

**SHELL VE AASHTO 93 YÖNTEMLERİNDEKİ
PARAMETRELERİN DEĞİŞİMİNİN SONUCA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mustafa BERBEROĞLU

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Program: Ulaştırma Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Emine AĞAR

OCAK 2004

**SHELL VE AASHTO 93 YÖNTEMLERİNDEKİ
PARAMETRELERİN DEĞİŞİMİNİN SONUCA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mustafa BERBEROĞLU
(501991223)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 Aralık 2003
Tezin Savunulduğu Tarih: 14 Ocak 2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emine AĞAR
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Zerrin BAYRAKTAR (YTÜ)
Doç. Dr. Abdullah Hilmi LAV

OCAK 2004

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. ANALİTİK YÖNTEMLER	2
2.1. Giriş	2
2.2. Shell Üstyapı Tasarım Yöntemi	3
2.2.1. Tasarım Öçütleri	4
2.2.2. Tasarım Verileri	9
2.2.2.1. Trafik	9
2.2.2.2. İklim	13
2.2.2.3. Malzeme Özellikleri	13
2.2.3. Tasarım Öçütleri	23
2.2.4. Temel Hesaplamalar	23
2.2.5. Tipik Tasarım Eğrileri	23
2.2.6. PC Versiyonu	26
2.2.6.1. İklimin Bütünü Karışımın Sıcaklığına Etkisi	27
2.2.6.2. Üstyapı Tasarım Ömrünün Trafik Yükü Kulanarak Belirlenmesi	27
2.2.6.3. Temel Ve Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi	27
2.2.6.4. Bütünün Rijitliğini Belirlenmesi	28
2.2.6.5. Bütünü Karışımın Rijitliğini Belirlenmesi	29
2.2.6.6. Üstyapı Ömrünün ve Asfalt Kaplama Tabakası kalınlığının Belirlenmesi	29
2.3. Asfalt kaplama tabakası kalınlığının Tasarım Değişkenlerine Göre Değişimi	31
2.3.1. Asfalt Kaplama Kalınlığının Proje Trafığına Bağlı Olarak Değişimi	31
2.3.2. Asfalt kaplama tabakası kalınlığının Temel Kalınlığına Bağlı Olarak Değişimi	34
2.3.3. Asfalt kaplama tabakası kalınlığının Ağırlıklı Ortalama Hava Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi	37
2.4. Sonuçlar ve Tartışma	40

3. ANALİTİK AMPİRİK YÖNTEMLER	41
3.1. Giriş	41
3.2. AASHTO 93	41
3.2.1. Esnek Üst yapı Tasarım İçin Gerekli Veriler	44
3.2.1.1. Performans Ölçütü-Servis Yeteneği	44
3.2.1.2. Genel Tasarım Değişkenleri	46
3.2.1.3. Yapısal Tasarım İçin Malzeme Özellikleri	51
3.2.1.4. Üst yapı Yapısal Özellikleri	60
3.2.2. Esnek Üst yapı Tasarım	61
3.2.3. Üst yapı Sayısının Tasarım Değişkenlerine Göre Değişimi	66
3.2.2.1. Üst yapı Sayısının Proje Trafığına Bağlı Olarak Değişimi	66
3.2.2.2. Üst yapı Sayısının Esneklik Modülüne Bağlı Olarak Değişimi	69
3.2.2.3. Üst yapı Sayısının Güvenilirlik Grana Bağlı Olarak Değişimi	72
3.2.2.4. Üst yapı Sayısının Proje Standart Sapmaya Bağlı Olarak Değişimi	75
3.3. Sonuçlar Ve Tartışma	78
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	79
KAYNAKLAR	80
EKLER	81
ÖZGEÇMİŞ	94

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHO	: American Association of State Highway Officials
CBR	: California Bearing Ratio
SPDM	: Shell Pavement Design Manual
BISAR	: Bitumen Stress Analysis in Road
BISTRO	: Bitumen Structures in Road
PI	: Penetrasyon İndisi
MMAT	: Month Mean Air Temperature
MAAT	: Mean Annual Air Temperature
WMAAT	: Weighted Mean Annual Air Temperature
ESAL	: Equivalent Single Axle Loading
YEF	: Yük Eşdeğerlik Faktörü
PSI	: Present Serviceability Index
SW	: Swelling
FH	: Forest Heave

