

**ESNEK YOL ÜSTYAPILARINDA TAKVİYE
TABAKASI TASARIMI**

**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mehmet Can DEMİR
501971205**

104030
104030

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Ocak 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Şubat 2001

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Emine AĞAR
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Emine AĞAR (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Güven ÖZTAŞ (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Mustafa ILICALI (Y.T.Ü.)

ŞUBAT 2001

ÖNSÖZ

Çalışmaların sırasında tüm bilgi, tecrübe ve hoşgörüsünü esirgemeyen hocam sayın Prof. Dr. Emine AĞAR 'a ve Ulaştırma Anabilim Dalı'nın değerli akademisyenlerine, DEMİR ailesine ve Hicran BOZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak, 2001

Mehmet Can DEMİR



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	X
ÖZET	XI
SUMMARY	XII

1. GİRİŞ	1
1.1. Esnek Yol Üstyapılarında Takviye Tabakası Tasarımı	1
1.1.1. Tanım	1
1.1.2. Esnek Üstyapıda Takviye Tabakası Tasarım Yöntemleri	2
1.1.2.1. Ampirik Tasarım Yöntemleri	2
1.1.2.2. Analitik Tasarım Yöntemleri	2
1.1.2.3. Analitik – Ampirik Tasarım Yöntemleri	3
1.2. Esnek Üstyapı	3
1.2.1. Tanım	3
1.2.2. Esnek Üstyapının Tasarım ve Kesiti	3
1.2.3. Esnek Üstyapının Özellikleri	5
2. AMPİRİK YÖNTEM İLE TAKVİYE TABAKASI TASARIMI [AASHO 72 YÖNTEMİ]	7
2.1. Giriş	7
2.2. AASHO 72 Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemi	7
2.2.1. Son Servis Kabiliyeti İndeksinin Seçimi	11
2.2.2. Bölge Faktörü Seçilmesi	11
2.2.3. Taban Zemini Taşıma Değerinin Saptanması	12
2.2.4. Proje Trafiğinin, Eşdeğer Dingil Yükünün Saptanması	15
2.2.5. Üstyapı Sayısının Bulunması	18
2.2.6. Üstyapı Sayısı Yardımıyla Tabaka Kalınlıklarının Saptanması	18
2.3. AASHO 72 Yöntemi ile Takviye Tabakası Tasarımı	20
2.3.1. Takviye Tabakası Tasarım Adımları	20
3. ANALİTİK YÖNTEM İLE TAKVİYE TABAKASI TASARIMI [SHELL YÖNTEMİ]	22
3.1. Giriş	22
3.2. Shell Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemi	23
3.2.1. Tasarım İlkeleri	23
3.2.2. Tasarım Verileri	25
3.2.2.1. Trafik Yükü	25

3.2.2.2. Sıcaklık	27
3.2.2.3. Taban Zemini	29
3.2.2.4. Bağlayıcısız Granüler Malzemeler	29
3.2.2.5. Bitümlü Malzemeler	31
3.2.3. Yapısal Tasarım Adımları	36
3.3. Shell Tasarım Yöntemi ile Takviye Tabakası Tasarımı	42
3.3.1. Takviye Tabakası Tasarımı	44
3.3.2. Takviye Tabakası tasarım Adımları	46
4. ANALİTİK – AMPİRİK YÖNTEM İLE TAKVİYE TABAKASI TASARIMI [AASHTO 93 YÖNTEMİ]	50
4.1. Giriş	50
4.2. AASHTO 93 Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemi	51
4.2.1. Tasarım Değişkenleri	51
4.2.1.1. Zaman Sınırlamaları	51
4.2.1.2. Trafik	52
4.2.1.3. Güvenilirlik	53
4.2.1.4. Çevresel Etkiler	54
4.2.2. Performans Kriteri	55
4.2.2.1. Servis Yeteneği	55
4.2.3. Yapı Tasarımı için Malzeme Özellikleri	56
4.2.3.1. Taban Zemini Elastisite Modülü	56
4.2.3.2. Tabaka Katsayıları	56
4.2.4. Üstyapı Yapısal Özellikleri	61
4.2.4.1. Drenaj	61
4.2.5. Yapısal Tasarım Adımları	62
4.2.5.1. Üstyapı Tabaka Kalınlıkları Seçimi	64
4.3. AASHTO 93 Yöntemi ile Takviye Tabakası Tasarımı	66
4.3.1. Takviye Tabakası Yapılabilirliği	66
4.3.2. Takviye Tabakası Tasarımı için Üstyapının Değerlendirilmesi	67
4.3.2.1. Yol Üstyapısı boyunca Takviye Tabakası Tasarımı	67
4.3.2.2. Üstyapının Fonksiyonel Değerlendirilmesi	68
4.3.2.3. Üstyapının Yapısal Değerlendirilmesi	68
4.3.2.4. Taban Zemini Elastisite Modülü Değerinin Saptanması	72
4.3.3. Takviye Tabakası Tasarım Adımları	73
5. AMPİRİK, ANALİTİK VE ANALİTİK – AMPİRİK YÖNTEMLER KULLANILARAK ESNEK ÜSTYAPIDA TAKVİYE TABAKASI TASARIMI	82
5.1. AASHO 72 Ampirik Tasarım Yöntemi	82
5.1.1. Veriler	82
5.1.2. Çözüm	82
5.2. Shell Analitik Tasarım Yöntemi	83
5.2.1. Veriler	83
5.2.2. Çözüm	83
5.3. AASHTO 93 Analitik – Ampirik Tasarım Yöntemi	88
5.3.1. Veriler	88
5.3.2. Çözüm	88

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

92

KAYNAKLAR

94

EK A

96

EK B

101

ÖZGEÇMİŞ

104



KISALTMALAR

AASHO	: American Association of State Highway Official
AASHO 72	: AASHO Guide For Design of Rijid and Flexible Pavemenet -1972
AASTHO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHTO 93	: AASHTO Guide For Design of Pavement Structure - 1993
SPDM	: Shell Pavement Design Manuel - Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic, 1978
CBR	: California Bearing Rate - Kaliforniya Taşıma Oranı
NDT	: Nondestructive Testing
FWD	: Falling Weight Deflecotometer



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Yol sınıfının P_t değerine bağlı seçimi.....	11
Tablo 2.2. Bölge faktörünün (R) seçilmesi.....	12
Tablo 2.3. Taban zemini proje emniyet yüzdesi seçimi.....	13
Tablo 2.4. Dingil eşdeğerlik faktörleri.....	16
Tablo 2.5. Taşıt eşdeğerlik faktörleri.....	17
Tablo 2.6. Şerit dağıtma faktörleri.....	18
Tablo 2.7. Tabaka katsayıları.....	19
Tablo 3.1. Trafik yükü eşdeğerlik faktörü.....	26
Tablo 3.2. Trafik yükü artış faktörü.....	26
Tablo 3.3. Dingil yükü dönüştürme tablosu - Tablo A.....	38
Tablo 3.4. Ağırlıklı yıllık ortalama sıcaklık tablosu -Tablo B.....	39
Tablo 3.5. Kalınlık tasarım tablosu - Tablo C.....	41
Tablo 3.6. Takviye tabakası tasarım tablosu - Tablo Q.....	47
Tablo 3.7. Temel takviye tabakası tasarım karar şeması.....	49
Tablo 4.1. AASHTO 93 yönteminde önerilen analiz periyotları.....	52
Tablo 4.2. Şerit dağıtma faktörü.....	53
Tablo 4.3. Güvenilirlik seviyesi oranları.....	53
Tablo 4.4. Gerilme durumu elastisite modülü ilişkisi.....	61
Tablo 4.5. Gerilme durumu elastisite modülü ilişkisi.....	61
Tablo 4.6. Üstyapının Drenaj Kaliteleri ve Tabaka Drj. Katsayıları	61
Tablo 4.7. Esnek üstyapı için SN_f değerinin saptanması adımları.....	77
Tablo 4.8. Esnek üstyapı için SN_{eff} değerinin saptanması adımları.....	80
Tablo 5.1. Takviye tabakası tasarım tablosu - Tablo Q.....	85
Tablo A.1. Kullanılacak tablo numarası için Tablo HN.....	97
Tablo A.2. Kullanılacak tablo numarası için Tablo HT.....	98
Tablo A.3. Kullanılacak tablo numarası için Tablo TN.....	99
Tablo A.4. Kullanılacak tablo numarası için Tablo EN.....	100

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Esnek üstyapı enkesiti.....	4
Şekil 1.2. Esnek üstyapıda yük dağılımı.....	5
Şekil 2.1. Esnek üstyapılar için projelendirme nomografi ($P_t = 2,5$).....	9
Şekil 2.2. Esnek üstyapılar için projelendirme nomografi ($P_t = 2,0$).....	10
Şekil 2.3. Proje CBR değerinin seçimi.....	13
Şekil 2.4. CBR değeri karşı S_1 değeri bulunması.....	14
Şekil 3.1. Esnek üstyapının basitleştirilmiş kesiti.....	24
Şekil 3.2. Ağırlıklı sıcaklık bulma abağı.....	27
Şekil 3.3. Bitümlü karışımın sıcaklık değeriyle asfalt kalınlığı ve ağırlıklı yıllık ortalama hava sıcaklığı arasındaki ilişki.....	28
Şekil 3.4. Taban zemininin veya bağlayıcısız temel malzeme- lerinin dinamik modülünün belirlenmesi.....	30
Şekil 3.5. Bitümlü karışımın rijitlik modülü, bitümlü bağlayıcı- nın rijitlik modülü ilişkisi.....	32
Şekil 3.6. Bitümlü karışımın rijitlik modülü, bitümlü karışımın sıcaklığı ilişkisi.....	33
Şekil 3.7. Asfalt yorulma karakteristik F_1 eğrisi için asfalt yorulma şekil değiştirmesi, karışım rij. ilişkisi.....	35
Şekil 3.8. Asfalt yorulma karakteristik F_2 eğrisi için asfalt yorulma şekil değiştirmesi, karışım rij. ilişkisi.....	35
Şekil 3.9. Asfalt yorulma karakteristik F_1 ve F_2 eğrisi için asfalt yorulma şekil değ., bitümlü kar. rij. ilişkisi	36
Şekil 3.10. Genel tasarım akış şeması.....	37
Şekil 3.11. Test yükü için üstyapı kesiti.....	43
Şekil 3.12. Düşen ağırlıklı deflektometre.....	44
Şekil 4.1. Taban zemini şişmesi ve don kabarmasından do- layı toplam servis yeteneği indeksi kaybı.....	54
Şekil 4.2. Asfalt betonunun tabaka katsayısının (a_1) resilient modülüne bağlı olarak bulunması.....	57
Şekil 4.3. Granüler temelin tabaka katsayısının (a_2) farklı gerilme değerlerine bağlı olarak bulunması.....	59
Şekil 4.4. Granüler alt temel tabakasının tabaka katsayısının (a_3) farklı gerilme değerlerine bağlı olarak bulunması.....	60

Şekil 4.5.	Esnek üstyapılar için tasarım çizelgesi.....	63
Şekil 4.6.	Kümülatif trafik yükü - süre grafiği.....	64
Şekil 4.7.	Esnek üstyapı tabaka analizi / kalınlık kesiti.....	65
Şekil 4.8.	Trafik - süre altında üstyapının yapısal kapasite kaybı.....	69
Şekil 4.9.	Şatr faktörü ile üstyapı kalan ömür ilişkisi.....	71
Şekil 4.10.	E_p / M_R Oranı Grafiği.....	76
Şekil 4.11	NDT metodu kullanılarak SN_{eff} değrinin sapt.....	79
Şekil 5.1.	EN 1 Grafiği.....	86
Şekil 5.2.	EN 9 Grafiği.....	86
Şekil 5.3.	HN 9 Grafiği.....	87
Şekil 5.4.	HN 41 Grafiği.....	87
Şekil B.1.	Granüler esnek üstyapı ve stabilize asfalt temel için toplam asfalt kalınlığı bağıntısı.....	102
Şekil B.2.	Çimentolu esnek üstyapı ve pozzolanik stabilize asfalt temel için toplam asfalt kalınlığı bağıntısı....	103



SEMBOL LİSTESİ

a_i	: Tabaka katsayısı
D_i	: Tabaka kalınlığı
SN	: Üstyapı sayısı
p_o, p_t	: İlk ve son servis yeteneği indeksi değeri
S_i	: Taban zemini taşıma değeri
$T_{8.2}, W_{18}$	: Proje trafik değeri
R	: Bölge faktörü
SN_{eff}	: Var olan üstyapının üstyapı sayısı
SN_f	: Gelecekte gerekli üstyapının üstyapı sayısı
SN_{ol}	: Gerekli takviye tabakası üstyapı sayısı
D_{ol}	: Gerekli takviye tabakası kalınlığı
a_{ol}	: Asfalt betonu tabaka katsayısı
E_i	: Tabaka elastisite modülü
h_i	: Tabaka kalınlığı
ϵ_T, ϵ_Z	: Asfalt çekme, zemin basınç deformasyonu
ν_i	: Tabaka poisson oranı
$w-MAAT$	: Ağırlıklı yıllık ortalama hava sıcaklığı
T_{MIX}	: Bitümlü karışımın sıcaklığı
S_{MIX}, S_{BIT}	: Bitümlü karışımın ve bağlayıcının rijitliği
S_1, S_2	: Bitümlü karışımın rijitlik kodu
F_1, F_2	: Bitümlü karışımın yorulma kodu
ϵ_{fat}	: Asfalt yorulma şekil değiştirmesi
N_{fat}	: Yorulma ömrü
Q_r	: Defleksiyon çanağının şekli
δ_o, δ_r	: Uygulanan ve oluşan defleksiyon yükü
N_R, N_{D1}, N_{A1}	: Üstyapının artakalan, orijinal tasarım ve taşıdığı trafik ömrü
h_{1eff}	: Efektif asfalt kalınlığı
h_o	: Takviye tabakası kalınlığı
N_{D2}, N_{A2}	: Üstyapının gelecek tasarım ve trafik değeri ömrü
F_R	: Tasarım güvenilirlik faktörü
$\Delta PSI_{SW, FH}$	: Taban zemini şişmesi ve don kabarmasından dolayı toplam servis yeteneği indeksi kaybı
ΔPSI	: Servis yeteneği indeksi kaybı
M_R	: Taban zemini elastisite modülü
σ_i	: Asal gerilmeler
ϵ	: Birim şekil değiştirme
S_o	: Toplam standart sapma

ESNEK YOL ÜSTYAPILARINDA TAKVİYE TABAKASI TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada, esnek yol üstyapılarında takviye tabakası tasarımı incelenmiştir. Yol üstyapısının hizmete açılmasıyla birlikte zaman içinde trafik yüklerinin ve çevre koşullarının etkisiyle yol üstyapısında bozulmalar meydana gelmekte buna bağlı olarak takviye tabakası tasarımına gereksim duyulmaktadır.

Takviye tabakası tasarımı ampirik, analitik ve analitik – ampirik tasarım yöntemleri ile incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ampirik tasarım yöntemi için AASHO 72, analitik tasarım yöntemi için Shell ve analitik – ampirik tasarım yöntemi için AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım yöntemleri seçilmiştir. Takviye tabakası tasarımı yol üstyapısı tasarımının devamıdır, bu nedenle seçilmiş tasarım yöntemlerinin kendileride bilgi olarak verilmiştir.

Çalışmada;

- 1.Bölümde; takviye tabakası, esnek yol üstyapısı, ampirik yöntem, analitik yöntem ve analitik – ampirik yöntem terimlerinin tanımı yapılmış ve esnek yol üstyapı hakkında bilgi verilmiştir.
- 2.Bölümde; AASHO 72 ampirik tasarım yöntemi
- 3.Bölümde; Shell analitik tasarım yöntemi
- 4.Bölümde; AASHTO 93 analitik – ampirik tasarım yöntemi takviye tabakası tasarımı için incelenmiştir.
- 5.Bölümde; Ortak veriler kullanılarak her tasarım yöntemi için takviye tabakası tasarımı gerçekleştirilmiş ve takviye tabakası kalınlık değerleri saptanmıştır.
- 6.Bölümde; Esnek yol üstyapılarında takviye tabakası tasarımı için üç seçilen yöntem birbirleriyle karşılaştırılmış ve önerilere yer verilmiştir.

Takviye tabakası tasarımının iki temel prensibi vardır. Bunlar takviye tabakası tasarımı için var olan üstyapının değerlendirilmesi ve gelecekte gerekli üstyapının saptanmasıdır.

Çalışmanın sonucunda, AASHO 72 ampirik tasarım yöntemi takviye tabakası tasarımı için yetersiz bulunmuştur. Takviye tabakası tasarımı için Shell analitik tasarım yöntemi veya AASHTO 93 analitik – ampirik tasarım yöntemlerinden bir tanesi seçilmelidir. İki yöntem birbirleriyle karşılaştırıldığında AASHTO 93 analitik – ampirik tasarım yönteminin takviye tabakası tasarımı için önerilmesi uygun bulunmuştur.

THE OVERLAY DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENT

SUMMARY

In this study, the overlay design of flexible pavement is examined. Within the pavement area, significant amounts of movement and deflection can take place due to traffic loading and other environmental conditions. Therefore overlay design is a requirement.

Overlay design is viewed using three separate design methods, namely, empirical, analytical and semi – empirical. AASHO 72 for empirical design method, Shell for analytical design method and AASHTO 93 for semi – empirical design method are used. Overlay design is dependent on pavement design. Thus used design methods are presented.

In chapter 1; overlay, flexible pavement, empirical method, analytical method and semi- empirical method are defined and provides, information about flexible pavement.

In chapter 2; AASHO 72 empirical design method.

In chapter 3; Shell analytical design method.

In chapter 4; AASHTO 93 semi – empirical design method.

In chapter 5; Overlay design is made and overlay thickness is calculated by using the same values.

In the last chapter; The three methods used for overlay design at flexible pavement are discussed and compared with each others.

Overlay design has two basic principles. Evaluation of existing pavement and determination of expected pavement for overlay design. It is concluded that AASHO 72 empirical design method is not sufficient for overlay design. Shell analytical or AASHTO 93 semi – empirical design method must be used. When compared with the two methods, it is recommended that AASHTO 93 semi – empirical design method is the more appropriate for overlay design.

1.GİRİŞ

1.1 Esnek Yol Üstyapılarında Takviye Tabakası Tasarımı

1.1.1 Tanım

Yolun kullanıma açılmasıyla birlikte, zaman içinde gerek artan trafik yüklerinin gerekse çevre koşullarının etkisiyle yol üstyapısında bir süre sonra bakım ve onarım yapılmasına gereksim duyulmaktadır.

Takviye tabakası; var olan asfalt veya çimento betonlu üstyapının üzerinde yer alır ve genellikle asfalt betonudur. Üstyapının servis ömrünü uzatır, yükleme durumunda üstyapının yapısal direncini artırır ve üstyapiya kaybettiği sürüş kapasitesini verir. (H.D.M., 2000)

Üstyapıda, kaplama tabakasının yüzey ve yapısal eksikliklerinin giderilmesi, kaplama tabakasının yüzeyindeki kayma direncinin artırılması ve sahip olduğu özelliklerin geliştirilmesi için yapılan işleme ‘takviye’ denir. Takviye tabakasının kalınlığını yol üstyapısının taşıdığı özellikler ve gelecekte ortaya çıkacak tahmini trafik yükünün etkisi belirler. (Yüce, 1976)

Genellikle 20 yıllık bir süre için tasarımı yapılan esnek üstyapılarda, yolda görülen yerel bozuklukların her kış mevsimi sonunda onarımı dışında, aşağıdaki işlemler yapılır;

- İlk 5 yıldan sonra, küçük onarımlar ve yüzey kaplaması gerekebilir.

- 10. yılda, yol yüzeyinin büyük bir olasılıkla yenilenmesi, pürüzlendirilmesi gerekecektir. Zira yolda tekerlek izleri oluşmuş, kayma sürtünme katsayısı düşmüş olacak ve yolda çökme ve kopmalar oluşacaktır.
- Bir 5 yıl daha geçince, ilk 5. yıldaki gibi yüzey yapısını tekrar restore etmek gerekir.
- 20 yıl sonra yol tasarım ömrünün sonuna geleceğinden yapının yeni bir üstyapı ile takviyesi, temelin tekrarlanan yükler ile zayıfladığı ve tekerlek izlerinde 10 mm.yi aşan yapısal çöküntülerin oluşmasıyla bunun anlaşıldığı yerlerde yeniden temel yapılmalıdır. (Ağar, 1999)

1.1.2 Esnek Üstyapıda Takviye Tabakası Tasarım Yöntemleri

Var olan bir esnek üstyapıya uygulanacak olan takviye tabakası tasarımı ‘Ampirik, Ampirik - Analitik ve Analitik Tasarım Yöntemleri ’ kullanılarak ele alınacak ve irdelenip karşılaştırılacaktır.

Takviye tabakası tasarımı yol üstyapısı tasarımının bir anlamda devamıdır. Bu nedenle takviye tabakası tasarım yönteminin anlaşılabilmesi için var olan yol üstyapısının tasarımının bilinmesi gerekir. Bu nedenle incelenecek yöntemlerin kendileride verilecektir.

1.1.2.1 Ampirik Tasarım Yöntemi

Yollarda yapılan ölçme ve değerlendirmelere dayanan ve teorik bilgilerle desteklenen projelendirme yöntemleridir. (Ağar, 1999)

Esnek üstyapıda takviye tabakası tasarımında ampirik yöntem olarak ‘ AASHO 72’ tasarım yöntemi incelenecektir.

1.1.2.2 Analitik Tasarım Yöntemi

Analitik tasarım yönteminde yol üstyapısı diğer inşaat mühendisliği yapıları gibi ele alınır. Üstyapıda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, beklenen trafik yükü

ve çevre koşulları dikkate alınarak, bilgisayar programları ve abaklar yardımıyla tabaka kalınlıkları belirlenir. (Ağar, 1999)

Esnek üstyapıda takviye tabakası tasarımında analitik yöntem olarak ‘ Shell ’ tasarım yöntemi incelenecektir.

1.1.2.3 Analitik - Ampirik Tasarım Yöntemi

Araştırmacılar, analitik metodla modellenemeyen bazı faktörlerin üstyapı performansında etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu sebeple analitik modellerin, performans gözlemleri ve ampirik bağlantılarla kalibrasyonu gereklidir.

Bu zorunluluk analitik-ampirik yöntemlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sonuç olarak, analitik-ampirik yöntemler gerçeğe daha yakın, daha başarılı yöntemler olmaktadır. (Ağar, 1999)

Esnek üstyapıda takviye tabakası tasarımında analitik-ampirik yöntem olarak ‘AASTHO 93’ tasarım yöntemi incelenecektir.

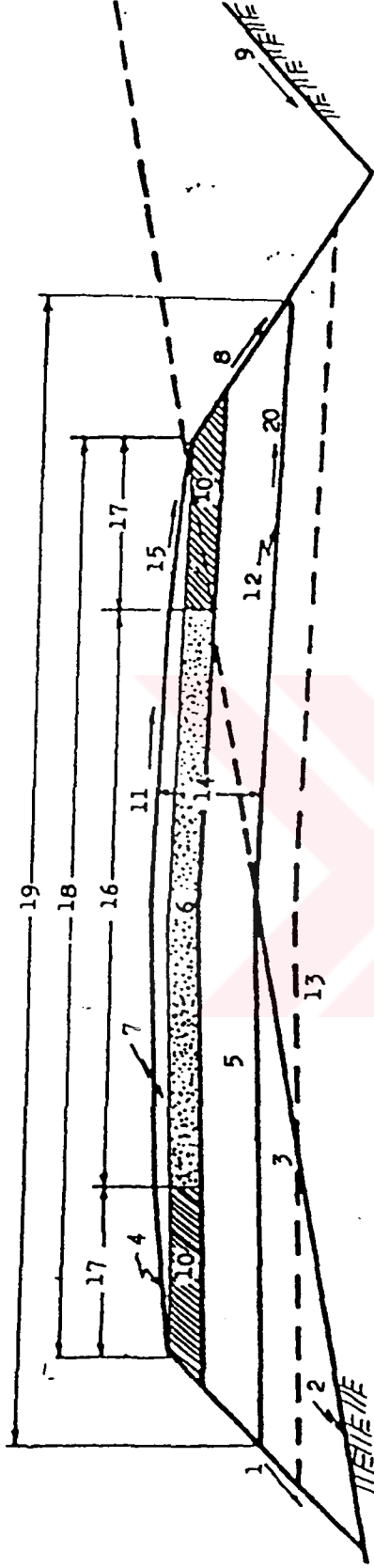
1.2 Esnek Üstyapı

1.2.1 Tanım

Esnek Üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve yükleri taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi agrega kenetlenmesine, dane sürtünmesine ve kohezyona bağlıdır. Umar ve Ağar (1985)

1.2.2 Esnek Üstyapının Tasarımı ve Kesiti

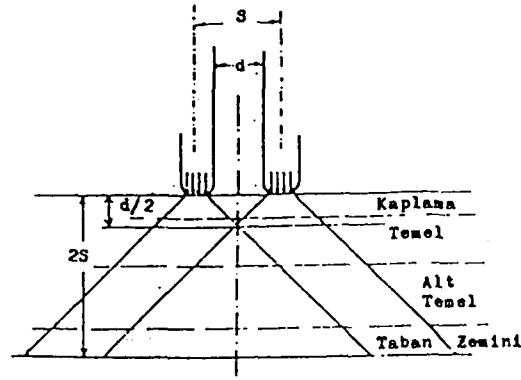
Tabakalı bir sistem olan esnek üstyapının Şekil 1.1’de Esnek Üstyapı Kesiti ve Şekil 1.2’de Esnek Üstyapıda Yük Dağılımı verilmiştir. Esnek üstyapının yük taşıma kapasitesi, sistemi oluşturan tabakaların üstyapı direncine katkısı ve yükü yayabilme özelliklerine dayanır.



- 1- Dolgu Şevi
- 2- Doğal Zemin
- 3- Seçme Malzeme Tabakası (Gerekli Olduğu Durumda)
- 4- Banket Kaplaması
- 5- Alt Temel
- 6- Temel Tabakası
- 7- Kaplama Tabakası
- 8- Hendek Şevi
- 9- Yarma Şevi
- 10- Banket Temeli

- 11- Yolun Enine Eğimi
- 12- Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi)
- 13- Yol Gövdesi (Taban Zemin)
- 14- Üst Yapı Proje Kalınlığı
- 15- Banket Eğimi
- 16- Trafik Şeritleri Genişliği
- 17- Banket Genişliği
- 18- Yol Genişliği (Platform Genişliği)
- 19- Üst Yapı Taban Genişliği
- 20- Taban Yüzeyinin Enine Eğimi

Şekil 1.1 : Esnek Üstyapı Enkesiti



Esnek Üstyapı

Şekil 1.2 Esnek Üstyapıda Yük Dağılımı

Esnek bir yol üstyapısına etkiyen bütün faktörlerin bir analizi yapılırsa;

- Trafik hacmi
- Dingil yükü
- Dingil yüklerinin tekrarlanma sayısı
- Taban zemininin taşıma gücü ve suya hassasiyeti
- Üstyapının alt temel, temel ve kaplama tabakalarında kullanılan çeşitli malzemelerin mekanik özellikleri
- Yoldan beklenen hizmetin kalitesi
- Yolun ekonomik hizmet ömrü
- Yolun yapıldığı yerin iklim ve diğer bölgesel koşulları gibi etkenlerin bir esnek üstyapı projesi hazırlanırken değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılır.

Umar ve Ağar (1985)

1.2.3 Esnek Üstyapının Özellikleri

Esnek üstyapıların üstün özellikleri:

- Asfalt betonu kaplamalar, trafik için düzgün ve gürültüsüz bir yüzey meydana getirirler.

- Yüzey aşınması ve dingil yüklerinin doğurduğu deformasyonlara karşı dirençlidirler.
- Özellikle kuru olduklarında yüksek sürtünme katsayısı verirler.
- Belirli bir stabilite ve rijitliğe sahip olduklarından yükü alt tabakalara yayarlar.
- Yüzeyin geçirimsizliğini sağlarlar.
- Kademeli inşaata uygundur.
- Özellikle bakım ve onarım trafik altında yapılabildiği için servis yoluna gereksinme göstermezler.
- Yapımlarından birkaç saat sonra trafiğe açılabilirler.
- Asfalt betonu uygulaması nisbeten kolaydır.
- Asfalt betonu kaplamaların bakımı kolaydır. Ancak daha sık bakım gerektirir.

Esnek üstyapıların sakıncalı özellikleri:

- Asfalt betonunda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan asfalt, termoplastik bir maddedir. Sıcaklığa bağlı olarak değişik reolojik hallerde bulunur.
- Asfalt betonunun gerilme-deformasyon ilişkileri yükleme hızının ve sıcaklığın fonksiyonu olduğundan sabit bir elastisite modülü ve poisson oranı yoktur.
- Bitümlü bağlayıcıların yapısı, kaplamanın yapımından birkaç sene sonra, bağlayıcı içindeki uçucu bileşenlerin uçması ve okside olması ile bozulur.
- Koyu renkli olduklarından gece görülmeleri zordur.
- Bitümlü kaplamaların uygulanacağı zeminin kuru veya en fazla %2 oranında nemli olması gerekir.
- Esnek üstyapıda kullanılan asfalt, petrolün damıtılması sırasında elde edilen bir yan üründür. Umar ve Ağar (1985)

2.AMPİRİK YÖNTEM İLE TAKVİYE TABAKASI TASARIMI

[AASHO 72 YÖNTEMİ]

2.1 Giriş

Esnek üstyapıda ampirik yöntem ile takviye tabakası tasarımında AASHO 72 yöntemi incelenecektir.AASHO 72 yöntemi, AASHTO tarafından 1961 yılında yayınlanan ‘ AASHO Projelendirme Geçici Rehberi ’ adı altında yayınlanan yöntemin 1972 yılındaki ikinci baskısıdır.

2.2 AASHO 72 Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemi*

AASHO yol deneylerinden yararlanarak üstyapı kalınlıklarının hesabında kullanılmak üzere, üstyapıya etkiyen faktörleri içine alan ‘ AASHO Deney Yolu Denklemi ’ kurulmuştur.

$$\begin{aligned} \log T_{8.2} = & 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{G_t}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} \\ & + \log \frac{1}{R} + 0.372 (S_i - 3.0) \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$G_t = \log \left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad (2.2)$$

* Bu bölümdeki bilgi ,tablo ve şekiller AASHO Guide for Design of Pavement Structure 1972 – AASHO 72’ den alınmıştır.

Burada;

P_t = Son servis kabiliyeti

$T_{8.2}$ = P_t 'ye düşünceye kadar tekerrür edecek (8.2) ton dingil sayısı

SN = Üstyapı sayısı

R = Bölge faktörü

S_i = Zemin taşıma değeridir.

Yukarıdaki veriler yardımı ile (2. 1) ve (2. 2) eşitlikleri kullanılarak SN üstyapı sayısı değeri hesaplanır. Buradaki P_t 'nin 2,5 ve 2 değerleri için (t = 20 yıllık toplam veya ortalama günlük standart dingil tekerrürü sayısına) üstyapı sayısının çözümleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 'deki nomograflarda verilmiştir.

