet

Termal çatlak modelinde kullanılan çatlak yayılma modeli :

$$\Delta C = A \Delta K^n$$

ΔC = Soğuma döngüsüne bağlı olarak çatlak derinliğindeki değişim

ΔK = Soğuma döngüsüne bağlı olarak gerilme yoğunluğu faktöründeki değişim

A, n = Asfalt karışımı için çatlak parametreleri

A ve n parametrelerini değerlendirmek için kullanılan yaklaşımlar bir bakıma önceki çalışmalara dayanır. Ana sünme uyumu eğrisinin üssel fonksiyonu ile ifade edilebileceğini hatırlayarak :

$$D(\xi) = D_0 + D_1 \xi^m$$

Uyum eğrisinden türetilen m değeri, n çatlak parametresini hesaplamak için şu denklem kullanılır :

$$n = 0.8 (1 + 1/m)$$

n değeri bir kere bildikten sonra, A çatlak parametresi, aşağıdaki denklemden hesaplanabilir :

$$A = 10^{(\beta * (4.389 - 2.52 * \log(E * \sigma_m * n)))}$$

E = Karışım sertliği, psi

σ_m = Hasarsız Karışımın dayanımı, psi.

β = Kalibrasyon parametresi

Adım 5 : Termal çatlakların uzunluğunun hesaplanması

Çatlama derecesi (500 ft uzunluğundaki bir üstyapıda meydana gelen termal - enine çatlakların uzunluğu olarak ifade edilir) HMA tabakasının çatlak derinliğinin olasılık dağılımı ile çatlama yüzdesi arasındaki varsayılan ilişkiden öngörülür.

Hesaplanan çatlak derinliği ile çatlak miktarının arasındaki ilişki, aşağıdadır.

$$C_f = \beta_1 * P_R (\log C > \log h_{ac})$$

$$C_f = \beta_1 * N ((\log C / \log h_{ac}) / \sigma)$$

C_f = Termal çatlağın gözlemlenen miktarı

β_1 = Alan kalibrasyonu ile belirlenen Regresyon Katsayısı

$N () = ()$ ' de değerlendirilen Standart normal dağılım

σ = Üstyapıdaki çatlakların derinliğinin standart sapması

C = Çatlak derinliği

h_{ac} = Asfalt tabakasının kalınlığı

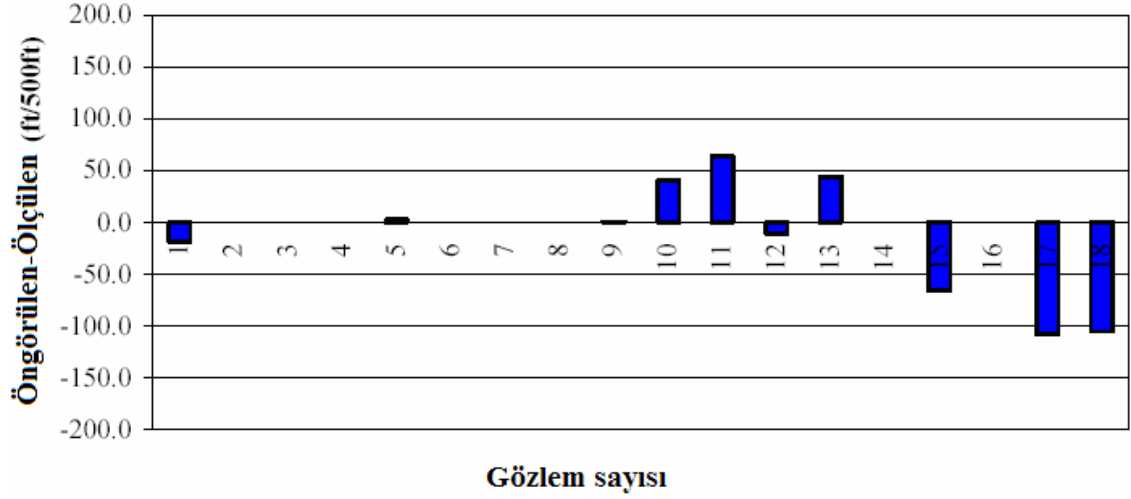
Termal Çatlak Modeli Varsayımları

Yaklaşımında varsayılan Termal çatlağın maksimum miktarı: $C_{fmax} = 400$ ft (120 m), üstyapı uzunluğunun her 500 ft (150 m)'dir. Yani, üstyapı uzunluğunu her 15 ft (4,6 m)' i için bir çatlağın çatlak boşluğu (tam şerit genişliğinde). Bu varsayılan maksimum değer iken, model bu maksimum değer in % 50' sinden daha fazlasını öngöremez, çünkü ortalama çatlak derinliği asfalt betonu tabakasının kalınlığına eşit olursa hata meydana gelir.

Termal Çatlak Güvenilirliği

Termal çatlak öngörüsünün güvenilirliği 2 farklı şekilde değerlendirilir: tasarım ömrü boyunca gerçek üstyapı sıcaklıklarını ve tarihsel kayıtların ortalamalarına dayanan tahmini sıcaklıkları kullanır. Öngörülen termal çatlak, ölçülen termal çatlak ile karşılaştırılır ve öngörü hataları bulunur.

Seviye için hata analizleri Şekil 3.26' da ve 3.27' de gösterilmiştir. Birinci ve ikinci yaklaşımlarda ortalama öngörü hataları sırasıyla şöyle bulunmuştur -9.0 ft (- 2,7 m) ve 16.2 ft (5 m). Bu karşılaştırma tasarım periyodu için tahmini veri yerine gerçek tarihsel iklim verisini girmenin önemini gösteriyor.

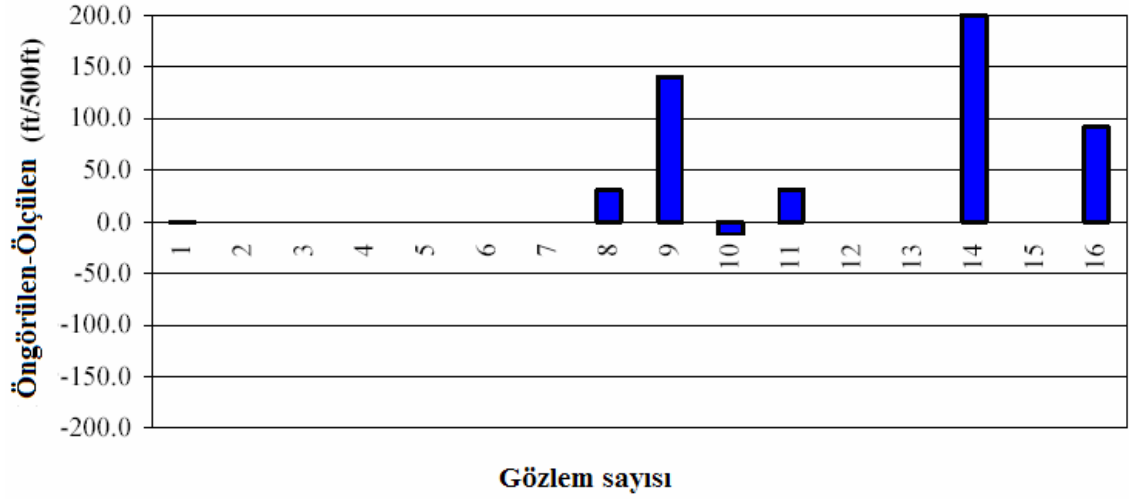


Şekil 3.27 : Seviye 1 Öngörü Hataları (Gerçek Üstyapı Sıcaklığı)



Şekil 3.28 : Seviye 1 Öngörü Hataları (Tarihsel Veriye Dayanan Tahmini Üstyapı Sıcaklıkları)

Seviye 2 analizi için, öngörülen termal çatlak değerleri, Seviye 1 için açıklanan aynı analizler kullanılarak elde edilmiştir. Öngörülen ve ölçülen termal çatlak karşılaştırılmış ve öngörü hataları şekiller 3.28’ de ve 3.29’ da gösterilmiştir. Birinci ve ikinci yaklaşımlar için ortalama öngörü hataları sırasıyla 30.1 ft (9,2 m) ve 49.7 ft (15,2 m) olarak bulunmuştur. Hatalardaki farklılıklar doğru ve gerçek girdi üstyapı sıcaklıklarının olmasındaki önemi açıkça ortaya koyuyor.



Şekil 3.29 : Seviye 2 Öngörü Hataları (Gerçek Üstyapı Sıcaklığı)



Şekil 3.30 : Seviye 2 Öngörü Hataları (Tarihsel Veriye Dayanan Tahmini Üstyapı Sıcaklıkları)

Paris Kanunundaki ($\beta=1.0, 3.0, \text{ ve } 5.0$) çatlak parametresi A üzerinde uyum faktörü için üç değer, ve aşağıda gösterildiği gibi üç şiddet seviyesinde ağırlıklı ortalamanın kullanımı (3d) aşağıda gösterilmiştir :

$$\text{Toplam Ölçülen Çatlama} = (\text{düşük şiddet} + 3 \text{ orta şiddet} + 5 \text{ yüksek şiddet}) / 9$$

Bütün kombinasyonlar için bulunan istatistiklerin özeti Tablo 3.52, 3.53 ve 3.54 de verilmiştir.

Tablo 3.52 : LTPP verileri ile Termal Çatlak Modelinin Onaylanması İçin İstatistiksel
Özet $\beta = 1.0$

İstatistiksel parametre	Analiz Seviyesi					
	1	2	3a	3b	3c	3d
Ortalama Öngörü Hatası	NA	NA	-70.64	-2.83	32.42	18.86
Standart Sapma	NA	NA	137.1	103.3	81.92	80.08

Tablo 3.53 : LTPP verileri ile Termal Çatlak Modelinin Onaylanmasının İstatistiksel
Özeti $\beta = 3.0$

İstatistiksel parametre	Analiz Seviyesi					
	1	2	3a	3b	3c	3d
Ortalama Öngörü Hatası	NA	NA	-2.97	64.84	100.1	86.53
Standart Sapma	NA	NA	119.6	101.8	95.14	86.97

Tablo 3.54 : LTPP verileri ile Termal Çatlak Modelinin Onaylanması İçin İstatistiksel
Özet $\beta = 5.0$

İstatistiksel parametre	Analiz Seviyesi					
	1	2	3a	3b	3c	3d
Ortalama Öngörü Hatası	NA	NA	13.20	81.00	116.3	102.7
Standart Sapma	NA	NA	129.7	105.7	94.67	88.80

En iyi tahminler ve daha düşük varyanslar Paris kanunu uyum faktörü (β) = 1.0, ve üç farklı şiddet seviyelerinin ağırlıklı ortalamalarına yakın sonuç (β) = 3.0 kullanılarak bulunur . Tahminin ortalama ve standart hatası, PTI verisi kullanılarak orijinal Seviye 3 analiz modeli ile bulunandan daha düşüktür. Ancak, Seviye 3 analizi üzerinden gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile (β) = 3.0 faktörü kullanıldığında model en iyi öngörülerini sağlıyor.

Analizin her seviyesi için elde edilen veri bazında, termal çatlak güvenilirliğinin standart hatası için aşağıdaki ilişkiler geliştirilmiştir:

$$\text{Seviye 1: } \text{Setc}_{-1} = 0.2474 * \text{TERMAL} + 10.619$$

$$\text{Seviye 2: } \text{Setc}_{-2} = 0.3371 * \text{TERMAL} + 14.468$$

$$\text{Seviye 3: } \text{Serc}_3 = 0.6803 * \text{TERMAL} + 29.197$$

Serc_i = Seviye i analizi için termal çatlak (ft / 500ft) hakkındaki tahminin standart hatası.

TERMAL = öngörülen termal çatlak ft / 500ft cinsinden

3.3.12.4. Pürüzsüzlük (Geometrik Düzgünlük) Modelleri (IRI)

Değişik üstyapı bozulma tiplerini kullanarak birçok araştırma pürüzsüzlüğü başarılı şekilde modellemiştir. Bu çalışmalar esnek üstyapı pürüzsüzlüğünün tekerlek izinden, iz derinliği varyansından ve yorulma çatlağından ciddi şekilde etkilendiğini göstermiştir.

Pürüzsüzlükle bağlantılı bozulmaların birçoğu, yük ve iklim ile ilgilidir ve yorulma çatlağı, kalıcı deformasyon ve termal çatlak gibi, analitik-ampirik modelleme teknikleriyle öngörülür. Derin çukurlar, blok çatlağı ve boyuna çatlaklar gibi diğer bozulmalar da, pürüzsüzlük üzerinde önemli bir role sahiptirler. Ancak, günümüzdeki uygulama, analitik - ampirik prensipleri kullanarak bu bozulmaları modellemeye izin vermediği için, tasarım rehberi yönteminde, pürüzsüzlüğün modellenmesi sırasında tasarımcılar bu tür bozulmaların gerçekleşme potansiyellerini, doğrudan girme opsiyonuna sahiptirler. Buna ek olarak, zemin hareketlerine ve diğer iklim faktörlerine bağlı pürüzsüzlük kaybı da ayrıca “saha faktörü” teriminin kullanımıyla pürüzsüzlüğün öngörüsünde ele alınır.

Kalın Granüler Temellere Sahip Üstyapıda IRI Tahmin Modeli

$$\text{IRI} = \text{IRI}_O + 0.0463 [\text{SF} (e^{\text{age}/20} - 1)] + 0.00119 (\text{TCL})_T + 0.1834 (\text{COV}_{\text{RD}}) + 0.00384(\text{FC})_T + 0.00736 (\text{BC})_T + 0.00115(\text{LC}_{\text{SNWP}})_{\text{MH}} \dots \dots \dots (3.65)$$

IRI = Verilen herhangi bir zamanda ki IRI , m/km

IRI_O = İlk IRI , m/km

SF = Saha faktörü

$e^{\text{age}/20} - 1$ = Yaş terimi (Yaş, yıllar olarak ifade edilir)

COV_{RD} = İz derinliklerinin varyasyonunun katsayısı, yüzdeler (% 20 olarak varsayılır)

$(TC_L)_T$ = Enine çatlakların toplam uzunluğu (düşük, orta ve yüksek şiddetteki seviyeler, m/km)

$(FC)_T$ = Tekerlek yolundaki yorulma çatlağı, toplam şerit alanının yüzdesi

$(BC)_T$ = Toplam Şerit alanının yüzdesi olarak blok çatlağı alanı (kullanıcı girdisi)

$(LC_{SNWP})_{MH}$ = Tekerlek izi bölgesi dışında Orta ve yüksek şiddette onarılmış boyuna çatlakların uzunluğu, m/km (kullanıcı girdisi)

$$SF = [(R_{SD} (P_{.075} + 1) PI) / 2 * 10^4] + [(\ln (FI + 1) (P_{02} + 1) (\ln (R_m + 1))) / 10]$$

R_{SD} = Aylık yağışın standart sapması, mm

$P_{.075}$ = 0.075 mm'lik elekten geçme yüzdesi

PI = Zeminin plastisite indeksi yüzdesi

FI = Ortalama yıllık donma indeksi, °C - günler

P_{02} = 0.02 mm'lik elekten geçme yüzdesi

R_m = Ortalama yıllık yağış, mm

Granüler temeller üzerindeki HMA üstyapıları için öngörülen IRI ve istenen güvenlik seviyesindeki alttemeller, aşağıdaki şekilde elde edilir :

$$IRI_P = IRI + STD_{IRI} * Z_P$$

$$IRI_P \leq \% 100$$

IRI_P = P güvenilirlik seviyesindeki öngörülen IRI, m/km

IRI = ortalama girdilere dayanan öngörülen IRI (% 50' lik güvenilirlik seviyesine denk gelir) m / km

STD_{IRI} = Ortalama IRI öngörü seviyesindeki IRI'nın standart sapması

Z_P = standart normal sapma

Granüler temeller ve alttemellerle HMA üstyapıları için IRI' nın standart sapması, terimlerin bireysel varyansından hesaplanan varyansın kare kökünün alınmasıyla aşağıdaki varyans ifadesinden elde edilir.

$$\begin{aligned}\text{Var} [\text{IRI}] &= \text{Var} [\text{IRI}_0] + \{ (0.0367 (e^{\text{age}/20}) - 0.0367) \}^2 \text{Var} [\text{SF}] \\ &+ 1.05625 * 10^{-5} \text{Var} [(\text{FC})_T] + 1.67445 * 10^{-5} \text{Var} [\text{COV}_{\text{RD}}] \\ &+ 1.1236 * 10^{-6} \text{Var} (\text{TC}_L)_T + 4.9562 * 10^{-5} \text{Var} [(\text{BC})_T] \\ &+ 2.4336 * 10^{-6} \text{Var} [(\text{LC}_{\text{SNWP}})_{\text{MH}}] + S_e^2\end{aligned}$$

$\text{Var} [\text{IRI}]$ = Ortalama IRI' nin öngörülen seviyesinde IRI' nin varyansı

$\text{Var} [\text{IRI}_0]$ = İlk IRI' nin varyansı

$\text{Var} [\text{SF}]$ = Saha faktörü varyansı (tipik değerler kullanarak tahmin edilir)