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Asfalt karışımlarının kompozisyonu 11
Tablo 2.2	Trafi k sayısına ba ğlı olarak Asfalt kaplama tabakası kalı nlı ğının al dı ğı de ğerler 31
Tablo 2.3	Temel tabakası kalı nlı ğına ba ğlı olarak Asfalt kaplama kalı nlı ğının al dı ğı de ğerler 34
Tablo 2.4	WMAAT' a ba ğlı olarak Asfalt kaplama tabakası kalı nlı ğının al dı ğı de ğerler 37
Tablo 3.1	Karayolu tipleri i ğin ö ngör ü len analiz periyotları 46
Tablo 3.2	AASHTO 93 de önerilen Şerit Da ğılı m Granları 48
Tablo 3.3	AASHTO 93 rehberinde önerilen Güvenilirlik Seviyesi oranları (R) 49
Tablo 3.4	AASHTO 93 rehberinde güvenilirlik oranlarına ba ğlı olarak verilen standart sapma de ğerleri 50
Tablo 3.5	Temel tabakası i ğin a şa ğıdaki taban zemin esneklik modül ü ile asfalt betonu kalı nlı ğı de ğerlerine ba ğlı olarak θ de ğerleri 54
Tablo 3.6	Temel ve alttemel tabakaları mal zemeleri i ğin tipik k1 ve k2 de ğerleri 55
Tablo 3.7	Gerilme durumu – Esneklik Modül ü (EBS) ili şki si 55
Tablo 3.8	Temel tabakası i ğin a şa ğıdaki taban zemin esneklik modül ü ile asfalt betonu kalı nlı ğı de ğerlerine ba ğlı olarak θ de ğerleri 56
Tablo 3.9	Alttemel i ğin θ de ğerleri 56
Tablo 3.10	Gerilme durumu – Esneklik modül ü (ESB) ili şki si 57
Tablo 3.11	Dr enaj kalitesinin saptanması 61
Tablo 3.12	Esnek üst yapılar i ğin güçlendirilmiş temel ve alttemel mal zemeleri i ğin önerilen (m) de ğerleri 61
Tablo 3.13	M nimum tabaka kalı nlı kları 64
Tablo 3.14	SN nin proje trafi ği de ği Ő ti kçe al dı ğı de ğerler 66
Tablo 3.15	SN nin proje trafi ği de ği Ő ti kçe al dı ğı de ğerler 69
Tablo 3.16	SN nin güvenilirlik oranı de ği Ő ti kçe al dı ğı de ğerler 72
Tablo 3.17	SN nin standart sapma de ğeri de ği Ő ti kçe al dı ğı de ğerler 75
Tablo A.1	Esnek üst yapılar da tek di ngil ve $R_t = 2.0$ i ğin di ngil yükü e Ő de ğerlik fakt ö rleri 85
Tablo A.2	Esnek üst yapılar da tandem di ngil ve $R_t = 2.0$ i ğin di ngil yükü e Ő de ğerlik fakt ö rleri 86
Tablo A.3	Esnek üst yapılar da üç lü di ngil ve $R_t = 2.0$ i ğin di ngil yükü e Ő de ğerlik fakt ö rleri 87
Tablo A.4	Esnek üst yapılar da tek di ngil ve $R_t = 2.5$ i ğin di ngil yükü e Ő de ğerlik fakt ö rleri 88
Tablo A.5	Esnek üst yapılar da tandem di ngil ve $R_t = 2.5$ i ğin di ngil yükü e Ő de ğerlik fakt ö rleri 89
Tablo A.6	Esnek üst yapılar da üç lü di ngil ve $R_t = 2.5$ i ğin di ngil yükü e Ő de ğerlik fakt ö rleri 90

Tablo A7	Esnek üst yapılarda tek dıngil ve $P_t = 3.0$ için dıngil yükü eşdeğerlik faktörleri	91
Tablo A8	Esnek üst yapılarda tandem dıngil ve $P_t = 3.0$ için dıngil yükü eşdeğerlik faktörleri	92
Tablo A9	Esnek üst yapılarda üç ü dıngil ve $P_t = 3.0$ için dıngil yükü eşdeğerlik faktörleri	93