Esnek üstyapının AASHO 72 rehberiyle tasarım sırası;

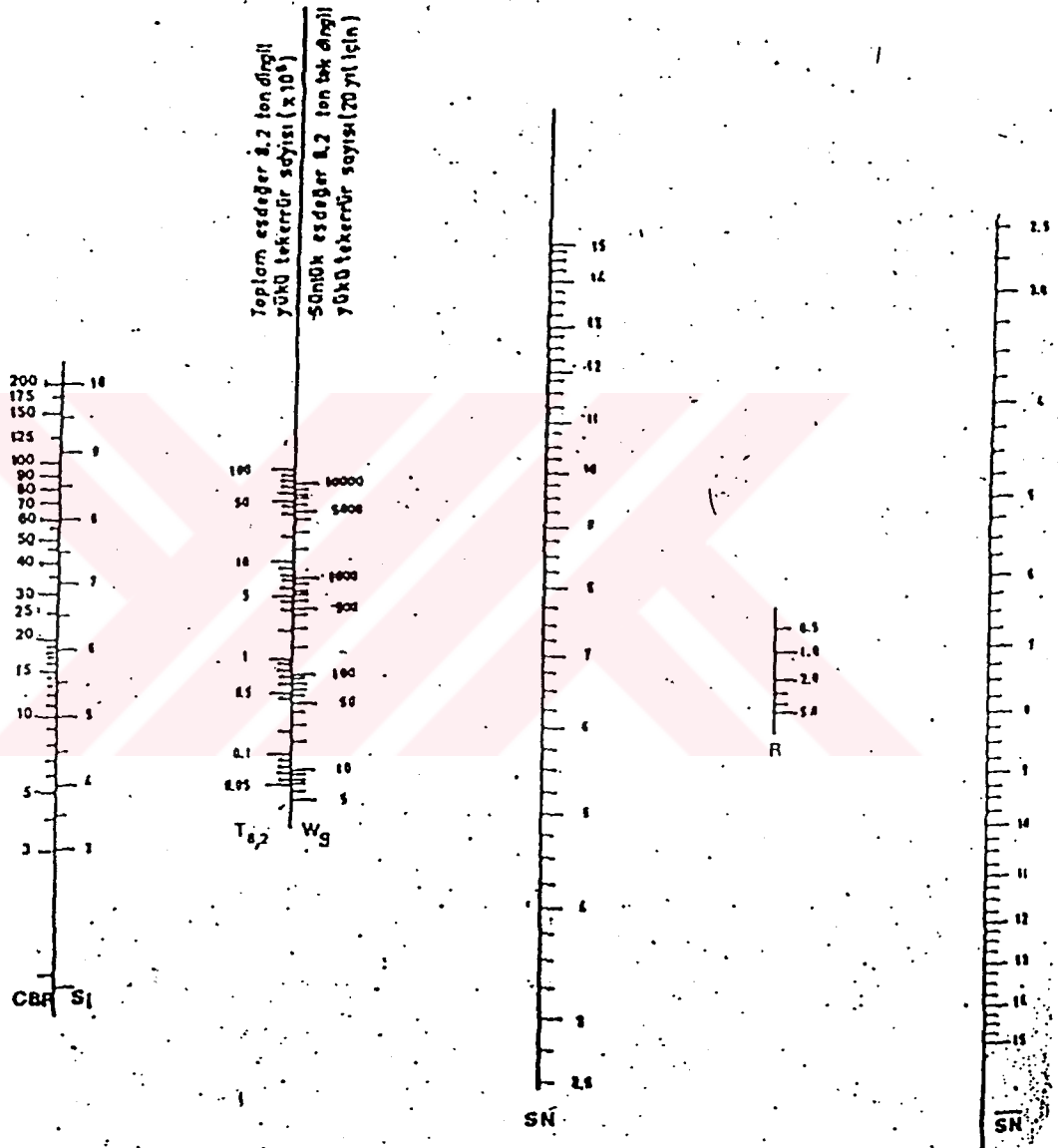
- Son servis kabiliyeti indeksi (P_t) seçilir,
- Bölge faktörü (R) seçilir,
- Taban zemininin S_i (veya CBR) değeri saptanır,
- P_t , S_i , R ve proje trafiği değerlerine karşılık olan üstyapı sayısı (SN), ilgili nomograftan bulunur.
- Üstyapı kompozisyonu, üstyapı tabakalarında kullanılacak malzeme cinsleri seçilir.

a_1, a_2, a_3 : sırasıyla kaplama, temel ve alttemel tabakalarında kullanılan malzemelere ait tabaka katsayıları

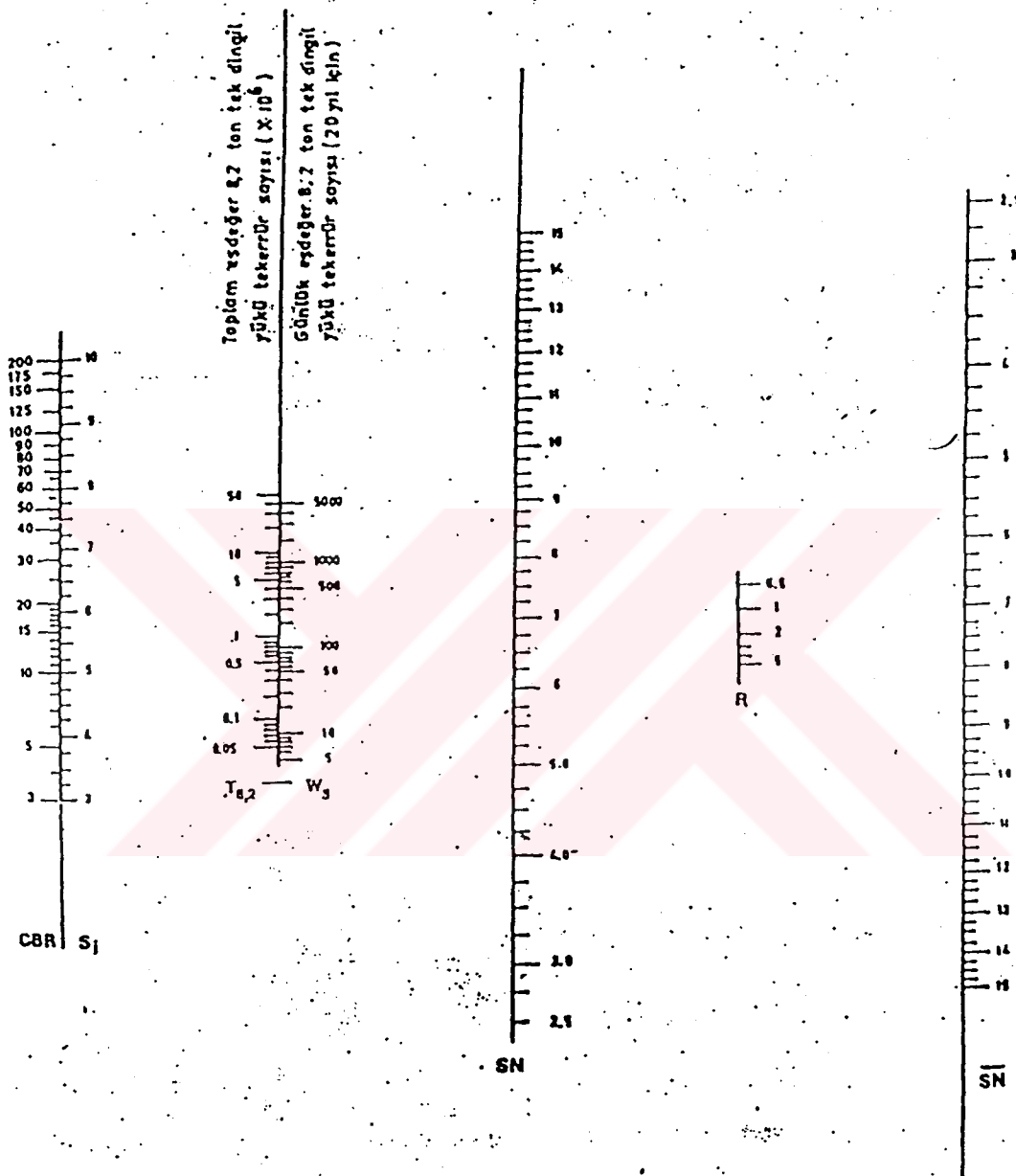
D_1, D_2, D_3 : sırasıyla kaplama, temel, alttemel tabakalarının kalınlık değeri (cm)

yukarıdaki değerler kullanılarak aşağıdaki eşitlikten faydalanarak üstyapıdaki tabaka kalınlıkları saptanır.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 \quad (2. 3)$$



Şekil 2.1 Esnek Üstyapılar için Projelendirme Nomografı ($P_t = 2.5$)



Şekil 2.2 Esnek Üstyapılar için Projelendirme Nomografi ($P_t = 2.0$)

2.2.1 Son Servis Kabiliyet İndeksi (P_t) Seçimi

AASHO Deneme yolunda üstyapıların servis kabiliyeti derecesinin belirli zaman aralıklarında değerlendirilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Mevcut servis kabiliyeti derecesi (PSR) diye isimlendirilen değerin elde edildiği yöntemde, karayolu mühendisliğinin bütün konularında uzun deneyimi olan seçme uzmanlardan oluşmuş bir kurulun, verdikleri bireysel değerlendirmenin ortalaması alınarak bulunur. Mevcut servis kabiliyeti derecesi için 0 ila 5 arasında değişen bir ölçek tespit edilmiştir. Burada 5 değeri en yüksek 0 değeri en düşük anlamına gelmektedir.

P_t için yolun standardına ve trafiğe bağlı olarak aşağıdaki Tablo 2.1' deki değerler seçilir. P_t 'nin seçilmesi ile hangi nomografin projelendirmede kullanılacağı ortaya çıkar.

Tablo 2.1 Yol Sınıfının P_t değerine bağlı seçimi

Yol Sınıfı	P_t
Otoyollar, Ekspres yollar, Devlet yolları	2.5
İl yolları	2.0

2.2.2 Bölge Faktörünün (R) Seçilmesi

Çevre ve iklim koşulları, üstyapı projelendirmesinde dikkate alınan önemli bir konudur. Yağışsız ve kurak bir bölgede iyi sonuç veren bir üstyapı tipi, yağışlı bir bölgede çevre ve iklim koşullarından dolayı daha kısa bir hizmet ömrüne sahip olacaktır.

AASHO Yol Deneyi bilgilerine dayanarak bulunan değerler Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2 Bölge Faktörünün (R) Seçilmesi

R	
Doymuş taban zemini (12,5 cm veya daha fazla derinlikte)	0,2 - 1,0
Kuru taban zemini (yazın ve sonbaharda)	0,3 - 1,5
Doymuş taban zemini (ilkbahardaki don çözülmesinde)	4,0 - 5,0

Coğrafi farklılık bulunan ülkemiz için yapılan gözlemler sonucu;

- Yağışsız, yılın çok önemli bir bölümünde toprak kurak veya katı şekilde donmuş olan bölgeler için bölge faktörü 0,5
- Yazları kurak, ilkbahar, kış başlangıcı ve kışları normal yağışlı, toprak yazın ve sonbaharda kuru ve kısa süre için 10 cm derinliğe kadar don olan bölgeler için bölge faktörü 0,5 – 1,0
- Yılın önemli bir bölümünü yağışlı, don olayı etkili, don derinliği 10 cm ile 40 cm arasında olan bölgeler için bölge faktörü 1,0 – 1,5
- Toprak yılın önemli bir bölümünde suya doymuş, yazları hariç diğer mevsimler çok yağışlı, donma – çözülme periyotları sık, don derinliği 40 cm’ den fazla olan bölgeler için bölge faktörü 1,5 – 2,0 alınmalıdır.

2.2.3 Taban Zemininin Taşıma Değerinin (S_1 veya CBR) Saptanması

Taban zemininin üstyapı projelendirilmesine esas olan taşıma gücü, CBR değeri ile tanımlanır. CBR değeri dinamik yaş CBR deneyi (ASTM 1883) ile bulunur. Proje CBR değeri aşağıda anlatılan şekilde hesaplanır.

- Yol güzergahı üzerindeki her değişik taban kesimi için yeterli sayıda CBR deneyi yapılır.
- Bilinen toplam eşdeğer standart dingil sayısı yardımı ile taban zemini proje emniyet yüzdesi Tablo 2.3’ den seçilir.

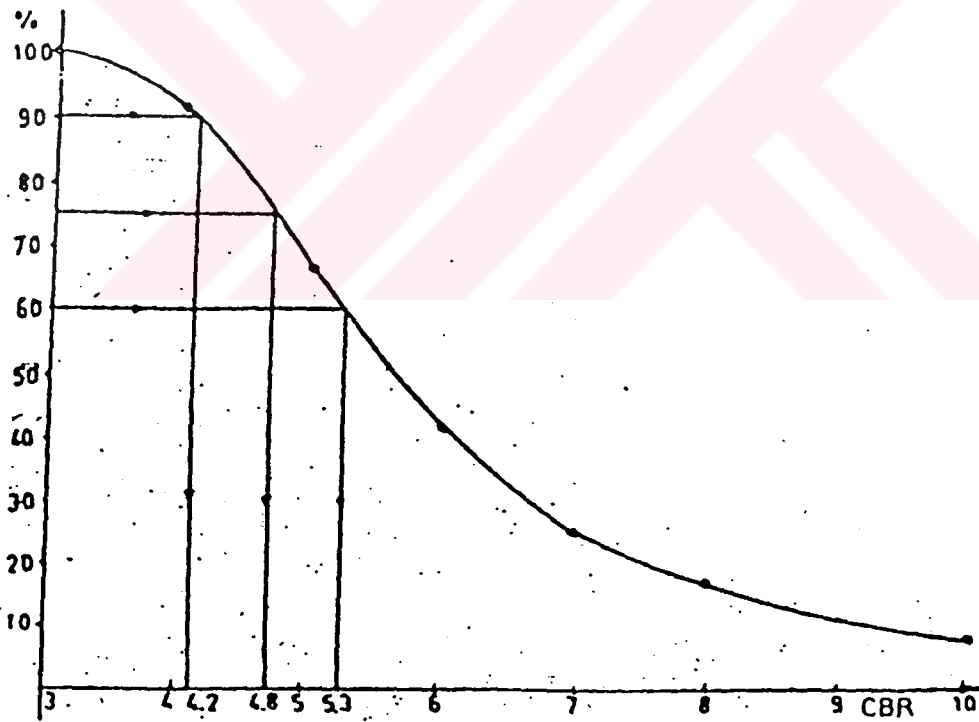
Tablo 2.3 Taban Zemini Proje Emniyet Yüzdesi seçimi

Toplam eşdeğer dingil yükü sayısı ($T_{8,2}$)	Taban Zemini Proje Emniyet Yüzdesi
$T_{8,2} < 10^4$	60
$10^4 < T_{8,2} < 10^6$	75
$T_{8,2} > 10^6$	90

-Ölçülen CBR değeri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve her birinden büyük veya eşit CBR sayısı yüzdesi bulunur.

- Bulunan değerler (CBR değerleri ve büyük eşit % leri) grafik kağıdına işaretlenir, bu noktalardan geçen eğri çizilir. Şekil 2.3

- Bu eğri üzerinden Tablo 2.3 'den seçilecek uygun proje emniyet % si yardımıyla proje CBR değeri seçilir.



Şekil 2.3 Proje CBR Değerinin Seçimi

Bulunan CBR değerinin S_i olarak karşılığı Şekil 2.4 'den bulunur.



Şekil 2.4 CBR değeri karşı S₁ değeri bulunması

2.2.4 Proje Trafiğinin, Eşdeğer Dingil Yükünün (EDY) (Standart Dingil Tekerrürü Sayısının) Hesaplanması

AASHO Rehberinde trafik tahminleri ‘ Trafik Analiz Süresi – Proje Süresi ’ olarak adlandırılan bir süre için yapılır. Trafik analiz süresi genellikle 20 yıl olarak alınır.

Bununla beraber, trafik , günlük veya toplam 8.2 tonluk tek dingil yükü uygulama sayıları cinsinden ifade edildiği için bu projelendirme rehberi ile herhangi bir analiz süresi kullanılabilir. Yolun hizmete açıldığında trafiğe ilk trafik, trafik analiz sonundaki trafiğe de son trafik denir. İlk ve son trafik yardımıyla trafik analiz süresi için saptanan trafik, üstyapı hesabında proje trafiği olarak kullanılır.

Karayolu üzerinde seyreden taşıtlar AASHO 72’ ye göre 4 gruba ayrılırlar. Bunlar otomobil, otobüs, kamyon ve treylerdir. Ağır ticari araçların 2 ve 3 dingillileri kamyon, 4 ve üstü dingillileri treyler grubuna girmektedir. Her bir trafik grubu için belirlenen trafik sayıları Tablo 2.5’de verilen veya lodometre çalışması ile bulunan taşıt eşdeğerlik faktörü ile çarpılarak eşdeğer dingil sayısına dönüştürülür.

İlk yıl için günlük trafik (t_0) ve trafik artış katsayısı (r) belli ise (t) sene sonraki günlük trafik aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunur.

$$t_t = t_0 \cdot (1+r)^t \quad (2.4)$$

İlk yıl için günlük trafik (t_0) ve son yıl için günlük trafik (t_t) belirlendikten sonra t süresi için ortalama günlük proje trafiği (t_p)

$$t_p = 0.4343 \cdot \frac{t_t - t_0}{\log \frac{t_t}{t_0}} \quad (2.5)$$

eşitliği kullanılarak bulunur. Yoldan proje süresince geçecek toplam trafik (T_p) değeri aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$T_p = t_p \times 365 \times t \quad (2.6)$$

Tablo 2.4 Dingil Eşdeğerlik Faktörleri

Dingil Yüğü	Tek Dingil Eşdeğerlik Faktörü	Tandem Dingil Eşdeğerlik Faktörü
1 ton	0,001	0.00004
2 "	0.002	0.0003
3 "	0.01	0.001
4 "	0.04	0.004
5 "	0.11	0.01
6 "	0.25	0.02
7 "	0.50	0.04
8 "	0.90	0.07
9 "	1.51	0.11
10 "	2.39	0.17
11 "	3.64	0.26
12 "	5.34	0.38
13 "	7.60	0.53
14 "	10.52	0.72
15 "	14.26	0.97
16 "	18.93	1.26
17 "		1.62
18 "		2.05
19 "		2.54
20 "		3.11
21 "		3.77
22 "		4.52
23 "		5.36
24 "		6.31
25 "		7.36

- Dingil Eşdeğerlik Faktörleri

Tek dingil yüklerini, Standart Dingil (8.2 ton) sayısına dönüştürmek için aşağıdaki üssel fonksiyonu kullanılmalıdır.

$$x = \left(\frac{P}{P_{8.2}} \right)^n \quad (2.7)$$

Genel olarak (n) üssü 3,5 ile 4,5 arasında ülkemizde değişmektedir. Bu nedenle 4,4 değeri alınması uygun görünmüştür. Bu durumda tek ve tandem dingil yüklerini standart dingil sayısına çevirmek için Tablo 2.4 'deki katsayılar kullanılır.

- Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri

Taşıt eşdeğerlik faktörleri, projesi yapılacak yolu karakterize eden lodometre çalışması ve dingil yükü etüdları sonucunda çıkacak dingil yükü dağılımı Tablo 2.5'deki dingil eşdeğerlik faktörleri kullanılarak bulunur.

Tablo 2.5 Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri

Trafik Grubu	Trafik kategorisi (ticari taşıt/gün).				
	0-250	250-500	500-1500	1500-3000	> 3000
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

- Yön Dağıtma Faktörü

Özel şartlar verilmediği sürece,yön itibariyle dağıtım genellikle her yöne trafiğin yarısının verilmesi ile yapılır. Yön dağıtma faktörü genellikle (1/2) değerindedir.

- Hesap Şeridi

Hesap şeridindeki trafik hesaplanırken Tablo 2 .6'daki şerit dağıtma faktörleri gözönünde tutulur.

Tablo 2.6 Şerit Dağıtma Faktörleri

İki Yöndeki Şerit Sayısı	Şerit Dağıtma Faktörü
2	1,0
4	0.90
6 veya daha fazla	0.80

2.2.5 Üstyapı Sayısının (SN) Bulunması

P_t , S_t , R ve proje trafiği (EDY) değerlerine karşılık gelen üstyapı sayısı (SN) Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'deki nomograflardan faydalanarak bulunur.

2.2.6 Üstyapı Sayısı (SN) yardımıyla Tabaka Kalınlıklarının Saptanması

Hesaplanan üstyapı sayısı (SN) değeri aşağıdaki eşitliğe konularak tabaka kalınlıkları seçilir.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 \quad (2.8)$$

Burada;

a_1 , a_2 , a_3 : sırasıyla kaplama, temel ve alttemel tabakalarında kullanılan malzemelere ait tabaka katsayıları

D_1 , D_2 , D_3 : sırasıyla kaplama, temel, alttemel tabakalarının kalınlık değeri (cm)

- Alttemel (Temel altı) Tabakası

Alttemel malzemesi, ekonomik faktörler gözönünde tutularak bölgede bulunan iyi kaliteli seçme malzemedен yapılmalıdır. Minimum alttemel kalınlığı 20 cm olmalıdır.

- Temel Tabakası

Temel tabakası üstyapının ana yapısal elemanlarından biri olup, alttemel ve tabana gelen basınç gerilmelerini kabul edilebilir seviyeye düşürmesi ve belirli bir esneklik sağlayarak kaplamanın kırılmasını önlemesi gibi işlevleri vardır. Minimum temel kalınlıkları;Kırılmış çakıl veya kırmataş için 10 cm, Plent – miks kırmataş için 10 cm, Penetrasyon makadam için 7,5 cm, Asfaltlı makadam için en büyük dane

boyutunun 1,5 katından büyük ve 3 katından küçük, Sıcak karışım bitümlü temel için en büyük dane boyutunun 1,5 katından büyük olmalıdır.

- Kaplama Tabakası

Kaplama tabakası asfalt betonu için binder tabakası kalınlığı ve aşınma tabakası kalınlığı için 4 cm dir.

- Tabaka Katsayıları

Karayolları Genel Müdürlüğü'nce inşa edilen yol üstyapı malzemeleri için kullanılacak olan tabaka katsayıları Tablo 2.7' de verilmiştir. Bu katsayılar malzemenin belirtilen fiziksel özellikleri için geçerlidir. Malzemelerin şartnamedeki özellikleri değiştiğinde aynı katsayıların kullanılması uygun değildir.

Tablo 2.7 Tabaka Katsayıları

Tabaka Tipi	M.S (kg)	CBR %	f_7 kg/cm ²	a Katsayısı
a) KAPLAMA TABAKASI :				
Asfalt. Beton Aşınma	750-900			0.42-0.44
Asfalt Beton Binder	600-750			0.40-0.42
b) TEMEL TABAKASI :				
Penetrasyon mak. temel				
Asfaltlı makadam temel				
Bitümlü temel	400-500			0.32-0.34
Çimentolu temel			70	0.30
"			45-70	0.23
"			28-45	0.20
"			28	0.15
Kırılmış çakıl veya kırma taş temel		90		0.14
Plent-Miks kırma taş temel		100		0.15
c) ALTTEMEL TABAKASI				
Bitümle Stabilize edilmiş zemin				0.20
Kireç ile Stabilize edilmiş zemin			7	0.12
Çimento ile Stabilize edilmiş zemin			17.5	0.14
Kır-çakıl alttemel		30		0.11

2.3 AASHO 72 Yöntemi ile Takviye Tabakası Tasarımı*

AASHO 72 yol üstyapısı tasarım yöntemine göre esnek üstyapının asfalt betonu ile takviye tabakası tasarımında gerekli takviye tabakası kalınlık değeri , servis yeteneği indeksindeki düşmeden veya gelecekte oluşacak trafik yükünden belirlenen gerekli üstyapı sayısı değeri ile var olan üstyapı sayısı değeri arasındaki farka eşittir.

Deneyimlere göre var olan üstyapının tabakaları için tabaka katsayıları saptanarak üstyapı tabaka kalınlıkları ile çarpılır ve var olan üstyapının üstyapı sayısı bulunur. Taban zemini elastisite modülü değeri gerek deneylerden gerek deneyimlerden saptanır.

2.3.1 Takviye Tabakası Tasarım Adımları

AASHO 72 yol üstyapısı tasarım yöntemine göre;

Adım I : Var olan üstyapının belirlenmesi

Var olan üstyapının her bir tabakası için tabaka katsayıları saptanarak var olan üstyapının üstyapı sayısı (SN_{eff}) bulunur.

$$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \quad (2. 9)$$

Burada;

SN_{eff} = var olan üstyapının üstyapı sayısı

a_1, a_2, a_3 = tabaka katsayıları (kaplama, temel, alt temel)

D_1, D_2, D_3 = tabaka kalınlıkları (kaplama, temel, alt temel), (cm)

Adım II: Servis yeteneğindeki düşme ve gelecekte oluşacak trafik durumu için gerekli üstyapının belirlenmesi

Servis yeteneği indeksinde düşme yol üstyapısındaki gözlem ve deneyimle göre belirlenir.

* Bu bölümdeki bilgi ,tablo ve şekiller AASHO Guide for Design of Pavement Structure 1972 – AASHO 72’ den alınmıştır.

Gelecekte oluşacak trafik değeri hesaplanır ve iki durum karşılaştırılarak gerekli üstyapının üstyapı sayısı (SN_f) bulunur.

Adım III: Takviye tabakası kalınlık değerinin bulunması

Takviye tabakası için gerekli üstyapı sayısı (SN_{ol}) bulunarak asfalt betonu tabakası için saptanan tabaka katsayısına (a_{ol}) bölünerek takviye tabakası kalınlık (D_{ol}) değeri bulunur . Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak takviye tabakası için gerekli üstyapı sayısı (SN_{ol}) ve takviye tabakası kalınlık değeri (D_{ol}) bulunur .

$$SN_{ol} = SN_f - SN_{eff} \quad (2.10)$$

Burada;

SN_{ol} = gerekli takviye tabakası için üstyapı sayısı

SN_f = gelecekteki gerekli üstyapının üstyapı sayısı

SN_{eff} = var olan üstyapının üstyapı sayısı

$$SN_{ol} = D_{ol} \times a_{ol} \quad (2.11)$$

Burada;

SN_{ol} = gerekli takviye tabakası için üstyapı sayısı

D_{ol} = gerekli takviye tabakası kalınlık değeri, (cm)

a_{ol} = asfalt betonu tabaka katsayısı

3. ANALİTİK YÖNTEM İLE TAKVİYE TABAKASI TASARIMI

[SHELL YÖNTEMİ]

3.1 Giriş

Analitik tasarım yönteminde üstyapı tasarımının temel adımları aşağıda sıralanmıştır;

- Yükler belirlenir.
- Tabaka kalınlıkları seçilir.
- Uygun malzeme özellikleri saptanır.
- Teorik prensipler kullanılarak sistem çözülür.
- Hesap sonunda bulunan gerilme, şekil değiştirme ve defleksiyonlar izin verilen değerlerle karşılaştırılır.
- Uygun tasarım elde edilinceye kadar malzeme özellikleri ve tabaka kalınlıkları değiştirilir.
- Sonuç ekonomik yönden irdelenir.

Analitik tasarım yöntemi, deneysel sonuçlara dayanan ve taban zemini için CBR değerini kullanarak deneyin yapıldığı koşullarla sınırlı geleneksel ampirik tasarım yönteminden ayrılır. Yollarda kullanılan malzemelerin özelliklerinin ve yapısal davranışlarının karışık ve farklı oluşu deneysel (ampirik) yöntemlerin uzun yıllar kullanımına neden olmuştur. Son çeyrek yüzyılda analitik tasarım yöntemlerinde kayda değer gelişmeler olmuş, bu konuda bir çok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Önce büyük kuruluşların kullandığı programlar, kişisel bilgisayarların yaygınlaşması sayesinde çok sayıda mühendis (tasarımcı) tarafından kullanılır hale gelmiştir.

3.2 Shell Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemi *

Shell Üstyapı Tasarım Rehberi (Shell Pavement Design Manuel -SPDM 1978) 1978 yılında ilk olarak yayınlanmıştır. 1985 yılında çeşitli eklemeler yapılarak güncelleştirilmiştir. Tasarım rehberi bilgisayar modellerine dayanmakla birlikte şantiyede çalışan ve bilgisayar ortamında bulunamayan mühendislere de grafik ve tablolarla yardımcı olmaktadır.

3.2.1 Tasarım İlkeleri

SPDM' de üstyapıyı projelendirme aşamasında; yol üstyapısını çok katlı lineer elastik sistem olarak kabul etmiştir. Şekil 3.1 'de Esnek Üstyapının Basitleştirilmiş Kesiti verilmiştir.

Yöntem, yol üstyapısını 3 tabakalı sistem olarak kabul etmiştir. Bu tabakalar;

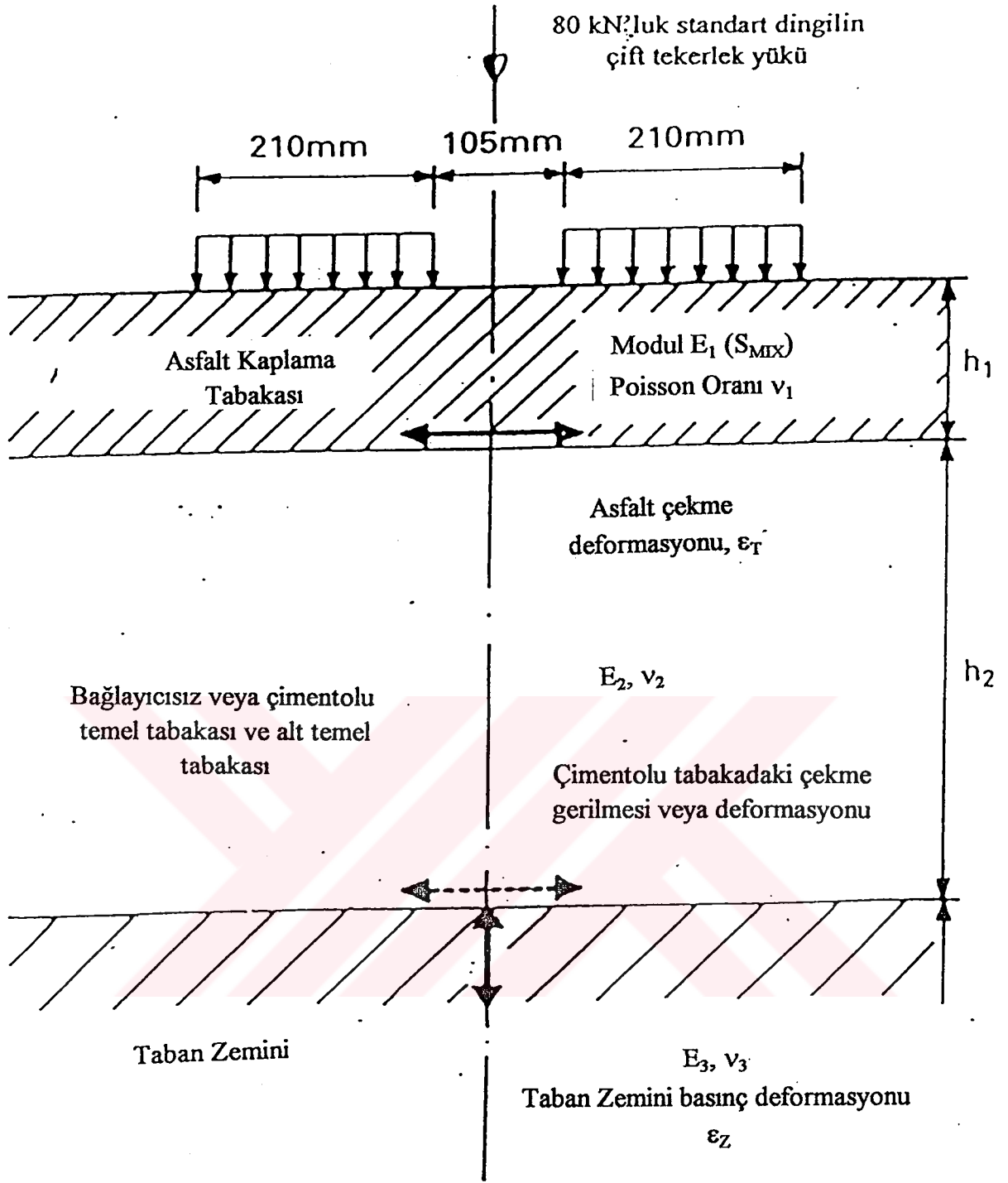
- Asfalt kaplama tabakası,
- Bağlayıcısız veya çimentolu temel tabakası ve alt temel tabakası,
- Taban zemini tabakasıdır.