$\text{Var} [(\text{FC})_T]$ = Tekerlek izinde yorulma çatlağının varyansı (yorulma çatlağı standart sapma modelinden tahmin edilmiştir)

$\text{Var} [\text{COV}_{\text{RD}}]$ = İz derinliğinin çeşitliliğinin katsayısının varyansı (tipik değerler kullanarak tahmin edilir)

$\text{Var} (\text{TC}_L)_T$ = Enine çatlakların toplam uzunluğunun varyansı (bütün şiddet seviyelerinde)

$\text{Var} [(\text{BC})_T]$ = Blok çatlamasının alanının varyansı (tahmini)

$\text{Var} [(\text{LC}_{\text{SNWP}})_{\text{MH}}]$ = Tekerlek yolunun dışında orta ve yüksek şiddetteki onarılmış boyuna çatlakların uzunluğunun varyansı

S_e^2 = Genel model hatasının varyansı = $0.15 (\text{m} / \text{km})^2$

Bitümlü Stabilize Temellere Sahip Üstyapıda IRI Tahmin Modeli

$$\begin{aligned}\text{IRI} &= \text{IRI}_0 + 0.0099947 (\text{Age}) + 0.0005183 (\text{FI}) + 0.00235 (\text{FC})_T + \\ &18.36 (1 / (\text{TC}_S)_H) + 0.9694 (\text{P})_H \dots \dots \dots (3.66)\end{aligned}$$

$(\text{TC}_S)_H$ = Yüksek şiddette enine çatlakların ortalama aralığı, m (termal çatak modelinden tahmin edilmiştir)

$(\text{P})_H$ = Yüksek şiddette yamaların alanı, toplam şerit alanının yüzdesi, % (kullanıcı girdisi)

$$\begin{aligned}\text{Var} [\text{IRI}] &= \text{Var} [\text{IRI}_0] + 3.047 * 10^{-5} \text{Var} [(\text{FC})_T] \\ &+ [- 33.59 / ((\text{TC}_S)_H + 1)^2]^2 \text{Var} [(\text{TC}_S)_H] + 0.90802 \text{Var} [(\text{P})_H] + S_e^2\end{aligned}$$

$\text{Var} [(\text{TC}_S)_H]$ = Yüksek şiddette enine çatlakların ortalama aralıklarının varyansı (termal çatlak modelinden tahmin edildi)

$Var[(P)_H] =$ Yüksek şiddetteki yamaların alanının varyansı (tipik değerlerden tahmin edildi)

Çimentolu Temele Sahip Üstyapıda IRI Tahmin Modeli

$$IRI = IRI_0 + 0.00732 (FC)_T + 0.07647 (SD_{RD}) + 0.0001449 (TC_L)_T + 0.00842 (BC)_T + 0.0002115 (LC_{NWP})_{MH} \dots \dots \dots (3.67)$$

$$Var [IRI] = Var [IRI_0] + 5.358 * 10^{-5} Var [(FC)_T] + 5.848 * 10^{-3} Var [SD_{RD}] + 2.0996 * 10^{-8} Var [(TC_L)_T] + 7.0896 * 10^{-5} Var [(BC)_T] + 4.473 * 10^{-8} Var [(LC_{NWP})_{MH}] + S_e^2$$

Tasarım Rehberi yaklaşımında, ortalama iz derinliği; yukarıda açıklandığı gibi pürüzsüzlük modellerinde kullanılan iz derinliğindeki varyasyon (Ör., COV_{RD} ve SD_{RD}) yerine zaman içindeki analitik prensipler kullanılarak öngörülür. Öngörölmüş tekerlek izinin SD_{RD} tahmini için modeller :

$$SD_{RD} = 0.665 + 0.2126 (RD)$$

SD_{RD} = iz deınliklerinin standart sapması, mm

RD = Ortalama iz derinliği, mm

IRI Öngörü Yöntemi

IRI öngörüsü bir kez bozulma potansiyel girdileri (blok çatlaması ve yamalama) yapılandıktan ve üstyapı bozulma öngöröleri tamamlandıktan sonra basittir. IRI öngörüsü için adımlar aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Üstyapı bozulmalarının Öngörölmesi

Adım 2: İlk IRI'yı seçin ve bozulma potansiyelini tahmin edilmesi.

İlk IRI proje pürüzsüzlük talimatnamesine dayanır. İlk IRI' nın tipik değerlerinin tanım aralığı 50 - 100 in / mi' dir. (205' den 410' a cm/km)

Aşağıdaki bozulmalardan potansiyel meydana gelebilecekleri tahmin edin :

- Tekerlek yolu dışında orta ve yüksek şiddette boyuna çatlama.
- Yüksek şiddette yamalama.

Adım 3: IRI'nin Öngörölmesi.

3.3.13. Yerel Koşullara Uyum

Bu rehberde açıklanan tasarım yöntemini adapte etmeyle ilgilenen herhangi bir kurum, pratik bir uygulama planı hazırlamalıdır. Bu plan, personelin eğitimi, gerekli ekipmanın sağlanması, ihtiyaç duyulan bilgisayar donanımının sağlanması ve yerel koşullara kalibrasyon gibi konuları içerir.

Bu rehberdeki analitik-amprik tasarım yöntemi, hem tasarım yaklaşımında hem de karmaşıklıkta varolan amprik tasarım yönteminden farklı ciddi boyutta bir gelişim ve bakış açısı sunmaktadır. Hem yapısal hemde iklimsel (sıcaklık ve nem) modelde analitik prensiplerin kullanırken daha fazla kapsamlı veri girdisini gerektirir (aks yükü dağılımları, geliştirilmiş malzeme karakterizasyonu, inşaat faktörleri ve ortam sıcaklığı, yağış, solar radyasyon, bulut kapaması ve nisbi nem gibi saat bazlı iklim verisi dahil). Bu yüzden, karayolu kuruluşunun değerlendirilmesi ve uyarlanması için ciddi bir çalışmaya girmesi gerekir. Bu da, yeni tasarım yöntemini, hatta önceki deneyimlere (Ör, çok ağır trafik) göre fazlasıyla sapmaya uğramış tasarım koşulları içinde daha güvenilir ve daha az maaliyetli tasarımlar üretmek için uygun hale getirir.

İlk olarak 1962’de yayınlanan ve günümüze kadar birçok defalar güncellenen orijinal AASHTO tasarım yöntemlerinin bile, eyalet karayolu kurumları tarafından uzun yıllar uygulanması gerekir. Kurumlar, uygun girdileri elde etmek, “bölgesel” yada iklim faktörler, taban desteği ve bunu genel laboratuvar testleriyle korelasyonu gibi parametreler için kalibrasyon değerleri uygulamak, denk tekli aks yükünün hesaplanması için trafik girdileri ve daha birçok faktör üzerinde odaklanmıştır. Buna ek olarak, birçok kurum yerel koşullar hakkında tasarım yöntemlerinin daha ileri seviyede kalibre edilmesi için 10 yıl yada daha fazla süren izlenen test alanları kurmaktadır. Bugünün standartlarında bu nisbeten basit yöntem için bile, birçok karayolu kuruluşu başarılı bir uygulama için uzun yıllara gereksinim duyacaktır.

3.3.13.1. Yerel Koşullara Kalibrasyon İhtiyacı

Açıkçası, tasarım rehberinin analitik-ampirik yöntemini başarılı şekilde uygulamak için daha fazla çalışmayı gerektirir. Kalibrasyon olmadan, analitik hesaplamaların sonuçları, herhangi bir güvenlik seviyesinde tekerlek izini, yorulma çatlağını ve termal çatlağını öngörmek için kullanmak imkansızdır. Yorulma çatlağı için, doğrudan üstyapı tepkilerinin hiçbirisi çatlak gelişiminin oranını öngörme için doğrudan kullanılamaz, çünkü hasarı oluşumuna sebep olan çatlak mekanizmasını modellemek için karmaşık bir algoritma gerekmektedir. Bu hasar, alandaki gerçek çatlak ile bağlantılıdır. Bozulma mekanizmaları pratik şekilde modellenmek için fazla karmaşıktır, dolayısıyla ampirik faktörlerin kullanımı ve kalibrasyon, gerçekçi performans öngörülerini elde etmek için gereklidir.

Spesifik olarak kalibre edilen bozulma modelleri:

- Tekerlek izi (asfalt ve granüler tabakalar)
- Yorulma çatlağı (aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı)
- Termal Çatlak

Bu kalibrasyon çalışması ana tekrarlı bir çalışmadır ki ulusal kalibrasyon katsayıları ile bozulma öngörü modelleriyle sonuçlanır. Kalibrasyon eğrileri genelde LTPP veritabanında esnek üstyapıların “ulusal” performansını temsil eder. Bu kalibrasyon verisinde önyargı olması durumunda, bozulma öngörüsü modelleri içine dahil edilir. İlk kalibrasyon verinin % 80’lik kısmına dayanır. Daha sonra modeller, verinin geriye kalan % 20’sini kullanarak onaylanır. Her iki model de mantıklı bir onaylama gösterdiği için, tüm veriler en son kapsamlı ulusal kalibrasyon modelleri elde etmek için birleştirilir. Ancak, bu ulusal kalibrasyon ülkenin spesifik bölgeleri için tamamen yeterli olmayabilir ve daha bir yerel veya bölgesel kalibrasyona ihtiyaç olabilir.

Esnek üstyapılar için IRI modelleri ampiriktir ve doğrudan eldeki LTPP verisinden geliştirilmiştir. Yerel Kurum için daha ileri seviyede onaya gerek yoktur ancak, bu kısımda açıklandığı gibi eğer istenirse bu da yapılabilir.

3.3.13.2. Kalibrasyona Yaklaşım

Bu tasarım yöntemi analitik prensiplere dayandığı için, yöntemler, analitik yöntemlerinin çıkarım aralıkları ve kalibre edildiği performans verisi dahilinde mantıklı şekilde çalışmalıdır. Ancak, bu oldukça karmaşık bir tasarım yöntemidir ve uygulamasını isteyen karayolu kurumları tarafından dikkatli şekilde değerlendirilmelidir. Esnek üstyapılar için Tasarım Rehberinin uygulanması için gerekli tavsiye edilen kalibrasyon çalışması aşağıdadır:

1. Bütün girdi verilerini gözden geçirin.
2. Duyarlılık Analizini gerçekleştirin.
3. Karşılaştırma çalışmalarını gerçekleştirin.
4. Kalibrasyon çalışmalarını gerçekleştirin.
5. Girdi varsayımlarını ve ihtiyaca göre kalibrasyon katsayılarını düzenleyin.

Bütün Girdi Verilerini Gözden Geçirin

Tasarım Rehberi yazılımındaki bütün girdiler, akıldaki beş ana hedef için gözden geçirilmelidir.

- Birçok tasarım projesi tipleri üzerindeki her girdiyi elde etmek için istenen seviyeyi belirleyin (Yeterli tasarımın ulaşılmasının daha kritik olduğu durumlarda yüksek hacimle düşük hacmin karşılaştırılması gibi). Tasarım Rehberi girdilerin üç seviyesine izin verir ve her seviyenin farklı yöntemleri vardır.
- Tasarım Rehberi yazılımı ile sağlanan varsayımların kurum için uygun olup olmadığını belirleyin ve eğer gerekirse düzenleyin.
- Kurumun coğrafi alanı dahilinde projelerin birçok tipi için kabul edilebilir tanım aralıklarını seçin (düşük hacim, yüksek hacim, eyalet dahilinde farklı coğrafi alanlar).
- Sıradan tasarım projeleri hakkında bu girdileri elde etmek için yöntemleri seçin (Ör, trafik hacmi ve ağırlık girdileri). Sonuç tasarımında girdi değerlerinin doğruluğunun etkilerini belirleyin.

- Spesifik girdileri yerleştirmek için gerekli testleri uygulayın (Ör, asfalt beton dinamik modülü, aks yükü dağılımı), gerekli testlerin hepsine ihtiyaç duyulan ekipmanları sağlayın.

Duyarlılık Analizi

Bu iş, bütün tasarım girdileri ile tipik bir tasarım durumunu seçmek ile başarılabılır. Yazılım çalıştırılır ve ortalama bozulmalar ve IRI tasarım periyodu üzerinden öngörölür. Daha sonra, bireysel girdiler çeşitlendirilir, normalde her seferde bir kez olmak üzere (eğer iki yada daha fazlası bağlantılı değilse ve daha sonra normal halinde de gerçekleşeceği gibi iki yada daha fazlası uygun şekilde çeşitlendirilir) ve bütün çıktılardaki değişim gözlemlenir. Uygun tablolar ve grafikler hazırlanır ve sonuçlar değerlendirilir. Girdileri üç gruba ayrılabilir, örneğin :

1. Bir yada daha fazla çıktılarda çok ciddi etkilere sahip olanlar.
2. Bir yada daha fazla çıktılarda orta seviyede etkilere sahip olanlar.
3. Bir yada daha fazla çıktılarda çok az etkiye sahip olanlar.

1 numaralı gruba ait olan girdiler 3 numaradan daha dikkatli seçilmelidir çünkü bunların tasarım üzerinde çok önemli bir rolü vardır. Yukarıdaki duyarlılık, girdileri üzerinde etkisi olup olmadığını anlamak için düşük, orta ve yüksek trafik proje tasarımları için tekrarlanabilir.

Karşılaştırma alışmaları

Rehberden asarımları ve varolan yöntemleri karşılaştırın. Tipik tasarım durumlarını (önceki tasarımlar ideal olacaktır) seçin ve Tasarım Rehberi için Tasarım Girdilerini elde edin. Tasarım rehberi yazılımını çalıştırın ve analiz periyodu üzerinden bozulmaları ve IRI' yı belirleyin. Sonuç ve kurum performans deneyimi bazında tasarımın doğruluğunu değerlendirin. Eğer Tasarım Rehberi öngörülerinde eksiklik varsa, mümkünse sebeplerini saptayın.

Yerel Koşullara Kalibrasyon

Her ne kadar bu çalışma çok yönlü de olsa, mevcut yöntemlerden çok farklı olan yeni bir tasarım yönteminin uygulanmasında ihtiyatlı bir adım olarak daha ileri seviye

değerlendirme çalışması özellikle tavsiye edilir. Ulusal kalibrasyon faktörlerinin yada foksiyonlarının inşaat, malzemeler, iklim, trafik ve karayolu sisteminde kurum dahilinde karşılaşılan diğer koşullar için yeterli ve uygun olduğunu saptamak etmek için bir onaylama veritabanı geliştirilmelidir.

Kurum performans verisinin bir tabanını hazırlayın ve bu yerel bölümlerin performansı ile yeni tasarım yöntemi sonuçlarını karşılaştırın. Bu durum, eyalet çevresinde en azından 20 örnek üstyapı kısımlarının seçimini gerektirecektir. Eğer eyaletin birbirinden çok farklı iklim varsa, bu iş her iklim için yapılmamalıdır.

Kalibrasyon-onaylama sürecinin hedefi, performans modellerini doğru şekilde üstyapı bozulmalarını öngördüğünü teyid etmek ve ulusal bazda kaliteyi sürdürmektir. Herhangi bir spesifik coğrafi alanda, güvenilir üstyapı tasarımları elde etmek için ulusal modellerin ayarlanması gerekebilir.

Kalibrasyonların/ Girdilerin Düzenlenmesi

Eğer, öngörülen ve ölçülen bozulmalar ve Karayolları kurumlarının IRI' sı arasında ciddi fark bulunursa, performans modellerine uygun ayarlamalar yapılmalıdır. Bu çalışma ayrıca anahtar girdi parametreleri ve varsayılan girdi değerleri için istenen doğruluk seviyesini de yerleştirecektir. Yukarıdaki bütün sonuçlar ve bulgular bazında gerekli oldukça yeni yöntemlerde düzenlemeler yapın

4. AASHTO 1993 TASARIM YÖNTEMİ

4.1. GİRİŞ

Bu bölümde, AASHTO 1993 yönteminde kullanılan ana parametreler ve hesap yöntemi açıklanmıştır. Bu yöntemin gelişimi ile ilgili detaylı bilgiyi, analitik-ampirik yöntemleri anlatırken vermiştir.

AASHO Yol Testi belirli çevre ve malzeme koşulları için Asfalt betonu tabaka kalınlığı, yük büyüklüğü, dingil tipi, uygulanan yük miktarı ve servis yeteneği kaybı arasında ampirik bir bağıntı kurmaktadır.