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2 1	Esnek üst yapının basitleştirilmiş şekli	5
Şekil 2 2	Deformasyon tekrarlarının bir fonksiyonu olarak izin verilebilir taban zeminde deformasyonu	7
Şekil 2 3	S_n ve V_b 'ye bağlı yorulma nomografi	8
Şekil 2 4	Karışımın rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak izin verilebilir deformasyonu (Yoğun bitümü nakadam).....	9
Şekil 2 5	Karışımın rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak izin verilebilir asfalt deformasyonu (Zayıf bitümü nakadam)	10
Şekil 2 6	Karışımın rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak farklı bitümü karışımın için izin verilebilir asfalt deformasyonu	10
Şekil 2 7	Karışımın rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak temsil bitümü karışımın için verilebilir asfalt deformasyonu	12
Şekil 2 8	Bitümü bağlayıcının rijitliğinde belirlemede kullanılan Van Der Poel Nomografi	16
Şekil 2 9	Bitümü karışımının rijitliğini bulmakta kullanılan nomograf	17
Şekil 2 10	Bitümü bağlayıcının rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak farklı bitümü karışımının rijitlik modülleri	18
Şekil 2 11	Bitümü bağlayıcının rijitlik modülünün bir fonksiyonu temsil bitümü karışımın rijitlik modülü	18
Şekil 2 12	Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak temsil bitümü karışımının rijitlik modülleri (80/100 pen bitümü karışımın)	19
Şekil 2 13	Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak temsil bitümü karışımının rijitlik modülleri (40/60 pen bitümü karışımın)	20
Şekil 2 14	MMAT ve tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak bitümü karışımın rijitlik modülü (80/100 bitümü bağlayıcılı yoğun bitümü nakadam)	21
Şekil 2 15	MMAT ve tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak efektif bitümü karışımın sıcaklığı	22
Şekil 2 16	Ti pik tasarımı eğrileri (Değişken N)	24
Şekil 2 17	Ti pik tasarımı eğrileri (Değişken ağırlıklı yıllık ortalama hava sıcaklığı WMMAT)	25
Şekil 2 18	Farklı karışım tipleri için tasarımı eğrileri	25
Şekil 2 19	Çimentolu temel tabakasına sahip üst yapıların kalınlık tasarımı	26
Şekil 2 20	Taban zeminin veya bağlayıcısız temel malzemelerinin dinamik modülünün belirlenmesi	30
Şekil 2 21	Asfalt kaplama tabakası kalınlığının proje trafiğine bağlı olarak değişiminin doğrusal gösterimi	32
Şekil 2 22	Asfalt kaplama tabakası kalınlığının proje trafiğine bağlı olarak değişiminin eğrisel gösterimi	33
Şekil 2 23	Asfalt kaplama tabakası kalınlığının temel tabakası kalınlığına bağlı olarak değişiminin doğrusal gösterimi	36