Yol üstyapısını oluşturan malzemeler ise Young Elastisite Modülü ve Poisson Oranı ile karakterize edilmiş olup, homojen ve izotropik olarak kabul edilir.

- Asfalt kaplama tabakası; yükseklik h_1 , Modül E_1 (S_{MIX}) ve Poisson Oranı (ν_1),
- Bağlayıcısız veya çimentolu temel tabakası ve alt temel tabakası; yükseklik h_2 , Modül E_2 ve Poisson Oranı (ν_2),
- Taban zemini tabakası; Modül E_3 ve Poisson Oranı (ν_3),
- Asfalt çekme deformasyonu ϵ_T ve Zemin basınç deformasyonu ϵ_Z ile tanımlanmıştır.

Burada BISAR bilgisayar programı kullanarak; üstyapıdaki maksimum gerilme ve deformasyonların olduğu noktalar bulunur. Program kullanılırken şu iki noktaya dikkat edilir;

* Bu bölümdeki bilgi, tablo ve şekiller SPDM 1978 ' den alınmıştır.



Şekil 3.1 Esnek Üstyapının Basitleştirilmiş Kesiti

Bunlar;

- Asfalt kaplamadaki çatlak oluşumunu kontrol eden tabakanın alt yüzeyindeki, yatay çekme defomasyonudur. (ϵ_T)
- Taban zemininde oluşan kalıcı deformasyonu kontrol eden basınç defomasyonudur. (ϵ_Z)

3.2.2 Tasarım Verileri

SPDM' de tasarım verileri başlığı altında trafik yükü, sıcaklık, taban zemini, granüler malzemeler ve bitümlü malzemeler incelenmiştir.

3.2.2.1 Trafik Yükü

Esnek üstyapı tasarımında, tabaka kalınlıklarını ve yol üstyapısının tasarım ömrünü servis sürecince yol üstyapısından geçen toplam standart dingil yükü belirleyici rol oynamaktadır. SPDM 'de standart dingil yükü şu şekilde tanımlanmıştır;

Standart Dingil yükü, her biri 6×10^5 N/m² basınç gerilmesine, 105 mm çaplı yüklü bölgeye 20 kN'luk tekerleğe sahip 80 kN'luk eşdeğer standart dingil yüküne çevrilmiştir. Bu standart dingil yükü bir çok ülkede standart tasarım yükü olarak kullanılır.

Yol üstyapısına gelen bir dingil yükü (3.1) formülü veya Tablo 3.1'deki n_e eşdeğerlik faktörü kullanılarak 80 kN 'luk standart dingil yüküne çevrilir. L (kN) dingil yükü olmak üzere,

$$n_e = 2,4 \times 10^{-8} \times L^4 \quad (3.1)$$

Tasarım ömrü süresince toplam trafik yükünün bulunması gerekir. Trafik yükünün bulunması için belirlenen yıllık artış miktarına göre trafik yükü artış katsayısı saptanması gerekir. Tablo 3.2' de Trafik Yükü Artış Katsayısı verilmiştir.

Tablo 3.1 Trafik Yüğü Eşdeğerlik Faktörü ; $n_e = 2,4 \times 10^{-8} \times L^4$

Dingil Yüğü L, kN	Eşdeğerlik Faktörü n_e
5	0.000015
9	0.000157
10	0.000240
20	0.00384
27	0.0127
30	0.019
40	0.061
44	0.090
50	0.15
60	0.31
62	0.35
70	0.58
80	1.00
90	1.57
100	2.40
110	3.51
120	4.98
130	6.85
140	9.22
150	12.15
160	15.73
170	20.05
180	25.19
190	31.28
200	38.4

Tablo 3.2 Trafik Yüğü Artış Faktörü

Artış Oranı b, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tasarım Ömrü B, yıl	g									
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63
25	28	33	38	43	50	58	68	79	92	108
30	35	41	49	58	70	84	101	122	149	181
35	42	51	62	76	93	118	148	186	235	298
40	49	62	78	99	127	164	214	280	365	487

B = Tasarım ömrü, yıl

$$g = \sum_{i=1}^B \left(1 + \frac{b}{100}\right)^i$$

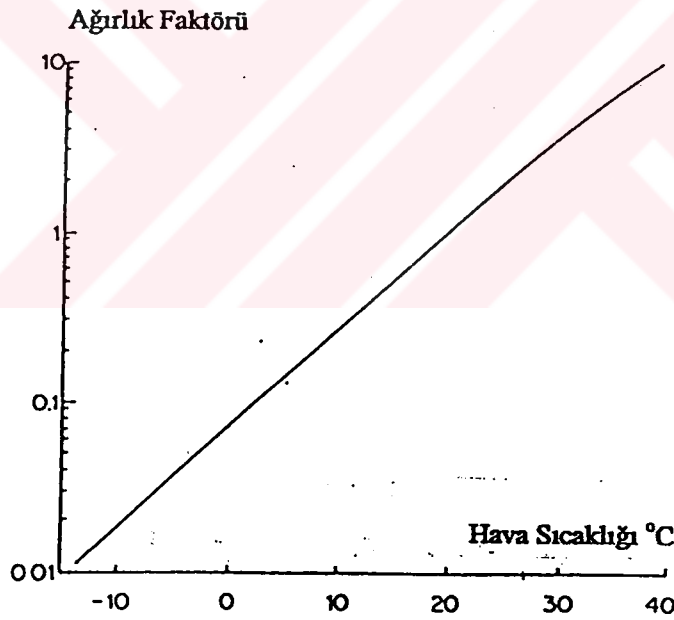
b = artış oranı, %

i = 1 yıl

3.2.2.2 Sıcaklık

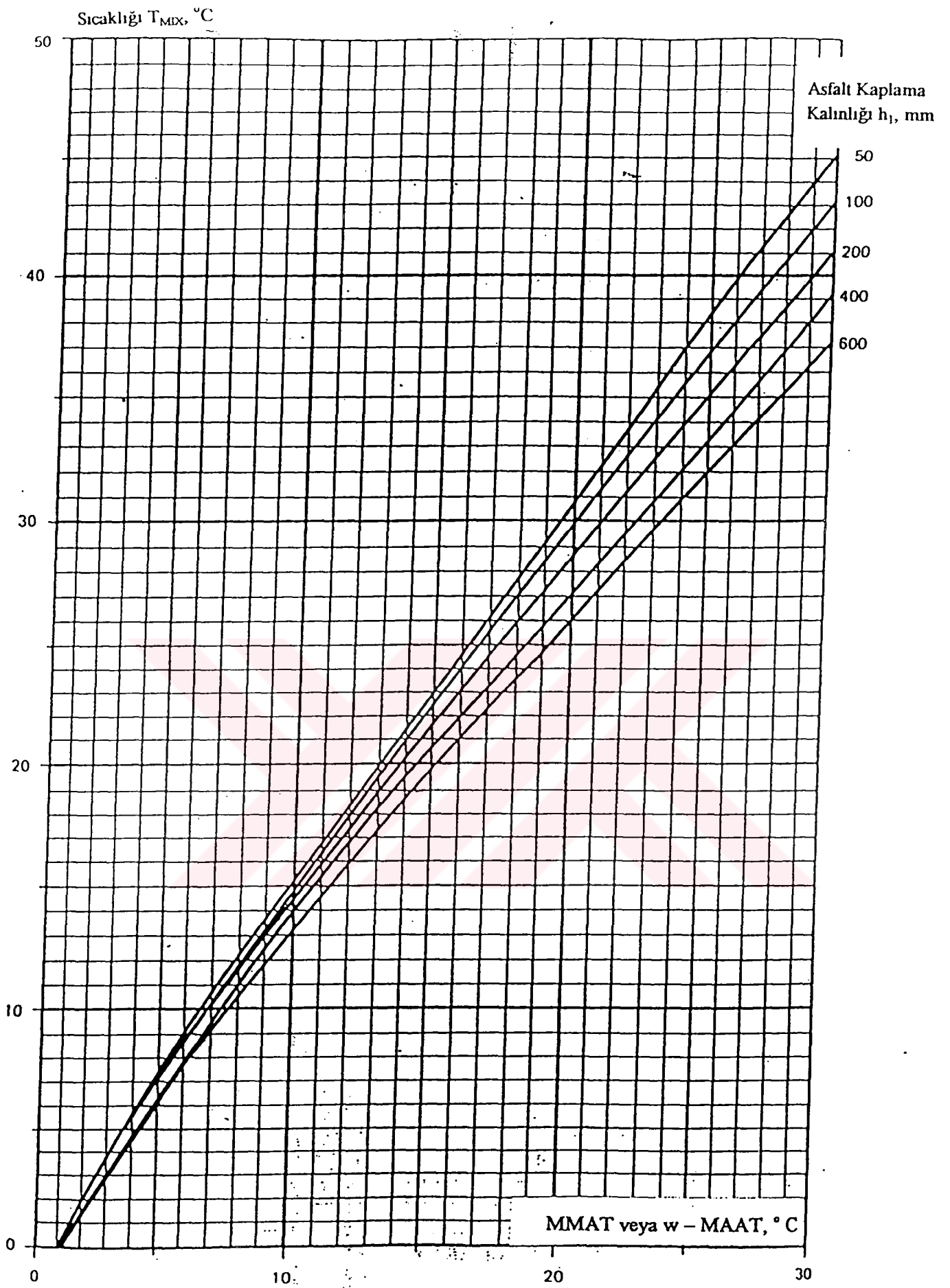
Hava sıcaklığının değişmesi genellikle bağlayıcısız malzemelerin modülü üzerinde bir etkide bulunmamasına karşın, bitümlü karışımın özellikleri üzerinde önemli etkiler yapmaktadır.

SPDM, ağırlıklı yıllık ortalama hava sıcaklığı ile aylık ortalama hava sıcaklığının asfalt tabakasının kalınlığına bağlı olan efektif asfalt sıcaklığı arasındaki bağıntıyı geliştirmiştir. Burada, ağırlıklı yıllık ortalama hava sıcaklığı w -MAAT, aylık ortalama hava sıcaklığı MMAT değerleriyle ifade edilmektedir. Bölgesel farklılıklar için ağırlıklı yıllık ortalama sıcaklık değerinin bulunması için Ağırlık faktörü ile hava sıcaklığı arasındaki bağıntıyı veren Ağırlıklı Sıcaklık Bulma Abağı (Şekil 3.2) kullanılmaktadır. Her aylık ortalama sıcaklık değeri için ağırlık faktörü bulunur ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak efektif yıllık ortalama hava sıcaklık değeri bulunur.



Şekil 3.2 Ağırlıklı Sıcaklık Bulma Abağı

Bitümlü karışımın sıcaklığı, asfalt kaplama kalınlığı, yıllık veya aylık hava sıcaklığı değişimi birbirleriyle doğrudan bağlantılıdır. Şekil 3.3 'de Bitümlü karışımın asfalt sıcaklığının Asfalt kaplama kalınlığı ve Ağırlıklı yıllık ortalama, Aylık ortalama hava sıcaklıklarıyla ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3.3 Bitümlü karışımın sıcaklık değeriyle Asfalt kalınlığı ve Ağırlıklı yıllık ortalama, Aylık ortalama hava sıcaklığı arasındaki ilişki.

3.2.2.3 Taban Zemini

Shell üstyapı tasarım yönteminin prensiplerinden biri taban zemini dinamik modülü (E_3) değerini tasarım verilerinden kabul etmesidir.

Taban zemini dinamik modülü değerini, California Taşıma Oranı (California Bearing Ratio – CBR) ile karakterize edilir. Taban zemini dinamik modülü E_3 ve California taşıma oranı CBR olmak üzere,

$$E_3 = 10 \times \text{CBR} \quad (3.2)$$

Burada;

Taban zemini dinamik modülü (E) MPa değerinde verilmiştir.

Taban zemini CBR değerinin elde edilememesi durumunda Taban zemini modülü Şekil 3.4'den yararlanarak bulunur.

3.2.2.4 Bağlayıcısız Granüler Malzemeler

Bağlayıcısız temel tabakası ve alt temel tabakasının efektif dinamik modülü (E_2) değeri bu tabakaların kalınlık değerine ve taban zemini dinamik modülü (E_3) değerine bağlıdır. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak alt temel tabakasının efektif dinamik modülü (E_2) değeri bulunur. (Miht, 1997)

$$E_2 = k \times E_3 \quad (3.3)$$

$$k = 0,2 h_2^{0,45} \quad (3.4)$$

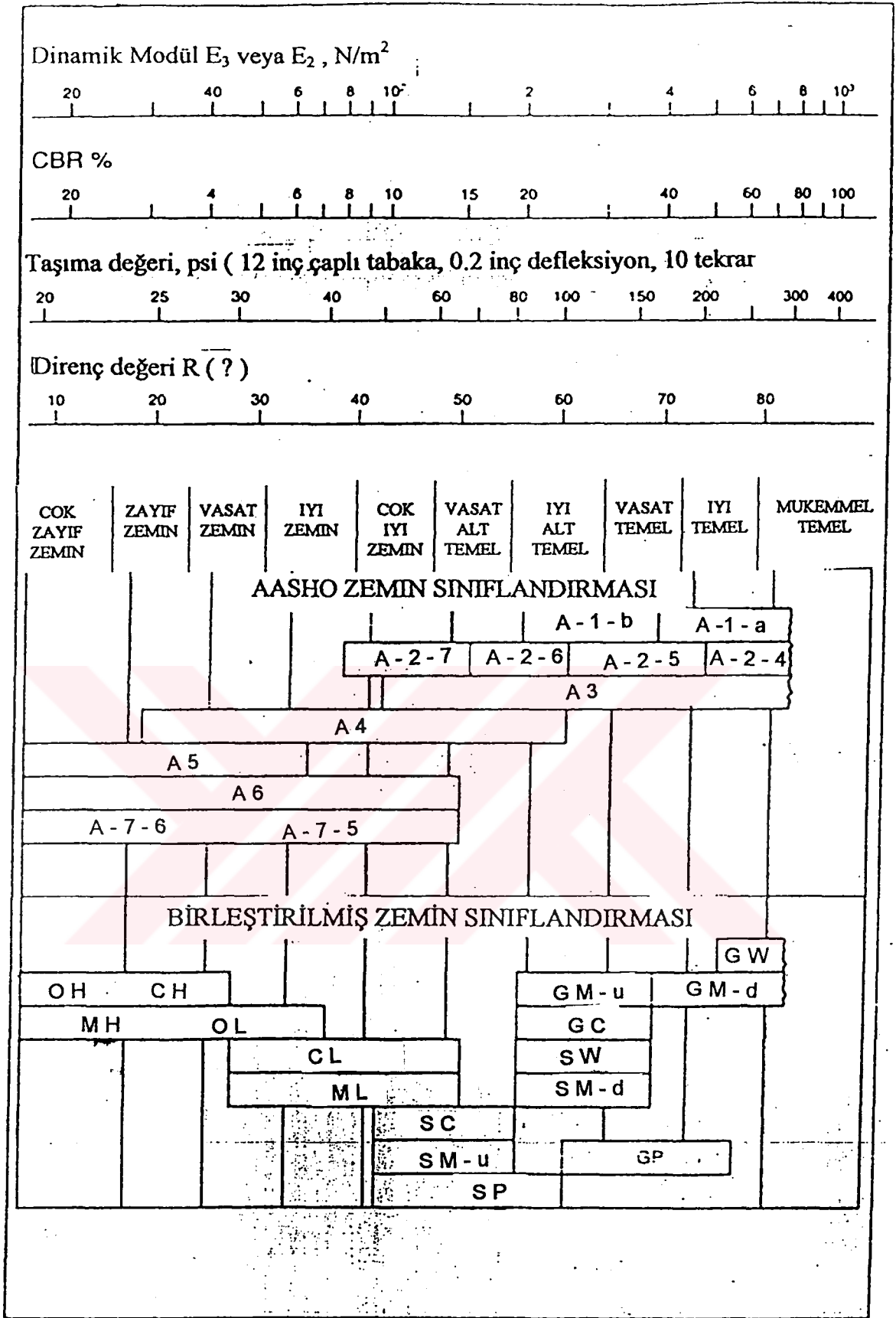
Burada;

h_2 = alt temel tabakasının kalınlık değeri (mm)

k = 2 ile 4 değeri arasında kalınlık katsayısı

E_2 = alt temel rijitlik modülü (N/mm^2)

E_3 = taban zemini rijitlik modülü (N/mm^2)



Şekil 3.4 Taban zemininin veya Bağılayıcısız temel malzemelerinin dinamik modülünün belirlenmesi

3.2.2.5 Bitümlü Malzemeler

Bitümlü karışımların tipleri değişken ve sınırsızdır. Ancak , yapısal tasarım amacı için üç değeri önem taşımaktadır. Bu üç değer, kısa yükleme süresindeki karışımın rijitliği, dinamik rijitlik modülü S_{MIX} ve yorulma karakteristiğidir.

Üstyapının kalınlığı rijitlik modülü ve yorulma karakterine göre belirlenir. Karışımın rijitlik modülü S_1 ve S_2 , yorulma karakterleri F_1 ve F_2 kodlarıyla ifade edilmektedir. Bu sınıflandırmada bitümlü bağlayıcının 50 ve 100 penetrasyon derecesine göre değerlendirilir.

SPDM 1978 %2'den - %30'a kadar olan CBR değeriyle alt temel özelliklerini göz önünde bulundurarak ve asfalt karışımının değişkenlerini 8 standart karışım tipiyle sınırlandırarak muhtemel seçenekleri ortaya koymuştur. Calessen ve diğ. (1977)

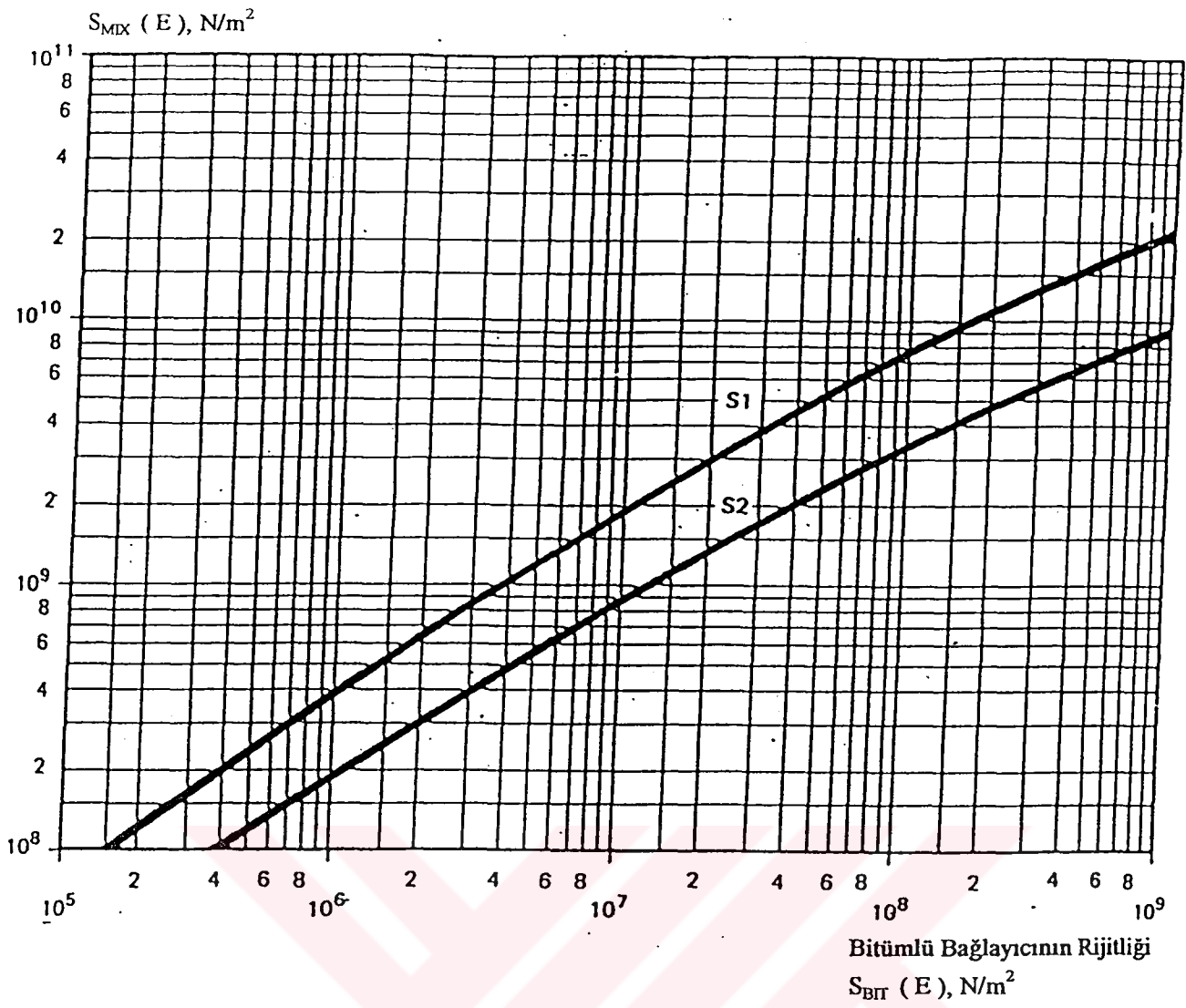
Sonuç olarak Shell tasarım yönteminde; $S_1 - F_1 - 50$, $S_1 - F_1 - 100$, $S_1 - F_2 - 50$, $S_1 - F_2 - 100$, $S_2 - F_1 - 50$, $S_2 - F_1 - 100$, $S_2 - F_2 - 50$, $S_2 - F_2 - 100$ olmak üzere 8 çeşit karışım kodu bulunmaktadır.

Genel prensip olarak üstyapı boyutlandırılırken bitümlü tabakalar tek bir tabaka olarak düşünülmüştür.

-Bitümlü Karışımın Rijitliği

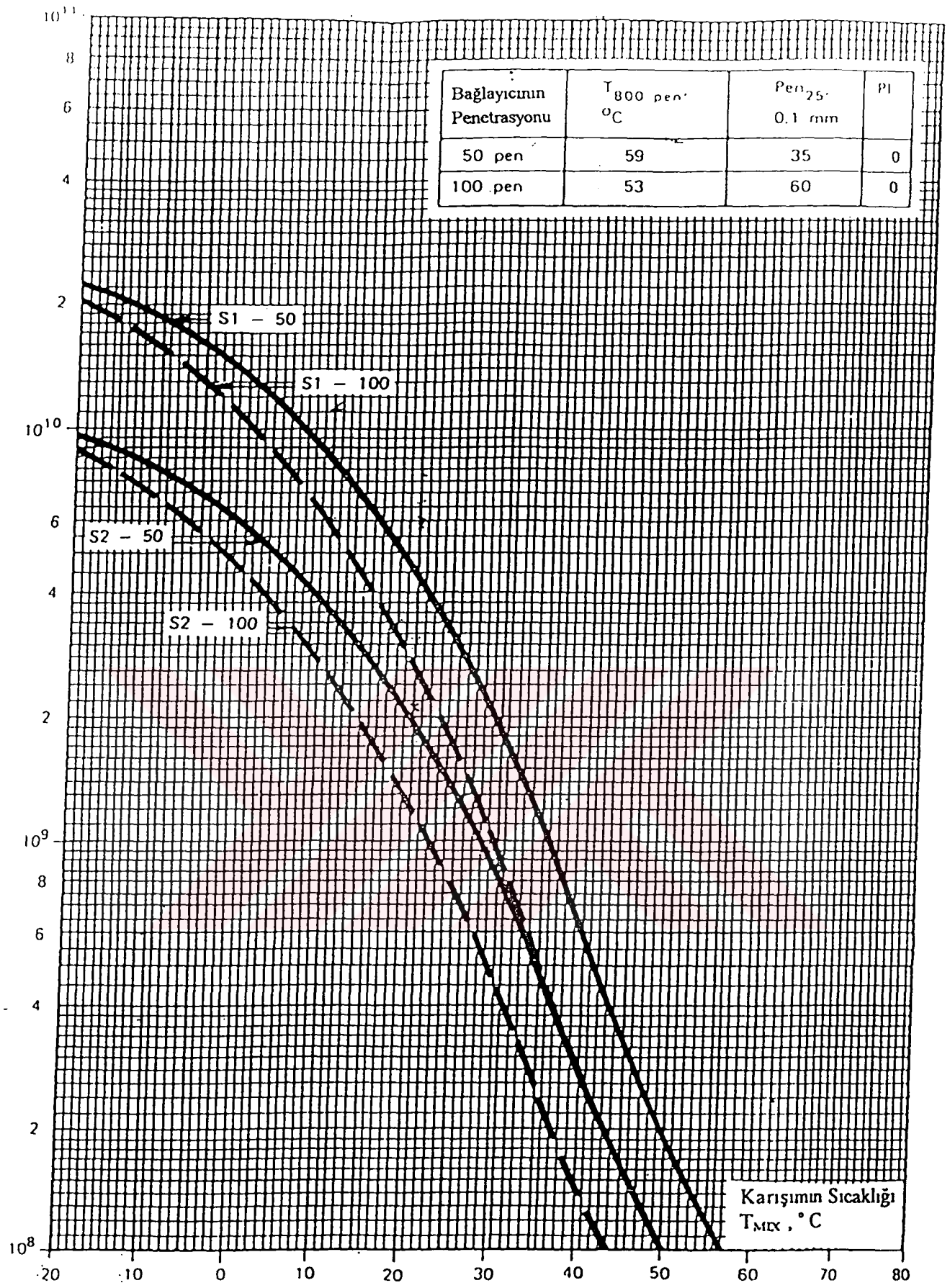
Bitümlü karışımın rijitlik değerinin 10^8 ila 5×10^{10} N / m² değerleri arasında değiştiği kabul edilmektedir.SPDM de tasarım yükleme süresi 0,02 saniye ve ortalama taşıt hızını 50 – 60km/ saat alınmıştır. Bitümlü bağlayıcının 25 °C 'deki 100 ve 50 penetrasyon derecesi yapı tasarımı için alınmaktadır.

İki farklı rijitlik eğrisi için yapısal kalınlık fonksiyonu hazırlanmıştır. Şekil 3.5 'de Karışımın Rijitlik Modülü S_{MIX} , Bitümün Rijitlik Modülü S_{BIT} ile S_1 ve S_2 arasındaki fonksiyon verilmiştir. Görülmektedir ki, S_1 ve S_2 tasarımı doğrudan asfalt karışımı ile ilişkili değildir.



Şekil 3.5 Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü S_{MIX} , Bitümlü Bağlayıcının Rijitlik Modülü S_{BIT} ile S_1 ve S_2 İlişkisi

Aynı şekilde 0,02 saniye yükleme süresi için, Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü S_{MIX} , Bitümlü Karışımın Sıcaklığı T_{MT} ile S_1 ve S_2 arasındaki ilişki Şekil 3.6 'da verilmektedir.



Şekil 3.6 Bitümlü Karışımın Rijitlik Modülü S_{MTX} , Bitümlü Karışımın Sıcaklığı T_{MTX} ile S_1 ve S_2 İlişkisi

Grafikleri verilmiş olan S_1 ve S_2 eğrileri karakterize ettiği karışım tipleri aşağıda verilmiştir.

Burada;

S_1 : ortalama agrega, bitüm ve boşluktan oluşmuş yoğun temel tabakalı karışımı karakterize etmektedir.

S_2 : yüksek boşluklu, düşük bitümlü veya yüksek bitüm , az agregalı karışımı karakterize etmektedir.

-Bitümlü Karışım Yorulması

SPDM' de temel laboratuvar ölçümlerinde farklı asfalt karışımlarında, tasarım amaçlı olarak iki karakteristik yorulma eğrisi verilmiştir. Bu eğriler F_1 ve F_2 değerleriyle ifade edilmiştir.

SPDM'de F_1 için Şekil 3.7 ve F_2 için Şekil 3.8 'de farklı gerilme uygulamalarındaki durumları verilmiştir. F_1 ve F_2 arasındaki farklılık da Şekil 3.9'da verilmektedir.

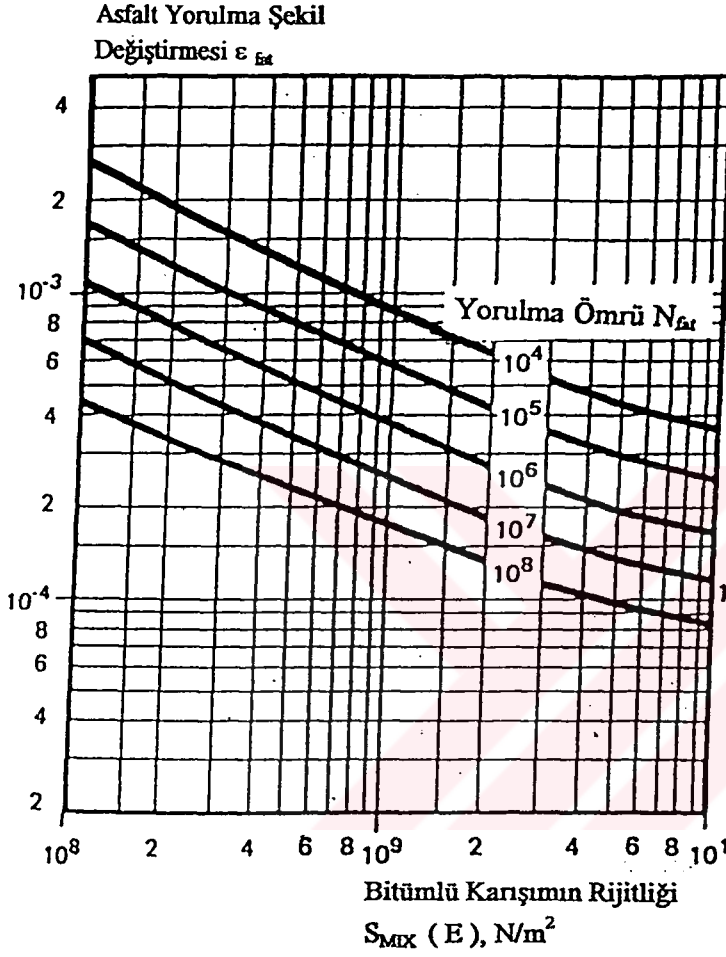
Bu eğriler rijitlik eğrilerine benzemektedir. Yorulma performans karakteristik eğrileri olan. F_1 ve F_2 asfalt karışım özellikleriyle doğrudan ilgili değildir.