AASHO Yol Testi'nde esnek üstyapılar için yük ve üstyapı değişkenleriyle p ve β terimleri arasında aşağıdaki bağıntılar bulunmuştur [4].

$$\log (p) = 5,93 + 9,36 \log (SN + 1) - 4,79 \log (L_1 + L_2) + 4,33 \log L_2$$

$$\beta = 0.40 + [(0.081 (L_1 + L_2)^{3,23}) / ((SN + 1)^{5,19} L_2^{3,23})] \dots\dots\dots(4.1)$$

SN : Üstyapı sayısı

L_1 : Bir tek dingildeki veya tandem dingil grubundaki yük

L_2 : Dingil kodu (tek dingil için "1", tandem dingil için "2")

Yol Testi verilerinden elde edilen ilk ampirik model aşağıda verilmiştir.

$$\log(W) = \log(p) + G / \beta \dots\dots\dots(4.2)$$

W : Son servis kabiliyetine ulaşılan kadar uygulanan dingil yükü sayısı

G : "t" anındaki servis kabiliyeti kaybının servis yeteneği 1,5 olana kadarki potansiyel kayba oranının fonsiyonu

β : p - W servis kabiliyeti eğrisinin şeklini etkileyen tasarım ve yük değişkenlerinin fonksiyonu

ρ : Servis kabiliyeti indisi 1,5' a düşene kadar uygulanması beklenen dingil yükü sayısını veren tasarım ve yük değişkenlerinin fonksiyonu

1986' daki rehberde yer alan "güvenilirlik" kavramı, tasarımcıya üstyapı tasarımında karşılaşılabilecek belirsizliklere bir açıklık getirme imkanı verir. Bu kavram sayesinde tasarımcı belli bir risk düzeyine kadar elverişli tasarımlar yapabilir. Güvenilirlik ve toplam standart sapmanın bir fonksiyonu olan "Güvenilirlik Tasarım Faktörü (Fr)" trafik tahminlerinde, üstyapı performansı tahmininde ve malzeme ile yapı özelliklerinin belirlenmesinde karşılaşılabilecek muhtemel hata payının önlenmesinde kullanılır.

Ayrıca 1986' da zemin destek sayısı yerine resilient modülüne yer verilmiştir. Resilient modülü malzeme özelliklerin belirlenmesinde gerçekçi bir test yöntemi kullanılmasına imkan verir. Stabilize ve stabilize olmayan malzemelerin tabaka katsayılarının belirlenmesinde de resilient modülü kullanılabilir.

AASHTO 86'da drenaj özelliklerini hesaba katmak için bir de drenaj faktörü (m_i) tanımlanmıştır.

Zeminlerin şişmesinin ve don kabarmasının etkilerini de tasarım esnasında göz önünde bulundurmak için 1986 baskısında bu konuya yer verilmiştir.

1986'da yayınlanan rehberde AASHTO Yol Testi'nden yararlanılarak üstyapı kalınlıklarının hesaplanmasında kullanılmak üzere üstyapıya etkiyen yükleri içine alan " AASHTO Deney Yolu Denklemi " kurulmuş aynı denklem AASHTO Tasarım Rehberi 1993'te de kullanılmıştır.

$$\log (W_{8,2}) = Z_R * S_0 + 9,36 * \log (SN + 1) - 0,20 + (\log (\Delta PSI \setminus (4,2 - 1,5)) \setminus (0,40 + (1094 \setminus (SN + 1) ^{5,19})) + 2,32 * \log (M_R) - 8,07.....(4.3)$$

$W_{8,2}$: 8,2 ton (18-kip) eşdeğer standart dingil yükü (ESDY) tekrar sayısı

Z_R : Standart sapma

ΔPSI : Başlangıçtaki tasarım servis kabiliyeti indisi (P_o) ile son servis yeteneği (P_t) arasındaki fark, toplam servis yeteneği kaybı

M_R : Taban zemini efektif elastisite modülü (psi)

SN : Üstyapı kalınlığını bulmak için gerekli üstyapı sayısı

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 + \dots + a_i * D_i * m_i \dots \dots \dots (4.4)$$

a_i : i. tabakanın tabaka katsayısı

D_i : i. tabakanın kalınlığı (in)

m_i : i. tabakanın drenaj katsayısı

4.2. ESNEK ÜSTYAPININ TASARIMI İÇİN GEREKLİ VERİLER

1. Genel tasarım değişkenleri

- Zaman kısıtları
 - Performans periyodu
 - Analiz periyodu
- Trafik
- Güvenilirlik
- Çevresel etkiler
 - Taban zemini şişmesi
 - Don kabarması

2. Performans ölçütü - Servis yeteneği

3. Malzeme özellikleri

- Taban zemini efektif elastisite modülü
- Üstyapı malzemeleri özellikleri
- Tabaka katsayıları

4. Üstyapı yapısal özellikleri

- Drenaj

4.2.1. Genel Tasarım Değişkenleri

Herhangi bir üstyapının tasarımında mutlaka hesaba katılması gereken değişkenlerden olan genel tasarım değişkenlerini, seçilmiş performans ve analiz periyodları gibi zaman kısıtları, trafik, tasarım güvenilirliği ile yol yatağı şişmesi, don kabarması gibi çevresel etkiler açıklayabiliriz.

4.2.1.1. Zaman Kısıtları

Üstyapının tasarımı için "Performans Periyodu" ve "Analiz Periyodu"nın seçilmesi gereklidir.

Performans Periyodu : Yolun hizmete açıldığı tarihten ilk takviye tabakasının yapılacağı tarihe kadar geçen süreyi veya birden fazla takviye yapılmışsa takviye işlemleri arasında geçen süreleri belirtir. Diğer bir deyişle üstyapının başlangıç servis yeteneği indisinden (P_o), seçilen son servis yeteneği indisine (P_t) düştüğü ana kadar geçen süreyi ifade eder. Performans periyodunun minimum ve maksimum değerleri belirlenirken karayolu ile ilgili kurumların geçmişteki deneyimleri, inşaatın başlangıcında mevcut kaynakların durumu, bakım işlemlerinin düzeyi ve türü gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır. Minimum performans periyodu üstyapının hizmet kalitesinin biteceği en kısa süreyi ifade eder. Maksimum performans periyodu ise kullanıcının öngörülen servis derecesine göre bekleyebileceği en uzun süreyi belirtir.

Analiz Periyodu : Performans periyodlarının toplamı olarak ifade edilebilir ve ilk performans periyodunu ve devamında yapılan bir veya daha fazla takviyeyi içerir. Bugünkü deneyimlerle, üstyapı ömrünün 20 yıldan fazla olduğunu göstermiştir. Sonuçta üstyapıların analiz analiz süreleri artırılmıştır. Tablo 4.1' de esnek üstyapılar için AASHTO 93' te önerilen analiz periyodları verilmiştir.

Tablo 4.1 : Tavsiye Edilen Analiz Periyodları

Karayolu Şartları	Analiz Periyodu (yıl)
Yüksek hacimli kentiçi yollar	30 - 50
Yüksek hacimli kentlerarası yollar	20 - 50
Düşük hacimli kaplamalı yollar	15 - 25

4.2.1.2. Trafik

AASHTO Tasarım Yöntemleri analiz periyodu süresince taşınacak toplam 8.2 ton (18 - kip) eşdeğer standart dingil yüküne (HSDY) dayanır. Dingil yükleri AASHO Yol Testi'nden elde edilen Yük Eşdeğerlik Faktörleri (YEF) kullanılarak ESDY' ne dönüştürülür. Tasarım trafiğinin belirlenebilmesi için Yön Dağıtma Faktörü (D_Y) ve Şerit Dağıtma Faktörü (D_S) kullanılarak sistem üzerindeki toplam ESDY'nin ayarlanması gerekir [4].

AASHTO rehberinde trafik tahminleri trafik analiz süresi için yapılır. Yolun hizmete açıldığındaki trafik "ilk trafik", trafik analiz süresi sonundaki trafik ise "son trafik" olarak adlandırılır. İlk ve son trafik değerleri yardımıyla trafik analiz süresi için saptanan trafik değeri üstyapı hesabında tasarım trafiği olarak kullanılır.

Trafik sayımlarıyla her bir araç grubu için günlük trafik (t_0) ve trafik artış katsayısı (r) belirlendikten sonra " t " yıl sonraki günlük trafik (t_t) aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$t_t = t_0 * (1 + r)^t \dots\dots\dots(4.5)$$

İlk yıl için günlük trafik (t_0) ve son yıl için günlük trafik (t_t) belirlendikten sonra " t " süresi için günlük trafik analiz trafiğinin (t_p) hesaplanması için;

$$t_p = 0,4343 * (t_t - t_0) / (\log t_t / t_0) \dots\dots\dots(4.6)$$

formülü kullanılır. Yoldan analiz süresince geçecek toplam trafik (T_p) ise :

$$T_p = t_p * 365 * t \dots\dots\dots(4.7)$$

İler bir trafik grubu için belirlenen trafik sayıları taşıt eşdeğerlik faktörleri (Tablo 4.2) ile çarpılıp 8.2 ton (18-kip) ESDY' ne dönüştürülür ve toplamaları alınır.

Tablo 4.2 : Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri

Trafik	Trafik kategorisi (ticari araç / gün)				
Grubu	0 - 250	250 - 500	500-1,500	1,500-3,000	> 3,000
Kamyon	1.74	1.83	1.96	2.04	2.18
Treyler	2.78	2.88	3.06	3.15	3.35
Otobüs	0.90	0.90	0.95	0.95	0.98
Otomobil	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006

Günlük ortalama trafik hacmi trafik gruplarına göre değil de değişik dingil yükü gruplarına göre verilmişse analiz süresi için toplam eşdeğer dingil sayısı "dingil eşdeğerlik faktörleri" (YEF) kullanılarak hesaplanır.

Tek dingil yüklerini standart dingil sayısına yaklaşık olarak dönüştürmek için :

$$X = (p | p_{8,2})^n \dots\dots\dots(4.8)$$

üssel fonksiyonu kullanılabilir. Buradaki n değeri genel olarak 3,5 ile 4,5 değerleri arasında değişen bir değer alır. Bazı dingil eşdeğerlik faktörleri Tablo 4.4 ve 4.5' da son servis yeteneği indisi (Pt), dingil tipleri ve üstyapı sayısına bağlı olarak verilmiştir. Bu faktörler yardımıyla tasarım trafiği ESDY cinsinden hesaplanabilir.

Tasarım şeridindeki trafiğin ($W_{8,2}$) hesaplanmasında aşağıda verilen bağıntı kullanılır.

$$W_{8,2} = W_{8,2} * D_Y * D_{\text{ş}} \dots\dots\dots(4.8)$$

$W_{8,2}$ = İki yöndeki toplam 8.2 ton (18 - kip)

D_Y = Yön dağıtma faktörü. Trafiğin yönlere göre dağılımını belirlemeye yarar, yüzde olarak ifade edilir ve genellikle 0.5 değerini alır. Her iki yönde, farklı sayı ve ağırlıkta trafiğe hizmet eden yollarda 0.3 ile 0.7 değerleri arasında değişebilir.

$D_{\text{ş}}$ = Şerit dağıtma faktörü. Trafiğin şeritlere göre dağılımını belirlemekte kullanılır, yüzde olarak ifade edilir ve şerit sayısına bağlı olarak değişir. AASHTO 93' te esnek üstyapılar için önerilen $D_{\text{ş}}$ değerleri Tablo 4.3' te verilmiştir [4].

Tablo 4.3 : Şerit Sayısına Göre Tavsiye Edilen Şerit Dağıtma Faktörleri

Bir yöndeki şerit sayısı	Tasarım şeridindeki 8.2 ton ESDY (%)
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Tablo 4.4 : Tek Dingil ve Pt = 2.0 İçin Dingil Yüğü Eşdeğerlik Faktörleri

Dingil Yüğü (kip)	Üstyapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0 0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0 030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.750	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0 165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4 88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.40	10.00	9.20	8.60	8.70	9.20
32	14.00	13.50	12.40	11.50	11.50	12.10
34	18.50	17.90	16.30	15.00	14.90	15.60
36	24.20	23.30	21.20	19.30	19.00	19.90
38	31.10	29.90	27.10	24 60	24.00	25.10
40	39.60	38.00	34.30	30.90	30.00	31.20
42	49.70	47.70	43.00	38.60	37.20	38.50
44	61.80	59.30	53.40	47.60	45.70	47.10
46	76.10	73.00	65.60	58.30	55.70	57.00
48	92.90	89.10	80.00	70.90	67.30	68.60
50	113.00	108.00	97.00	86.00	81.00	82.00

Tablo 4.5 : Tek Dingil ve Pt = 2.5 İçin Dingil Yüğü Eşdeğerlik Faktörleri

Dingil Yükü(ki p)	Üstyapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.010	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.30	9.50	7.90	6.80	7.00	7.80
32	13.90	12.80	10.50	8.80	8.90	10.00
34	18.40	16.90	13.70	11.30	11.20	12.50
36	24.00	22.00	17.70	14.40	13.90	15.50
38	30.90	28.30	22.60	18.10	17.20	19.00
40	39.30	35.90	28.50	22.50	21.10	23.00
42	49.30	45.00	35.60	27.80	25.60	27.70
44	61.30	55.90	44.00	34.00	31.00	33.10
46	75.50	68.80	54.00	41.40	37.20	39.30
48	92.20	83.90	65.70	50.10	44.50	46.50
50	112.00	102.00	79.00	60.00	53.00	55.00

4.2.1.3. Güvenilirlik

Güvenilirliğin genel tanımları şunlardır :

- Güvenilirlik servis kabiliyeti indeksinde beklenmeyen kayıplar sonucu bakım gerekebileceği ihtimalini dikkate alır.
- Üstyapının trafik yüklerine minimum bir dirençle karşı koyması durumunda oluşabilecek aksaklıkları gidermeye çalışır.
- Üstyapının mevcut koşullar altında beklenen performansı gösterememe durumunu hesaba katarak bu gibi hallerde yolun beklenen hizmeti verememesi ihtimalini ortadan kaldırır [15].

Ayrıca,

- Üstyapının ömrü boyunca doğabilecek, gözle görülebilecek özel bir takım aksaklıkların da olabileceğini göz önünde bulundurur.
- Çevre şartlarında değişiklikler olması ve fazla trafik doğması gibi durumlarda da güvenilirlik faktörü işlevini yerine getirmeye çalışır [15].

Sözü edilen durumlar için, hesaplanan trafik değeri güvenilirlik faktörü ile arttırılarak istenen ömürde hizmet verebilme imkanı sağlanır.

F_R ile temsil edilen tasarımı güvenilirlik faktörü kullanılmak suretiyle tasarım trafiğini tahmin riski azaltılıp üstyapı performansı arttırılmaya çalışılır.

F_R değerini bulmak için öncelikle yolun sınıfı belirlenir. İkinci adım olarak Tablo 4.6' dan yolun sınıfı için önerilen güvenilirlik seviyesi oranı (R) bulunur. Üçüncü aşamada Tablo 4.7' den " R " ye bağlı normal standart sapma (Z_R) değeri alınır. Bunun ardından toplam standart sapma değeri (S_0) seçilir ki bu değer esnek üstyapılar için 0,40 ile 0,50 değerleri arasında değişir. Son olarak aşağıdaki formülle " F_R " değeri hesaplanır [15].

$$F_R = 10^{-Z_R * S_0} \dots\dots\dots(4.9)$$

Tablo 4.6 : Yol Sınıfları İçin Önerilen Güvenilirlik Seviyesi Oranları

Yol Sınıfı	Kent içi	Kentler arası
Otoyollar ve devlet yolları	85 - 99.9	80 - 99.9
İl yolları ve ana arterler	80 - 99	75 - 95
Toplama yolları	80 - 95	75 - 95
Mahalli yollar veya tali yollar	50 - 80	50 - 80

Tablo 4.7 : Güvenilirlik Oranlarına Bağlı Olarak Verilen Standart Sapma Değerleri

Güvenilirlik Seviyesi Oranı (R) %	Standart normal sapma (Z _R)
50	- 0.000
60	- 0.253
70	- 0.524
75	- 0,674
80	- 0 841
85	- 1.037
90	- 1.282
91	- 1.340
92	- 1.405
93	- 1.476
94	- 1.555
95	- 1.645
96	- 1.751
97	- 1.881
98	- 2.054
99	- 2.327
99.9	- 3.090
99.99	- 3.750

F_R değeri hesaplandıktan sonra tahmin edilen trafik " W_{8,2}" ile çarpılıp performans trafiği bulunur.

$$W_{8,2} = W_{8,2} * F_R \dots \dots \dots (4.10)$$

4.2.1.4. Çevresel Etkiler

Sıcaklıkta ve nem oranında olacak değişiklikler gerilmeler üzerinde, dengenin sağlanmasında, yük taşıma kapasitelerinde ve taban zemini malzemeleri üzerinde etkiler meydana getirebilmektedir. Diğer başlıca çevresel etkiler de taban zemini şişmesi, üstyapı şişmesi, don kabarması, dağılmalar vb. gibi doğrudan oluşan tesirler seyir kalitesinde ve servis yeteneği indisinde kayıplara neden olur.

Servis yeteneği indisindeki kaybın belli bir oranını teşkil eden taban zemini şişmesi ve don kabarması olayları potansiyel etkileri olan önemli çevresel faktörlerdir.

Şişme taban zemininin nem alarak genişlemesi şeklinde olur. Bu olay sonucunda hacim değişikliği meydana gelir. Zeminin nem emmesini azaltmak için etkili bir drenaj sistemi oluşturmak gerekir. Bu şekilde taban zemininin nem alması ve dolayısıyla şişmesi azaltılabilir ya da ortadan kaldırılabilir [4].