Şekil 2 24	Asfalt tabakası kalınlığının temel tabakası kalınlığına bağlı olarak değişiminin eğrisel gösterimi	37
Şekil 2 25	Asfalt kaplama tabakası kalınlığının WMAAT değerine bağlı olarak değişiminin doğrusal gösterimi	38
Şekil 2 26	Asfalt kaplama tabakası kalınlığının WMAAT değerine bağlı olarak değişiminin eğrisel gösterimi	39
Şekil 3 1	Belli bir bölge için zamanla bağlı olarak toplam çevresel servis yeteneği kaybı	52
Şekil 3 2	Asfalt betonunun tabaka katsayısının (a_1) resilient modülüne bağlı olarak bulunması	54
Şekil 3 3	Granül temel için tabaka katsayısının (a_2) farklı gerilme durumuna bağlı olarak bulunması	57
Şekil 3 4	Granül alt temel tabakasının tabaka katsayısının (a_3) bulunması	58
Şekil 3 5	Çimentolu temel tabakasının tabaka katsayısının (a_2) bulunması	59
Şekil 3 6	Bitümlü bağlayıcılı temel tabakasının tabaka katsayısının bulunması	60
Şekil 3 7	Esnek üst yapılar için tasarımı çizelgesi	62
Şekil 3 8	Kümülatif ESAL sayısına karşılık gelen periyot	64
Şekil 3 9	Tabaka analiziyle tabaka kalınlıklarının belirlenmesi	65
Şekil 3 10	SN değerinin proje trafiğine bağlı olarak değişiminin doğrusal olarak gösterimi	67
Şekil 3 11	SN değerinin proje trafiğine bağlı olarak değişiminin eğrisel olarak gösterimi	68
Şekil 3 12	SN değerinin esneklik modülüne bağlı olarak değişiminin doğrusal olarak gösterimi	70
Şekil 3 13	SN değerinin esneklik modülüne bağlı olarak değişiminin eğrisel olarak gösterimi	71
Şekil 3 14	SN değerinin güvenilirlik oranına bağlı olarak değişiminin doğrusal olarak gösterimi	73
Şekil 3 15	SN değerinin güvenilirlik oranına bağlı olarak değişiminin eğrisel olarak gösterimi	74
Şekil 3 16	SN değerinin standart sapmaya bağlı olarak değişiminin doğrusal olarak gösterimi	76
Şekil 3 17	SN değerinin standart sapmaya bağlı olarak değişiminin eğrisel olarak gösterimi	77
Şekil A 1	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	81
Şekil A 2	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	81
Şekil A 3	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	82
Şekil A 4	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	82
Şekil A 5	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	83
Şekil A 6	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	83
Şekil A 7	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	84
Şekil A 8	Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması	84

SEMBOL LİSTESİ

SN	: Üst yapı sayısı
ϵ	: Deformasyonlar
C	: Yatay deformasyon seviyesini gösteren parametre
$E_{1,2}$: Tabakaların esneklik modülleri
$h_{1,2}$: Tabaka kalınlıkları
$S_{m,x}, S_b$: Bitümün karışımın ve bitümün rijitliği
N	: Uygulanan yük sayısı
V_{agg}, V_{bit}	: Agreganın ve bitümün hacim yüzdesi
SP_r	: Geri kazanılmış bitümün yumuşama noktası
PI_r	: Geri kazanılmış bitümün penetrasyon indeksi
T	: Sıcaklık
t	: Yükleme Süresi
ν	: Poisson Oranı
β	: Servis yeteneği şeklini etkileyen tasarım ve yük değişkeni
ρ	: Tasarım ve yük değişkenlerini bir fonksiyonu
W_{18}	: 18 kip eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı
Z_r	: Standart Sapma
S_b	: Toplam standart sapma
ΔPSI	: Servis yeteneğindeki kayıp
a	: Tabaka katsayısı
M	: Tabaka drenaj katsayısı
$E_{1,2}$: Çatlakların ve yarıların fiziksel ölçüsü
SV	: Ortalama eğim değişimi
RD	: Tekerleki zeri derinliği
SW	: Tek dingil yükü
TW	: Tandem dingil yükü
T_F	: Ağır vasıta faktörü
T_v	: Ağır vasıta miktarı
TP	: Günlük ortalama 2 yönlü trafik
TKS	: Ağır vasıta yüzdesi
BF	: Büyütme faktörü
g	: Büyütme oranı
DY	: Yön dağıtma faktörü
DŞ	: Şerit dağıtma faktörü
F_r	: Güvenlik faktörü
M_R	: Taban zemin esneklik modülü
σ_d	: Deviator gerilme
$\sigma_{1,2,3}$: Asal gerilmeler
$k_{1,2}$: Regresyon sabitleri
θ	: Asal gerilmeler toplamı
R_E	: Güvenlik Oranı

ÖZET

“Shell Ve AASHTO 93 Yöntemlerindeki Parametrelerin Değişiminin Sonuçları” başlığı altında dört bölüm olarak hazırlanan bu çalışmada esnek yol üst yapısının tasarımı yapılırken dikkate alınan parametrelerin değişimi incelenmiş ve etkileri araştırılmıştır.