Burada;

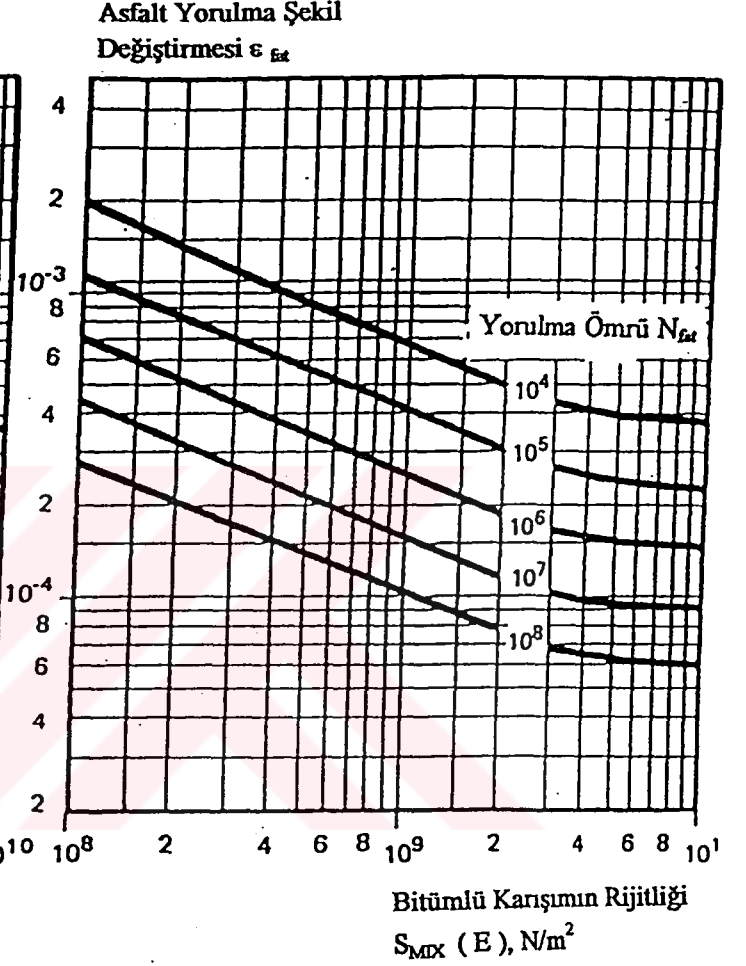
F_1 : orta bitümlü ve boşluk içerikli çok temel tabakalı karışımı karakterize etmektedir.

F_2 : yüksek oranlı boşluk içeren karışımı karakterize etmektedir.

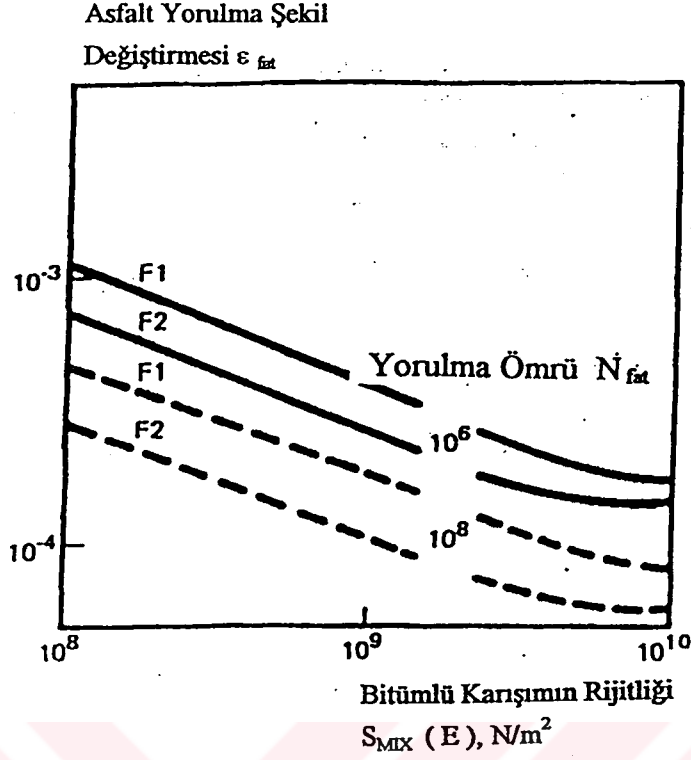
Bir yapı tasarımında karışım için mutlaka bu iki değerden biri seçilir. Eğer karışımın rijitliğine ve yorulma karakteristiklerine karar verilemiyorsa, mutlaka bir seçim yapılır ve güvenli bölgede kalınır.



Şekil 3.7 Asfalt Yorulma Karakteristik
 F_1 Eğrisi için Asfalt Yorulma Şekil
Değiştirme, Karışım Rijitliği İlişkisi



Şekil 3.8 Asfalt Yorulma Karakteristik
 F_2 Eğrisi için Asfalt Yorulma Şekil
Değiştirme, Karışım Rijitliği İlişkisi



Şekil 3.9 Asfalt Yorulma Karakteristik F_1 ve F_2 Eğrisi için Asfalt Yorulma Şekil Değiştirme, Bitümlü Karışımın Rijitliği İlişkisi

3.2.3 Yapısal Tasarım Adımları

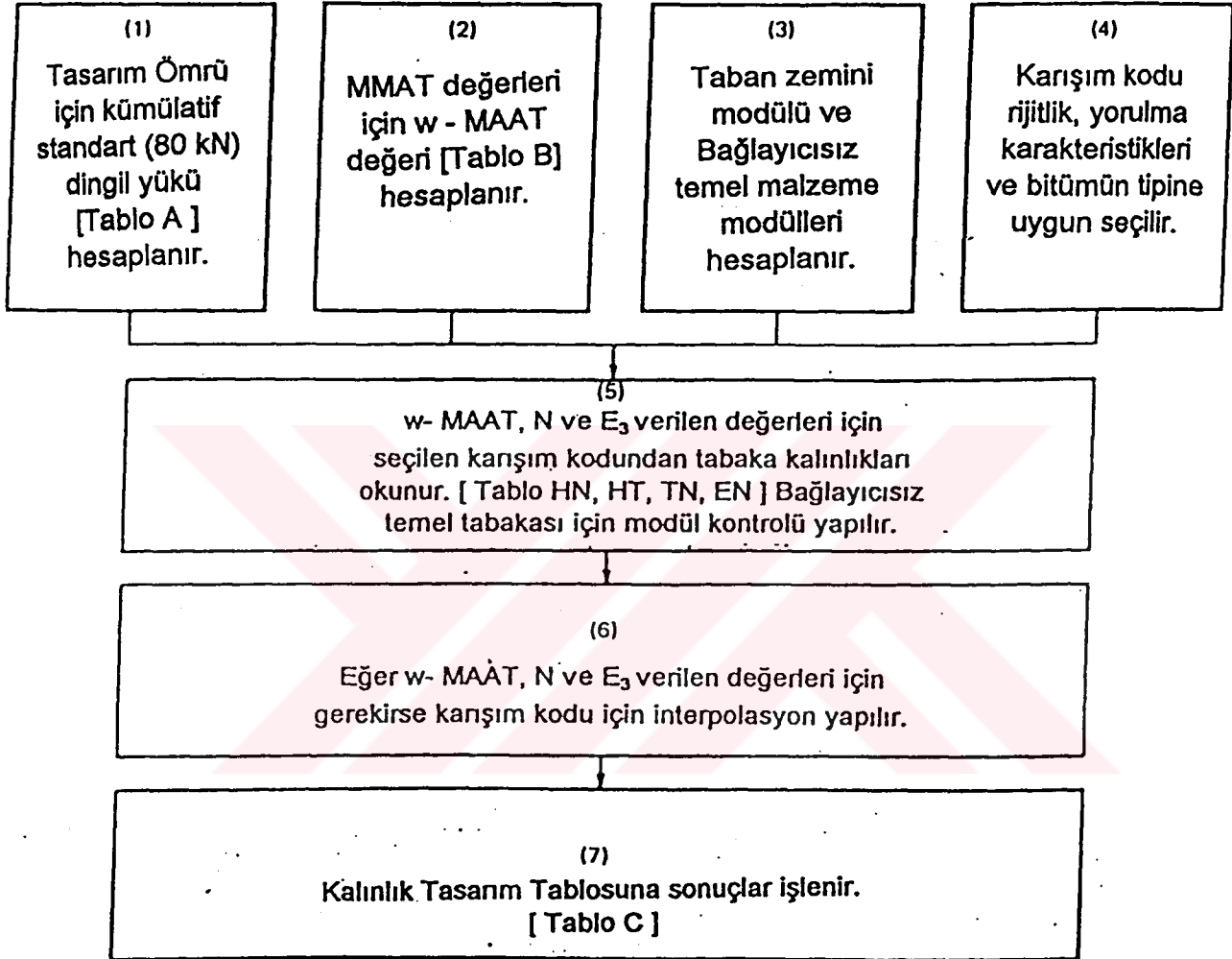
Shell analitik tasarım yöntemi üstyapı tasarımı sırasında Şekil 3.10 ' da verilmiş olan Genel Tasarım Akış Şeması 'nı izler. Genel Tasarım Akış Şeması 7 adımdan oluşmaktadır.

Adım I: Tasarım ömrü için kümülatif standart (80 kN) dingil yükü hesaplanır,

SPDM 'de verilen Dingil Yüğü Dönüştürme Tablosu - Tablo A kullanılarak hesap yapılır. Tablo 3.3 'de Dingil Yüğü Dönüştürme Tablosu - Tablo A verilmiştir.

Adım II: MMAT değerleri için w-MAAT değeri hesaplanır,

SPDM 'de verilen Ağırlıklı Yıllık Sıcaklık Tablosu - Tablo B kullanılarak hesap yapılır. Tablo 3.4 'de Ağırlıklı Yıllık Sıcaklık Tablosu -Tablo B verilmiştir



Şekil 3.10 Genel Tasarım Akış Şeması

Tablo 3.3 Dingil Yüğü Dönüştürme Tablosu – Tablo A

(1) Dingil Yüğü L, kN	(2) Ticari Araç Sayısı dingil/şerit/gün	(3) Eşdeğerlik Faktörü n_e	(4) = (2) x (3) Eşdeğer Standart 80 kN dingil sayısı N_e
(5) Toplam Ticari Dingil Sayısı /şerit/gün W_d :		(6) Toplam Eşdeğer Standart 80 kN Dingil Sayısı /şerit/gün N_d :	
		(7) / yıl N_y :	
(8) Yıllık trafik artış oranı b, %		(10) Trafik Yüğü Artış Faktörü g:	
(9) Üstyapının Tasarım Ömrü B, yıl			
(11) = (7) x (10) Toplam Eşdeğer Standart 80 kN Dingil Sayısı /şerit N:			

$$(3) \quad n_e = 2.4 \times 10^{-8} \times L^4$$

$$(6) \quad N_d = \sum N_e$$

$$(7) \quad N_y = N_d \times (\text{günlük trafik/yıl})$$

$$(10) \quad g = \sum_{i=1}^B (1 + b/100)^i$$

$$(11) \quad N = N_y \times g$$

Tablo 3.4 Ağırlıklı Yıllık Ortalama Sıcaklık Tablosu - Tablo B

(1) Aylar	(2) MMAT, °C	(3) Ağırlık Faktörü
Ocak		
Şubat		
Mart		
Nisan		
Mayıs		
Haziran		
Temmuz		
Ağustos		
Eylül		
Ekim		
Kasım		
Aralık		
(4) Toplam Ağırlık Faktörü		
÷ 12		
(5) Ortalama Ağırlık Faktörü		
(6) w - MAAT, °C değeri		

Adım III: Taban zemini modülü ve bağlayıcısız temel malzeme modülü bulunur.

Taban zemini modülü CBR testi sonucundan hesaplanır. CBR test sonucunun elde edilememesi durumunda Şekil 3.4 kullanılır.

AdımIV: Karışım kodu rijitlik, yorulma karakteristikleri ve bitümün tipine uygun seçilir.

Asfalt karışım kodu Shell analitik tasarım yönteminde belirtilen 8 karışım kodundan uygun olan bir tanesi belirlenir.

Adım V: w -MAAT, N ve E_3 verilen değerleri için seçilen karışım kodundan tabaka kalınlıkları okunur.Bağlayıcısız temel tabakası için modül kontrolü yapılır.

Seçilen karışım koduna göre verilen değerler Shell analitik tasarım yönteminde verilmiş olan Tablo HN, Tablo HT, Tablo TN ve Tablo EN kullanılarak tabaka kalınlıkları saptanır ve tabaka kalınlıkları için kontrol yapılır. SPDM 296 adet tasarım tablosu sunmaktadır. Tasarımda veriler gereğince kullanılacak tablo numaraları saptanmasında TabloHN için Tablo A.1, Tablo HT için Tablo A.2, Tablo TN için Tablo A.3 ve Tablo EN için Tablo A.4 Ek A'da verilmiştir.

Adım VI: Eğer w -MAAT, N ve E_3 verilen değerleri için gerekirse seçilen karışım kodu için interpolasyon yapılır.

Adım VII: Kalınlık Tasarım Tablosu'na sonuçlar işlenir.

Temel tasarım akış şemasının son adımında üstyapının tasarımı sırasında kullanılan veriler SPDM' de verilen Kalınlık Tasarım Tablosu – Tablo C'ye işlenir.Kalınlık Tasarım Tablosu – Tablo C Tablo 3.5'de verilmiştir.

Kalınlık Tasarım Tablosu 4 ana kısma ayrılmıştır. 1. ana kısım üstyapı tasarımı için verilmiş parametreleri içerir. 2. ana kısım bağlayıcısız temel malzeme özellikleri ve tanımını içerir. 3. ana kısım SPDM yönteminde kullanılan HN, HT, TN, EN tablolarıyla toplam tabaka asfalt kalınlığı hesaplanır. 4. ana kısımda alt temel kalınlığı bulunur.

Tablo 3.5 Kalınlık Tasarım Tablosu – Tablo C

Tasarım verileri

(1) Tablo A : Standart Dingil (80 kN) Sayısı N
(2) Tablo B : w - MAAT , ° C
(3) Taban Zemini Modülü E_3 , N/m ²

Uygun bağlayıcısız temel malzemeleri

(4) Malzeme Tanımı	(5) Elde edilebilir dinamik modül 10^8 N/m ²

Kalınlık Değerleri Tablo HN, HT, TN, EN

Seçilen Üstyapı	1	2	3	4	5	6
-----------------	---	---	---	---	---	---

(6) Karışım Tanımı	(7) Karışım Kodu	(8) Toplam Asfalt Kalınlığı h_1 , mm					

(9) Toplam Bağlayıcısız Tabaka Kalınlığı h_2 , mm						
---	--	--	--	--	--	--

Bağlayıcısız Tabakanın Bölünmesi Tablo HN, HT

(10) Malzeme	(11) Modül E_{2-1} 10^8 N/m ²	(12) Alt tabaka kalınlıkları h_{2-1} , mm					
		h_{2-1}					
		h_{2-2}					
		h_{2-3}					
		h_{2-4}					

3.3 Shell Tasarım Yöntemi ile Takviye Tabakası Tasarımı*

Shell analitik tasarım yöntemine göre, takviye tabakası tasarımı için var olan üstyapının malzeme özellikleri ve kalınlığı hakkında bilgiye sahip olunması gerekmektedir. Üstyapının tasarımı sırasında verilmiş asfalt modülü ve bağlayıcısız temel tabaka kalınlıkları için taban zemini modülü ve asfalt tabakası efektif kalınlık değerleri bilinmelidir.

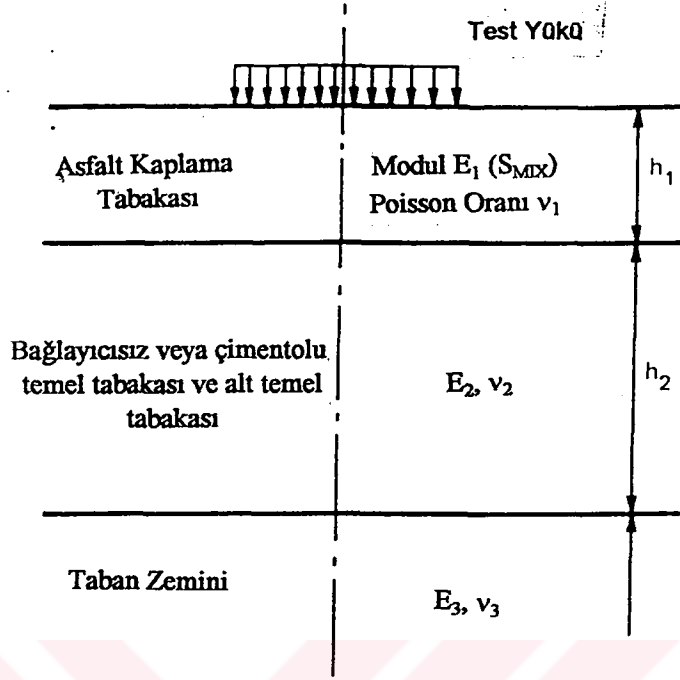
Trafik yükleri ve çevre koşulları nedeni ile bozulmaya başlayan asfalt kaplamalı yollar, defleksiyon metodu ile değerlendirilebilir ve gerekli takviye tabakası kalınlıkları bulunabilir. Ayrıca bu metodla üstyapıların kalan ömürleri de hesaplanabilir. Üstyapı defleksiyonlarının ölçülmesi için bir çok aletler geliştirilmiştir. (K.E.Ü.P.R., 1995)

Taban zemini modülü ve asfalt kaplaması efektif kalınlık değerlerinin tahmini değerlerini üstyapıdaki defleksiyon ölçümlerini kullanarak saptanır. Üstyapının defleksiyon değerleri ‘ Düşen Ağırlıklı Deflektometre – FWD (falling weight deflecotometer)’ ile ölçülür. Düşen ağırlıklı deflektometre üstyapının rutin değerlendirilmesine uygundur.

Üstyapının durumu düşen ağırlıklı deflektometre ile değerlendirilirken, yol üstyapısı çok katlı lineer elastik sistem olarak kabul edilir. Malzemeler homojen varsayılır ve Young elastisite modülü , Poisson oranı ile karakterize edilir. Test yükü durumu için incelenen üstyapı kesiti Şekil 3.11’ de verilmiştir.

Test yükü düzgün bir şekilde bir veya daha fazla dairesel alana yayıldığı ön görülmüştür. Üstyapının test yüküne tepkisi maksimum defleksiyon ve defleksiyon çanağının şekli ile karakterize edilmektedir. Defleksiyon çanağının şekli defleksiyon oranı Q_r ile verilir. Defleksiyon oranı; uygulanan test yükü δ_0 ile test yükünden r kadar uzaklıkta oluşan defleksiyon yükü δ_r değerinin test yüküne oranıdır.

* Bu bölümdeki bilgi, tablo ve şekiller SPDM 1978 ’ den alınmıştır.



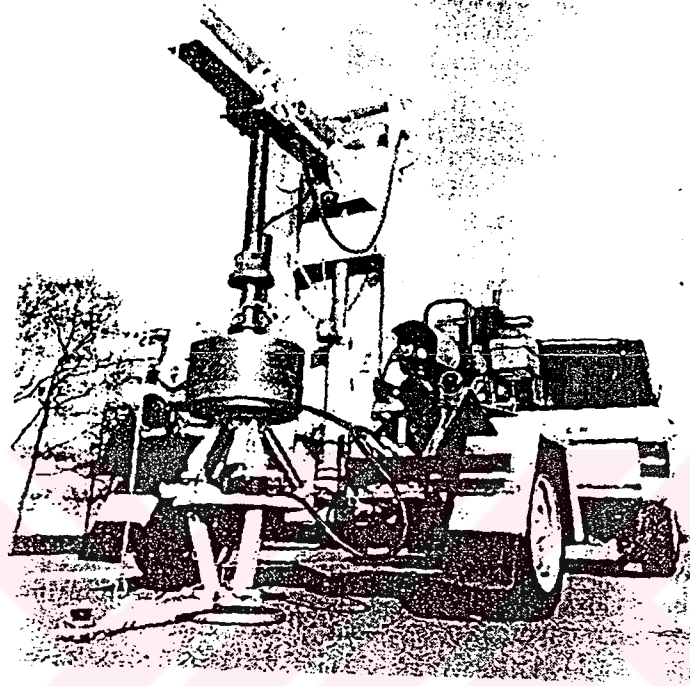
Şekil 3.11 Test Yüku için Üstyapı Kesiti

BISAR bilgisayar programı kullanımında, verilen deney yüku için tekrar belirlenen E_2 , h_2 , E_3 ve r değerleri için, E_1 , h_1 , Q_r ve δ_o değerleri arasındaki ilişkilerini gösteren hazırlanmış grafikler bulunmaktadır. Bu grafiklerdeki Q_r ve δ_o değerleri ölçülebilir veya üstyapıdan saptanabilir, tahmin edilebilir.

Düşen ağırlıklı deflektometre – FWD Şekil 3.12’de görölmektedir. Düşen ağırlıklı deflektometre ile yükleme durumu; üstyapı üzerine yerleştiren bir rijit dairesel plaka üzerine düşen bir kütle ile üstyapıya ani yükleme uygulanır. Düşen ağırlık deflektometre küçük bir römorka monte edilerek bir araç ile çekilebilir.

Üstyapıya düşen kütlenin ağırlığı 150 kg. ve maksimum kuvvet 60.000 N’ dur. Kütlenin düşme yüksekliği 400 mm., ani genişliği 28 ms. ve rijit dairesel plakanın çapı 300 mm’dir.

Defleksiyon ölçümü; üstyapının defleksiyon yüklenmiş bölgenin merkezinde ve bir veya iki yükten sabitleştirilmiş uzakta ortalama hızı güç çevirici ile ölçülür. Güç çeviricinin çapı 50 mm. ve yüksekliği 55 mm'dir. Operasyonda kullanılan frekans 1 –300 Hz. üzerindedir. Güç çeviricilere gelen bilgiler kayıt yapılarak defleksiyon ölçüm değerlendirilmesi yapılır.



Şekil 3.12 Düşen Ağırlıklı Deflektometre – FWD

3.3.1 Takviye Tabakası Tasarımı

Takviye tabakası tasarımı için üstyapının artakalan ömrü saptanması gerekir. Bu bölümde kullanılan ‘ ömrü ’ kelimesi standart dingil yükü uygulama sayısını ifade etmektedir.

Üstyapının artakalan ömrü, üstyapı tasarım ömrü (N_{D1}) değeri ile üstyapının hizmete açıldığı günden takviye tabakası yapılacak güne kadar taşıdığı standart dingil yükü sayısını veya test anında elde edilen standart dingil yükü (N_{A1}) değeri arasındaki farkla ifade edilir.

Üstyapının artakalan ömrü aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$N_R = N_{D1} - N_{A1} \quad (3. 5)$$

Burada;

N_R = üstyapının artakalan ömrü (ESAL)

N_{D1} = üstyapının orijinal tasarım ömrü (ESAL)

N_{A1} = üstyapının taşıdığı trafik data değeri (ESAL)

Yol üstyapısının orijinal tasarım ömrü tabaka kalınlıklarından ve defleksiyon ölçümleri değerlendirme modüllerinden saptanır. Tahmin edilen asfalt kaplama kalınlığı ve alt temel kalınlığı için standart dingil yükü saptamasında zemin modülü, yıllık hava sıcaklığı değişiminden ağırlık modülü ve karışım kodu kullanılır. Yol üstyapısının artakalan ömrü değeri bulunan tasarım ömrü ile taşınan trafik data değeri arasındaki değere bağlı olarak bulunur.

Üstyapının orijinal tasarım ömrü, tekerlek yol izleri arasındaki defleksiyon ölçümlerinden veya üstyapı üzerindeki zarar görmüş hız şeridi, ağır yol şeridi vb. noktalarda yapılan defleksiyon ölçümlerinden saptanır.

Eğer, tekerlek yol izleri arasında yapılan defleksiyon ölçüm değerlerinde kayda değer farklar bulunursa, bozulmaya neden olacak değer defleksiyon değeri olarak atanır ve takviye tabakası uygulaması başlatılır.

Eğer, defleksiyon ölçümlerinde kayda değer farklar bulunmuyorsa, trafik yükü durumu incelenir ve öyle karar verilir. Tahmin edilen artakalan ömür ile gelecekte beklenen trafik yükü arasındaki ilişki incelenir. Üstyapı üzerinde defleksiyon ölçümleri yapılarak üstyapı performans oranı saptanır ve tahmin edilen artakalan ömür ile gelecekte beklenen trafik yükü kesişleştirilerek takviye tabakası uygulaması başlatılır.

Üstyapının orijinal tasarım ömrünü tahmin etmek için Tablo EN kullanılır. Benzer biçimde w- MAAT ve alt temel tabakası kalınlık değeri için Tablo HT ve Tablo HN

kullanılır. Var olan üstyapının asfalt tabakası kalınlık değeri ve taban zemini modülü için orijinal tasarım ömrü Tablo EN'den faydalanılır.

Takviye tabakası tasarımı asfalt şekil değiştirme kriteri ile yönlendirilmişse, takviye tabakası tasarımı için seçilen asfalt karışımı var olan üstyapı ile aynı olmalıdır. Çünkü var olan üstyapıda meydana gelmiş maksimum asfalt defleksiyonu takviye tabakası uygulaması sonrası yine aynı noktada oluşacaktır.

Üstyapının tasarım ömrü taban zemini defleksiyonu ile yönlendirilmişse, gelecekte beklenen trafik (N_{A2}) değerinden takviye tabakası kalınlık değeri saptanır. Tasarım ömrü (N_{D1}) değeri asfalt şekil değiştirme kriteri ile yönlendirilen tasarım eğrilerinden bulunur. Burada hesaplanan takviye tabakası değeri eksi çıkıyorsa, uygulanabilir minimum takviye tabakası veya yeterli basit düzey yapılır.

SPDM takviye tabakası tasarımı için Takviye Tabakası Tasarım Tablosu - Tablo Q hazırlamıştır. Tablo 3.6'da Takviye Tabakası Tasarım Tablosu – Tablo Q verilmiştir.

3.3.2 Takviye Tabakası Tasarım Adımları

Takviye tabakası tasarım adımları, SPDM 'de verilmiş olan Takviye Tabakası Tasarım Tablosu – Tablo Q takip edilerek gerçekleştirilir.

Adım I: Var olan üstyapı (Q Tablosu (3), (7), ve (8). adımlar)

var olan üstyapının karışım kodunun tahmini ve efektif tabaka kalınlığı h_1 ve zemin modülü E_3 defleksiyon ölçümlerinden saptanır.

Adım II: Diğer gerekli veriler (Q Tablosu (1),(2),(4),(5),(6) ve (9). adımlar.)

Q Tablosuna w- MAAT, taşınan trafik data (N_{A1}) ve beklenen trafik (N_{A2}) değerleri işlenir.

Tablo 3.6 Takviye Tabakası Tasarım Tablosu - Tablo Q

Tasarım Verileri

(1) Üstyapı Kesiti				
(2) w- MAAT , °C değeri				
(3) var olan üstyapının karışım kodu				
(4) taşınan trafik data N_{A1} değeri				
(5) Beklenen trafik	yıl	yıl	yıl	yıl
(6) $N = N_{A2}$ değeri				

Üstyapı Özellikleri

(7) Efektif asfalt kalınlığı $h_{1\text{eff}}$, mm				
(8) Zemin Modülü E_3 , N/m ²				
(9) Alt temel tabakası kalınlığı h_2 , mm				
(10) Orijinal tasarım ömrü N_{D1}				
(11) Üstyapının artakalan ömrü N_R				
(12) Takviye Tabakası gereksimi	yıl	yıl	yıl	yıl

Takviye Tabakası zemin gerilme kriterine göre

(13) Gelecek tasarım ömrü N_{D2}				
(14) Toplam asfalt kalınlığı N_{D2} ve h_1 , mm için				
(15) Takviye tabakası kalınlığı h_O , mm				
(16) Takviye tabakası kontrolü asfalt gerilmesi için [(17) - (21)]				

Takviye Tabakası asfalt gerilme kriterine göre

(17) Orijinal tasarım ömrü asfalt gerilmesi için N_{D1}				
(18) Artakalan üstyapı ömrü N_R				
(19) Gelecek tasarım ömrü N_{D2}				
(20) Toplam asfalt kalınlığı N_{D2} ve h_1 , mm için				
(21) Takviye tabakası kalınlığı h_O , mm				

Adım No: (11) ve (18) $N_R = N_{D1} - N_{A1}$ (17) Tahmini N_{D1} değeri Tablo HN ve HT'den(13) $N_{D2} = N_{A2}$ (19) $N_{D2} = N_{D1} \times N_{A2} / N_R$ (15), (21) $h_O = h_1 - h_{1\text{eff}}$ veya $N_R = 0, N_{D2} = N_{A2}$

Adım III: Diğer verilerin bulunması (Q Tablosu (10),(11) ve (12). adım.)

üstyapının orijinal tasarım ömrü (N_{D1}) işlenir, tasarım için zemin gerilme kriteri veya asfalt gerilme kriterinden birisi seçilir. Üstyapının artakalan ömrü hesaplanır ve takviye tabakası yapımı için karar verilirse devam edilir.

Adım IV: Takviye tabakası tasarımı zemin gerilme kriterini temel alırsa, (Q Tablosu (13) ve (16). adımlar arası)

üstyapının gelecekteki tasarım ömrü (N_{D2}) gelecekteki data dan hesaplanır. Gelecekteki tasarım ömrü için orijinal tasarım ömrü hesabındaki tablolar kullanılarak toplam asfalt kalınlığı h_1' hesaplanır. Takviye tabakası kalınlık değeri $h_o = h_1' - h_{1eff}$ olarak bulunur. Takviye tabakası kalınlık değeri negatif çıkması durumunda uygulanabilir minimum yeterli tabaka kalınlığı uygulanır.

Adım V: Takviye tabakası tasarımı asfalt gerilme kriterini temel alırsa, (Q Tablosu (17) ve (21). adımlar arası)

asfalt gerilmesini temel almış tasarım eğrilerinden açık biçimde üstyapının orijinal tasarım ömrü bulunur. Q Tablosunda (19). adımla verilen formülle gelecekteki tasarım ömrü (N_{D2}) hesaplanır. Gerekli olan takviye tabakası kalınlığı saptanır.

Adım VI: Maksimum takviye tabakası kontrolü yapılır.