Don kabarması da taban zemininde birikmiş nemin donarak zeminin hacminde değişmelere yol açması sonucunda oluşur. Bu hacim değişikliğinin homojen şekilde gerçekleşmemesi kaplama tabakasında bükülmelerin ve bozulmaların ortaya çıkmasına neden olur. Yüzeysel olarak görülebilen bu kabarmalar taban zemininin şişmesinde olduğu şekilde etkili bir drenajla azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir [4].

Trafik, don kabarması ve taban zemini şişmesinin servis yeteneği indisi üzerindeki etkisi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{\text{trafik}} + \Delta PSI_{\text{don kabarması}} + \Delta PSI_{\text{şişme}} \dots \dots \dots (4.11)$$

ΔPSI = Servis yeteneği indisindeki toplam azalma

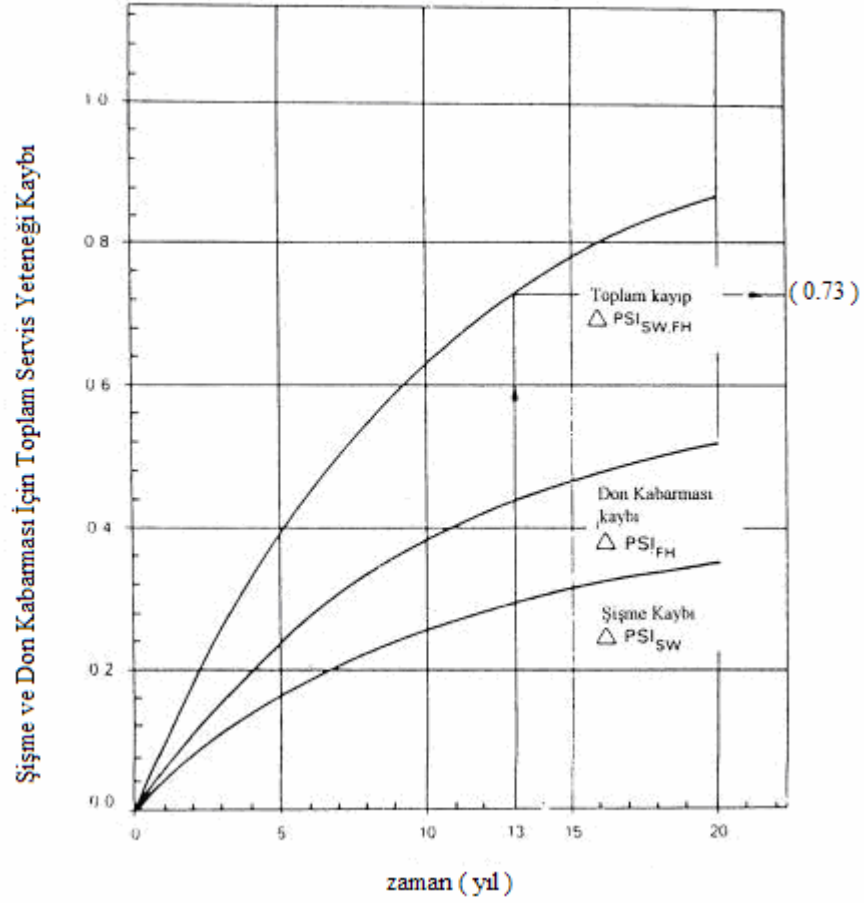
$\Delta PSI_{\text{trafik}}$ = Servis yeteneği indisinde trafik nedeniyle oluşan azalma

$\Delta PSI_{\text{don kabarması}}$ = Servis yeteneği indisinde don kabarması nedeniyle oluşan azalma

$\Delta PSI_{\text{şişme}}$ = Servis yeteneği indisinde şişme nedeniyle oluşan azalma

Çevresel etkilere (don kabarması ve şişme) bağlı olarak servis yeteneği indisinde gözlenen kaybın değeri aşağıdaki eşitlikten ve Şekil 4.1' den bulunabilir.

$$\Delta PSI_{\text{ş dk}} = \Delta PSI_{\text{don kabarması}} + \Delta PSI_{\text{şişme}}$$



Şekil 4.1 : Belirli Bir Bölge İçin Zamana Bağlı Olarak Toplam Çevresel Servis Yeteneği Kaybı

4.2.2 Performans Kriteri

Servis kabiliyeti bir üstyapının yüksek hız ve hacimdeki trafiğe hizmet edebilme yeteneğidir. Servis yeteneği derecesi karayolu mühendisliği konularında uzman kişilerden meydana gelen bir kurulun, karayolundan yararlanan kimseler sıfatıyla, yola verdikleri bireysel değerlendirmelerin ortalaması alınarak bulunur. Servis kabiliyeti derecesi için "0" en kötü, "5" en iyi olmak üzere 0 ile 5 arasında değişen bir ölçek tesbit edilmiştir [4].

Üstyapı tasarımı için başlangıç ve son servis kabiliyeti indislerinin seçilmesi gerekir. Başlangıç servis yeteneği indisi (P_0) üstyapı tasarımının ve kalitesinin bir

fonksiyonudur. Son servis kabiliyeti indisi (P_t) ise takviye tabakası yapılmadan önce gözlenen kabul edilebilir en düşük değerdir.

AASHTO 93' te esnek üstyapılar için önerilen başlangıç ve son servis yeteneği indisleri Tablo 4.8' deki gibidir.

Tablo 4.8 : Başlangıç ve Son Servis kabiliyeti İndisleri

Üstyapı Tipi	Başlangıç Servis Yeteneği
Esnek	4.2
Yol Tipi	Son Servis Yeteneği
Anayollar	≥ 2.5
Daha düşük sınıflı yollar	2.0

4.2.3 Yapısal Tasarım İçin Malzeme Özellikleri

4.2.3.1 Taban Zemini Elastisite Modülü

Taban zemininin elastisite modülü, zemin örneğine mevsim koşulları altında, üç eksenli basınç deneyleri sonunda tespit edilir. Elastisite modülünün hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılır.

$$M_R = \sigma_d / \epsilon \dots \dots \dots (4.12)$$

M_R = Elastisite modülü,

σ_d = Deviatör gerilme (σ_1, σ_3)

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Asal gerilmeler

ϵ = Birim şekil değiştirmedir

Elastisite modülü mevsimlere bağlı olarak değişebildiği için yağışlı ve yağışsız mevsimler için ayrı ayrı testler yapılarak nem oranı ile M_R değeri arasındaki ilişkinin saptanması gerekir [4].

Karşı seçenek olarak elastisite modülünün belirlenmesi için gerekli alet ve malzemelerin mevcut olmadığı durumlarda kullanılmak üzere M_R ile CBR arasındaki ilişki araştırılmış ve aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir.

$$M_R = 107 * CBR \quad (N / m^2) \dots \dots \dots (4.13a)$$

$$M_R = 1500 * CBR \quad (lb / in^2) \dots \dots \dots (4.13b)$$

$$M_R = 110 * CBR \quad (kg / cm^2) \dots\dots\dots(4.13c)$$

4.2.3.2 Üstyapı Tabakalarının Tabaka Katsayıları ve Elastisite Modülleri

AASHTO esnek üstyapı tabaka katsayısı (a_i) verilen malzemenin birim kalınlığının yapısal bileşeni olarak davranabilme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Örneğin, tabaka katsayısı 0,4 ve kalınlığı 1 inç (2,54 cm) malzemenin, tabaka katsayısı 0,2 olan 2 inç (5,08 cm) kalınlığındaki malzemeye aynı yapısal katkıyı sağlayacağı varsayılır.

Tabaka katsayıları test yollarından derlenen bilgiler kullanılarak belirlenebileceği gibi resilient veya elastik modül gibi malzeme özelliklerine dayalı, daha önceden geliştirilmiş bağıntılar kullanılarak da bulunabilir. AASHTO 93' te beş malzeme grubu için tabaka katsayılarının belirlenmesiyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Asfalt Betonu Kaplama Tabakası : Asfalt betonunun elastisite modülü 20 °C (68 °F) sıcaklıkta deneyle belirlenir. Asfalt betonu termal çatlamalara ve yorulma çatlaklarına karşı daha hassas hale geleceği için elastisite modülünün (E_{AC}) 3100 MPa (450.000 psi) değerini aşması istenmez. Kaplama tabakasına ait tabaka katsayısı (a_1) E_{AC} ' ye bağlı olarak Şekil 4.2' den bulunur.

Granüler Temel Tabakası : Granüler temel tabakasının tabaka katsayısı (a_2) elastisite modülüne (E_{BS}) bağlı olarak Şekil 4.3' ten bulunabileceği gibi aşağıdaki eşitlik kullanılarak da hesaplanabilir.

$$a_2 = 0.249 * \log E_{BS} - 0.977 \dots\dots\dots(4.14)$$

Agrega temeller için E_{BS} tabaka içindeki gerilme değerlerinin bir fonksiyonudur ve aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak bulunur.

$$E_{BS} = k_1 * \theta^{k_2} \dots\dots\dots(4.15)$$

θ = Gerilme durumu veya asal gerilmelerin toplamı ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$)

k_1 ve k_2 = Malzemenin tipine bağlı regresyon sabitleri

Temel ve alttemel malzemeleri için tipik değerleri Tablo 4.16' da verilmiştir.

Tablo 4.9 : Temel ve Alt Temel Malzemeleri İçin Tipik k_1 ve k_2 Değerleri

Nem Durumu	k_1	k_2
Temel		
Kuru	6,000 - 10,000	0.5 - 0.7
Nemli	4,000 - 6,000	0.5 - 0.7
Islak	2,000 - 4,000	0.5 - 0.7
Alt temel		
Kum	6.000 - 8,000	0.4 - 0.6
Nemli	4,000 - 6,000	0.4 - 0.6
Islak	1,500 - 4.000	0.4 - 0.6

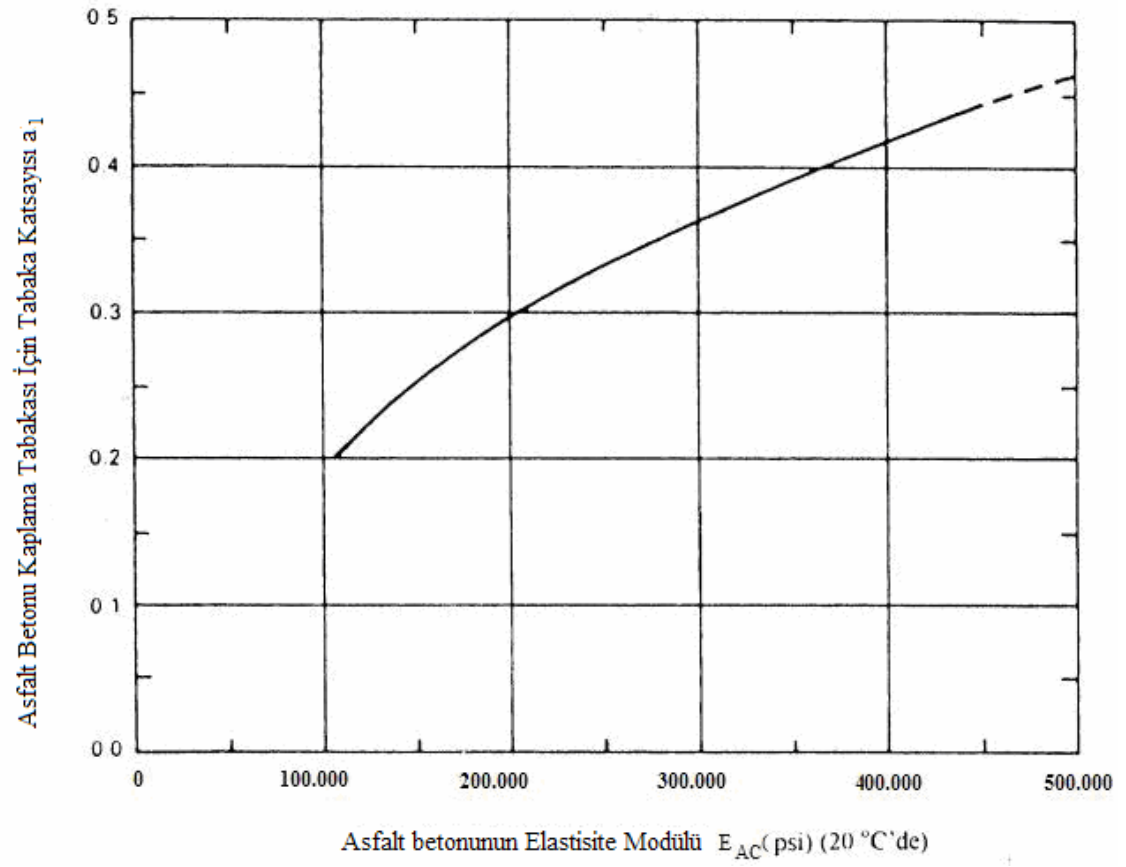
AASHO Yol Testi' nde temel tabakası için E_{BS} (psi) değerleri Tablo 4.10' daki gibidir. E_{BS} yalnızca nem durumunun değil gerilme durumunun da (θ) bir fonksiyonudur. Temel tabakası içindeki " θ " değerleri zemin modülü ve yüzey tabakası kalınlığı ile değişir. Uygulama için önerilen tipik değerler Tablo 4.11' deki gibidir. Tablo 4.11' den alınan " θ " değeri kullanılarak ve nem durumu da dikkate alınarak Tablo 4.10' daki eşitlikler yardımıyla temel tabakasının elastisite modülü (E_{BS}) bulunur.

Tablo 4.10 : Gerilme Durumu - Elastisite Modülü İlişkisi

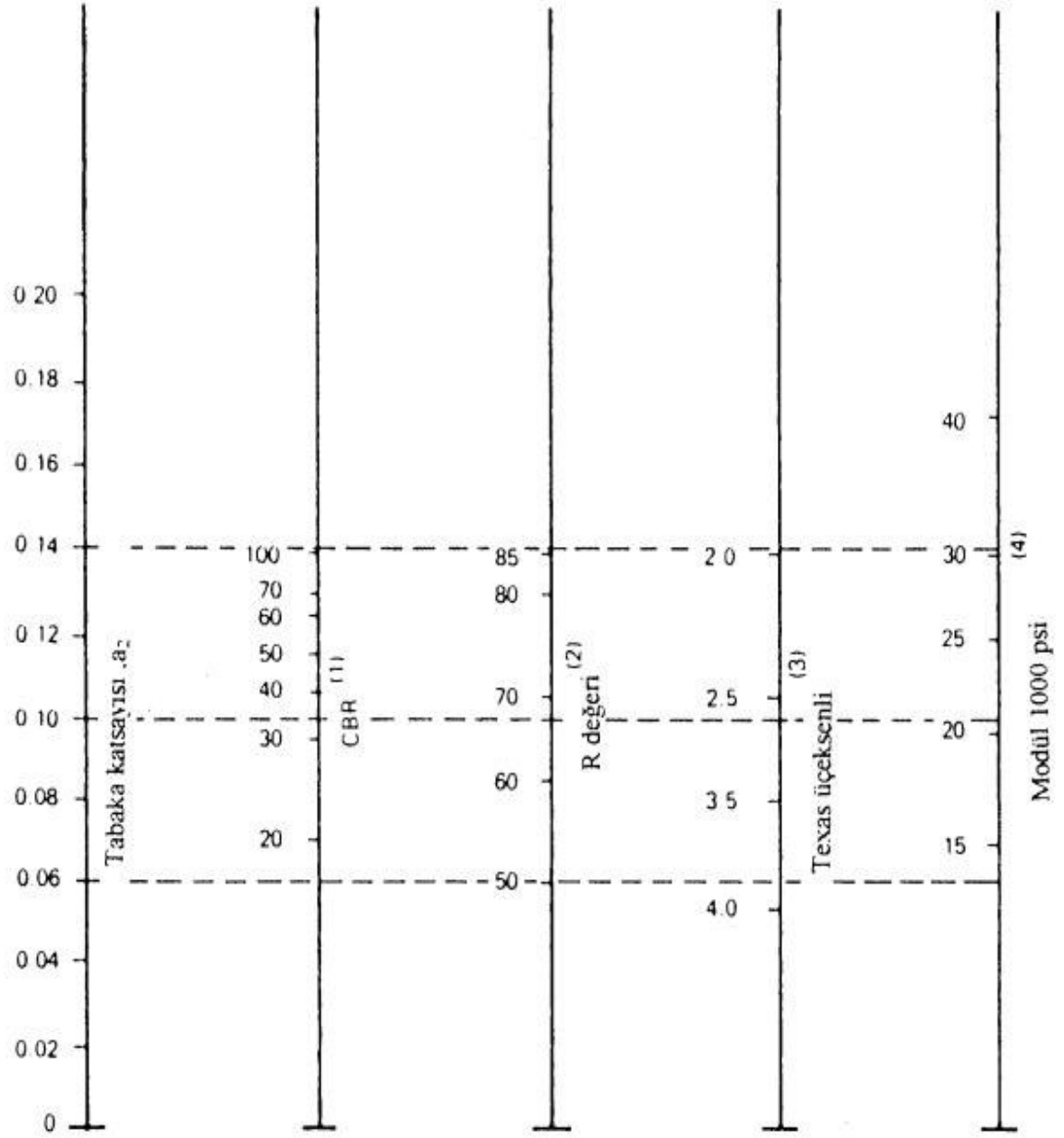
Nem Durumu	Elastisite modülü eşitliği (E_{BS})	Gerilme durumu (psi)			
		$\theta = 5$	$\theta = 10$	$\theta = 20$	$\theta = 30$
Kuru	$8.000 * \theta^{0.6}$	21.012	31.848	48.273	61.569
Nemli	$4.000 * \theta^{0.6}$	10.506	15.924	24.136	30.784
Islak	$3.200 * \theta^{0.6}$	8.404	12.739	19.309	24.627

Tablo 4.11 : Temel tabakası için taban zemini elastisite modülü (M_R) ile asfalt betonu kalınlığı değerlerine bağlı olarak kullanılması gereken " θ " değerleri

Asfalt Betonu Kalınlığı " D_1 " (in)	Taban Zemini Elastisite Modülü " M_R " (psi)		
	3.000	7.500	15.000
2' den az ($D_1 < 50,8$ mm)	20	25	30
2 - 4 ($50.8 < D_1 < 101,6$ mm)	10	15	20
4 - 6 ($101.6 < D_1 < 152,4$ mm)	5	10	15
6' dan fazla ($152,4$ mm $> D_1$)	5	5	5



Şekil 4.2 : Asfalt Betonunun Tabaka Katsayısının (a_1) Resilient Modüle Bağlı Olarak Bulunması



- i. Ölçek Illinoisde elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- ii. Ölçek California, New Mexico ve Wyomingden elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- iii. Ölçek Texas' tan elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- iv. Ölçek NCHRP projesinden türetilmiştir

Şekil 4.3 : Granüler Temelin Tabaka Katsayısının (a_2) Farklı Gerilme Değerlerine Bağlı Olarak Bulunması

Granüler Alt Temel Tabakası : Granüler alt temel tabakasının tabaka katsayısı (a_3) elastisite modülüne (E_{SB}) bağlı olarak Şekil 4.4' ten bulunabilir.