Birinci bölümde konu hakkında genel bilgiler verilerek bir giriş yapılmış konunun neden incelendiği hakkında bilgi verilmiştir.

“Analitik Yöntemler” başlığını taşıyan ikinci bölümün girişinde bu yöntemin diğer yöntemlerden farkından ve yöntemdeki temel aşamalarından söz edilmiştir. Bu tip yöntemler için Shell Üstyapı Tasarım Yöntemi, örnek alınan yöntemin nasıl ortaya çıktığı hangi tasarım verilerinin dikkate alındığı ve yöntemi hangi bilgisayar programlarının desteklediği konu edilmiştir. Bölümün sonunda tasarım değişkenlerinin asfalt kaplama tabakası kalınlığını nasıl etkilediği incelenmiştir.

Üçüncü bölümde “Analitik- Ampirik Yöntemler”e yer verilmiş ve örnek olarak AASHO yol testi sonuçlarından elde edilmiş AASHTO 93 (Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Görevlileri Birliği) tasarım yöntemi incelenmiş ve bu yöntemde yer alan parametreler açıklanmıştır.

AASHTO 93 yönteminde hata payını azaltmak için güvenilirlik ve standart sapmanın bir fonksiyonu olan Güvenilirlik Faktöründen, drenaj özelliklerini hesaba katmak için Drenaj Faktörü’nden, perforans etkileyen taban zeminini şişmesi ve don kabarmasının oluşturduğu kayıplardan ve taban zeminini Resilient (esneklik) modülünden söz edilmiştir.. Üçüncü bölümün sonunda tasarımda kullanılan parametrelerin üst yapı sayısına etkisi ortaya konmuştur.

Dördüncü bölümün çalışmanın sonuç kısmını içerir. Asfalt kaplama tabakasının kalınlığını etkileyen parametreler birbirleriyle karşılaştırılmış ve hangi tasarım parametresinin daha etkili olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu parametreye neden daha fazla dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

THE EFFECT OF PARAMETERS VARIATION ON SHELL AND AASHTO 93 DESIGN METHODS

SUMMARY

This study named "The Effect of Parameters Variation on Shell and AASHTO 93 Design Methods" has been prepared within 4 chapters and tried to investigate variation of parameters which are calculated to design flexible pavement and to discuss its effects.

In the first chapter essential information are given about the subject and reasons of the investigations are determined.

In the beginning of second chapter named "Analytical Methods", basics of this method and its differences from the other methods are mentioned. Then, Shell Pavement Design Method and how this method has been aroused, according to considered design data and its supported software are mentioned. At the end of this section, how design variables effect on thickness of asphalt layer is investigated.

In the third chapter took place "Analytical - Empirical Methods", the method, its requirements and why it has been created are mentioned. Design method AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) which is get by road test results of AASHO (American Association of State Highway Officials) and its parameters also are mentioned in this chapter.

To reduce error portion, reliability factor which is a function of reliability and standard deviation, drainage factor to consider drainage specifications, Roadbed Swelling and Frost Heave which influence performance and Roadbed Soil Resilient Modulus are mentioned in this chapter. At the end of the section, effects to pavement number of parameters which are used to dimension are revealed.

Fourth and the last chapter are considered as the consequence section. In this section parameters which are effective on thickness of asphalt layer are compared and parameter which is the most effective is revealed. Finally, why we should be more careful to that parameter is determined.

ÖNSÖZ

Çalışmamın her aşamasında kıymetli katkılarını ve enişin hoşgörüsünü esirgemeyen saygın hocam Prof. Dr. Emine AĞAR'a her koşulda desteğini esirgemeyen aileme ve çalışmamın değişik aşamalarındaki desteklerinden dolayı Dr. Mirat ERGÜN'e Yük. Zır: Mih. Emine BERBEROĞLU'na Yük. Şehir. Pln. Tolga AIIŞ'a ve Jeo. Mih. Barış AÇIK'a teşekkürü bir borç bilirim

Mustafa BERBEROĞLU

Aralık 2003

Üni versitesi : İstanbul Tekni k Üni versitesi
Enstit üs ü : Fen Bli mleri
Anabili m Dalı : İnşaat Mihendi sli ği
Progra m : U aştır ma Mihendi sli ği
Tez Dan ş mam : Prof. Dr. Emi ne AĞAR
Tez Tür ü ve Tari hi : Yüksek lisans - Aralık 2003