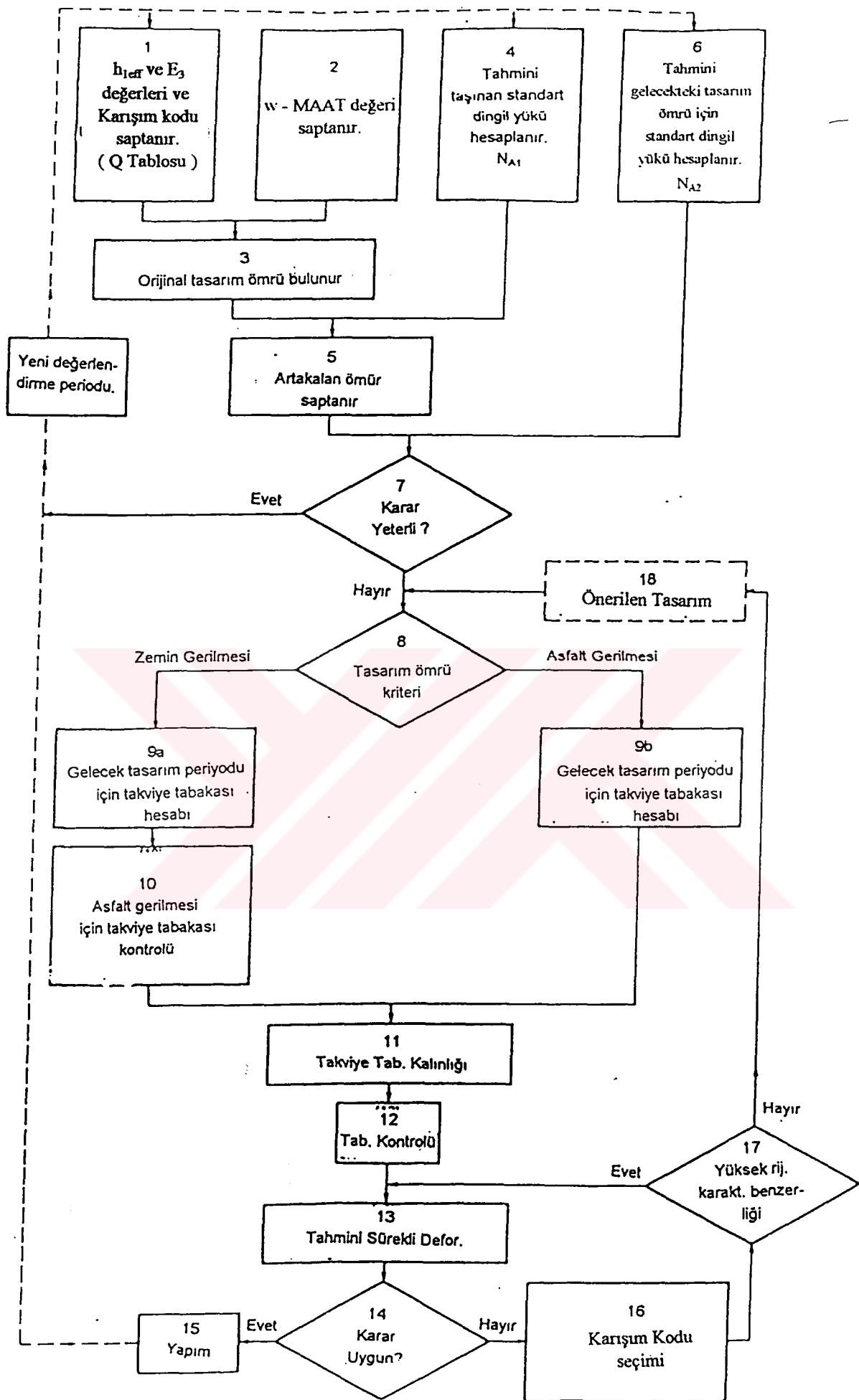
Takviye tabakası kalınlığı, eski üstyapı saptanmış değerinden büyük olamaz bu nedenle kalınlık kontrolü yapılır.

Adım VII: Sürekli defleksiyonlar

beklenen sürekli defleksiyonların kontrolü yapılır.

Takviye tabakası kalınlık değeri belirlenirken, asfalt gerilme kriteri göz önüne alınırsa (13) ile (16). Adımlar arası Q Tablosunda ihmal edilir. Burada tabaka kalınlığı değeri için diğer kriter olan zemin gerilme kriteri kullanılırsa mutlaka takviye tabakası belirlenmesinde asfalt gerilmesi için kontrol yapılır. Q Tablosu (16). adım. [(17) – (21)]

Tablo 3.7'de Temel Takviye Tabakası Tasarımı Karar Şeması verilmiştir.



4. ANALİTİK – AMPİRİK YÖNTEM İLE TAKVİYE TABAKASI TASARIMI [AASHTO 93 YÖNTEMİ]

4.1 Giriş

Analitik – ampirik yöntemlerden biri olan AASHTO 93 Yol Üstyapısı Tasarım Yöntemi, takviye tabakası tasarım adımlarındaki değişikliklerle 1986 yılında iki cilt olarak yayınlanan AASHTO 86 analitik – ampirik tasarım yönteminden ayrılmıştır.

AASHTO 93 Yol Üstyapısı Tasarım Yöntemi, Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Görevlileri Birliği (American Association of State Highway and Transportation Officials) tarafından Illinois eyaletinin Ottawa kentinde yapılan deneme yolu sonuçlarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Deneme yolu 1956 –1958 yılları arasında inşa edilmiş olup yolda çeşitli tip ve kalınlıkta kaplamalar ve küçük açıklıklı köprüler mevcuttur.

Yolun, farklı dingil yüklerini içeren trafik altındaki davranışı ve hizmet düzeyi 2 yıl boyunca gözlenmiştir. Ölçümler sonunda elde edilen veriler bilgisayarlardan da yararlanmak suretiyle değerlendirmeye tabi tutulmuş, mevcut diğer projelendirme yöntemleri ile teorik bilgileri destekleyen yeni bir projelendirme yöntemi önerilerek ‘ AASHO Projelendirme Geçici Rehberi ’ adı altında 1961’ de yayınlanmış ve 1972’ de rehberin ikinci baskısı, 1986’ da büyük yeniliklerle üçüncü baskısı, 1993’ de takviye tabakası tasarım adımlarındaki değişikliklerle tek cilt olarak dördüncü baskısı yapılmıştır.

4.2 AASHTO 93 Yöntemi ile Esnek Üstyapı Tasarımı *

AASHTO 93 analitik – ampirik tasarım yönteminde esnek üstyapı tasarımı için gerekli veriler dört bölüm altında toplanmıştır.

- Tasarım değişkenleri
- Performans ölçütü
- Yapı tasarımı için malzeme özellikleri
- Üstyapı yapısal özellikleri

4.2.1 Tasarım Değişkenleri

Tasarım değişkenleri zaman sınırlamaları, trafik, güvenilirlik ve çevresel etkiler olarak dört bölümde incelenecektir.

4.2.1.1 Zaman Sınırlamaları

Üstyapı tasarımı için ‘Performans Periyodu’ ve ‘Analiz Periyodu’ değerlerinin seçilmesi gerekmektedir. Her iki değerin bilinmesi gerek yüksek hacimli gerekse düşük hacimli yollar için önemlidir.

Performans Periyodu; yolun hizmete açıldığı tarihten ilk takviye tabakası yapılacağı tarihe kadar geçen süreyi veya birden fazla takviye yapılmışsa, takviye süreleri arasındaki süreleri belirtir. Yol üstyapısının başlangıç servis yeteneği indeksinden seçilen son servis yeteneği indeksine düştüğü ana kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Burada minimum ve maksimum performans periyodu ile karşılaşırız. Minimum performans periyodu; üstyapının hizmet kalitesinin biteceği en kısa süreyi ifade eder. Maksimum performans periyodu; kullanıcının öngörülen servis derecesine göre bekleyebileceği en uzun süreyi ifade eder.

* Bu bölümdeki bilgi ,tablo ve şekiller AASHTO Guide for Design of Pavement Structure 1993 – AASHTO 93’ den alınmıştır.

Analiz Periyodu; performans periyotlarının toplamı olarak ifade edilir. İlk performans periyodu ile devamında yapılan bir veya daha fazla takviyeyi içerir. Tablo 4.1’ de AASHTO 93 Yönteminde önerilen Analiz Periyotları verilmiştir.

Tablo 4.1 AASHTO 93 Yönteminde önerilen Analiz Periyotları

Karayolu Şartları	Analiz Periyodu (yıl)
Yüksek hacimli kent içi yollar	30 – 50
Yüksek hacimli kentler arası yollar	20 – 50
Düşük hacimli kaplamalı yollar	15 – 25
Düşük hacimli stabilize yollar	10 – 20

4.2.1.2 Trafik

AASHTO 93 rehberinde trafik tahminleri trafik analiz süresi için yapılır. Karayolu üzerinde seyreden taşıtlar otomobil, otobüs, kamyon ve treyler olmak üzere dört gruba ayrılırlar. Her bir trafik grubu için belirlenen trafik sayıları taşıt eşdeğerlik faktörleri ile çarpılarak 8,2 ton (18000 libre veya 18 kip) eşdeğer standart dingil sayısına (ESAL) dönüştürülür ve toplamaları alınır.

Proje şeridindeki trafik (w_{18}) değerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$w_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18} \quad (4.1)$$

Burada;

D_D = yön dağıtma faktörüdür, trafiği batı – doğu, kuzey – güney vb. şekilde dağıtır. Genellikle 0,50 değerini almasına rağmen bazen trafiğin durumuna göre 0,30 ila 0,70 arasında değer alabilir.

D_L = şerit dağıtma faktörüdür, trafiği şeritlere göre dağıtır. Tablo 4.2’de AASHTO 93 ’e göre Şerit Dağıtma Faktörü verilmiştir.

$\hat{w}_{18}$ = iki yöndeki toplam 18 kip (8,2 ton) eşdeğer standart dingil (ESAL) tekerrür sayısı olarak ifade edilir.

Tablo 4.2 Şerit Dağıtma Faktörü

Bir yöndeki şerit sayısı	18 – kip şerit dağıtma faktörü (%)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

4.2.1.3 Güvenilirlik

AASHTO 93’de F_R ile tasarım güvenilirlik faktörü referans edilmiştir Güvenirliliğin genel tanımları şunlardır;

- Güvenilirlik servis yeteneği indeksinde beklenmeyen kayıplar sonucu bakım ihtimalinin gerekli olabileceğini dikkate alır.
- Güvenilirlik üstyapının trafik yüklerine minimum bir dirençle karşı koyması hali ihtimalini göz önüne alarak oluşacak aksaklıkları gidermeye çalışır.
- Güvenilirlik üstyapının mevcut koşullar altında beklenen performansı gösterememe ihtimalini dikkate alarak bu gibi durumlarda yolun beklenen hizmeti verememesi halini ortadan kaldırır.
- Güvenilirlik, üstyapının ömrü süresince doğabilecek, gözle görülebilecek özel bir takım aksaklıklarında olabileceği göz önünde bulundurulur.
- Güvenilirlik, çevre şartlarında değişiklikler olması ve fazla trafik doğması gibi durumlarda da güvenilirlik faktörü işlevini yerine getirmeye çalışır.

AASHTO 93’de yönteminde önerilen güvenilirlik seviyesi oranları Tablo 4.3’de verilmiştir.

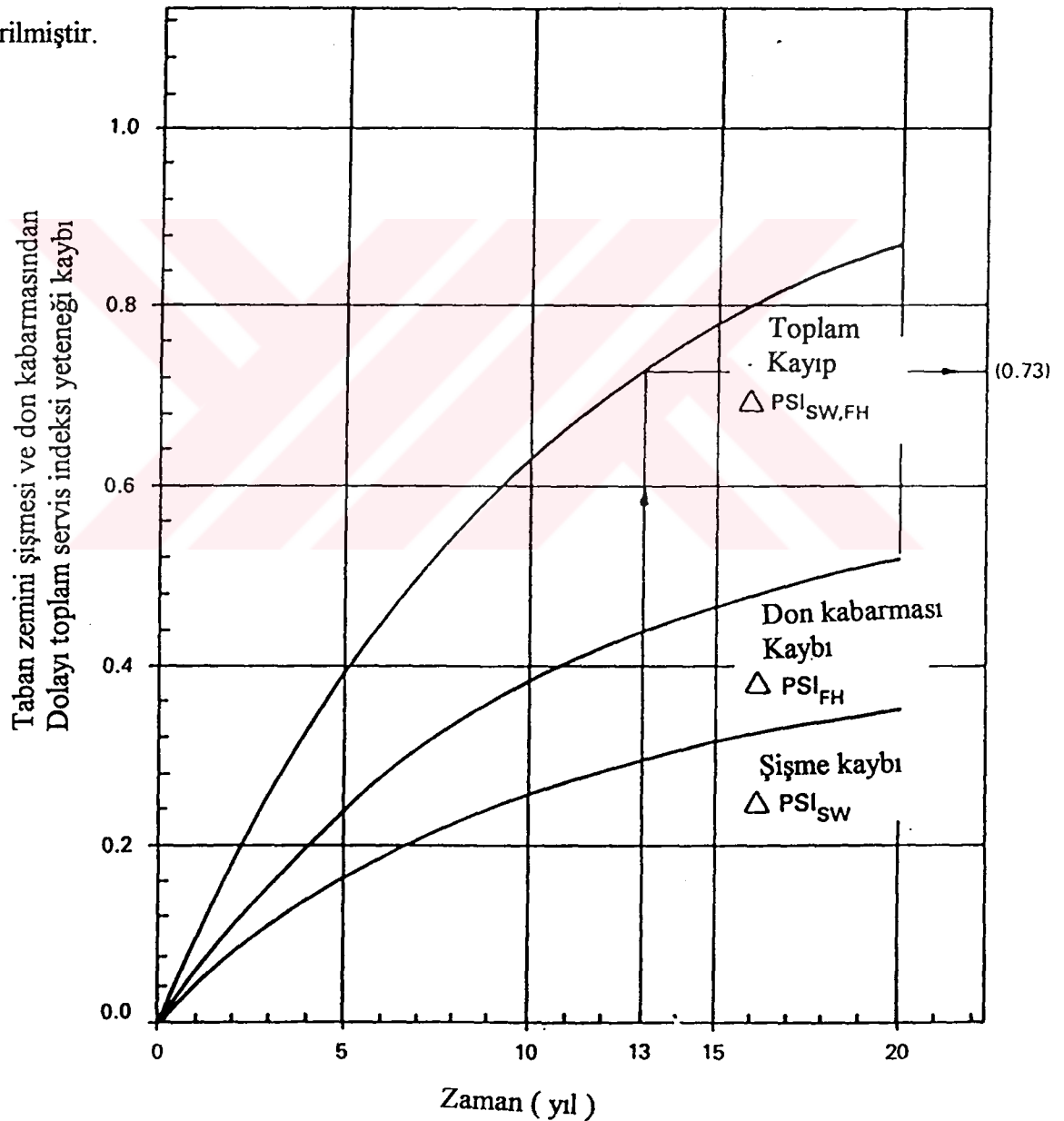
Tablo 4.3 AASHTO 93 Yönteminde önerilen Güvenilirlik Seviyesi Oranları (R)

Yol Tipi	Kent içi	Kentler arası
Otoyollar ve devlet yolları	85 – 99.9	80 – 99.9
İl yolu ve ana arterler	80 – 99	75 – 95
Toplama yolları	80 – 95	75 – 95
Mahalli veya Tali yollar	50 – 80	50 – 80

4.2.1.4 Çevresel etkiler

Çevre koşulları üstyapı performansını farklı yollarla etkilemektedir. Sıcaklık ve nem değişiklikleri gerilme, dayanıklılık, üstyapının yük taşıma kapasitesi ve taban zemini malzemeleri üzerinde değişiklikler meydana getirmektedir. Bir başka önemli etki de, taban zemini şişmesi, üstyapı şişmesi, don kabarması gibi doğrudan oluşan tesirler de üstyapı servis indeksine etki eder.

Servis yeteneği indeksi kaybının belli bir oranını teşkil eden taban zemini şişmesi ve don kabarması olayıdır. Taban zemini şişmesi ve don kabarmasından dolayı servis yeteneği indeksi kaybı arasındaki bağıntı Şekil 4.1’de ve aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.



Şekil 4.1 Taban Zemini Şişmesi ve Don Kabarmasından dolayı Toplam Servis Yeteneği Kaybı İlişkisi

$$\Delta \text{ PSI}_{\text{SW, FH}} = \Delta \text{ PSI}_{\text{FH}} + \Delta \text{ PSI}_{\text{SW}} \quad (4.2)$$

Burada;

$\Delta \text{ PSI}_{\text{SW, FH}}$: taban zemini şişmesi ve don kabarmasından dolayı servis yeteneği indeksi toplam kaybı

$\Delta \text{ PSI}_{\text{FH}}$: don kabarmasından dolayı servis yeteneği indeksi kaybı

$\Delta \text{ PSI}_{\text{SW}}$: taban zemini şişmesinden dolayı servis yeteneği indeksi kaybı

4.2.2 Performans Kriteri

4.2.2.1 Servis Yeteneği

Servis yeteneği, bir üstyapının yüksek hız ve hacimdeki trafiğe hizmet edebilme yeteneğidir. Servis yeteneği indeksi PSI değeriyle referans edilmiştir. Servis yeteneği derecesi için 0 ile 5 arasında değişen bir ölçek tespit edilmiştir. Üstyapı tasarımı sırasında başlangıç ve son servis yeteneği indeksinin seçilmesi gerekmektedir.

Servis yeteneği indeksi kaybı ile başlangıç servis yeteneği indeksi (p_o), son servis yeteneği indeksi (p_t) arasında aşağıdaki eşitlik verilmiştir.

$$\Delta \text{ PSI} = p_o - p_t \quad (4.3)$$

Başlangıç servis yeteneği indeksi AASHO deneme yolunda yapılan gözlemlerde esnek üstyapı için 4.2 değeri bulunmuştur. Son servis yeteneği indeksi tekrar yapımdan önce veya takviye tabakası yapımından önce kabul edilebilir en düşük değerdir. Yol tipi anayollar için 3.0 – 2.5 arası, daha düşük hacimli yollar için 2.0 değerini alır.

4.2.3 Yapı tasarımı için malzeme özellikleri

4.2.3.1 Taban zemini elastisite modülü

AASHTO T 274 'deki deney esasları kullanılarak, zemin örneğine uygulanan üç eksenli basınç deneyi sonunda taban zemini elastisite modülü bulunur. Aşağıda elastisite modülü hesabı için eşitlik verilmiştir.

$$M_R = \sigma_d / \varepsilon \quad (4.4)$$

Burada;

M_R = elastisite modülü

σ_d = deviator gerilme (σ_1 , σ_3)

σ_1 , σ_2 , σ_3 = asal gerilmeler

ε = birim şekil değiştirmedir.

Taban zemini elastisite modülü (M_R) değeri mevsimsel değişikliklerden etkilendiği için kuru ve ıslak mevsimlerde ayrı testler yapılarak elastisite modülü değeri ile nem oranı değeri arasındaki ilişki saptanır.

Taban zemini elastisite modülü (M_R) değeri bulunabilmesi için, Kaliforniya taşıma oranı (CBR) ile taban zemini elastisite modülü (M_R) arasındaki ilişki kullanılarak da saptanabilir. Bunun için aşağıda verilen eşitlikler kullanılır.

$$M_R = 107 \text{ CBR } (N/m^2) \quad (4.5a)$$

$$M_R = 1500 \text{ CBR} (lb/inc^2) \quad (4.5b)$$

$$M_R = 110 \text{ CBR } (kg/cm^2) \quad (4.5c)$$

4.2.3.2 Tabaka katsayıları

Bu bölümde, standart esnek üstyapının tasarımı için AASHTO yapısal tabaka katsayılarının (a_i) değeri tahmini tanımlanacaktır. AASHTO esnek üstyapı tabaka

katsayısı verilen malzemenin birim kalınlığının yapısal bileşeni olarak davranabilme yeteneğinin bir ölçüsüdür.

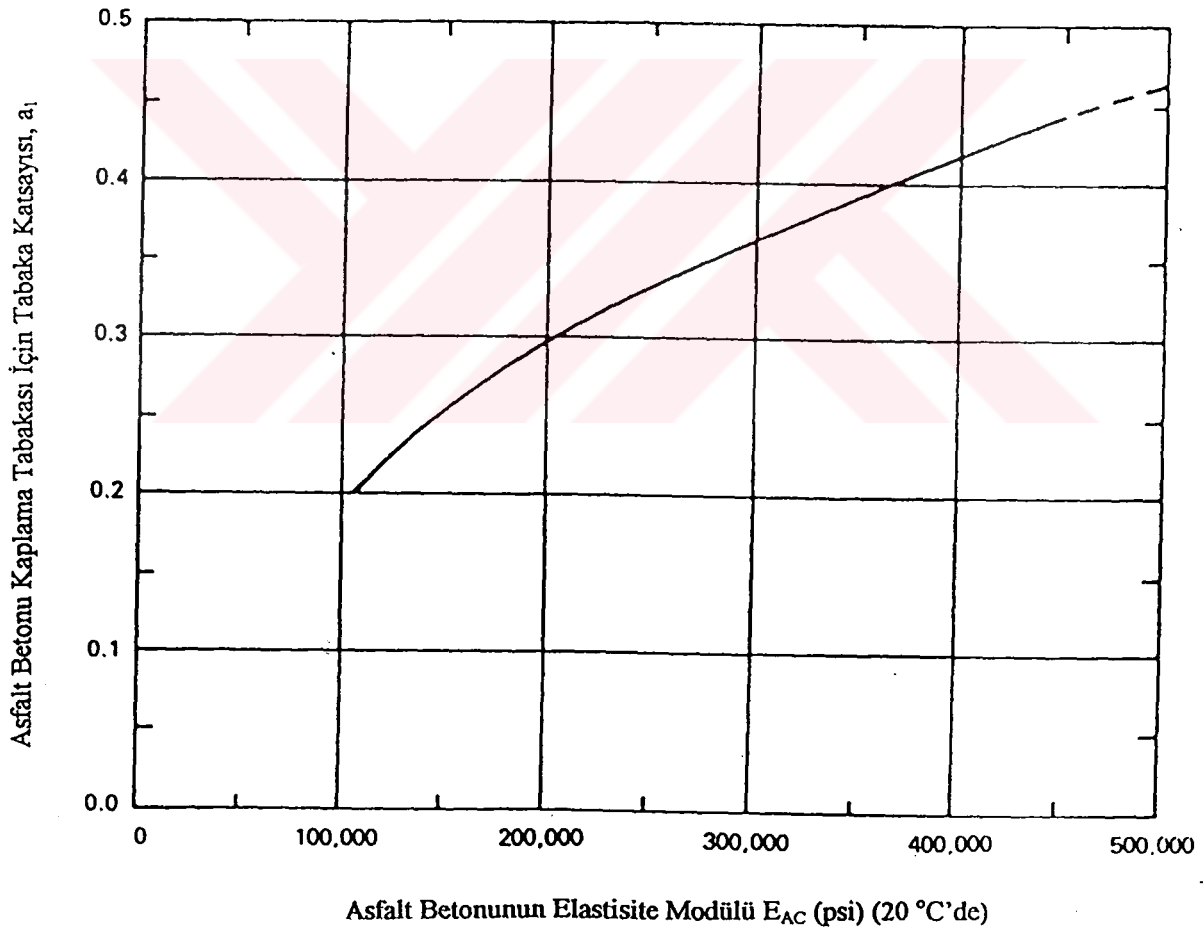
Üstyapı sayısı SN; esnek üstyapıyı oluşturan tabakanın kalınlık değeri (D_i)ve tabaka katsayısı (a_i) değerine bağlı olarak hesaplanır.

$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i \quad (4.6)$$

Tabaka Katsayıları;

- Asfalt betonu kaplama tabakası;

Asfalt betonu elastisite modülü E_{AC} , 20 ° C de deneyle saptanır. Elastisite modülü değerinin 45000 psi değerinden büyük olması istenmez. Kaplama tabakasına ait katsayı (a_1) değeri E_{AC} 'ye bağlı olarak Şekil 4.2 den bulunur.



Şekil 4.2 Asfalt betonunun tabaka katsayısının (a_1) resilient modülüne bağlı olarak bulunması

- Granüler temel tabakası

Granüler temel tabakası için tabaka katsayısı (a_2) değeri temel elastisite modülü (E_{BS}) değerine bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten veya Şekil 4.3' ten bulunur.

$$a_2 = 0,249 \times \log E_{BS} - 0,977 \quad (4.7)$$

Temel elastisite modülü (E_{BS}) değeri;

$$E_{BS} = k_1 \theta^{k_2} \quad (4.8)$$

k_1 ve k_2 değeri malzeme tipine bağlı regrasyon sabitleridir. k_1 değeri 3,000 - 8,000 arasında değişir. k_2 değeri 0.50 – 0.70 arasında değer alır. θ gerilme durumu veya asal gerilmelerin toplamıdır. Tablo 4.4'de gerilme durumu ile elastisite modülü ilişkisi verilmiştir.

- Granüler alt temel tabakası

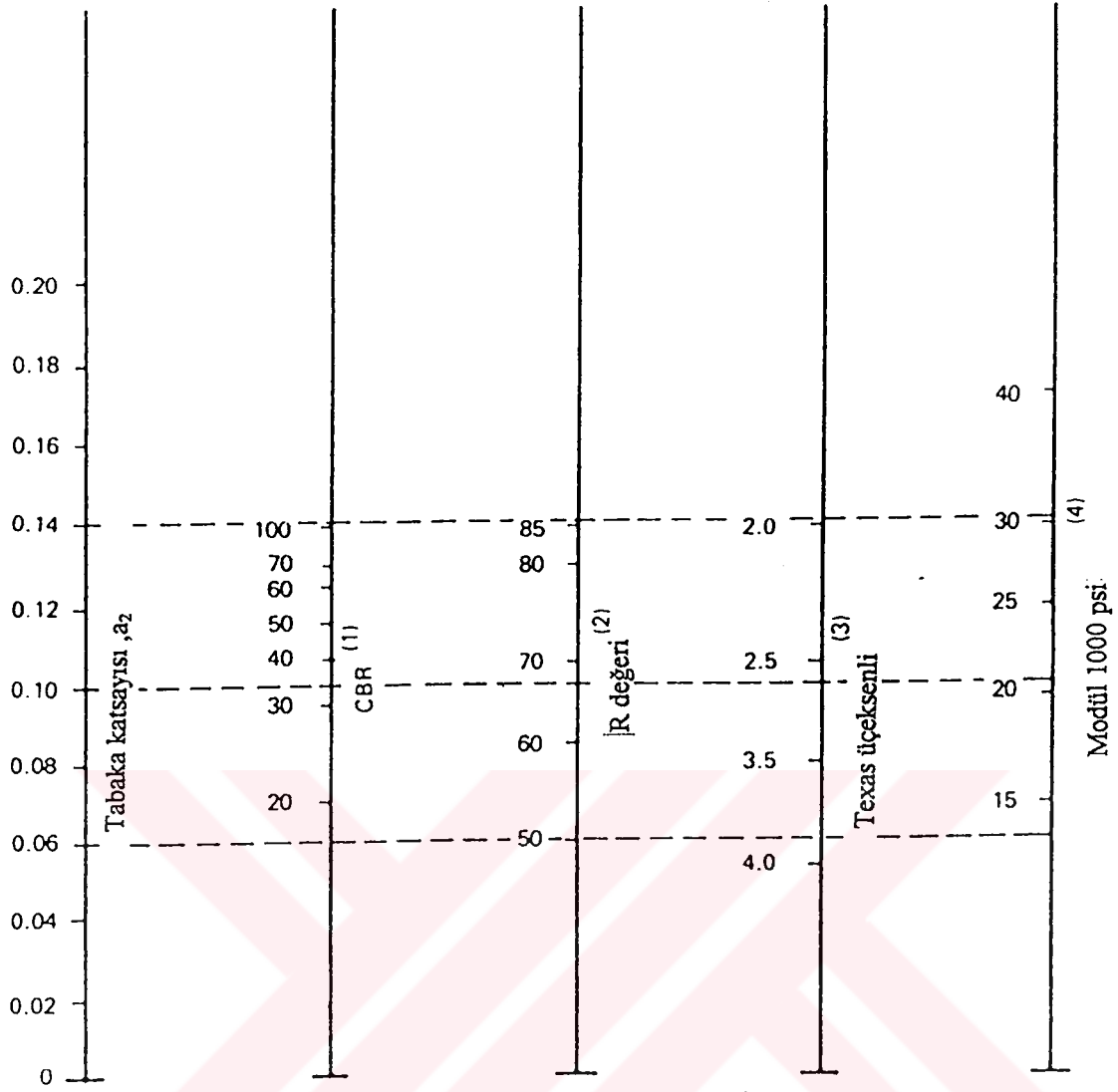
Granüler alt temel tabakası için tabaka katsayısı (a_3) değeri alt temel elastisite modülü (E_{SB}) değerine bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten veya Şekil 4.4' den bulunur.

$$a_3 = 0,227 \times \log E_{SB} - 0,839 \quad (4.9)$$

Alt temel elastisite modülü (E_{SB}) değeri;

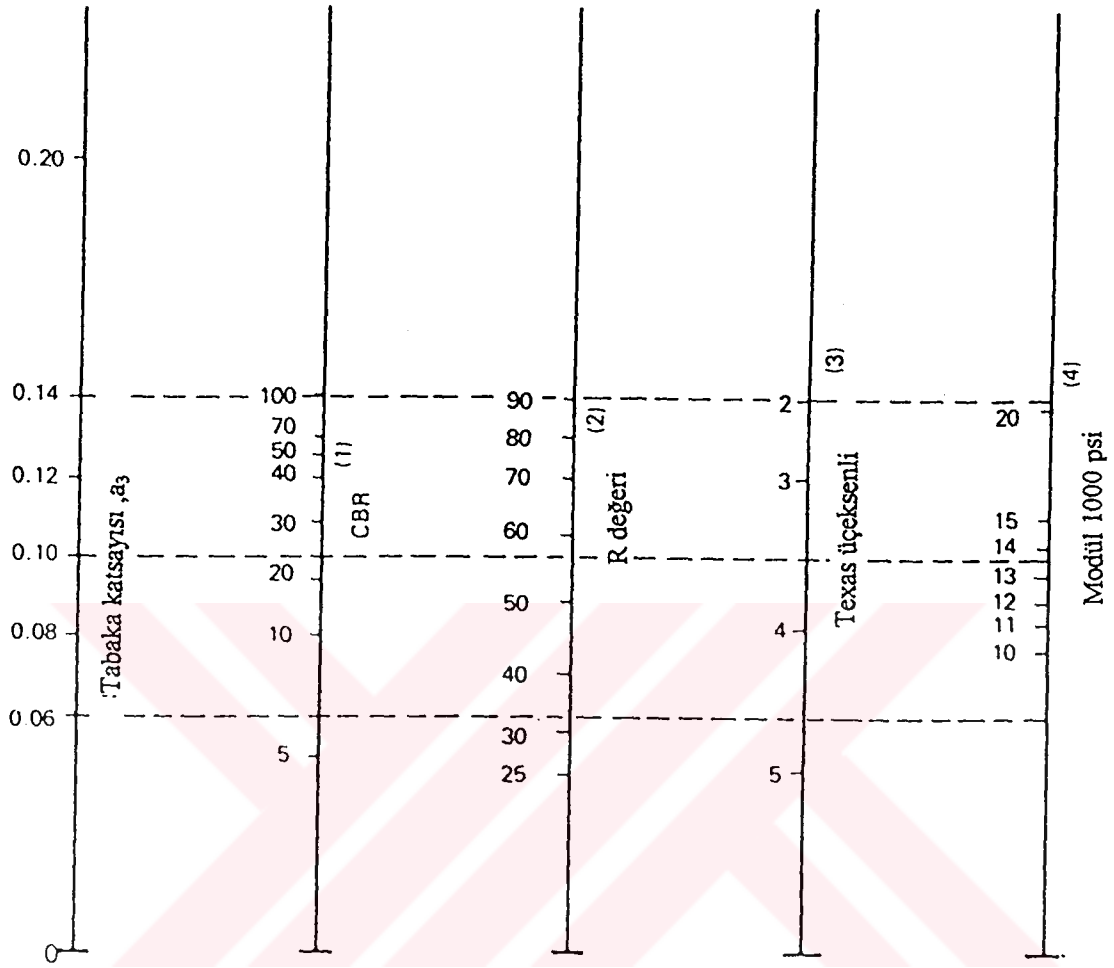
$$E_{SB} = k_1 \theta^{k_2} \quad (4.10)$$

k_1 ve k_2 değeri malzeme tipine bağlı regrasyon sabitleridir. k_1 değeri 1,500 - 6,000 arasında değişir. k_2 değeri 0.40 – 0.60 arasında değer alır. θ gerilme durumu veya asal gerilmelerin toplamıdır. Tablo 4.'5 de gerilme durumu ile elastisite modülü ilişkisi verilmiştir.