Ayrıca aşağıdaki formül yardımıyla da " a_3 " hesaplanabilir.

$$a_i = 0.227 * \log E_{SB} - 0.839$$

Agrega alt temel tabakaları için " E_{SB} ", temel tabakasındakine benzer şekilde, gerilme durumundan (θ) etkilenir. Asfalt betonu tabakası kalınlıklarına bağlı olarak alt temel tabakası için " θ " değerleri Tablo 4.12' de verilmiştir.

Tablo 4.12' den alınacak " θ " değerleri Tablo 4.13' deki uygun bağıntılarda kullanılarak alt temel tabakasının elastisite modülü (E_{SB}) hesaplanır.

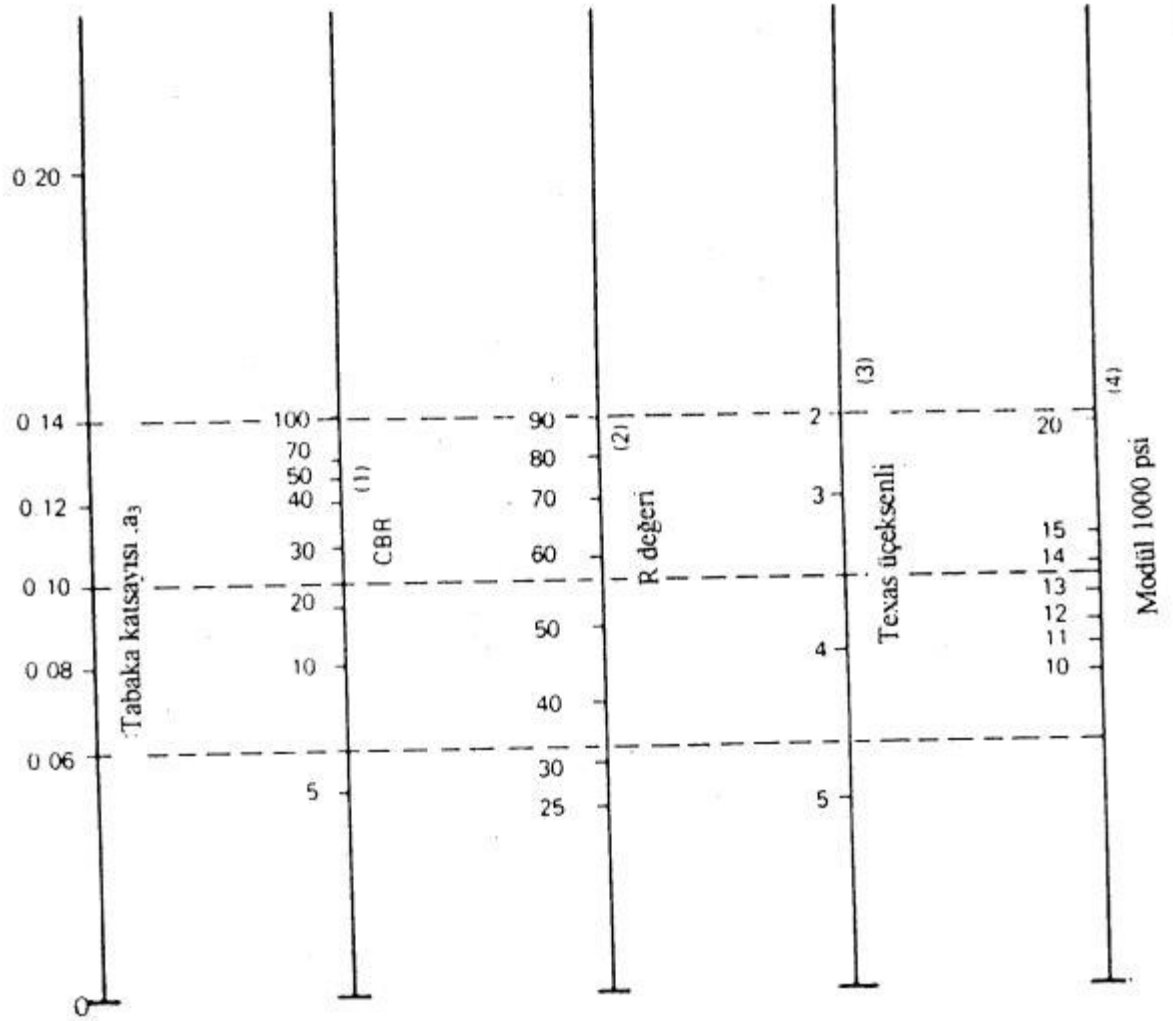
Alt temel tabakasının elastisite modülü aşağıdaki formül kullanılarak da bulunabilir.
 $E_{SB} = k_1 * \theta^{k_2}$ (4.16)

Tablo 4.12 : Alt Temel İçin " θ " Değerleri

Asfalt Betonlu Kaplama Kalınlığı (in)	Gerilme Durumu " θ " (psi)
2' den az ($D_1 < 50,8$ mm)	10,0
2 – 4 ($50,8 < D_1 < 101,6$ mm)	7,5
4' ten fazla ($101,6 < D_1$)	5,0

Tablo 4.13 : Gerilme Durumu " θ " ile Elastisite Modülü " E_{SB} " İlişkisi

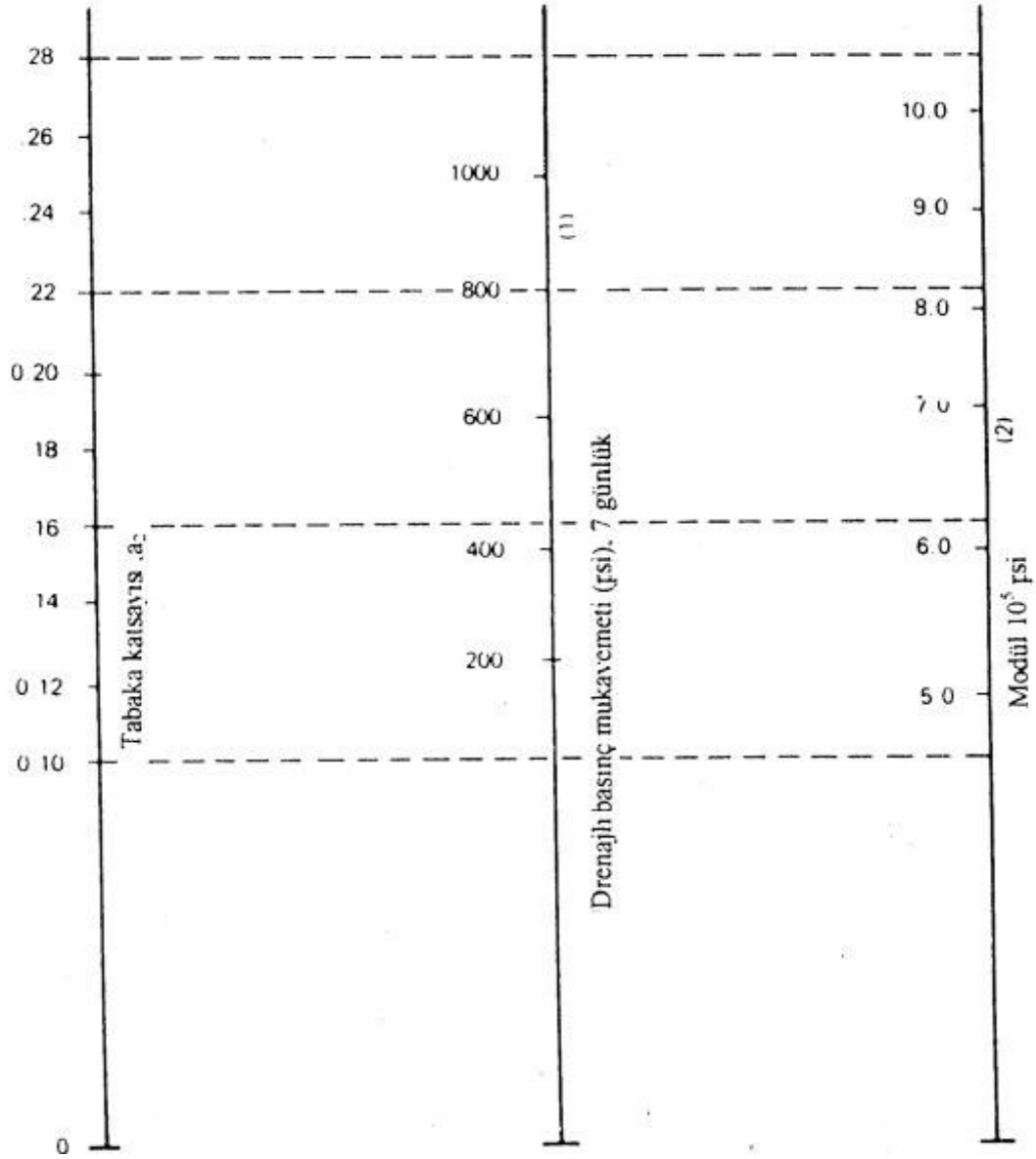
Nem Durumu	Geliştirilmiş Eşitlik (E_{SB})	Gerilme Durumu " θ " (psi)		
		$\theta = 5$	$\theta = 7.5$	$\theta = 10$
Nemli	$5.400 * \theta^{0,6}$	14.183	18.090	21.497
İslak	$4.600 * \theta^{0,6}$	12.052	15.410	18.312



- Ölçek İllinoisde elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- Ölçek California, New Mexico ve Wyomingden elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- Ölçek Texas' tan elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- Ölçek NCHRP projesinden türetilmiştir

Şekil 4.4 : Granüler Alt Temel Tabakasının Tabaka Katsayısının (a_3) Bulunması

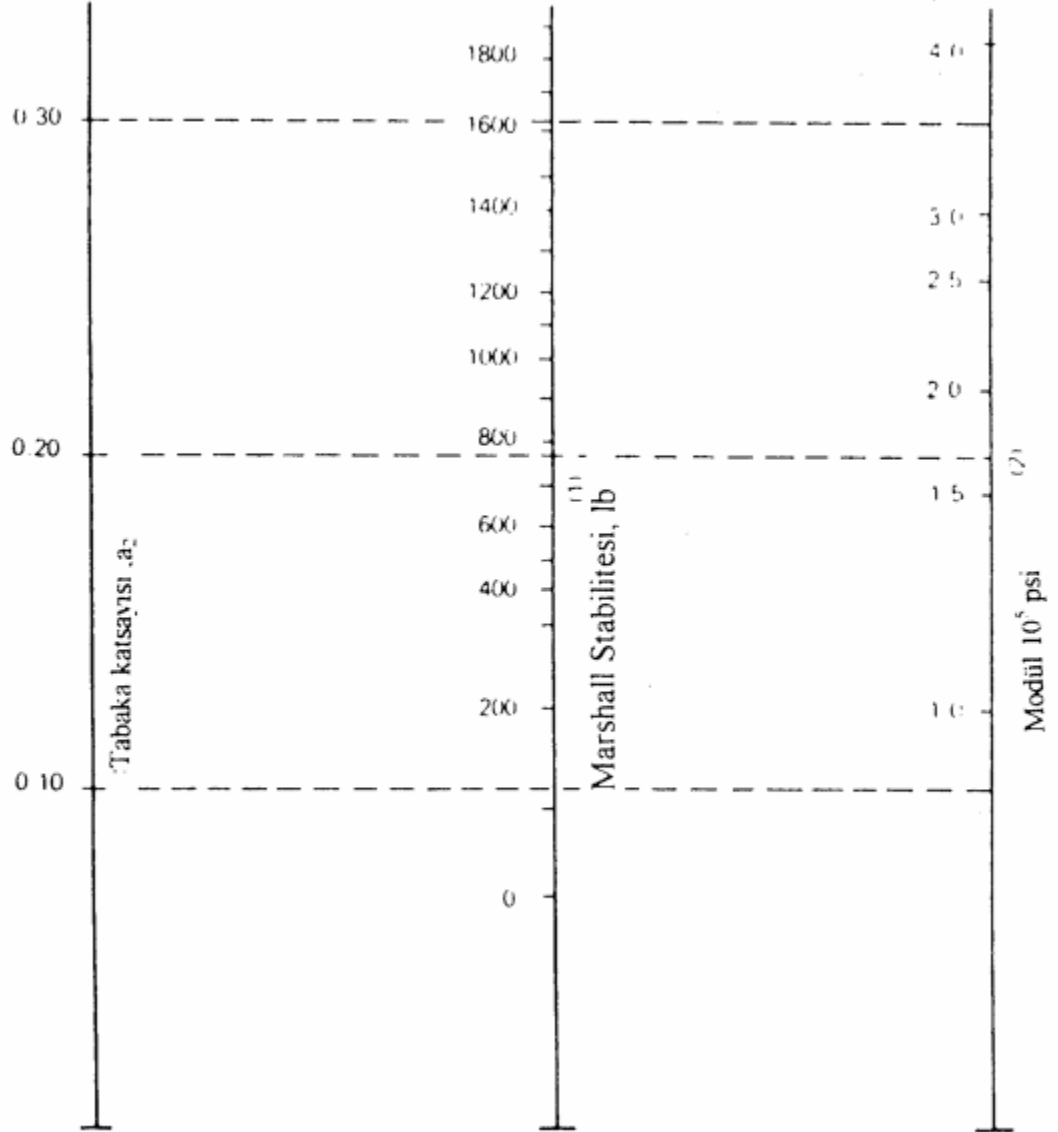
Çimentolu Temeller : Çimentolu temel tabakasının tabaka katsayısını (a_2) bulmak için elastik modül (E_{BS}) veya 7 Günlük Drenajlı Basınç Mukavemeti değeri kullanılır ve Şekil 4.5' ten yararlanılır.



- Ölçek Illinois, Louisiana ve Texas' da elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- Ölçek NCHRP projesinden türetilmiştir

Şekil 4.5 : Çimentolu Temel Tabakasının Tabaka Katsayısının (a_2) Bulunması

Bitümlü Temeller : Bitümlü temel tabakasının tabaka katsayısı (a_2) Marshall Stabilesi değeri veya elastik modül (E_{BS}) kullanılarak Şekil 4.6' dan bulunur.



- Ölçek Illinois' de elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
- Ölçek NCHRP projesinden türetilmiştir

Şekil 4.6 : Bitümlü Temel Tabakasının Tabaka Katsayısının (a_2) Bulunması

4.2.4. Üstyapının Yapısal Özellikleri – Drenaj

Esnek üstyapıların tasarımında drenaj şartları da açıkça belirtilmelidir. Tablo 4.14' de drenaj kalitesi düzeyiyle ilgili AASHTO 93' te yer alan bilgiler görülmektedir.