ÖZET

SHELL VE AASHTO 93 YÖNTE MLERİ NDEKİ PARAMETRELERİ N DE Ėİ Őİ M Nİ N SONUCA ETKİ Sİ

Must afa BERBEROĞLU

Bu çalı Ő mada esnek yol üstyapısının tasarımı yapılırken di k kate alı nan parametrelerin de ği Ői ni incelenmi Ő ve etkileri araştı rı lmı Őtır. Shell Üstyapı Tasarım Yönt emi ni n nasıl ortaya ç ı ktı ğı hangi tasarım verilerinin di k kate alınd ı ğı ve yönt emi hangi bilgisayar programlarının destekledi ği konu edil mi Ő. sonunda tasarım de ği Őkenlerinin asfalt kaplama tabakası kalınlı ğı nı nasıl etkiledi ği incelenmi Őtir. AASHTO 93 yönt emi nde hata payını azalt mak için güvenil irlik ve standart sapmanın bir fonksiyonu olan Güvenil irlik Fakt öründen, drenaj özelliklerini hesaba katmak için Drenaj Fakt örü'nden, performansı etkileyen taban zemi ni Ői Őmesi ve don kabarmasının oluşturdu ğu kayı plardan ve taban zemi ni Resili ent (esneklik) modül den söz edil mi Őtir. Üç üncü bölümün sonunda tasarı mda kullanılan parametrelerin üstyapı sayısına etkisi ortaya konmu Őtur. Asfalt kaplama tabakasının kalınlı ğı nı etkileyen parametreler bir birleriyle karşı laşt ırılmı Ő ve hangi tasarı mparametresi ni n daha etkili oldu ğu ortaya ç ı karılmı Őtır.

Anahtar Kelimeler: Shell Yönt emi, AASHTO 93 Yönt emi, Parametre De ği Ői mi

Bilim Dalı Sayısal Kodu: 624

University : İstanbul Technical University
Institute : Institute of Science and Technology
Science Programme : Civil Engineering
Programme : Transportation Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Emine AĞAR
Degree Awarded and Date : Master - January 2004

ABSTRACT

THE EFFECT OF PARAMETER S VARIATION ON SHELL AND AASHTO 93 DESIGN METHODS

Mustafa BERBEROĞLU

In this study variation of parameters which are calculated to design flexible pavement and to discuss its effects. Shell Pavement Design Method and how this method has been aroused, according to considered design data and its supported software are mentioned. At the end of this section, how design variables effect on thickness of asphalt layer is investigated. Then at AASHTO 93 (American Association of State Highway and Transportation Officials) reduce error portion, reliability factor which is a function of reliability and standard deviation, drainage factor to consider drainage specifications, Roadbed Swelling and Frost Heave which influence performance and Roadbed Soil Resilient Modulus are mentioned in this chapter. At the end of the section, effects to pavement number of parameters which are used to dimension are revealed. The parameters which are effective on thickness of asphalt layer are compared and parameter which is the most effective is revealed.

Key words: Shell Method, AASHTO 93 Method, Parameter's Changing

Science Code: 624

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Yol üst yapısının projelendirilmesinde amaç; proje süresi boyunca üzerinden geçen trafiği büyük deforasyonlara, çatlaklara maruz kalmadan güvenli bir şekilde taşıyabilecek üst yapının toplam kalınlığının ve tabakaların kalınlıklarının tek tek belirlenmesi, kullanılacak malzemelerin özelliklerini saptanmasıdır. Karayolu diğer mühendislik yapılarına göre farklılıklar gösterir. Yollar sonsuz uzunluktadır ve dolayısıyla oturdukları taban zeminini bir noktadan diğeri ne değişebilmektedir. Yol üst yapısını oluşturan tabakalar farklı özellik taşıyan malzemelerden yapılmıştır. Bu malzemelerin özelliklerinin tasarımı için ne derece önemli olduğu bilinmelidir.