1. Ölçek İllinoisde elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
2. Ölçek California, New Mexico ve Wyomingden elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
3. Ölçek Texas'tan elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
4. Ölçek NCHRP projesinden türetilmiştir

Şekil 4.3 Granüler temelin tabaka katsayısının (a_2) farklı gerilme değerlerine bağlı olarak bulunması



1. Ölçek İllinoisde elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
2. Ölçek California, New Mexico ve Wyomingden elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
3. Ölçek Texas'tan elde edilen korelasyonların ortalamaları alınarak türetilmiştir
4. Ölçek NCHRP projesinden türetilmiştir

Şekil 4.4 Granüler alt temel tabakasının tabaka katsayısının (a_3) farklı gerilme değerlerine bağlı olarak bulunması

Tablo 4.4 Gerilme Durumu (θ) - Elastisite Modülü (E_{BS}) ilişkisi

Nem Durumu	Elastisite modülü eşitliği (E_{BS})	Gerilme durumu (psi)			
		$\theta = 5$	$\theta = 10$	$\theta = 20$	$\theta = 30$
Kuru	$8,000 \times \theta^{0,6}$	21,012	31,848	48,273	61,569
Nemli	$4,000 \times \theta^{0,6}$	10,506	15,924	24,136	30,784
Islak	$3,200 \times \theta^{0,6}$	8,404	12,739	19,309	24,627

Tablo 4.5 Gerilme Durumu (θ) - Elastisite Modülü (E_{SB}) ilişkisi

Nem Durumu	Elastisite modülü eşitliği (E_{SB})	Gerilme durumu (psi)		
		$\theta = 5$	$\theta = 7,5$	$\theta = 10$
Kuru	$5,400 \times \theta^{0,6}$	14,183	18,090	21,497
Islak	$4,600 \times \theta^{0,6}$	12,052	15,410	18,312

4.2.4 Üstyapı yapısal özellikleri

4.2.4.1 Drenaj

Tasarım esnasında drenaj şartlarının belirtilmesi gerekmektedir. Tablo 4.6'da üstyapıların drenaj kaliteleri ve tabaka drenaj katsayıları (m_i) verilmiştir. Üstyapı sayısı (SN) eşitliğinde drenaja sahip tabakalar, tabaka drenaj katsayıları (m_i) ile düzeltilirler. Esnek üstyapı sayısı aşağıdaki eşitliğe dönüşür.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (4.11)$$

Tablo 4.6 Üstyapının Drenaj Kaliteleri ve Tabaka Drenaj Katsayıları

Drenaj Kalitesi	Suyun Uzaklaştırma Süresi	Üstyapının Doygunluk Seviyesine Yakın Rutubete Maruz Kaldığı Sürenin Yıl İçindeki Yüzdesi			
		%1'den az	%1 - 5	%5 - 25	%25'ten fazla
Çok iyi	1/2 gün	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
İyi	1 gün	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Orta	1 hafta	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Kötü	1 ay	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Çok kötü	su uzaklaşmıyor	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

4.2.5 Yapısal Tasarım Adımları

Asfalt betonu kaplamalı esnek üstyapıların tasarımında amaç, hizmet ömrü boyunca dingil yüklerinin yaratacağı bozulmaları önleyecek bir üstyapı sayısı (SN) değerinin saptanmasıdır.

AASHTO 93 rehberinde tasarım adımlarında üstyapı sayısı (SN) değerinin saptanması için,

- performans periyodu için tahmin edilen proje trafik değerinin (w_{18})
- güvenilirlik (R)
- toplam standart sapma (S_o)
- taban zemini efektif elastisite modülü (M_R)
- toplam servis yeteneği kaybı ($\Delta PSI = p_o - p_t$)

değerlerinin bilinmesi gerekir. Tasarım adımları ;

Adım – I – Üstyapı sayısının (SN) belirlenmesi

üstyapı sayısı (SN) Şekil 4.5’deki nomografi kullanarak saptanır.

Adım – II – Performans periyodu seçilir.

seçilen performans periyodu değeri için servis yeteneği indeksinde ki şişme / don kabarmasından dolayı kayıp belirlenir,eğer bir kayıp var ise deneme periyodu seçilir.

Adım – III – Deneme periyodu için toplam servis yeteneği indeksinde ki, şişme / don kabarmasından dolayı değer kaybı bulunur.

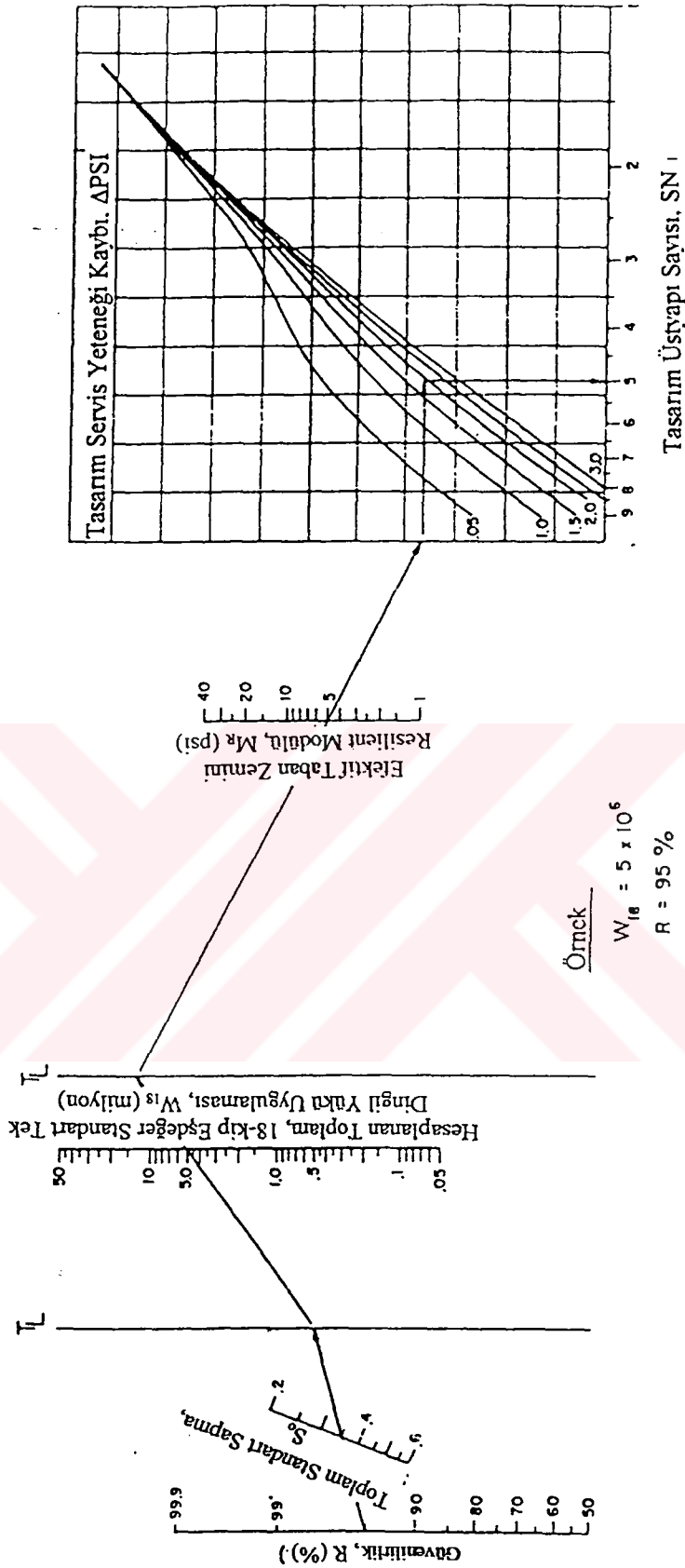
Adım – IV – Deneme periyodu için trafikten meydana gelen toplam servis yeteneği kaybı bulunur.

toplam servis yeteneği kaybından şişme / don kabarması kaybı çıkarılarak bulunur.

Adım – V – Trafikten dolayı meydana gelen servis yeteneği azalmaya bağlı kümülatif trafik değeri bulunur.

Şekil 4.5 ’deki nomograf kullanılır.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log_{10} M_R - 8.07$$



Örnek

$$W_{18} = 5 \times 10^6$$

$$R = 95 \%$$

$$S_0 = 0.35$$

$$M_R = 5000 \text{ psi}$$

$$\Delta PSI = 1.9$$

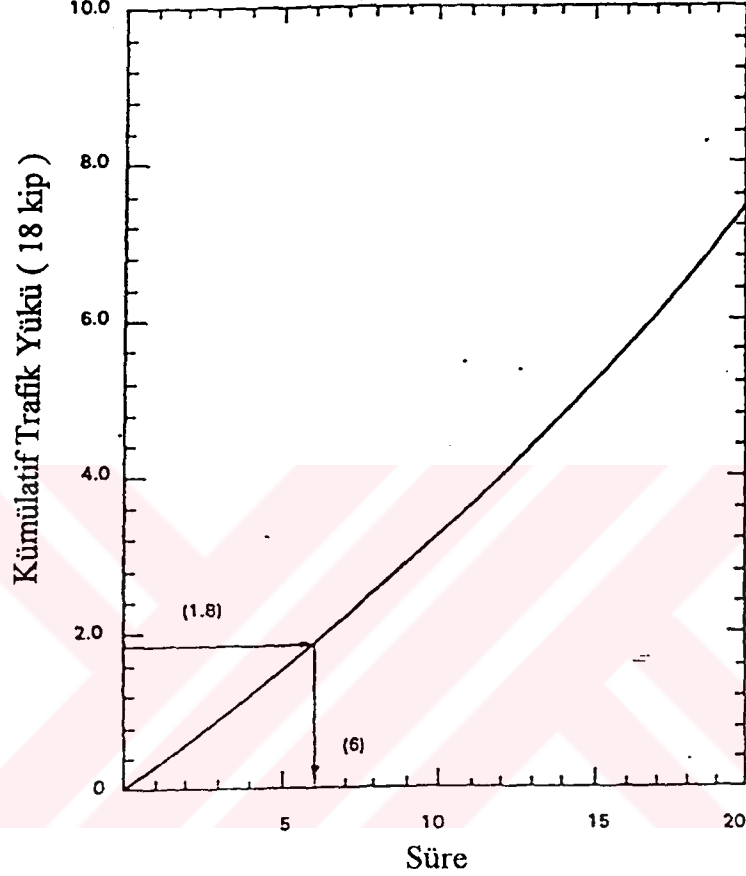
$$\text{Çözüm : } SN = 5.0$$

Şekil 4.5 Esnek Üstyapılar için Tasarım Çizelgesi

Adım – VI – Kümülatif trafik yükü ile süre grafiğinde kesişme noktası bulunur. Şekil 4.6 'da Kümülatif trafik yükü – Süre grafiği verilmiştir.

Adım – VII - Karşılaştırma ; seçilen performans periyodu / süre

Seçilen performans periyodu ile kümülatif trafik yükü – süre grafiğinden bulunan süre değeri karşılaştırılır. Aradaki fark bir yıldan küçükse ortalama değer alınır, bir yıldan büyükse iterasyona devam edilir.



Şekil 4.6 Kümülatif Trafik Yükü - Süre Grafiği

4.2.5.1 Üstyapı tabaka kalınlıklarının seçimi

Esnek üstyapıyı oluşturan tabaka kalınlıkları, malzeme özelliklerine bağlı olarak üstyapı sayısını (SN) sayısını sağlayacak biçimde seçilir. Aşağıdaki eşitlikte üstyapı numarası verilmiştir. Şekil 4.7'de Tabaka Analizi ve Kalınlık belirlenme durumu verilmiştir.

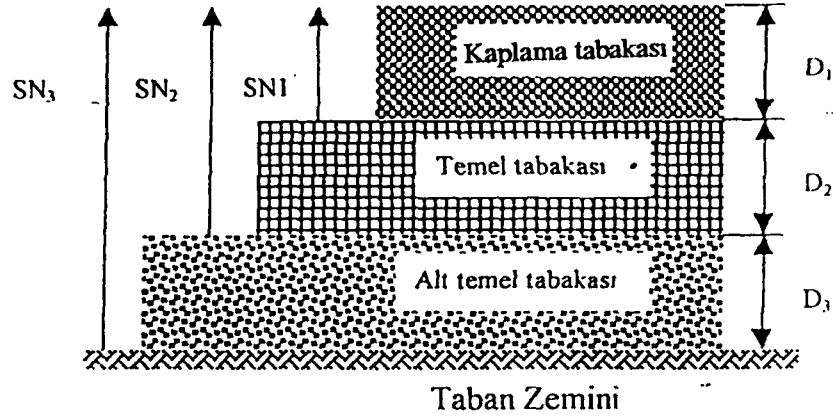
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (4.12)$$

Burada;

a_1, a_2, a_3 = tabaka katsayıları (kaplama, temel, alt temel)

D_1, D_2, D_3 = tabaka kalınlıkları (kaplama, temel, alt temel)

m_2, m_3 = drenaj katsayıları (temel, alt temel)



$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (4.13a)$$

$$SN_1^* = a_1 \cdot D_1 \geq SN_1 \quad (4.13b)$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \cdot m_2} \quad (4.13c)$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2 \quad (4.13d)$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \cdot m_3} \quad (4.13e)$$

1) a, D, M ve SN gerekli minimum değerlerdir.

2) D^* ve SN_i gerekli minimum değere eşit olması gereken gerçek değeri ifade eder.

Şekil 4.7 Esnek Üstyapı Tabaka Analizi / Kalınlık Kesiti

4.3 AASHTO 93Yöntemi ile Takviye Tabakası Tasarımı *

AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberinde takviye tabakası tasarımı geliştirilmiştir. Burada konumuz gereği esnek üstyapının asfalt betonu ile takviye tabakası tasarımı incelenecektir.

AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberinde, takviye tabakası tasarımı üç bölümde verilmiştir. İlk bölümde takviye tabakası yapılabiliirliğinin incelenmesi, ikinci bölümde takviye tabakası tasarımı için üstyapının değerlendirilmesi ve üçüncü bölümde takviye tabakası tasarım adımlarıdır.

4.3.1 Takviye Tabakası Yapılabiliirliği

AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberinde, takviye tabakası yapılabiliirliği aşağıda sıralanan ana faktörlerle incelenmektedir.

-Takviye tabakasının yapımı için gerekli fonun sağlanması

-Takviye tabakası yapım fizibilitesi

trafik kontrolü

malzeme ve ekipmanların sağlanması

iklim koşulları

yapım problemleri ses, gürültü. vb.

trafik kesintisi ve kullanıcılardan elde edilen gelirin gecikmesi

- Takviye tabakasının gelecek tasarım ömrü için koşullar.

takviye tabakasının ömrü bir çok faktöre bağlıdır,

var olan üstyapının kötüleşmesi

var olan üstyapının tasarımı ve malzeme, zemin şartları

gelecekte beklenen trafik yükü

iklim koşulları

var olan üstyapı drenaj durumu

* Bu bölümdeki bilgi ,tablo ve şekiller AASHTO Guide for Design of Pavement Structure 1993 – AASHTO 93’ den alınmıştır.

Takviye tabakası tasarımı sırasında yukarıda verilmiş olan ana faktörler değerlendirilmeli ve kullanılmalıdır.

4.3.2 Takviye Tabakası Tasarımı için Üstyapının değerlendirilmesi

Üstyapının değerlendirilmesi; üstyapıdaki eksikliklerin saptanması, ön takviye tabakası tasarımı, çatlak ölçüm işlemleri ve takviye tabakası tasarımı için önem taşımaktadır. Burada takviye tabakası tasarımı için üstyapı değerlendirilmesi yapılacaktır.

4.3.2.1 Yol Üstyapısı boyunca Takviye Tabakası Tasarımı

Yol üstyapısı boyunca takviye tabakası tasarımı için AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberinde iki yaklaşım sunulmaktadır. Birinci yaklaşım üniform kesim yaklaşımı, ikinci yaklaşım ise nokta-nokta yaklaşımıdır. Bu yaklaşımların kendilerine göre avantaj ve sakıncaları bulunmaktadır. Tasarım sırasında bu iki yaklaşımdan biri seçilmelidir.

- Üniform kesim yaklaşımı ;

Bu yaklaşım, yol üstyapısı projesini üniform tasarım ve koşullara bağlı kesimlere ayırmıştır. Her bir üniform kesim bağımsız olarak düşünülmüş ve bu kesimin ortalama değerlerine göre takviye tabakası tasarımı yapılmıştır. Yol üstyapısı boyunca yapılan kesim sayısı kadar takviye tabakası tasarımı yapılır.

-Nokta –nokta yaklaşımı;

Bu yaklaşım, yol üstyapısı boyunca özel noktalara göre takviye tabakası tasarımı yapmaktadır. Burada her nokta için gerekli veriler elde edilmelidir. Nokta- nokta yaklaşımda üstyapıdaki defleksiyon, takviye tabakası kalınlığı ve diğer koşullar değişkendir.

4.3.2.2 Üstyapının Fonksiyonel değerlendirilmesi

Takviye tabakası tasarımı esnasında çözümlemelerde bazı tanımlar üstyapının fonksiyonel problemlerinden saptanır.

Burada;

-yüzey sürtünmesi ve yüzeyde biriken su durumu

- yüzey pürüzlülüğü

durumları çok önemlidir. Üstyapıda ıslak havalarda yüzey sürtünmesinin azalması, su birikintisinin artması ve yüzey pürüzlülüğünün azalması durumunda takviye tabakası uygulanır.

4.3.2.3 Üstyapının Yapısal değerlendirilmesi

Üstyapının yük taşıma kapasitesindeki azalma yapısal bozukluklardan meydana gelmektedir. Takviye tabakası tasarımı adımlarının temelini, üstyapının yük taşıyabilme yeteneğinin belirli bir trafik – süre durumunda azalması ve yapılacak takviye tabakasının tasarım periyodu süresince gelecekte oluşacak yükleme durumunda üstyapının yük taşıyabilme yeteneğini o noktaya çıkarmak oluşturur. Üstyapının yapısal kapasite kaybının trafik – süre ile ilişkisi Şekil 4.8’ de verilmiştir.

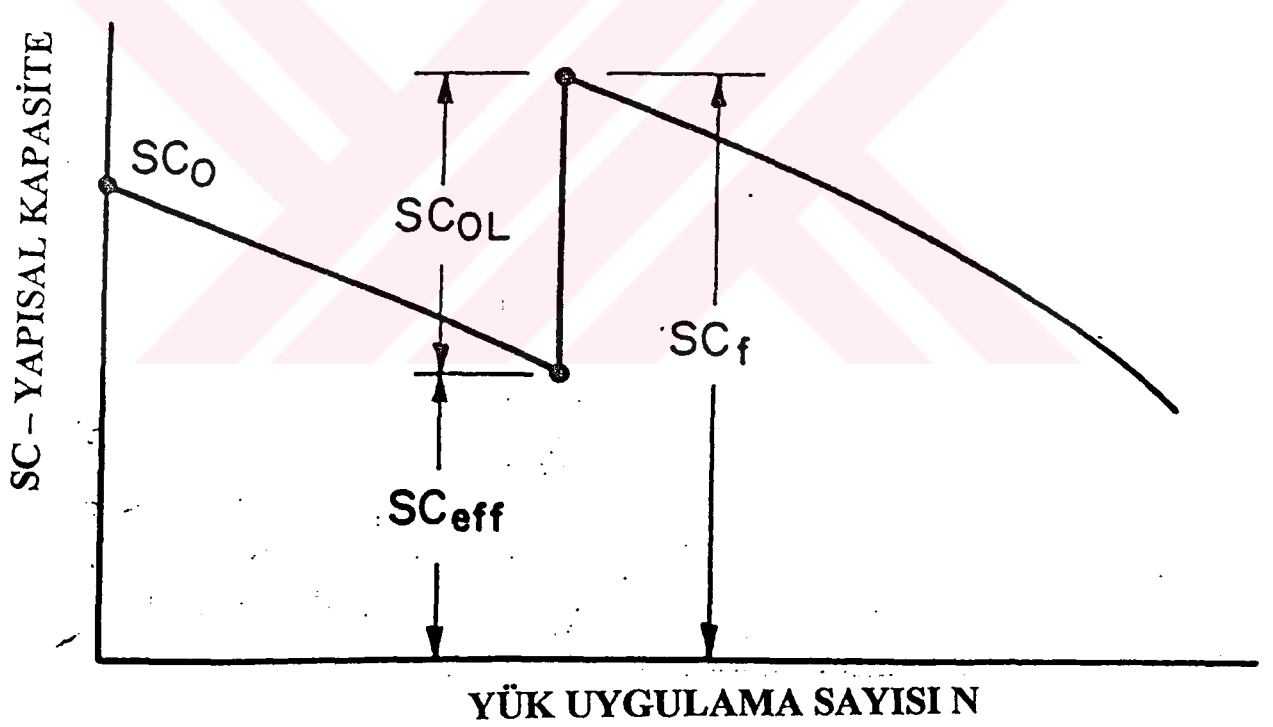
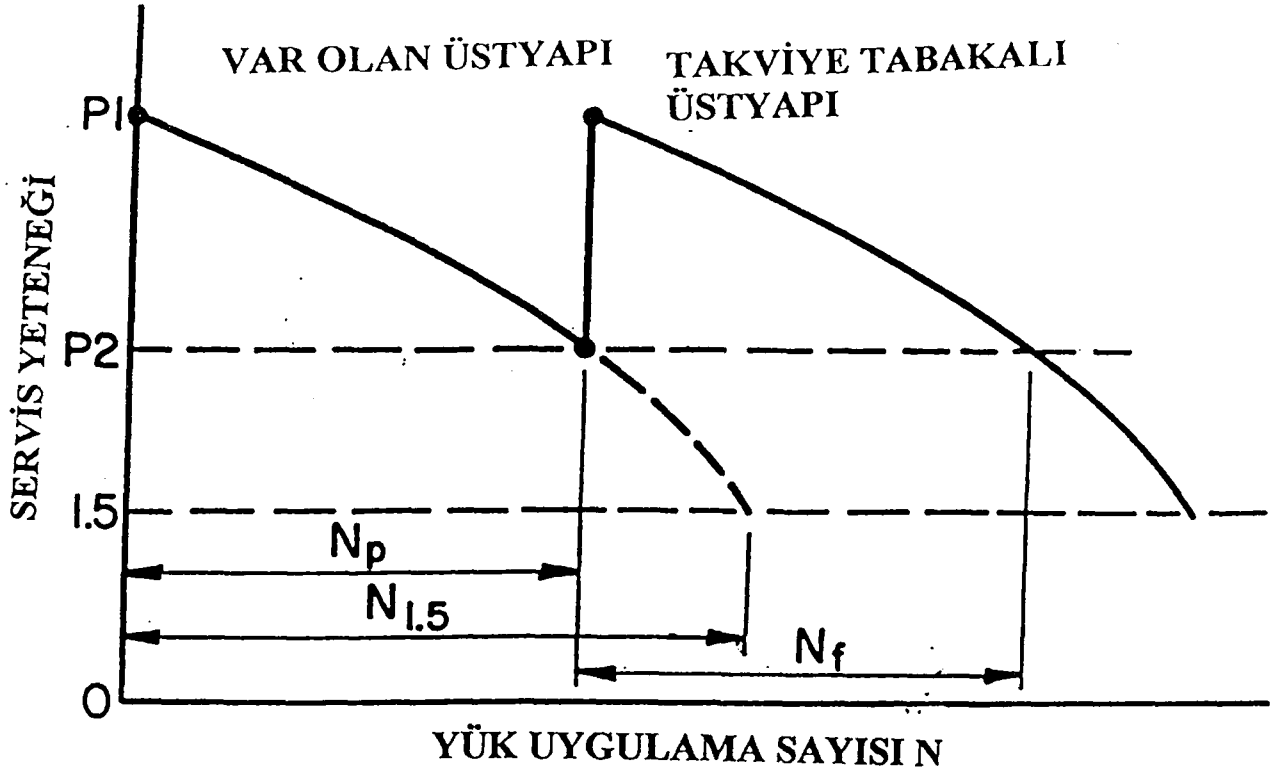
AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberinde;

SC_o = üstyapının (ilk yapıldığı andaki) üstyapı sayısını (SN) yansıtan yapısal kapasitesi değerini

SC_{eff} = üstyapının trafik – süre durumuna göre yapısal kapasitesinde düşme, takviye tabakası tasarımı için değerlendirme noktası olan efektif yapısal kapasite değerini

SC_f = takviye tabakası tasarım periyodundaki gelecekteki trafik durumunu yansıtan yapısal kapasite değerini

SC_{ol} = takviye tabakasını yansıtan yapısal kapasite değerini



Şekil 4.8 Trafik – Süre altında Üstyapının Yapısal Kapasite Kaybı*

*Servis yeteneği indeksindeki P1 ve P2 değeri P_0 ve P_t değerini ifade etmektedir.

Takviye tabakası tasarım periyodu süresince gelecekteki trafik durumunu yansıtan yapısal kapasite değeri ile efektif yapısal kapasite değeri arasındaki fark takviye tabakası yapısal kapasite değeri olarak değerlendirilir ve aşağıdaki eşitlik oluşur,

$$SC_{ol} = SC_f - SC_{eff} \quad (4.14)$$

Esnek üstyapıdaki efektif yapısal kapasite SC_{eff} değerini bulunması için üç yöntemden uygun olanı kullanılır,

- *görülen yüzeyin ve malzemelerin testi*
- *NDT testi*
- *trafikten oluşan yorulma çatlakları yöntemi*

AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberi üstyapıda kalan ömrün hesaplanması için trafikten meydana gelen yorulma çatlakları yöntemini kullanılır. Kalan ömrün hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılır,

$$RL = 100 \times [1 - (N_P / N_{1,5})] \quad (4.15)$$

Burada;

RL = üstyapının kalan ömrü, (%)

N_P = toplam trafik değeri, (18 – kip ESAL)

$N_{1,5}$ = yorulma çatlaklarını oluşturan toplam trafik değeri, (18 – kip ESAL)

Üstyapının kalan ömrü RL değerinin saptanması sonucu şart faktörü Şekil 4.9 veya aşağıdaki eşitlikten bulunur,

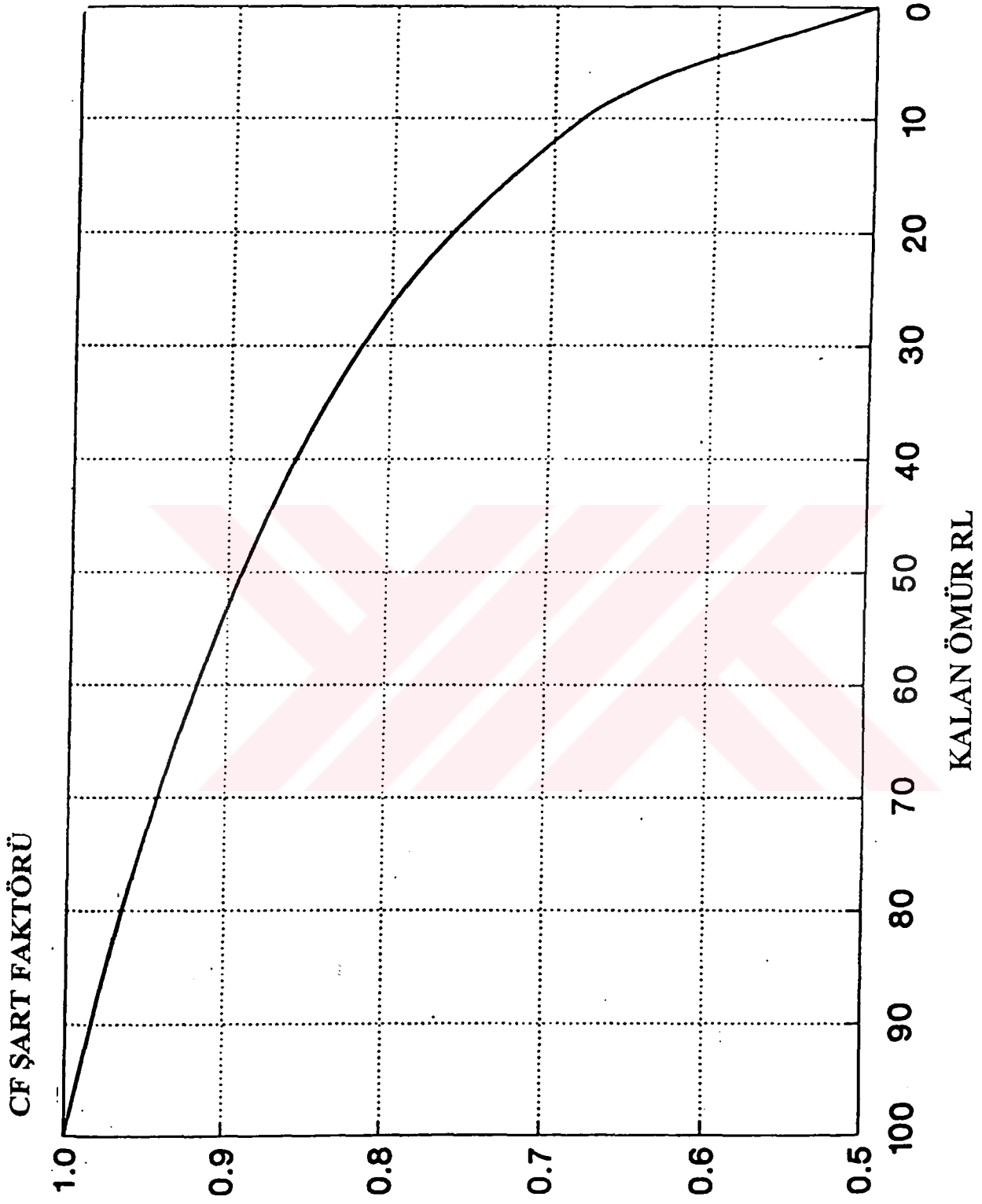
$$CF = SC_n / SC_o \quad (4.16)$$

Burada;

CF = şart faktörü

SC_n = N_P değeri sonrası üstyapı yapısal kapasite değeri

SC_o = orijinal tasarım üstyapı yapısal kapasite değerini ifade etmektedir.



Şekil 4.9 Şart Faktörü ile Üstyapı Kalan Ömür ilişkisi

CF şart faktörünün saptanmasıyla tahmin edilen orijinal tasarım üstyapı sayısı SN_o değerini kullanarak, aşağıdaki eşitlikle efektif üstyapı sayısı saptanır.

$$SN_{eff} = CF \times SN_o \quad (4.17)$$

4.3.2.4 Taban zemini elastisite modülü M_R değerinin saptanması

AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberine göre taban zemini elastisite modülü M_R değerinin saptamak için,

- *laboratuvar testlerinden*
- *NDT geri hesaplarından*
- *elastisite modülü tahmin çalışmalarından*
- *orijinal tasarım ve yapım bilgilerinden*

faydalanır.