Tablo 4.14 : Üstyapı Tasarımı İçin Drenaj Kalitesi Düzeyleri

Drenaj Kalitesi	Suyun Uzaklaştırılma Süresi
Çok iyi	2 saat
İyi	1 gün
Orta	1 hafta
Kötü	1 ay
Çok kötü	Su uzaklaşmıyor

Drenajın yüzey tabakası altındaki stabilize edilmemiş tabakalar üzerindeki etkisi her bir tabaka katsayısının (a_1) bir düzeltme faktörü (m_1) ile çarpılmasıyla hesaba katılır. AASHTO 93' te verilen "m" değerleri Tablo 4.15' den alınabilir.

Tablo 4.15 : Esnek Üstyapılarda Tasfiye Edilmemiş Temel ve Alt Temel Malzemeleri İçin Önerilen "m" Değerleri

Drenaj Kalitesi	Üstyapının Doygunluk Seviyesine Yakın Rutubete Maruz Kaldığı Sürenin Yıl İçindeki Yüzdesi			
	% 1' den az	% 1 - 5	% 5 - 25	% 25' ten fazla
Çok iyi	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
İyi	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Orta	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Kötü	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Çok kötü	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Üstyapı sayısını veren eşitliğin drenaj için düzeltilmiş hali aşağıdaki gibidir, asfalt tabakası geçirimsiz kabul edilmiştir.

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 + ... + a_i * D_i * m_i.....(3.17)$$

4.3. GEREKLİ ÜSTYAPI KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Performans periyodu süresince taşınacak toplam trafik " $W_{8.2}$ ", tasarım güvenilirliği " R ", toplam standart sapma " S_o ", efektif taban zemini elastisite modülü " M_R " ve toplam servis yeteneği kaybı " ΔPSI " bulunduktan sonra Sekil 4.7' den üstyapı sayısı bulunur.

Üstyapı formülünde "SN" değen, tabaka katsayıları " a_i " ve drenaj katsayıları " m_i " yerine konarak tabaka kalınlıkları " D_i " hesaplanır. Bu denklemin tek bir çözümü yoktur, tabaka kalınlıkları için bu eşitliği sağlayan pek çok kombinasyon vardır. Ancak bulunan kalınlıklar Tablo 4.16' te verilen değerlerden küçük olamaz.

Tablo 4.16 : Uygulamada Kullanılabilecek Min. Asphalt Kaplama ve Temel Kalınlıkları

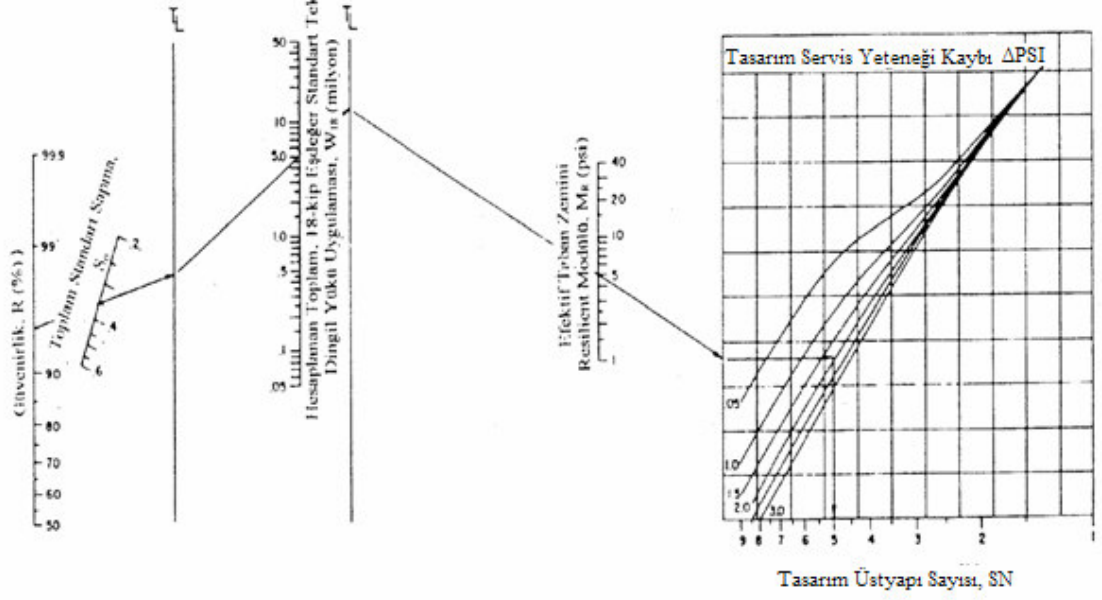
Trafik ESDY	Minimum Tabaka Kalınlığı (in)	
	Asfalt Kaplama	Temel
50.000' den az	1 (25 mm)	4 (102 mm)
50.001 - 150.000	2 (51 mm)	4 (102 mm)
150.001 - 500.000	2,5 (64 mm)	4 (102 mm)
500.001 - 2.000.000	3 (76 mm)	6 (152 mm)
2.000.001 - 7.000.000	3,5 (89 mm)	6 (152 mm)
7.000.000' dan çok	4 (102 mm)	6 (152 mm)

Üstyapı Şekil 4.7. için verilen şartlara göre projelendirilir. İlk önce taban zemini için daha sonra aynı şekilde temel ve alt temel tabakaları için SN değerleri hesaplanır.

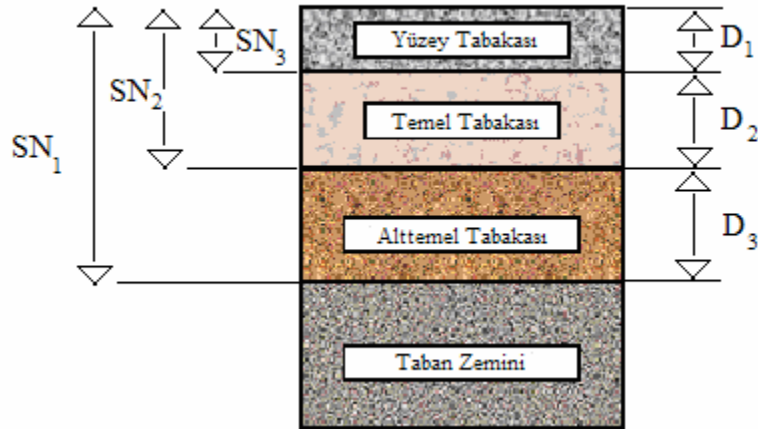
$$\log (W_{8,2}) = Z_R * S_0 + 9,36 * \log (SN + 1) - 0,20 +$$

$$(\log (\Delta PSI \setminus (4,2 - 1,5))) \setminus (0,40 + (1094 \setminus (SN + 1)^{5,19}))$$

$$+ 2,32 * \log (M_R) - 8,07 \dots \dots \dots (3.3)$$



Şekil 4.7 : Esnek Üstyapılar İçin Tasarım Çizelgesi



Şekil 4.8 : Tabaka Analiziyle Tabaka Kalınlıklarının Belirlenmesi

$$D_1^* \geq SN_1 \setminus a_1 \dots \dots \dots (4.18)$$

$$SN_1^* = a_1 \quad D_1 \geq SN_1 \dots \dots \dots (4.19)$$

$$D_2^* \geq (SN_2 - SN_1^*) \setminus a_2 \quad m_2 \dots \dots \dots (4.20)$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2 \dots \dots \dots (4.21)$$

$$D_3^* \geq (SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)) \setminus a_3 \quad m_3 \dots \dots \dots (4.22)$$

a,D,M ve SN gerekli minimum değerlerdir.

D* ve SN, gerekli minimum değere eşit olması gereken gerçek değeri ifade eder.

5. AASHTO 2002 İLE AASHTO 1993 YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Öncelikle iki yöntemin örneklerini çözerken, başlıca iki değişken üzerinden bir karşılaştırma yoluna gidilmiştir. Bu parametreler, YOGAT (Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafiği) ve tabaka kalınlıklarıdır. Sırasıyla YOGAT değeri 500, 1000, 1500, 2000 ve 3000 değerini almış, bu değere karşılık bulunan tabaka kalınlıkları üzerinden bir karşılaştırma yöntemi izlenmiştir. Örnek olarak YOGAT = 3000 değeri için her iki yöntemde yapılan analizleri sırasıyla gösterilmiştir.

5.1. AASHTO 93 YÖNTEMİ

AASHTO 93 Yöntemi Denklemi ;

$$\log (W_{8,2}) = Z_R * S_0 + 9,36 * \log (SN + 1) - 0,20 + \\ (\log (\Delta PSI \setminus (4,2 - 1,5)) \setminus (0,40 + (1094 \setminus (SN + 1) ^{5,19})) \\ + 2,32 * \log (M_R) - 8,07.....(3.3)$$

Bu eşitlik, bilgisayar yardımıyla hesap edilmiştir.

Veriler :

T_{max} =15 yıl

PSI_o = 4,2, PSI_t = 2,5

R_{gerçek} = 0,95, S_o = 0,35, Z_R = -1,645

YOGAT = 3000, TEF = 2,04, D_y = % 50, D_ş = % 90, R = % 4

m₂ = 1, m₃ = 1, m₄ = 1 (Drenaj Faktörleri)

Asfalt Betonu için E_{AC} = 400.000 psi

Bitümlü Temel için E_{BS} = 200.000 psi

Granüler Temel için E_{BS} = 42.000 psi

Granüler Alttemel için E_{SB} = 21.500 psi

Taban için E_{BS} = 8.000 psi

Tabaka Katsayıları mevcut formullerinden aşağıdaki gibi bulunmuştur :

Tablo 5.1 : Tabaka Katsayıları

Tabaka Katsayıları			
Asfalt Betonlu	Bitümlü Temel	Granüler Temel	Granüler Altemel
400000	200000	42000	21500
a_1	a_2	a_3	a_4
0,42	0,34	0,17	0,14

	A	B	C	D	E	F	G
1	AASHTO ESNEK ÜSTYAPI KALINLIK BELİRLEME						
2							
3	YOGAT		3000		Tmax	15	SN
4	r		0,04		TEF	2,18	
5							
6							
7	Girdiler				SN		
8	W18	2,15E+07			5,41		
9	ZR	-1,645	R	95			
10	So	0,35					
11	MR	8000					
12	PSIo	4,2					Hesaplanan
13	PSIt	2,5	delta PSI				1,7
14							ara hesap
15	log 10 W 18					7,33E+00	-0,42631
16	W18 cal					2,15E+07	
17							
18	BULUNAN SN		HESAPLANAN D		SEÇİLEN D		
19	SN1	1,61	D1	3,9	4		
20	SN2	2,98	D2	3,8	4		
21	SN3	3,84	D3	4,6	6		
22	SN4	5,41	D4	9,1	10		
23	Drenaj	m2	1				
24	Düzeltilme	m3	1				
25	Faktörleri	m4	1				

Şekil 5.1 : AASHTO 93 Yöntemi, Tabaka Kalınlıklarını Belirlemede Bilgisayar Kullanımı

Üstteki W_{18} değeri ile alttaki W_{18} değerini iterasyonla eşitleyen bir SN katsayısı bulunur. Herbir tabaka için gerekli SN değerleri, tabakaların M_R ' leri alınarak, yine iterasyon yoluyla hesaplanır ve alt tarafa yazılır. Bundan sonra herbir tabakanın kalınlığı bulunur. Bulunan kalınlıklar tabakaların en düşük değerlerine göre uygun hale getirilip seçilir.

5.2. AASHTO 2002 YÖNTEMİ

Veriler :

Tasarım Ömrü :

Geleneksel asfalt betonu (AC) üstyapısının 15 senelik bir tasarım ömrü olduğu kabul edilmiştir. Temel ve alttemel inşaatının Ağustos 2003 tarihinde yapıldığını söylersek, yüzey kaplaması Eylül 2003 tarihi içinde gerçekleşmiş ve üstyapı Ekim 2003 tarihinde trafiğe açılmış olabilir.

İnşaat Gereksinimleri :

İyi kalitede inşaat elde etmek için, üstyapı IRI değeri 50 ve 75 in/mile (205 ve 310 cm/km) arasında bir değer almalıdır. (63 in/mile (260 cm/km) tasarım amacı için uygundur).

Analiz Parametreleri :

15 yıllık tasarım ömrü sonunda üstyapıdan beklenen; 200 in/mile'lık (820 cm/km) IRI değerini, AB altı yada boyuna çatlakları 2000 ft/mile (980 m/km) değerini, aşağıdan-yukarıya yorulma çatlağı, % 25 değerini, AC termal çatlağı her 1600 m de 300 m değerini geçemez. AC tabakası içindeki kalıcı deformasyon 0.60 inç (1,5 cm) değerini geçemez ve toplam üstyapı bütününde 1.00 inç (2,5 cm) değerini geçemez. Ek olarak, kimyasal stabilize tabaka kullanılmışsa, tabakadaki yorulma çatlağı % 25 değerini geçemez. % 95'lik bir güvenilirlik seviyesi için bu kriterle karşılanmalıdır.

Analysis Parameters

Project Name: AC Conventional Example3000-

Initial IRI (in/mi) 63

Performance Criteria

☒ Rigid Pavement ☒ Flexible Pavement

	Limit	Reliability
☒ Terminal IRI (in/mile)	200	95
☒ AC Surface Down Cracking Long. Cracking (ft/mi)	2000	95
☒ AC Bottom Up Cracking Alligator Cracking (%)	25	95
☒ AC Thermal Fracture (ft/mi)	1000	95
☒ Chemically Stabilized Layer Fatigue Fracture(%)	25	95
☒ Permanent Deformation - Total Pavement (in)	1.00	95
☒ Permanent Deformation - AC Only (in)	0.60	95

OK Cancel

Şekil 5.2 : AASHTO 2002 Analiz Parametreleri

Yer :

Üstyapı, Indiana Eyaletinde, Lafayette, IN. dolaylarına yerleştirilmiştir. Burada yeraltı suyu düzeyinin derinliği 15 feet dir. (4,6 m)

Trafik :

Bu anayoldaki çift yönlü yıl bazında ortalama günlük ağır taşıt trafiği (YOGAT) birinci servis yılı boyunca 3000 kamyon olarak tahmin edilmiştir. Tasarım yönünde iki şeritle birlikte tasarım şeridinde % 90' lık bir ağır taşıt yüzdesi vardır. Ağır taşıt trafiği iki yöne de eşit bir şekilde dağıtılmıştır. (Ör: Tasarım yönünde % 50 ağır taşıt yüzdesi mevcuttur). İşletme hızı 60 mph dır. Başlangıç yılından sonra üstyapının tasarım

ömrünün sonuna kadar her yıl ortalama % 4.0 trafik artışı olacağı varsayılmıştır. Üstyapı, standart tasarım şerit genişliği olarak 12 feet (3,66 m) bir şerit genişliğine sahiptir. Aks kurulumu aşağıda gösterildiği gibidir :

Ortalama aks genişliği (kenardan kenara dış uzaklık, ft) : 8.5 (2,6 m)

Çift tekerlek aralığı (in): 12 (30,5 cm)

Tek ve çift tekerlek basıncı 120 psi. Diğer akslar için ortalama aks aralığı aşağıdaki gibidir :

Tablo 5.2 : Ort Aks Aralıkları

AKS TIPI	AKS ARALIĞI (inç)
Tandem	51.6 (130 cm)
Tridem	49.2 (125 cm)
Dörtlü	49.2 (125 cm)

Traffic [?] [X]

Design Life (years): 15 ...

Opening Date: October, 2003

Initial two-way AADTT: 3000 ...

Number of lanes in design direction: 2

Percent of trucks in design direction (%): 50.0

Percent of trucks in design lane (%): 90.0

Operational speed (mph): 60

Traffic Volume Adjustment: ☒ Edit

Axle load distribution factor: ☒ Edit

General Traffic Inputs: ☒ Edit

Traffic Growth: Compound, 4% ...

☒ OK ☒ Cancel

Şekil 5.3 : Trafik Girdileri

Traffic Volume Adjustment Factors

☒ Monthly Adjustment
 ☒ Vehicle Class Distribution
 ☒ Hourly Distribution
 ☒ Traffic Growth Factors

AADTT distribution by vehicle class

Class 4	5.3	
Class 5	20.5	
Class 6	40.0	
Class 7	5.3	
Class 8	7.6	
Class 9	14.0	
Class 10	1.2	
Class 11	5.2	
Class 12	0.6	
Class 13	0.3	
Total	100.0	

Note: AADTT distribution must total 100%.

Load Default Distribution

☐ Level 1: Site Specific Distribution
☐ Level 2: Regional Distribution
☒ Level 3: Default Distribution

Load Default Distribution

OK Cancel

Şekil 5.4 : Trafik Hacim Ayarlama Faktörleri – Araç Sınıfı Dağılımı (%)

Traffic Volume Adjustment Factors

☒ Monthly Adjustment
 ☒ Vehicle Class Distribution
 ☒ Hourly Distribution
 ☒ Traffic Growth Factors

Hourly truck traffic distribution by period beginning:

Midnight	2.3	Noon	5.9
1:00 am	2.3	1:00 pm	5.9
2:00 am	2.3	2:00 pm	5.9
3:00 am	2.3	3:00 pm	5.9
4:00 am	2.3	4:00 pm	4.6
5:00 am	2.3	5:00 pm	4.6
6:00 am	5.0	6:00 pm	4.6
7:00 am	5.0	7:00 pm	4.6
8:00 am	5.0	8:00 pm	3.1
9:00 am	5.0	9:00 pm	3.1
10:00 am	5.9	10:00 pm	3.1
11:00 am	5.9	11:00 pm	3.1

Note: The hourly distribution must total 100%

Total: 100

OK Cancel

Şekil 5.5 : Trafik Hacim Ayarlama Faktörleri –Saatlik Dağılım (%)

☒ Number Axles/Truck
 ☒ Axle Configuration
 ☒ Wheelbase

Wheelbase distribution information for JPCP top-down cracking. The wheelbase refers to the spacing between the steering and the first device axle of the truck-tractors or heavy single units.

	Short	Medium	Long
Average Axle Spacing (ft)	12	15	18
Percent of trucks (%)	33.0	33.0	34.0

☒ OK
 ☒ Cancel

☒ Number Axles/Truck
 ☒ Axle Configuration
 ☒ Wheelbase

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions(ft): 12

Dual tire spacing (in): 12

Tire Pressure (psi)

Single Tire : 120

Dual Tire : 120

Axle Spacing (in)

Tandem axle: 51.6

Tridem axle: 49.2

Quad axle: 49.2

☒ OK
 ☒ Cancel

☒ Number Axles/Truck
 ☒ Axle Configuration
 ☒ Wheelbase

	Single	Tandem	Tridem	Quad
Class 4	1.62	0.39	0	0
Class 5	2	0	0	0
Class 6	1.02	0.99	0	0
Class 7	1	0.26	0.83	0
Class 8	2.38	0.67	0	0
Class 9	1.13	1.93	0	0
Class 10	1.19	1.09	0.89	0
Class 11	4.29	0.26	0.06	0
Class 12	3.52	1.14	0.06	0
Class 13	2.15	2.13	0.35	0

☒ OK
 ☒ Cancel

General Traffic Inputs

Lateral Traffic Wander

Mean wheel location (inches from the lane marking): 18

Traffic wander standard deviation (in): 10

Design lane width (ft) (Note: This is not slab width): 12

Şekil 5.6 : Genel Trafik Girdileri

İklim :

Programa iklim girdileri yapmak için eldeki verilerin kapsamına göre üstyapı tipine bakmaksızın birçok metodlar vardır. Bu Tasarım Örneği, her ne kadar kesin proje bölgesini tam belirtmese de, projenin genel sahasının detaylarını sağlar, Ör: Lafayette, Indiana. Kullanıcı, önceden oluşturulmuş iklim veri dosyasını çağırabilir yada belirlenmiş bir bölge için yeni bir tane oluşturabilir. Su tablası derinliği olarak 15 feet (4,6 m) alınmıştır.

Şekil 5.7 : İklim Girdileri

Drenaj ve Yüzey Özellikleri

Karayollarının geometrik tasarımı % 2' lik bir enine eğim talep eder. Drenaj yolu şerit-banket derzine bitişik kenar drenin merkez çizgisinden 12 feet' lik (3,7 m) bir uzunluğa sahip olacaktır, ve sızıntı da seçilen banket tipine bağlı olacaktır. Yüzey kısa dalga soğurganlığının 0.85 olduğunu varsayın.

Asfalt Malzeme Özellikleri

Bu projede kullanılacak olan Asfalt beton karışımının, 2002 Tasarım Rehberi için seviye 3 girdileriyle uyumlu malzeme özellikleri bilgileri vardır.

Karışımında kullanılacak agrega için Elek analizi sonuçları gösteriyor ki ¾", 3/8", ve #4 büyüklüğündeki eleklerde sırasıyla % 12, % 38, ve % 50' lik agrega geride kalıyor. % 4 ise #200'lük elekten geçiyor.

Bir PG gradlı 64-22 bağlayıcı, asfalt karışım tasarımı için kullanılacaktır.

Karışımın hacimsel tasarımı %8 bağlayıcı içerik, % 6 hava boşluğu içerir ve karışım 143 lb/ ft3 'lük birim ağırlığına sahiptir. 0.67 BTU/hr-ft-°F 'lık bir termal geçirgenlik

ve 0.23 BTU/lb-oF 'lık spesifik ısı varsayın. Ayrıca varsayın ki poisson's oranı 0.35'dir. Referans sıcaklık ise 70 °F (21 °C).

Taban Zemini

Bu bölgedeki taban her AASHTO sınıflandırma sistemi için A-7-6 olarak sınıflandırılır ve optimum koşullarda tahmin edilen 8.000 psi'lik bir Mr değerine sahiptir. Zeminin plastisite indeksi 40'tır. Bu taban zeminin elek analizinden #200 eleğinden, malzemenin % 90'ı ve #4 eleğinden % 99'u geçiyor. Bu malzemenin D60' ı 0.01 mm'dir.

Diğer Tabakalar

Bu projede uygun durumdaki temel ve alttemel malzemeleri A-1-a ve A-2-7 olarak sınıflandırılır ve temel ve alttemel esneklik modülleri (optimum nem içeriğinde) sırasıyla 42.000 psi ve 21.500 psi' dir.

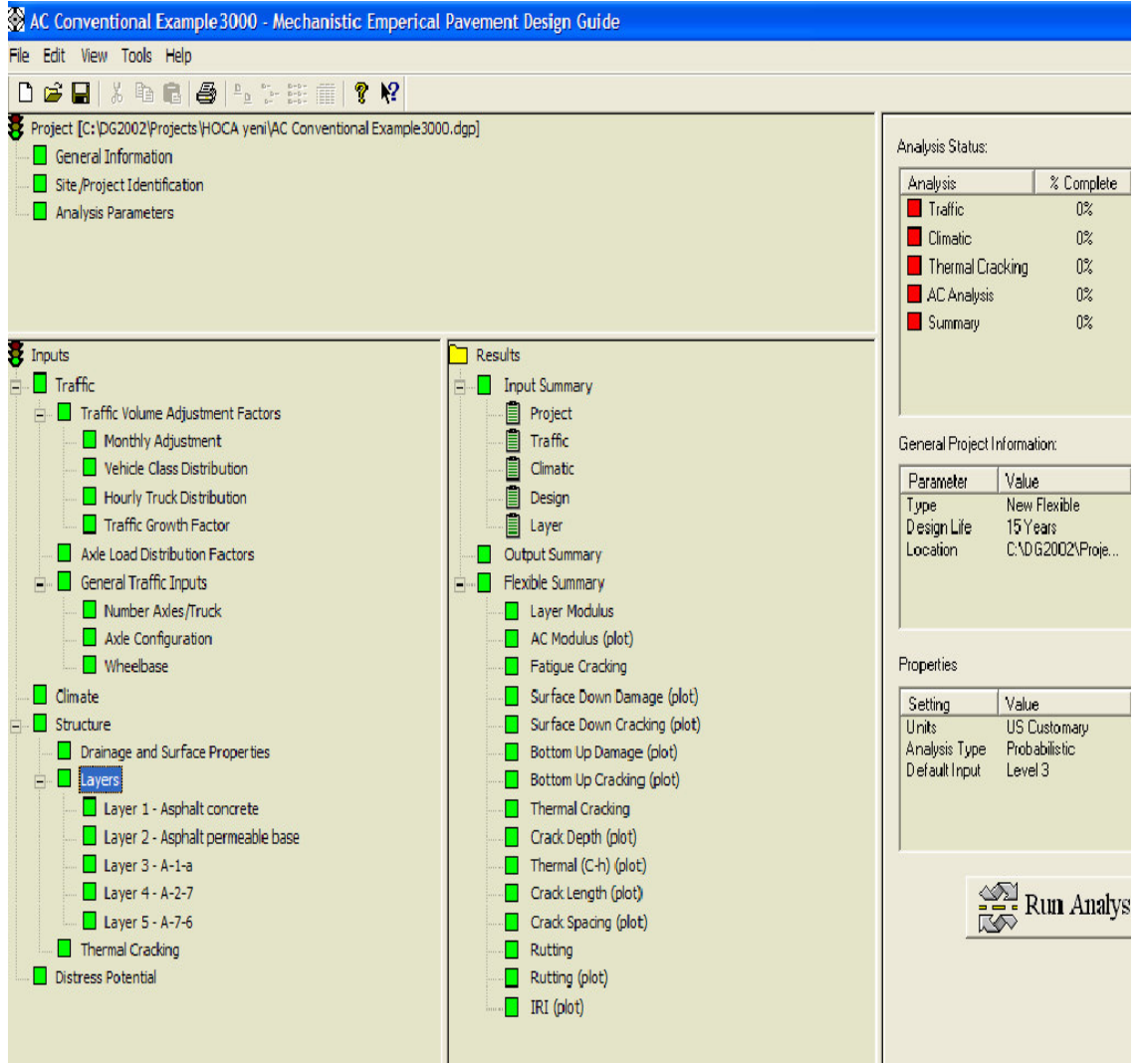
A-1-a ve A-2-7 malzemelerinin PI' sı 1.0 ve 15'dir, #200 eleğini %3 ve %20 geçerler, #4 eleğini %20 ve %90 geçerler ve D60 değerleri sırasıyla 8 ve 0.1'dir.

Layer	Type	Material	Thickness (in)	Interface
1	Asphalt	Asphalt concrete	5.0	1
2	Asphalt	Asphalt permeable base	6.0	1
3	Granular Base	A-1-a	6.0	1
4	Granular Base	A-2-7	10.0	1
5	Subgrade	A-7-6	Semi-infinite	n/a

Insert Delete Edit

Opening Date: October, 2003 Design Life (years): 15 ... OK Cancel

Şekil 5.8 : Tabaka Girdileri



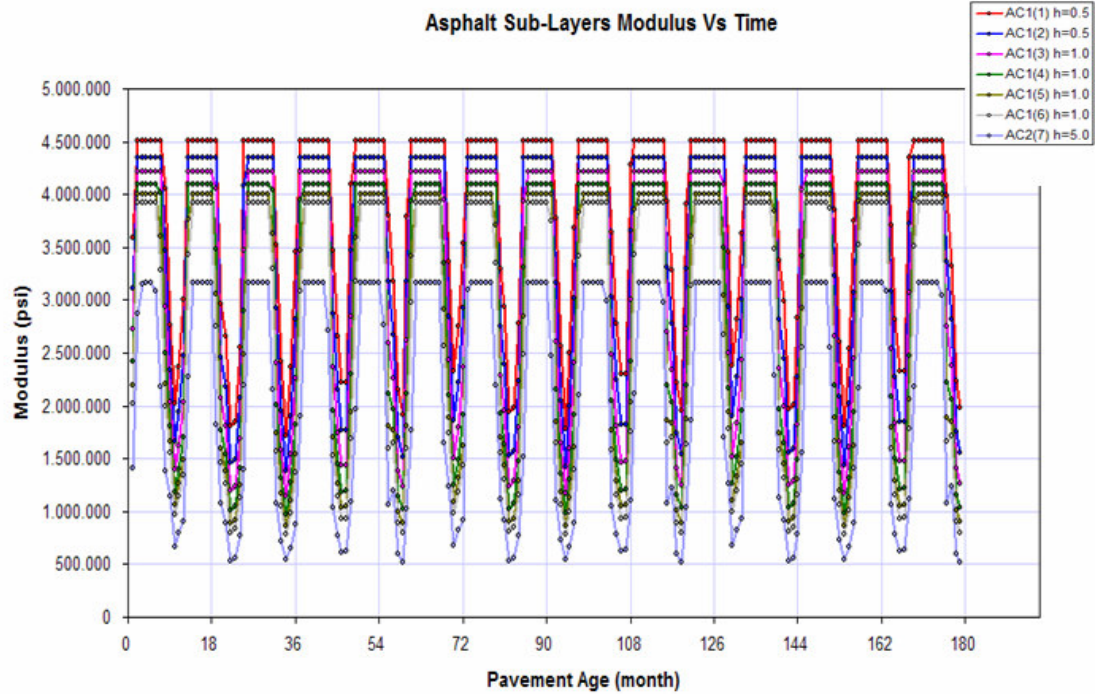
Şekil 5.9 : Tasarım Rehberi Genel Görünüş

Analizi başlat komutu ile başlayan analiz sonucunda, IRI, AB yüzey altı yada boyuna çatlakları, aşağıdan-yukarıya yorulma çatlakları, AB termal çatlak (enine), AB tabakası içindeki kalıcı deformasyon ve toplam deformasyon değerleri, verilen minimum değerlerini % 95 oranında geçmesi beklenir. Bu değerlerin min değerleri sağlamaması durumunda tabakaları kalınlaştırarak veya tabaka malzeme özellikleri değiştirilerek analiz tekrar edilir. Sonuç olarak Çıktılar şu şekilde gösterilir :

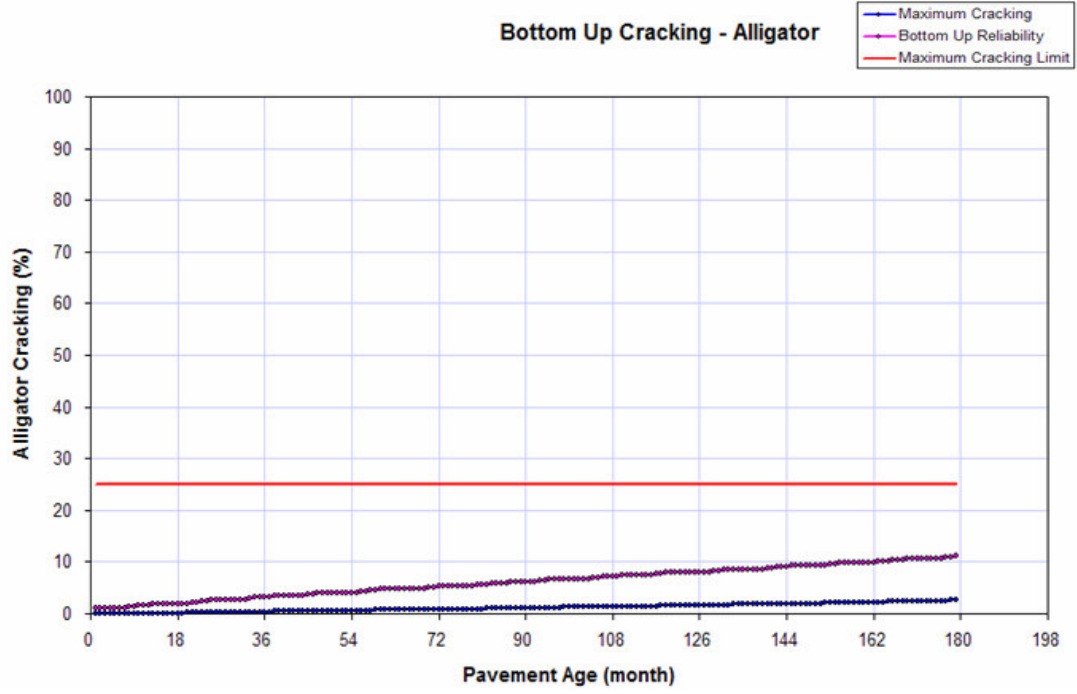
**Project: AC
Conventional
Example3000
Reliability Summary**

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	200	95	124	99,88	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/500):	2000	95	0,2	99,999	Pass
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	95	2,6	99,999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	95	1	99,999	Pass
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	95			N/A
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,6	95	0,16	99,999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	1	95	0,4	99,999	Pass

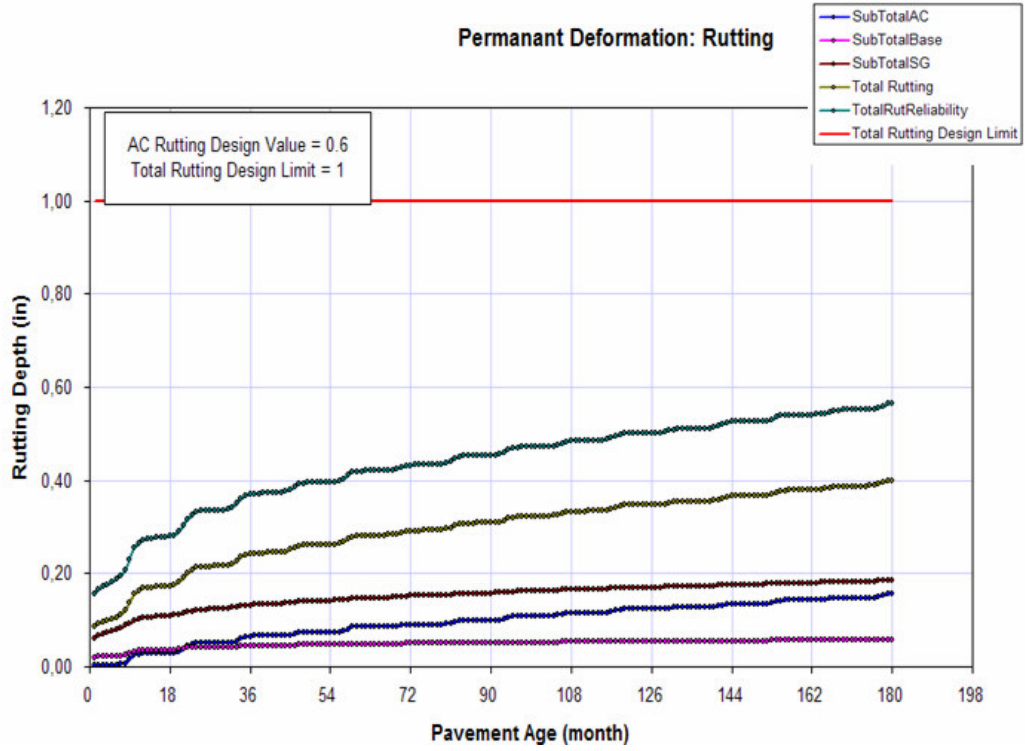
Şekil 5.10 : Analiz Parametreleri Güvenilirlik Çıktıları