Taban zemini elastisite modülü M_R değeri NDT geri hesaplarından faydalanarak, aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$M_R = 0,24 P / d_r r \quad (4.18)$$

Burada;

M_R = geri hesaplanmış taban zemini elastisite modülü, (psi)

P = uygulanan yük, (pounds)

d_r = ölçülen defleksiyon uzunluğu, (inc)

r = defleksiyon ile yükleme nortası arası uzaklık, (inc)

Tasarım için hesaplanan taban zemini elastik modülü için eşitlikte C düzeltme katsayısı kullanılır.

$$\text{Tasarım } M_R = C \times (0,24 P / d_r r) \quad (4.19)$$

AASHTO yol testinde, esnek üstyapı performans modeli için M_R değeri 3,000 psi kullanılmıştır.

4.3.3 Takviye Tabakası Tasarım Adımları

AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım rehberinde, takviye tabakasının kalınlık tasarımı için gelecekte oluşacak trafik değerini ifade eden yapısal kapasite değeri ile var olan üstyapının yapısal kapasite değeri bilinmelidir. Takviye tabakasının kalınlık tasarımı aşağıda verilen eşitlik kullanılarak saptanır.

$$SN_{ol} = a_{ol} \times D_{ol} = SN_f - SN_{eff} \quad (4.20)$$

Burada;

SN_{ol} = gerekli takviye tabakasının üstyapı sayısı

a_{ol} = asfalt betonu tabaka katsayısı

D_{ol} = gerekli takviye tabakası kalınlık değeri, (inc)

SN_f = gelecekteki trafik yükü için gerekli üstyapı sayısı

SN_{eff} = var olan üstyapının üstyapı sayısı

Gerekli takviye tabakası kalınlık değerinin saptanması için aşağıdaki verilen adımlar takip edilir.

Adım I : Var olan üstyapının tasarımı ve yapımı

- üstyapıdaki her tabaka için kalınlık değeri ve malzeme tipi saptanması
- elde edilebilir zemin bilgisi

Adım II : Trafik analizi

- geçmişteki toplam trafik değeri (18 – kip ESAL)
- takviye tabakası tasarım süresi için gelecekte beklenen trafik yükü değeri (18 – kip ESAL)

Adım III : Yüzey koşulları

- ortalama tekerlek izi derinliği
- çatlak içi ve üstyapı kenarı su durumu

Adım IV : Defleksiyon testi

taban zemini elastisite modülü M_R , NDT geri hesaplarından taban zemini elastisite modülü (4.18) eşitliğinden sağlanır. Bu eşitlikteki r değerinin

$$r \geq 0.7a_e \quad (4.21)$$

eşitliğini sağlaması istenir. a_e değeri aşağıdaki eşitlikle saptanır.

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left(D \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2} \quad (4.22)$$

Burada;

a_e = taban zemini ile üstyapı arasındaki gerilme yarıçapı, (inc)

a = NDT yükleme plağı yarıçapı, (inc)

D = taban zemini üzerindeki üstyapının toplam kalınlık değeri, (inc)

E_p = taban zemini üzerindeki üstyapının efektif elastisite modülü değeri, (psi)

M_R = taban zemini elastisite modülü değeri, (psi)

- asfalt betonu karışımının sıcaklık değeri, defleksiyon testi sırasında saptanmalıdır. Karışımın sıcaklık değeri doğrudan ölçülebileceği gibi asfalt yüzeyi veya hava sıcaklığından tahmin edilebilir.

- üstyapının efektif elastisite modülü E_p değeri, taban zemini elastisite modülü ve tüm üstyapı tabakalarının toplam kalınlığı biliniyorsa veya atanmışsa, defleksiyon ölçümlerinden faydalanarak üstyapının efektif elastisite modülü E_p değeri aşağıdaki eşitlikten saptanır.

$$d_0 = 1.5pa \left\{ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\} \quad (4.23)$$

Burada;

d_o = NDT yükleme plağı merkezindeki 68°F standart sıcaklıkta defleksiyon ölçümü ,
(inc)

a = NDT yükleme plağı yarıçapı, (inc)

P = NDT yükleme plağı basınç değeri, (psi)

D = taban zemini üzerindeki üstyapının toplam kalınlık değeri, (inc)

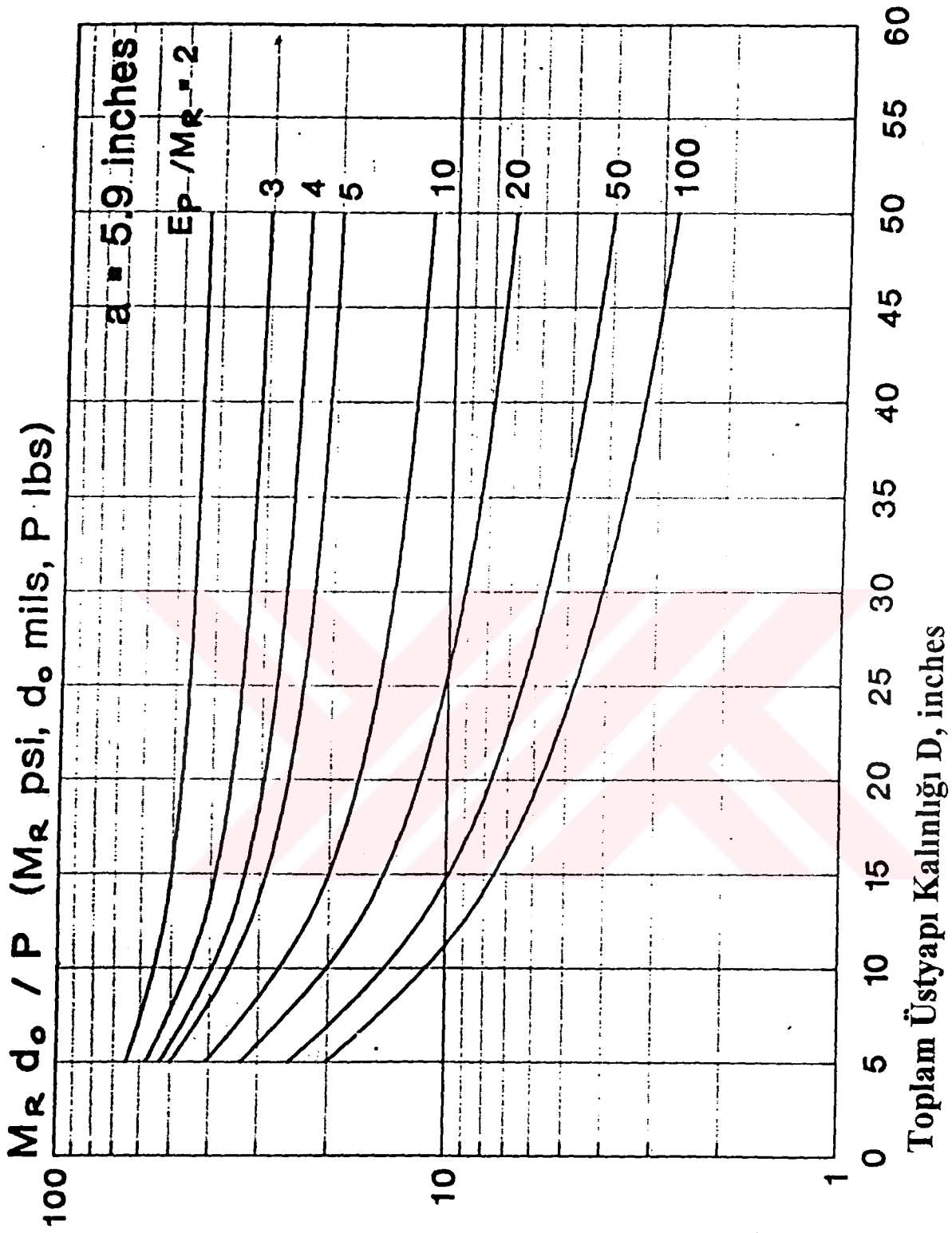
E_p = taban zemini üzerindeki tüm üstyapının efektif elastisite modülü değeri, (psi)

M_R = taban zemini elastisite modülü değeri, (psi)

NDT yükleme plağı yarıçapı 5,9 inc değeri için Şekil 4.10 kullanılarak, atanan veya saptanan taban zemini elastisite modülü M_R değeri için E_p / M_R oranı ve E_p değeri bulunur. Defleksiyon verilerinden geri hesaplanan E_p değeri Adım VII'de kullanılmasıyla var olan üstyapının efektif üstyapı sayısı saptanırsa, d_o üstyapı tabaka kalınlığının ayarı için referans sıcaklık değeri 68° alınır. Ek B'de Şekil B.1 granüler, esnek üstyapı ve stabilize asfalt temel için, Şekil B.2 çimentolu esnek üstyapı ve pozzolanik stabilize temel için toplam asfalt kalınlığı arasındaki grafik verilmiştir.

Adım V : Üstyapı çekirdek ve malzeme testi

- taban zemini elastisite modülü, eğer defleksiyon testinden sonuç alınamıyorsa, laboratuvarda zemin örneği incelenip taban zemini elastisite modülü saptanabilir. AASHTO yol testinde 3,000 psi değeri alınmıştır.
- esnek üstyapı tabakaları ve stabilize temel örneği, asfaltın soyulma ve erozyon durumunun gözden geçirilmesi
- granüler temel ve temel altı örneği,
- tüm tabakaların kalınlıkları ölçülmelidir.



Şekil 4.10 E_p / M_R Oranı Grafiği

Adım VI : Gelecekteki trafik değeri için gerekli üstyapı sayısının (SN_f) saptanması

- efektif tasarım üstyapı değerinin saptanması, bu değerin bulunması için aşağıdaki yöntemlerden biri kullanılır.

a- Adım V' deki laboratuvar değerleri

b- NDT defleksiyon verileri geri hesaplarından

c- (4.19)'daki eşitlikte $C= 0,33$ değeri kullanılarak

- tasarım servis yeteneği kaybı Δ PSI değeri

- takviye tabakası güvenirlilik oranı R, yüzde

- esnek üstyapı için standart sapma S_o değeri

bu değerler Tablo 4.7'deki SN_f tablosunda gösterilir.

Tablo 4.7 Esnek üstyapı için SN_f değeri saptanması adımları

TRAFİK	
gelecekteki tasarım periyodu için 18 - kip ESAL değerindeki trafik yükü, N_f	= _____
EFEKTİF TABAN ZEMİNİ ELASTİSİTE MODÜLÜ	
tasarım elastisite modülü, M_R	= _____
(tipik tasarım için 2,000 ila 10,000 psi arasında değer taşır. AASHO yol testinde 3,000 psi değeri alınmıştır.	
SERVİS YETENEĞİ KAYBI	
tasarım servis yeteneği kaybı	= _____
PSI ($P_1 - P_2$) (1,2 - 2,5)	
TASARIM GÜVENİLİRLİĞİ	
takviye tabakası tasarım güvenirliliği	= _____ %
R (% 80 - % 99)	
takviye tabakası standart sapma oranı, S_o (tipik 0,49)	= _____
GELECEKTEKİ ÜSTYAPI KAPASİTESİ	
Esnek üstyapı için gelecekteki trafik değeri için gerekli üstyapı sayısı değeri için Şekil 4.5'teki nomograf veya eşitlikle saptanır	
$SN_f =$ _____	

Adım VII : Var olan üstyapının efektif üstyapı sayısı (SN_{eff}) değerinin saptanması

Var olan üstyapının efektif üstyapı sayısının değerinin saptanması için üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler; NDT metodu, Üstyapı sayısı kontrolü metodu ve Kalan ömür metodudur.

- NDT metodu; aşağıdaki eşitlikten faydalanarak var olan üstyapının efektif sayısı saptanır.

$$SN_{eff} = 0.0045D \sqrt[3]{E_p} \quad (4.24)$$

Burada;

D = taban zemini üzerindeki üstyapının toplam kalınlık değeri, (inc)

E_p = taban zemini üzerindeki üstyapının efektif elastisite modülü değeri, (psi)

E_p değeri Adım IV' deki defleksiyon verileri geri hesabından saptanır. Şekil 4.11'de SN_{eff} , E_p ve D arasındaki grafik bağıntı kullanılarak ta SN_{eff} değeri hesaplanır.

- Üstyapı sayısı kontrolü metodu; aşağıdaki eşitlikten faydalanarak var olan üstyapının efektif sayısı saptanır.

$$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (4.25)$$

Burada;

a_1, a_2, a_3 = tabaka katsayıları (kaplama, temel, alt temel)

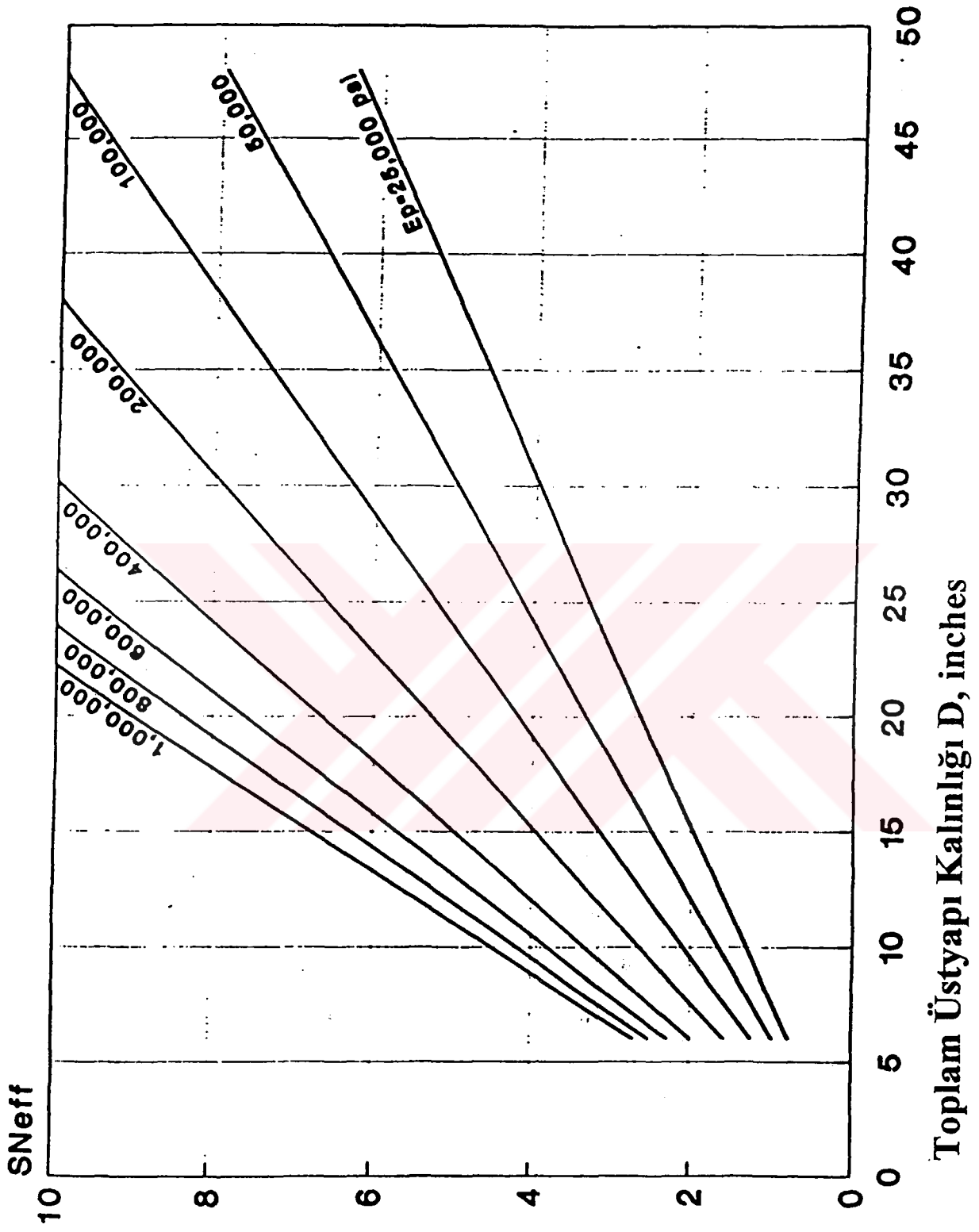
D_1, D_2, D_3 = tabaka kalınlıkları (kaplama, temel, alt temel)

m_2, m_3 = drenaj katsayıları (temel, alt temel)

ASSHO yol testinde drenaj katsayıları değeri 1,00 alınmıştır.

- Kalan ömür metodu; ilk olarak üstyapının kalan ömrü (4.15)'deki eşitlikten saptanarak, aşağıdaki eşitlikten faydalanarak var olan üstyapının efektif sayısı saptanır.

$$SN_{eff} = CF \times SN_o \quad (4.26)$$



Şekil 4.11 NDT Metodu kullanılarak SN_{at} değerinin saptanması

Burada;

CF = şart faktörü Şekil 4.9'dan saptanır.

SN_o = var olan üstyapının üstyapı sayısı

bu değerler Tablo 4.8'deki SN_{eff} tablosunda gösterilir.

Tablo 4.8 Esnek Üstyapı için SN_{eff} değeri saptanması adımları

(1) NDT metodu	
taban zemin üzerindeki tüm üstyapının	= _____ inches
toplan kalınlığı D	
geri hesaplanmış taban zemin modülü M _R	= _____ psi
geri hesaplanmış efektif üstyapı modülü E _p	= _____ psi
$SN_{eff} = 0.0045D \sqrt[3]{E_p} = \underline{\hspace{2cm}}$	
(2) Üstyapı sayısı kontrolü metodu	
asfalt betonlu yüzey kalınlık değeri D ₁	= _____ inches
asfalt betonlu yüzey tabaka katsayı değeri a ₁	= _____
temel tabakası kalınlık değeri D ₂	= _____ inches
temel tabakası tabaka katsayı değeri a ₂	= _____
temel tabakası drenaj katsayısı m ₁	= _____
alt temel tabakası kalınlık değeri D ₃	= _____ inches
alt temel tabakası tabaka katsayı değeri a ₃	= _____
alt temel tabakası drenaj katsayısı m ₃	= _____
$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$	
(3) Kalan Ömür metodu	
Üstyapının taşıdığı toplam trafik değeri, NP	= _____
(18 - kip ESAL)	
Yorulma çatlaklarının oluşturan toplam trafik değeri, N _{1s}	= _____
(18 - kip ESAL)	
$RI = 100 [1 - (N_p / N_{1s})] = \underline{\hspace{2cm}}$	
Şart Faktörü, CF	= _____
asfalt betonlu yüzey kalınlık değeri D ₁	= _____ inches
asfalt betonlu yüzey tabaka katsayı değeri a ₁	= _____
temel tabakası kalınlık değeri D ₂	= _____ inches
temel tabakası tabaka katsayı değeri a ₂	= _____
alt temel tabakası kalınlık değeri D ₃	= _____ inches
alt temel tabakası tabaka katsayı değeri a ₃	= _____
$SN_o = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$	
$SN_{eff} = CF \times SN_o = \underline{\hspace{2cm}}$	

Adım VIII : takviye tabakası kalınlığının saptanması

esnek üstyapıda takviye tabakası kalınlık değeri aşağıdaki eşitlikten saptanır.

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{(SN_f - SN_{eff})}{a_{ol}} \quad (4.27)$$

Burada;

SN_{ol} = gerekli takviye tabakası üstyapı sayısı

a_{ol} = asfalt betonu tabaka katsayısı

D_{ol} = gerekli takviye tabakası kalınlık değeri (inches)

SN_f = gelecekteki trafik yükü için gerekli üstyapı sayısı, Adım VI

SN_{eff} = var olan üstyapının üstyapı sayısı, Adım VII

Yukarıda verilen 8 adım sonucu esnek üstyapıda AASHTO 93 yöntemiyle takviye tabakası tasarımı yapılır.



5. AMPİRİK, ANALİTİK VE ANALİTİK – AMPİRİK YÖNTEMLER KULLANILARAK ESNEK ÜSTYAPIDA TAKVİYE TABAKASI TASARIMI

Ampirik, Analitik ve Analitik – Ampirik Yöntemler ile ortak veriler kullanılarak esnek üstyapıda takviye tabakası tasarımı yapılmıştır.

5.1 AASHO 72 Ampirik Tasarım Yöntemi

5.1.1 Veriler

Kaplama tabakası : 4.25 inc. = 108 mm

Temel tabakası : 8,00 inc = 203 mm

Gelecekteki tasarım trafik yükü – $T_{8.2}$: $2,4 \times 10^6$ ESDY (10 yıl için beklenen trafik data değeri)

5.1.2 Çözüm

Var olan üstyapının üstyapı sayısı bulunur;

Üstyapı sayısı yapılan tabaka ölçümlerine göre saptanır. Tabaka katsayıları; $a_1 = 0,35$, $a_2 = 0,14$ ve $a_3 = 0$ değerleridir. Buradan SN_{eff} değeri ;

$$SN_{eff} = 4,25 \times 0,35 + 8 \times 0,14 = 2,61$$

Gelecekte ki trafik durumunu yansıtan üstyapı sayısı bulunur;

$P_t = 2.5$, $R = 1$ ve $S_t = 3.5$ değerleri ve gelecekteki trafik değeri $T_{8.2}$: $2,4 \times 10^6$ ESDY için AASHO Deney yolu denklemi ile

$$SN_f = 4,15$$

Gerekli Takviye Tabakası Kalınlık değeri;

$D_o = SN_o / a_o = SN_f - SN_{eff}$ eşitliği kullanılarak $a_o = 0,44$ değeri için gerekli takviye tabakası kalınlığı **3,50 inc = 3,50 x 2.54 cm = 89 mm** bulunur

5.2. Shell Analitik Tasarım Yöntemi

5.2.1 Veriler

Karışım kodu :	$S_1 - F_1 - 50$	
w – MAAT :	12 ° C	
h_2 :	203 mm	
N_{A1} :	$0,4 \times 10^6$ ESDY	(taşınan trafik data değeri)
N_{A2} :	$2,4 \times 10^6$ ESDY	(10 yıl için beklenen trafik data değeri)
h_{1eff} :	108 mm	
E_3 :	4×10^7 N / m ² (5700 psi)	

5.2.2 Çözüm

SPDM’ de verilen EN tablolarından; $S_1 - F_1 - 50$ karışım kodu, w – MAAT değeri 12 ° C ve h_2 : 203 mm değerleri için EN1 Şekil 5.1 ve EN9 Şekil 5.2 grafikleri kullanılarak E_3 : 4×10^7 N / m² (5700 psi) değeri ve h_{1eff} :108 mm değeri için üstyapının orijinal tasarım ömrü (N_{D1}) değeri bulunur.

EN1 ve EN9 grafiklerinden interpolasyonla h_2 : 203 mm değerleri için üstyapının orijinal tasarım ömrü N_{D1} : $2,1 \times 10^6$ ESDY değeri bulunur.

Üstyapının orijinal tasarım ömrü değerinden taşınan trafik data değeri çıkartılarak üstyapının kalan ömrü (N_R) değeri bulunur. $N_R : N_{D1} - N_{A1} : 1,7 \times 10^6$ ESDY

Takviye tabakası zemin gerilme kriterine göre ;

SPDM' de verilen HN tablolarından; $S_1 - F_1 - 50$ karışım kodu, $w - \text{MAAT}$ değeri 12°C ve $E_3: 4 \times 10^7 \text{ N / m}^2$ (5700 psi) değerleri için HN9 Şekil 5.3 ve HN41 Şekil 5.4 grafikleri kullanılarak $h_2 : 200 \text{ mm}$ ve üstyapının orijinal tasarım ömrü $N_{D2} = N_{A2} = 2,4 \times 10^6$ ESDY değerleri için takviye tabakası kalınlık değeri (h_o) bulunur.

HN9 ve HN41 grafiklerinden interpolasyonla $E_3: 4 \times 10^7 \text{ N / m}^2$ (5700 psi) değeri için $h^1_1 = 149 \text{ mm}$ bulunur. Buradan takviye tabakası kalınlık $h_o = 41 \text{ mm}$ değeri bulunur.

Takviye tabakası asfalt gerilme kriterine göre ;

SPDM' de verilen HN tablolarından; $S_1 - F_1 - 50$ karışım kodu, $w - \text{MAAT}$ değeri 12°C ve $E_3: 4 \times 10^7 \text{ N / m}^2$ (5700 psi) değerleri için HN9 Şekil 5.3 ve HN41 Şekil 5.4 grafikleri kullanılarak $h_{\text{eff}}: 108 \text{ mm}$ değeri için üstyapının asfalt gerilmesi için tasarım ömrü $N_{D1} = 1,4 \times 10^6$ ESDY değeri bulunur.

Buradan üstyapının artakalan ömrü $N_R : 1,4 \times 10^6 - 0,4 \times 10^6 = 1, \times 10^6$ ESDY değeri elde edilir. Üstyapının asfalt gerilmesi için gelecekteki tasarım ömrü $N_{D2} = 3,4 \times 10^6$ ESDY değeri bulunur.

Bu değerler için HN9 ve HN41 grafiklerinden interpolasyonla $E_3: 4 \times 10^7 \text{ N / m}^2$ (5700 psi) değeri için $h^1_1 = 143 \text{ mm}$ bulunur. Buradan takviye tabakası kalınlık $h_o = 35 \text{ mm}$ değeri bulunur.

Sonuç olarak takviye tabakası tasarımı; zemin gerilme kriterine göre **41mm**, asfalt gerilme kriterine göre **35 mm** bulunur. Bu değerler Tablo 5.1 'de Takviye Tabakası Tasarım Tablosunda verilmiştir.

Tablo 5.1 Takviye Tabakası Tasarım Tablosu – Q Tablosu

Tasarım Verileri

(1) Üstyapı Kesiti				
(2) w -MAAT, °C değeri	12			
(3) var olan üstyapının karışım kodu	S ₁ - F ₁ - 50			
(4) taşınan trafik data N_{A1} değeri	$0,4 \times 10^6$			
(5) Beklenen trafik	10 yıl	yıl	yıl	yıl
(6) $N = N_{A2}$ değeri	$2,4 \times 10^6$			

Üstyapı Özellikleri

(7) Efektif asfalt kalınlığı h_1 eff, mm	108			
(8) Zemin Modülü E_3 , N/m ²	4×10^7			
(9) Alt temel tabakası kalınlığı h_2 , mm	203			
(10) Orijinal tasarım ömrü N_{D1}	$2,1 \times 10^6$			
(11) Üstyapının artakalan ömrü N_R	$1,7 \times 10^6$			
(12) Takviye Tabakası gereksimi	10 yıl	yıl	yıl	yıl

Takviye Tabakası zemin gerilme kriterine göre

(13) Gelecek tasarım ömrü N_{D2}	$2,4 \times 10^6$			
(14) Toplam asfalt kalınlığı N_{D2} ve h_1 , mm için	149			
(15) Takviye tabakası kalınlığı h_0 , mm	41			
(16) Takviye tabakası kontrolü asfalt gerilmesi için [(17) - (21)]				

Takviye Tabakası asfalt gerilme kriterine göre

(17) Orijinal tasarım ömrü asfalt gerilmesi için N_{D1}	$1,4 \times 10^6$			
(18) Artakalan üstyapı ömrü N_R	10^6			
(19) Gelecek tasarım ömrü N_{D2}	$3,4 \times 10^6$			
(20) Toplam asfalt kalınlığı N_{D2} ve h_1 , mm için	143			
(21) Takviye tabakası kalınlığı h_0 , mm	35			

Adım No: (11) ve (18) $N_R = N_{D1} - N_{A1}$

(17) Tahmini N_{D1} değeri Tablo HN ve HT'den

(13) $N_{D2} = N_{A2}$

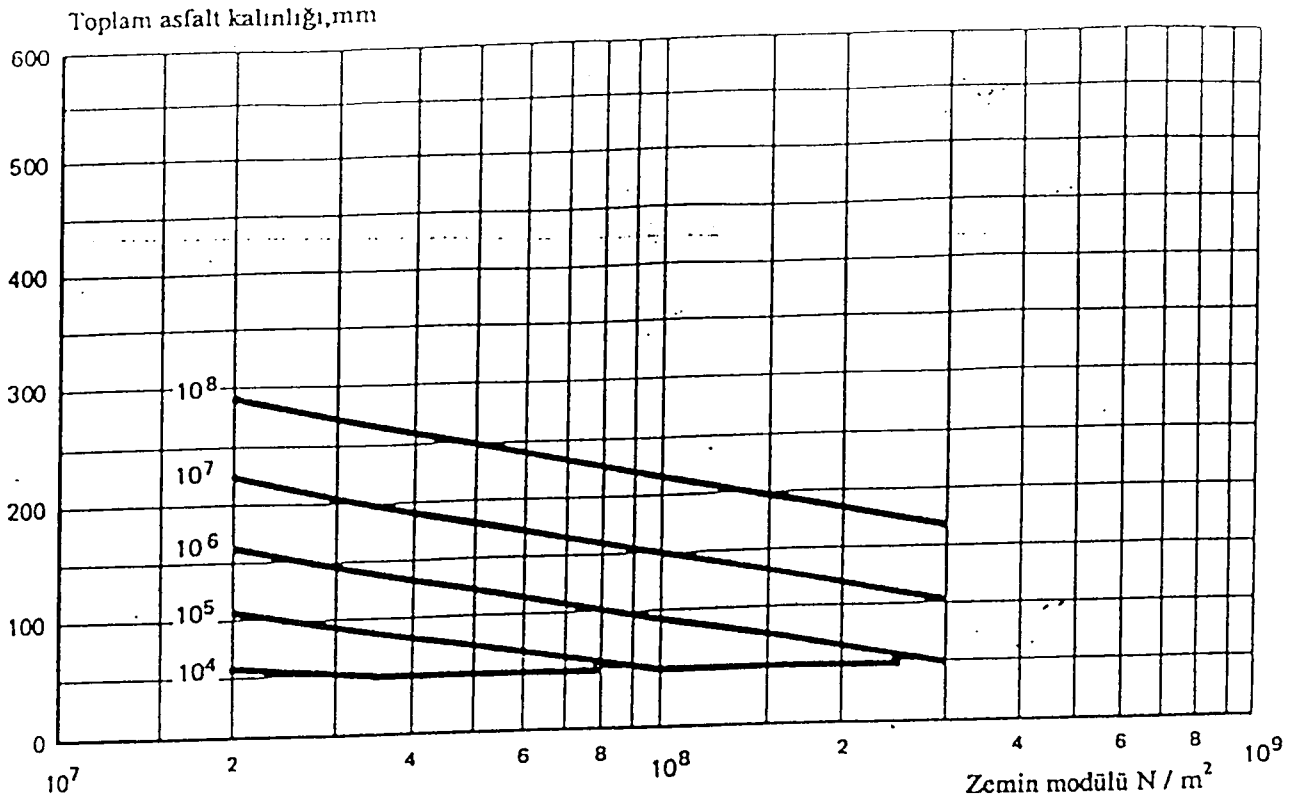
(19) $N_{D2} = N_{D1} \times N_{A2} / N_R$

(15), (21) $h_0 = h_1 - h_{1eff}$

veya $N_R = 0$, $N_{D2} = N_{A2}$

w - MAAT, °C 12

80 kN standart dingil yükü sayısı, değişken



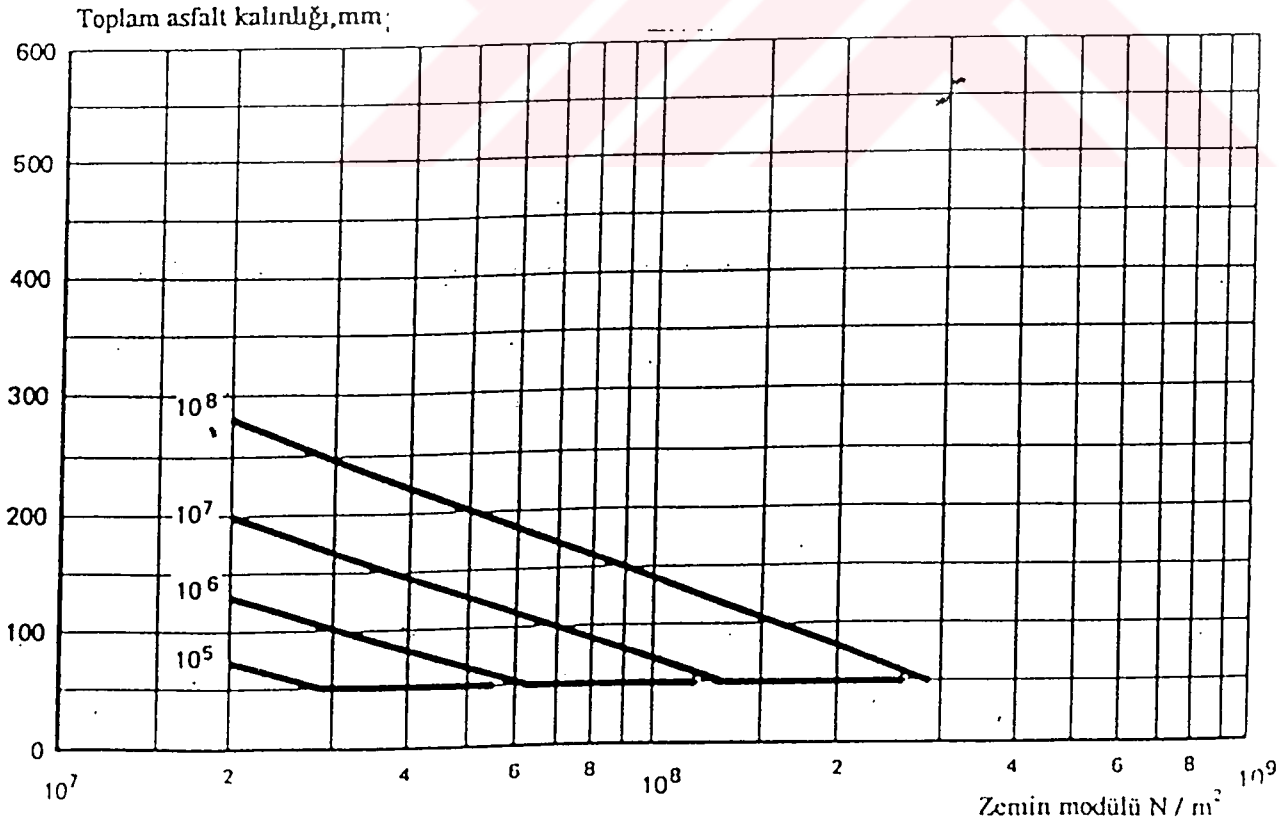
Şekil 5.1 EN 1 Grafiği

Karışım kodu : S₁ - F₁ - 50

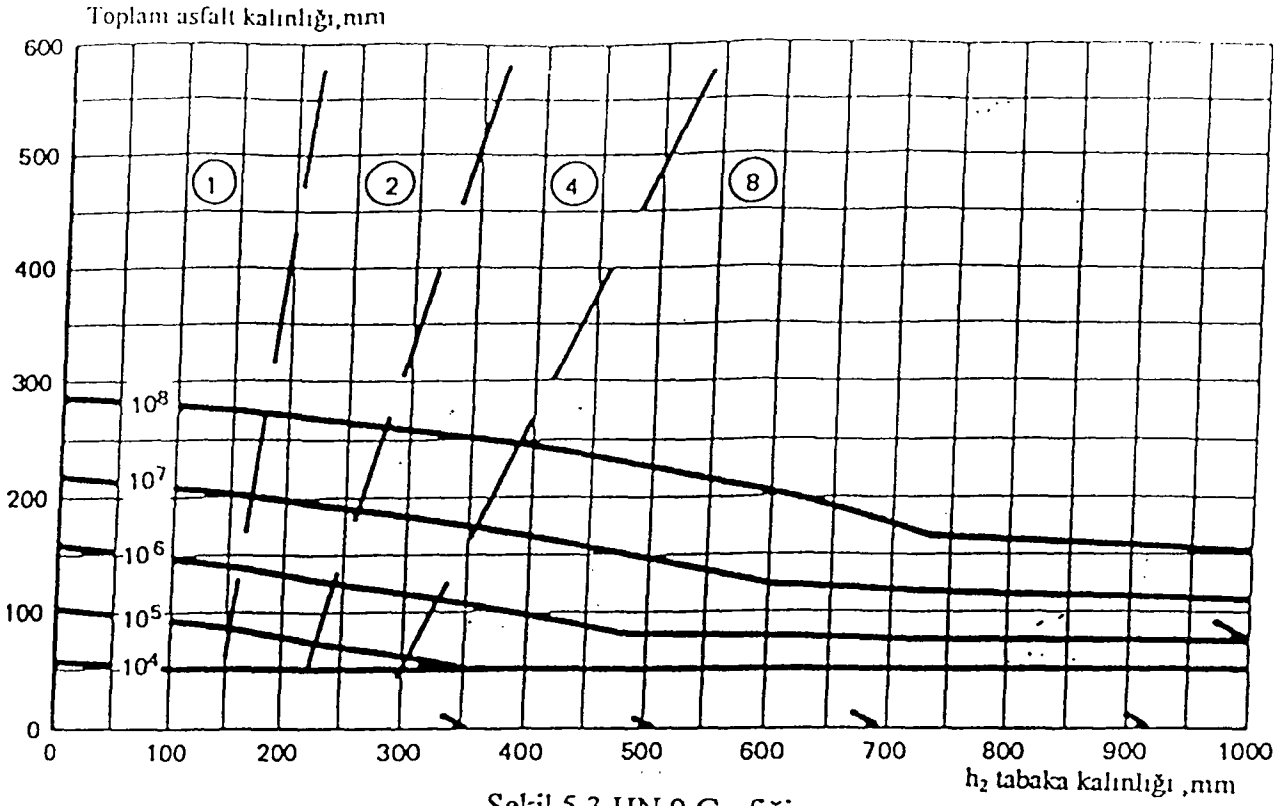
h_2 tabaka kalınlığı, mm 300

w - MAAT, °C 12

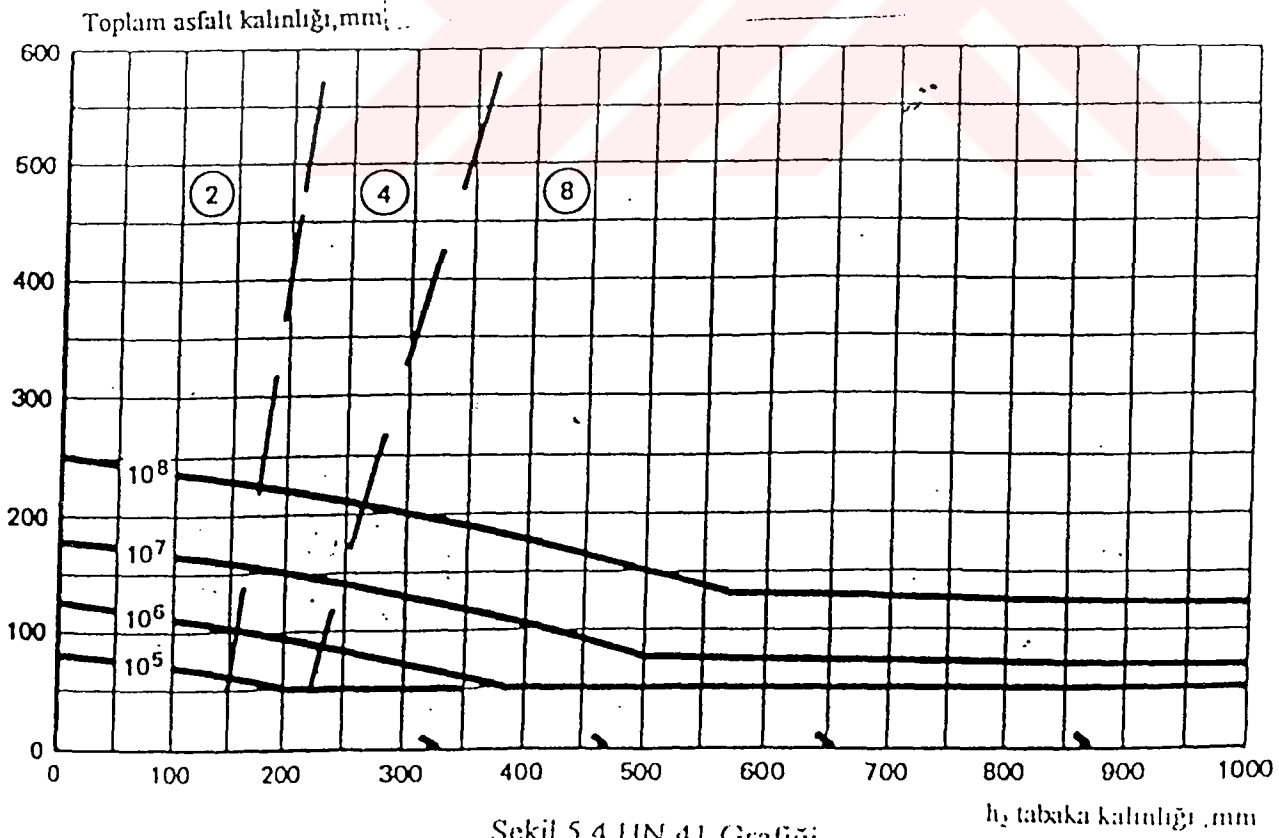
80 kN standart dingil yükü sayısı, değişken



Şekil 5.2 EN 9 Grafiği



Karışım kodu : S ₁ - F ₁ - 50	Zemin modülü N / m ²	5 x 10 ⁷
w - MAAT, °C 12	80 kN standart dingil yükü sayısı, değişken	



5.3 AASHTO 93 Analitik – Ampirik Tasarım Yöntemi

5.3.1 Veriler

Kaplama tabakası : 4.25 inc. = 108 mm

Temel tabakası : 8,00 inc = 203 mm

Gelecekteki tasarım trafik yükü – W_{18} : $2,4 \times 10^6$ ESDY (10 yıl için beklenen trafik data değeri)

M_R : 5700 psi (4×10^7 N / m²)

Taşınan trafik yükü : $0,4 \times 10^6$ ESDY

5.3.2 Çözüm

Adım I : Gelecekteki trafik yükü değeri için güvenilirlik oranlarına göre üstyapı numarası SN_f bulunur;

<u>R = 50 ise</u> , Z	S_o	P_1	P_2	M_R	W_{18}
0	0,45	4,2	2,5	5700	$2,4 \times 10^6$
$SN_f = 3,58$					

<u>R = 80 ise</u> , Z	S_o	P_1	P_2	M_R	W_{18}
-0,841	0,45	4,2	2,5	5700	$2,4 \times 10^6$
$SN_f = 4,10$					

<u>R = 85 ise</u> , Z	S_o	P_1	P_2	M_R	W_{18}
-1,037	0,45	4,2	2,5	5700	$2,4 \times 10^6$
$SN_f = 4,25$					

<u>R = 90 ise</u> , Z	S_o	P_1	P_2	M_R	W_{18}
-1,282	0,45	4,2	2,5	5700	$2,4 \times 10^6$
$SN_f = 4,42$					

<u>R = 95 ise , Z</u>	S_o	P_1	P_2	M_R	W_{18}
-1,645	0,45	4,2	2,5	5700	$2,4 \times 10^6$
$SN_f = 4,65$					

<u>R = 99 ise , Z</u>	S_o	P_1	P_2	M_R	W_{18}
-2,327	0,45	4,2	2,5	5700	$2,4 \times 10^6$
$SN_f = 5,16$					

Adım II: Esnek üstyapının şu andaki durumunu yansıtan SN_{eff} değeri üç yöntem ile saptanır.

Kalan ömür metodu;

Tabaka katsayıları; $a_1 = 0,44$, $a_2 = 0,14$ ve $a_3 = 0$ değerleridir.

Buradan ;

$$SN_o = 4,25 \times 0,44 + 8 \times 0,14 = 2,99 \text{ bulunur.}$$

<u>R = 50 için , Z</u>	S_o	P_1	P_2	M_R	SN_o
0	0,45	4,2	1,5	5700	2,99

$N_{1,5} = 1,2 \times 10^6$ değeri bulunur. Kalan ömür R_L ;

$$R_L = 100 \times (1 - 0,4 \times 10^6 / 1,2 \times 10^6) = 67 \text{ bulunur.}$$

Buradan şart faktörü CF değeri 0,94 elde edilir.

$$SN_{eff} = SN_o \times CF = 2,99 \times 0,94 = 2,81 \text{ değeri elde edilir.}$$

Üstyapı sayısı kontrolü metodu;

Tabaka katsayıları ve drenaj katsayıları; $a_1 = 0,35$, $a_2 = 0,14$, $a_3 = 0$ ve $m_1 = m_2 = 1,00$ değerleridir. Buradan SN_{eff} değeri ;

$$SN_{eff} = 4,25 \times 0,35 + 8 \times 0,14 \times 1 = 2,61$$

NDT metodu*:

Gerçekleştirilen

İstasyon	Yükleme, lbs	D _o , mils	D _r , mils
100	9000	12,80	3,55

Taban Zemini

M _R , psi	C Faktörü
16901	3

Denenerek Hesaplanmış

E _p / M _R	D _o , mils	E _p , psi	SN _{eff}
8,45	12,80	142,817	2,88

Kontrol $r = 36 \text{ inc.}$ $r > 0,7 a_e = 17,95$

Adım III: Takviye tabakası kalınlık değeri;

$D_o = SN_o / a_o$ eşitliğinden $a_o = 0,44$ değeri için güvenilirlik oranına karşı gelen takviye tabakası tasarımı aşağıda verilmiştir.

R	Kalan ömür,inc	Yüzey şartları,inc	NDT,inc
50	1,75	2,20	1,59
80	2,93	3,38	2,72
85	3,27	3,72	3,11
90	3,66	4,11	3,50
95	4,18	4,63	4,02
99	5,34	5,79	5,18

* NDT metodu değerleri AASHTO 93 tasarım rehberinden alınmıştır.

AASHTO 93 yol üstyapısı tasarım yöntemine göre, asfalt betonu ile takviye tabakası tasarımında üstyapıyı nokta – nokta yaklaşımı ile çözümlendiğinde güvenilirlik oranı % 50 alınır. R = % 50 değeri için Kalan ömür metoduna göre gerekli takviye tabakası kalınlık değeri $1,75 \text{ inc} = 1,75 \times 2.54 \text{ cm} = 44 \text{ mm}$ bulunur.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Takviye tabakası tasarımının prensibini, takviye tabakası tasarımı için var olan üstyapının belirlenmesi ve gelecekte gerekli üstyapının saptaması oluşturur. Esnek yol üstyapılarında takviye tabakası tasarımı ‘ Ampirik, Analitik ve Analitik – Ampirik Tasarım Yöntemleri’ ile incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

AASHO 72 Ampirik Tasarım Yöntemi takviye tabakası tasarımı için, var olan üstyapının belirlenmesi ve gelecekte gerekli üstyapının saptanmasında kullanılan parametrelerin yetersiz olduğu gözükmemektedir.

Shell Analitik Tasarım Yöntemi takviye tabakası tasarımı için, var olan üstyapıyı defleksiyon ölçümleriyle rutin olarak değerlendirmekte ve üstyapının artakalan durumunu ifade eden trafik değeri ile gelecekte beklenen trafik değerini karşılaştırmaktadır. Gelecekte gerekli üstyapının saptanmasında var olan üstyapıya dikkate almaktadır.

AASHTO 93 Analitik – Ampirik Tasarım Yöntemi takviye tabakası tasarımı için, NDT metodu – defleksiyon ölçümleri, Üstyapı Sayısı Kontrolü metodu - tabaka kalınlık ve katsayıları ve Kalan Ömür metodu – yorulma çatlağı oluşturacak trafik değeri ile var olan üstyapının belirlenmesi gerçekleştirilir. Gelecekte gerekli üstyapının saptanmasında var olan üstyapıya göz önüne alınmaktadır.

Ortak veriler kullanarak takviye tabakası tasarımı gerçekleştirilmiş AASHO 72 tasarım yöntemine göre 89 mm, Shell tasarım yöntemine göre 41 mm ve AASHTO 93 tasarım yöntemine göre 44mm takviye tabakası kalınlık değeri bulunmuştur. Burada AASHO 72 yöntemine göre takviye tabakası kalınlık değerinin yüksek çıkmasının sebebi gelecekte gerekli üstyapının saptanmasında var olan üstyapının dikkate alınmamasıdır.

Sonuç olarak takviye tabakası tasarımında Shell analitik ve AASHTO 93 analitik – ampirik tasarım yöntemlerinden bir tanesinin seçilmesi gerekmektedir. Takviye

tabakası tasarımında var olan üstyapının değerlendirilmesinde AASHTO 93 analitik –ampirik tasarım yöntemi üç metodu kullanarak (NDT metodu, Üstyapı Sayısı Kontrolü metodu ve Kalan Ömür metodu) bir anlamda kendini de kontrol etmiş olmaktadır.

Esnek yol üstyapılarının takviye tabakası tasarımında AASHTO 93 Analitik – Ampirik Tasarım Yönteminin kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda seçilecek farklı kompozisyona sahip üstyapılar suretiyle bu belirtilen sonuçların irdelenmeside yapılabilir.



KAYNAKLAR

AASHO, (1972), AASHO Guide For Design of Rijid and Flexible Pavement - 1972

AASHTO, (1993), AASHTO Guide For Design of Pavement Structure – 1993

**Ağar, E., (1999), Karayolu Üstyapılarının Tasarımı, Yüksek Lisans Ders Notları
(Basılmamış)**

**Calessen, A. I. M., Edwards, J. M., Sommer, P., Uge, P., (1977), Asphalt
Pavement Design ; The Shell Method, *Paper Prepared For 4th
International Conference On The Structure Design Of Asphalt
Pavements*, University of Michigan, Ann Arbor ,USA 21- 26
August**

**HDM, (2000), Higway Design Manual Chapter 600 Design of The Pavement
Structural Section**

**K.E.Ü.P.R., (1995), Karayolları Esnek Üstyapıları Projelendirme Rehberi – Teknik
Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Ankara
1995**

**Miht,M., (1997), Analiytical Pavement Design, SPDM – PC, *Journal of Highways
and Transportation*, December**

Umar, F., Ağar, E., (1985), Yol Üstyapısı, İstanbul 1985

**S P D M, (1978), Shell Pavement Design Manuel – Asphalt Pavements and
Overlays for Road Traffic, 1978**

Yüce, R., (1976), Design Considerations for Asphalt Mixtures and Overlays,
Prepared for Symposium on Maintance and Improvements of
Highways and Structures– Islamabad PAKISTAN, May 2 16,1976



EK A



Tablo A. 1 Kullanılacak tablo numarası için Tablo HN

Zemin Modülü E_s N/m^2	w MAAT, $^{\circ}C$	Karşım Kodu							
		50 pen. Bitüm				100 pen. Bitüm			
		S1 - F1 - 50	S1 - F2 - 50	S2 - F1 - 50	S2 - F2 - 50	S1 - F1 - 100	S1 - F2 - 100	S2 - F1 - 100	S2 - F2 - 100
2.5×10^7	4	1	2	3	4	5	6	7	8
	12	9	10	11	12	13	14	15	16
	20	17	18	19	20	21	22	23	24
	28	25	26	27	28	29	30	31	32
5×10^7	4	33	34	35	36	37	38	39	40
	12	41	42	43	44	45	46	47	48
	20	49	50	51	52	53	54	55	56
	28	57	58	59	60	61	62	63	64
10^8	4	65	66	67	68	69	70	71	72
	12	73	74	75	76	77	78	79	80
	20	81	82	83	84	85	86	87	88
	28	89	90	91	92	93	94	95	96
2×10^8	4	97	98	99	100	101	102	103	104
	12	105	106	107	108	109	110	111	112
	20	113	114	115	116	117	118	119	120
	28	121	122	123	124	125	126	127	128

 $h_1 - h_2$ 'den ; N değişken

Tablo A. 2 Kullanılacak tablo numarası için Tablo HT

Zemin Modülü E_s N/m^2	N	Karışım Kodu							
		50 pen. Bitüm				100 pen. Bitüm			
		S1 - F1 - 50	S1 - F2 - 50	S2 - F1 - 50	S2 - F2 - 50	S1 - F1 - 100	S1 - F2 - 100	S2 - F1 - 100	S2 - F2 - 100
2.5×10^7	10^6	1	2	3	4	5	6	7	8
	10^7	9	10	11	12	13	14	15	16
	10^8	17	18	19	20	21	22	23	24
5×10^7	10^6	25	26	27	28	29	30	31	32
	10^7	33	34	35	36	37	38	39	40
	10^8	41	42	43	44	45	46	47	48
10^8	10^6	49	50	51	52	53	54	55	56
	10^7	57	58	59	60	61	62	63	64
	10^8	65	66	67	68	69	70	71	72

$h_1 - h_2$ 'den ; w - MAAT değişken

Tablo A. 3 Kullanılacak tablo numarası için Tablo TN

Zemin Modülü E_s N/m^2	h_2 alt temel tabakası kalınlığı mm	Karışım Kodu							
		50 pen. Bitüm				100 pen. Bitüm			
		S1 · F1 · 50	S1 · F2 · 50	S2 · F1 · 50	S2 · F2 · 50	S1 · F1 · 100	S1 · F2 · 100	S2 · F1 · 100	S2 · F2 · 100
2.5×10^7	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	300	9	10	11	12	13	14	15	16
5×10^7	0	17	18	19	20	21	22	23	24
	300	25	26	27	28	29	30	31	32
10^8	0	33	34	35	36	37	38	39	40
	300	41	42	43	44	45	46	47	48

h_1 - w – MAAT'den ; N değişken

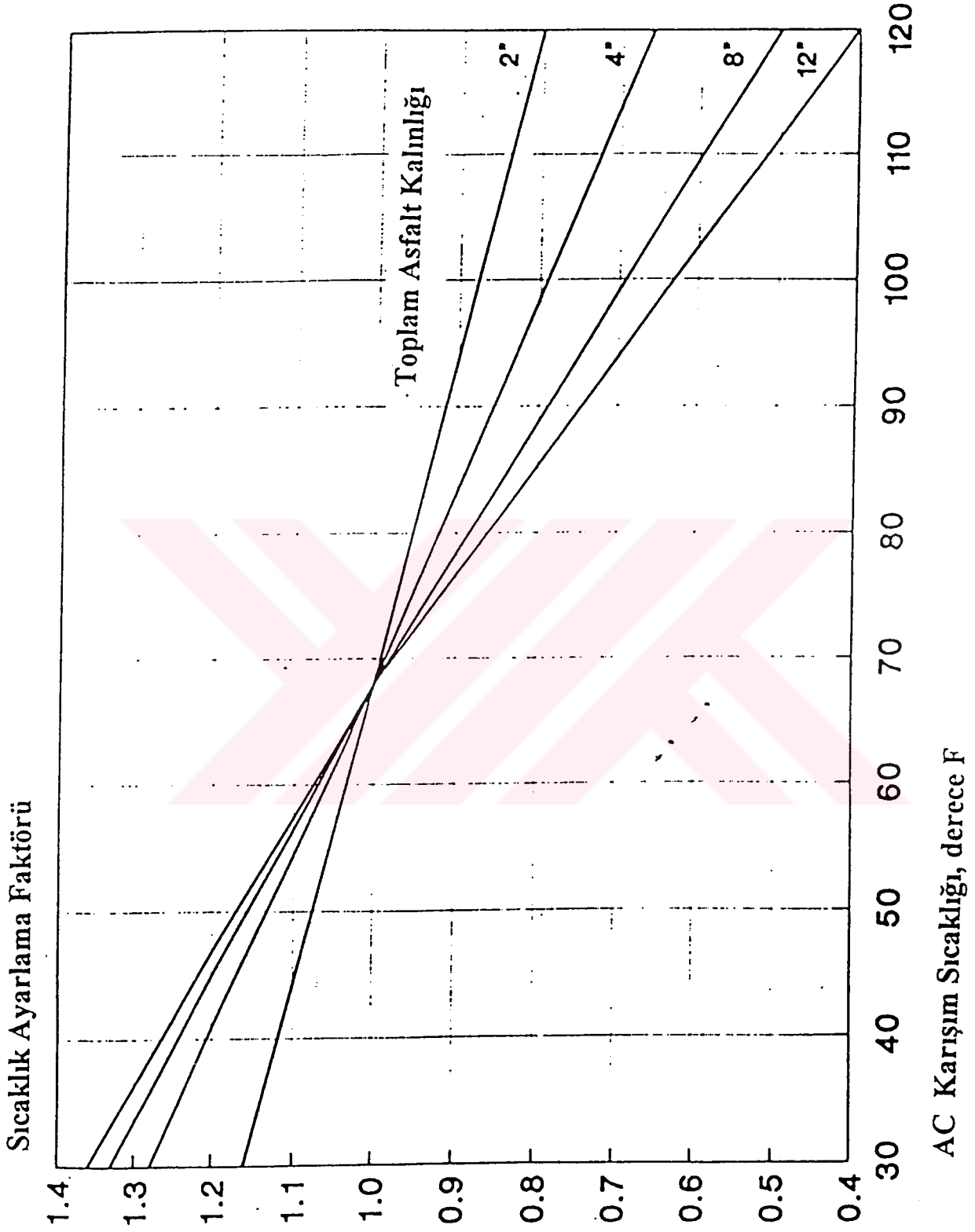
Tablo A. 4 Kullanılacak tablo numarası için Tablo EN

w-MAAT, °C	h ₂ alt temel tabakası kalınlığı mm	Karışım Kodu							
		50 pen. Bitüm				100 pen. Bitüm			
		S1 · F1 · 50	S1 · F2 · 50	S2 · F1 · 50	S2 · F2 · 50	S1 · F1 · 100	S1 · F2 · 100	S2 · F1 · 100	S2 · F2 · 100
12	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	300	9	10	11	12	13	14	15	16
20	0	17	18	19	20	21	22	23	24
	300	25	26	27	28	29	30	31	32
28	0	33	34	35	36	37	38	39	40
	300	41	42	43	44	45	46	47	48

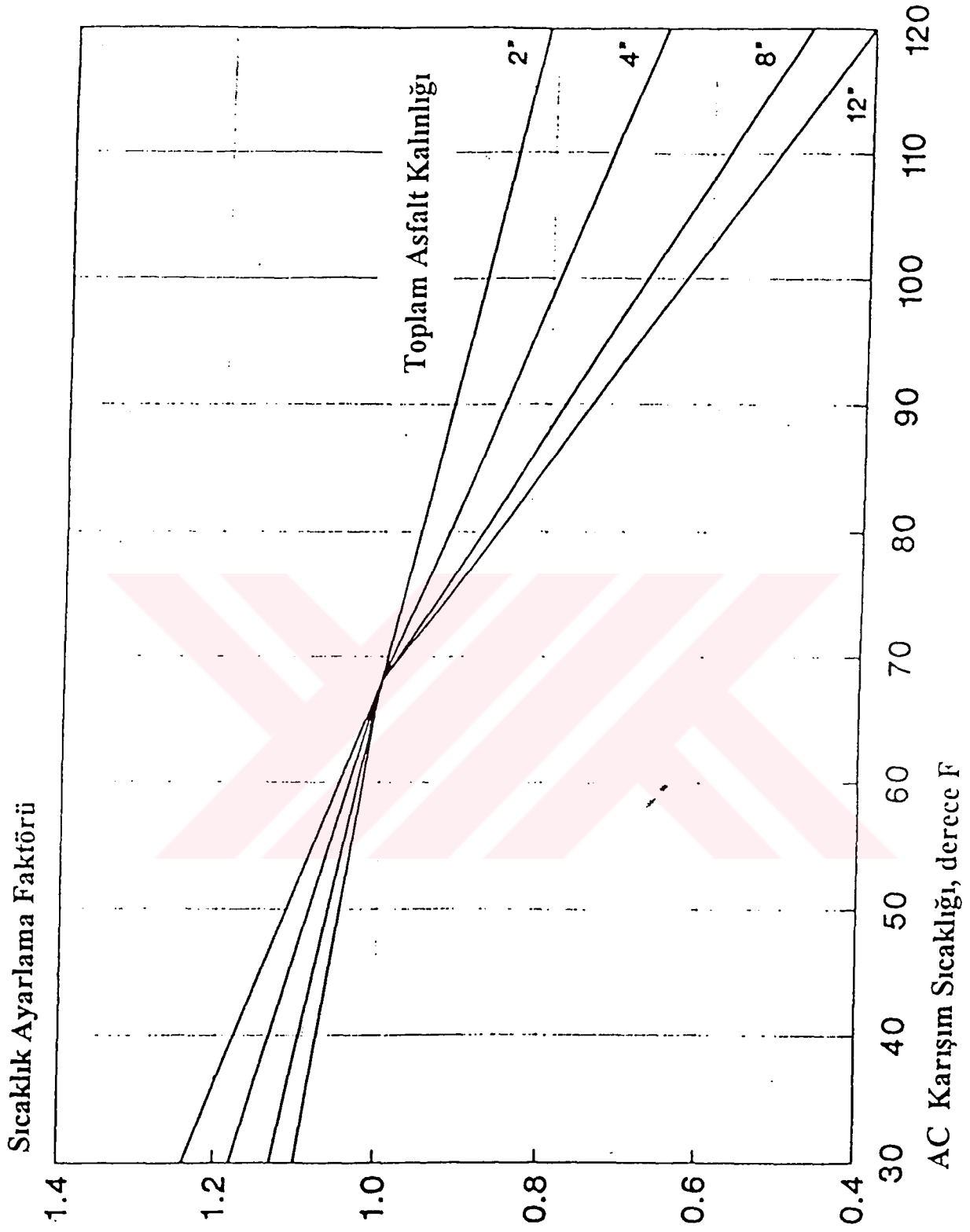
h₁ - E₃ 'den ; N değişken

EK B





Şekil B. 1 Granüler esnek üstyapı ve stabilize asfalt temel için toplam asfalt kalınlığı bağıntısı



Şekil B. 2 Çimentolu esnek üstyapı ve pozzolanik stabilize asfalt temel için

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Can DEMİR 1975 yılında Isparta’da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Isparta’da tamamlamıştır. 1993 – 1997 yılları arası İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimini tamamlamış ve 1997 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Ocak 2001 tarihinde Yüksek Lisans Tezini tamamlamıştır. Mehmet Can DEMİR 1997 yılından itibaren özel sektörde çalışmakta olup Doğuş Yapı Sanayi A.Ş. ’de Planlama Müh. olarak görev yapmaktadır.