Şekil 5.11 : Modül - Zaman İlişkisi

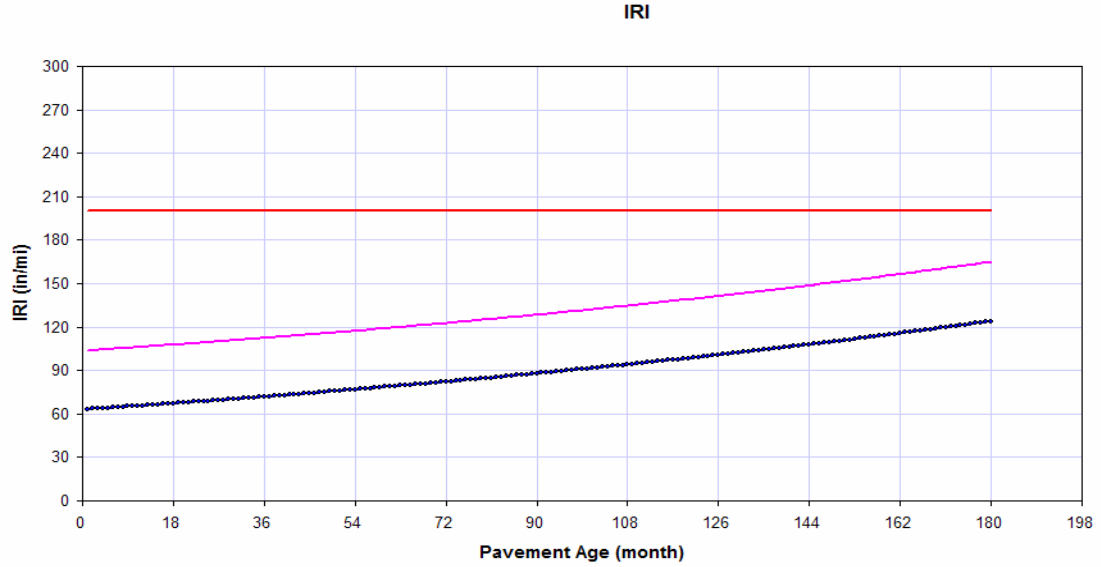


Şekil 5.12 : Aşağıdan Yukarı Yorulma yada Timsah Sırtı Çatlağı – Zaman İlişkisi



Şekil 5.13 : Kalıcı Deformasyon yada Tekerlek İzi– Zaman İlişkisi

Son olarak IRI' nin öngörüsünün, tasarım ömrü sonucunda, verilen limit değerinin altında kalmıştır. Şekil 5.14' de gösterilmiştir.

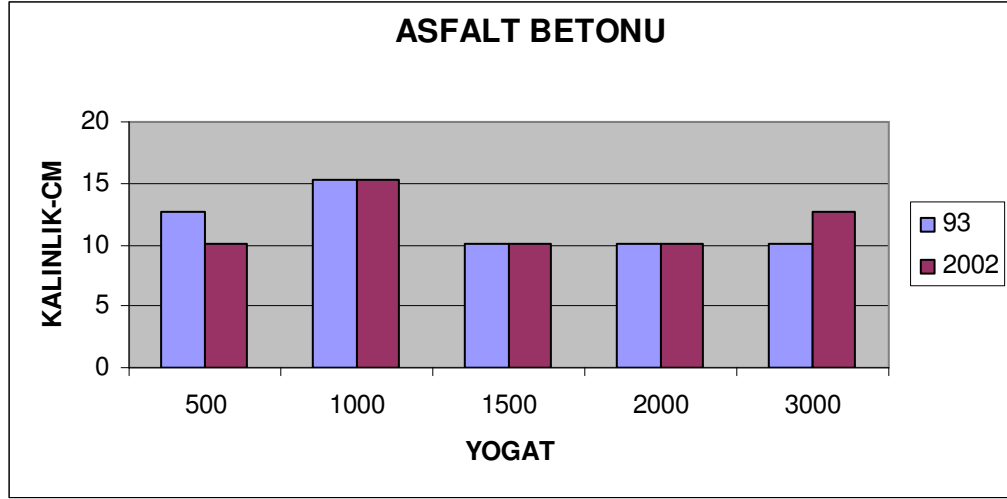


Şekil 5.14 : Pürüzsüzlük (IRI) Öngörüsü– Zaman İlişkisi

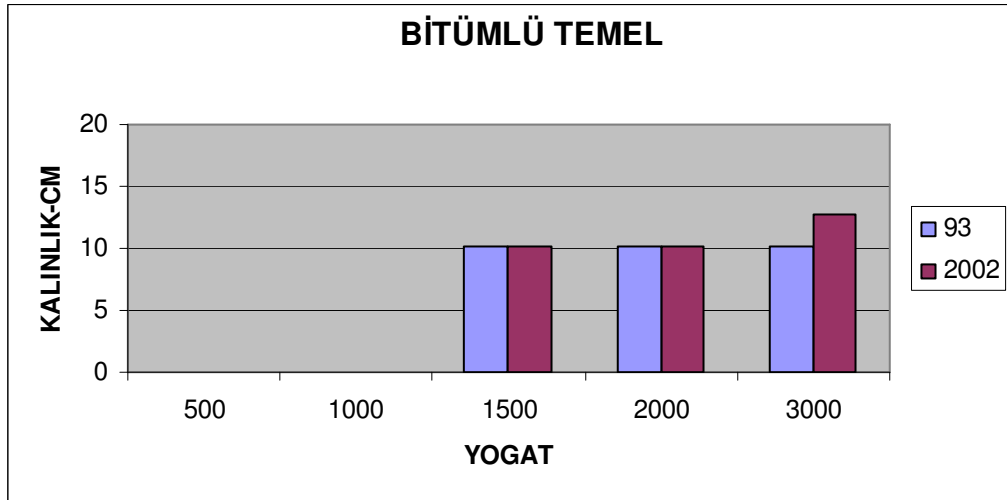
Bu işlemler, diğer YOGAT değerleri 500, 1000, 1500, 2000 için de yapılmış, sonuçta asfalt betonu, bitümlü temel, granüler temel ve granüler alttemel kalınlıklarının değişimi grafiklerle incelenmiştir.

Tablo 5.3 : YOGAT – Tabaka Kalınlıkları (cm)

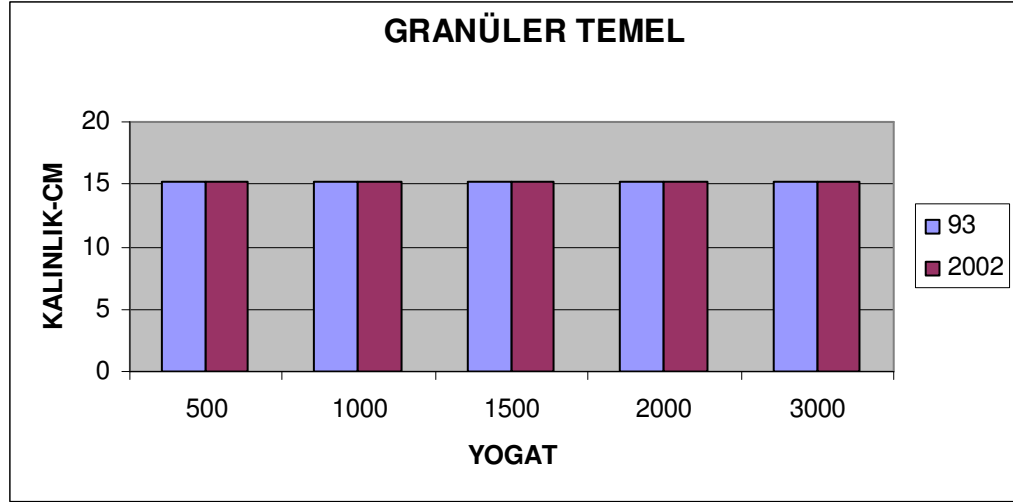
ESNEK ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİ								
YOGAT	ASFALT BETONU		BİTÜMLÜ TEMEL		GRANÜLER TEMEL		GRANÜLER ALTTEMEL	
	93	2002	93	2002	93	2002	93	2002
500	13	10	0	0	15	15	25	25
1000	15	15	0	0	15	15	25	25
1500	10	10	10	10	15	15	25	25
2000	10	10	10	10	15	15	25	25
3000	10	13	10	13	15	15	25	25



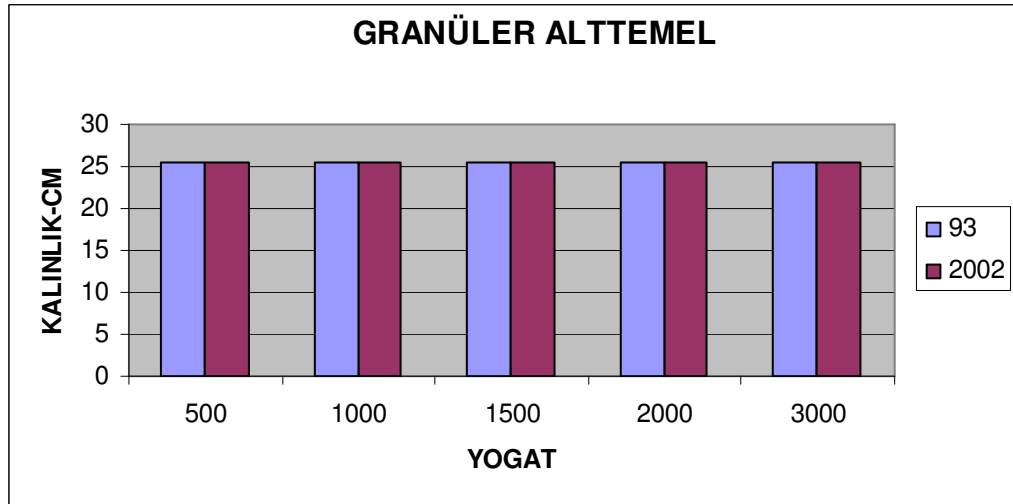
Şekil 5.15 : 1993 ve 2002 Yöntemlerinde YOGAT - Asfalt Betonu Kalınlıkları



Şekil 5.16 : 1993 ve 2002 Yöntemlerinde YOGAT - Bitümlü Temel Kalınlıkları



Şekil 5.17 : 1993 ve 2002 Yöntemlerinde YOGAT - Granüler Temel Kalınlıkları



Şekil 5.18 : 1993 ve 2002 Yöntemlerinde YOGAT - Granüler Alttemel Kalınlıkları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her iki yöntemin genel olarak karşılaştırılması sonucu elde edilenler aşağıda açıklanmıştır:

- AASHTO 2002 yöntemi, AASHTO 1993 yönteminden daha detaylı bir çalışma sonucunda elde edilmiştir. Tasarımda esas alınan ilişkilerin gözlemlendiği deney yolu, tek bir bölgede değil, değişik bölgelerde ve uzun süreli gözlemlerin analizi sonucunda elde edilmiştir. 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 (Expert Systems)
- Tasarımda değişik malzemelerin (modifiye malzemelerin) kullanılmasına olanak sağlar (özellikle SUPERPAVE' den sonra).
- Geliştirilen EİM 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 Yol Geometrik düzgünlüğü (IRI) de bir performans kriteri olarak tasarımda yer almıştır.

Tasarımın yerel bazda kalibrasyonu yapılabilmektedir.

YOGAT (Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafiği) ve tabaka kalınlıkları karşılaştırılmış, sırasıyla YOGAT değeri 500, 1000, 1500, 2000 ve 3000 değerleri alınmış, bu değerlere karşılık bulunan tabaka kalınlıkları üzerinden bir karşılaştırma yapılmıştır. Asfalt betonu, bitümlü temel, granüler temel ve granüler alttemel kalınlıklarının değişimi incelenmiştir. İnceleme sonucunda, YOGAT 500 değeri için, 1993 yöntemindeki asfalt betonu tabaka kalınlığı, 2002 yönteminden daha kalın çıkmış,

granüler temel ve alttemel tabakalarının kalınlığı ise için eşit çıkmıştır. YOGAT 1000, 1500 ve 2000 değerleri için ise, asfalt betonu, granüler temel ve alttemel tabaka kalınlıkları eşit çıkmıştır. Ancak YOGAT 1500 ve 2000 değerleri için bulunan asfalt tabaka kalınlıkları, limitleri aşmıştır. Bu yüzden ikinci bir bitümlü temel uygulamasına gidilmiş ve asfalt tabaka kalınlıklarının, limitlerin altına çekilmesi sağlanmıştır. YOGAT 3000 değeri için 2002 yöntemindeki asfalt betonu ve bitümlü temel tabaka kalınlıkları, 1993 yöntemindekinden daha kalın çıkmış, granüler temel ve alttemel tabaka kalınlıkları aynı çıkmıştır.

Bu karşılaştırma genel olarak değerlendirildiğinde, düşük trafik hacimlerinde 1993 yönteminin daha yüksek asfalt betonu tabaka kalınlığı verdiği, yüksek trafik hacimlerinde ise 2002 yönteminin daha yüksek asfalt betonu ve bitümlü temel tabaka kalınlığı verdiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan diğer parametreler sabit kabul edilerek sadece ağır taşıt trafiği hacmi değiştirilerek karşılaştırılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda trafik yükü parametresi dışındaki diğer parametreler değişken olarak kabul edilebilir ve bir karşılaştırma yapılırsa tasarım yöntemindeki parametrelerin etkileri de detaylı olarak incelenebilir.

Ayrıca, tasarım yönteminde belirtildiği gibi tasarım yönteminin ülkemizde uygulanabilmesi için, deney yollarının yapılması ve bu deney yollarının uzun süre gözlenerek üstyapı performansında etkili olan parametrelerin değişiminin saptanması ve AASHTO 2002 Yöntemi ile ilgili kalibrasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] -----, 2000. Our Nation's Highways, Publication No. FHWA-PL-01-1012, Office of Highway Policy Information, Federal Highway Administration.
- [2] -----, 1972. AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [3] -----, 1986. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [4] -----, 1993. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [5] **Peterson, D. E.**, 1987. "Pavement Management Practices," *NCHRP Synthesis 135*, Transportation Research Board.
- [6] **Darter, M. I., and T. P. Wilson**, 2001. "Assessment of Selected Economic Benefits Associated with the Long Term Pavement Performance Program," Draft Final Report, Federal Highway Administration.
- [7] **Yoder, E. J., and M. W. Witczak**, 1975. *Principles of Pavement Design*, Wiley, New York.
- [8] **Larson, G., and B. J. Dempsey**, 1997. *Enhanced Integrated Climatic Model* (Version 2.0), Report No. DTFA MN/DOT 72114, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- [9] **Darter, M. I., H. L. Von Quintus, Y. J. Jiang, E. B. Owusu-Antwi, and B. M. Killingsworth**, 1997. *Catalog of Recommended Design Features* (CD-ROM). NCHRP Project 1-32. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

- [10] -----, 1976. Guidelines for Skid Resistant Pavement Design, SRPD-1
AASHTO, Washington, D.C.
- [11] **Carey, W., and P. Irick**, 1962. *The Pavement Serviceability-Performance
Concept*, Highway Research Board Special Report 61E, AASHO Road
Test.
- [12] **Al-Omari, B., and M. I. Darter**, 1994. "Relationships Between International
Roughness Index and Present Serviceability Rating, *Transportation
Research Record 1435*, Transportation Research Board, Washington,
D.C.
- [13] **Desai, C. S.**, 2001. *User's Manual for the DSC-2D Code for the 2002 Design
Guide*, Arizona State University.
- [14] **Khazanovich, L., H. T. Yu, S. Rao, K. Galasova, E. Shats, and R. Jones**, 2000.
*ISLAB2000 - Finite Element Analysis Program for Rigid and Composite
Pavements*, User's Guide, ERES Division of ARA, Inc., Champaign, IL.
- [15] **AĞAR, E.**, 1996. Esnek Yol Üstyapılarının Projelendirilmesi Ders Notları
(Basılmamış)

ÖZGEÇMİŞ

Serdar AVCI, 1980 yılında Merzifon’ da doğmuştur. Lise eğitimini İstanbul’da Özel Selim Pars Fen Lisesi’ nde tamamlamıştır. Lisans diplomasını Yıldız Teknik Üniversitesi’ nden almıştır. Halen özel bir inşaat şirketinde inşaat mühendisi olarak görev yapmaktadır.