Bildiği gibi yol üst yapıları 20 yıllık bir periyot için projelendirilir. Bu süre içinde yolun enine ve boyuna profili ni teorik profilden çok az fark etmesi istenir. Ancak ülkemizde inşa edilen yolların beklenen süreden daha kısa bir sürede bozulduğu görülmektedir. Bu bozulmalarda etkili olan parametrelerin tahminlerinde yapılan hatalarda hangi parametrede daha az hata yapılması ve bu parametre seçilirken daha dikkatli olunması gerektiği önemlidir.

Bu çalışmanın amacı; yol üst yapısının projelendirilmesinde kullanılan AASHTO 93 ve Shell tasarım yöntemindeki parametrelerin üst yapı sayısına ve asfalt kaplama tabakası kalınlığına ne ölçüde etkilediklerini ortaya koymak ve bunun sonucu olarak projelendirme sırasında hangi parametrelerin değerlerinin kullanımında çok titiz davranılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktır. Böylece ekonomik kayıplar en aza indirilecektir.

BÖLÜM2

ANALİTİK YÖNTEMLER

2.1 Giriş

Analitik yaklaşımda teorik analiz ve bitümlü malzemelerin özellikleri kullanılır ve prensip olarak her türlü tasarım durumuna cevap verebilir. Analitik tasarım yöntemlerinde, üst yapı, diğer inşaat mühendisliği yapıları gibi ele alınır. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, tahmini trafik yükü ve çevresel koşullar dikkate alınarak bilgisayar program ve nomograflardan yararlanmak suretiyle tabaka kalınlıkları belirlenir.

Analitik tasarım yöntemleri üst yapının viskoelastik veya elastik bir taban zemini üzerine oturduğu viskoelastik veya elastik rijit sistem olarak modellenebileceği kabulüne dayanır. Bu kabulden sonra üst yapının üstünde veya altında bulunan herhangi bir noktadaki, trafik yüklerine ve çevresel etkilere bağlı olarak oluşan gerilme, şekil değiştirme ve defleksiyon hesaplanabilir[3].

Analitik tasarımda temel aşamalar aşağıdaki gibidir.

1. Yüklerin belirlenmesi
2. Üst yapıyı oluşturan bileşenlerin boyutlarının belirlenmesi
3. Teorik prensipler kullanılarak üst yapının kritik noktalarındaki basınç, gerilme ve yer değiştirmelerin belirlenip sistemin çözülmesi

4. Elde edilen sonuçların izin verilen değerlerle karşılaştırılıp tasarımın yeterli olup olmadığına belirlenmesi,
5. Tatmin edici bir sonuca ulaşana kadar malzeme ve geometrilerde ayarlamayı yaparak 2, 3 ve 4 adımların tekrarlanması,
6. Sonucun ekonomik yönden irdelenmesi,

Son yirmi beş yıldır sürdürülen araştırmalarla analitik tasarım yöntemlerinde önemli gelişmeler olmuş ve bu konuda çok çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiştir. En başta yalnızca büyük şirketler tarafından kullanılan bu programlardan, kişisel bilgisayarların yaygınlaşmasıyla çok sayıda mühendise yararlanmaya başlanmıştır.

2.2 SHELL ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMİ

Analitik üst yapı tasarımı yeni bir fikir değildir. 1926 yılında Westergaard tarafından rijit üst yapılarıdaki gerilmelerin hesaplanması için bir yöntem geliştirilmiştir. 1950'lerin sonlarına doğru analitik tasarım yöntemlerine duyulan ilgi artmış ve 1963 yılında Shell tarafından, esnek üst yapıların tasarımına yönelik laboratuvar testleri ve AASHO yol testinin sonuçlarından derlenen bir grup tasarım çizelgesi yayımlanmıştır. Sonraki yıllarda yöntem kapsamı bir tasarım paketi geliştirmek üzere malzeme özellikleri, trafik yüklemesi ve sıcaklık etkilerini içine alacak şekilde genişletilmiş ve güncelleştirilmiş, sonuçta ortaya Shell Üst yapı Tasarım Rehberi (SPDM 1978) çıkmıştır. 1958'te yapılan çeşitli eklemelerde de SPDM 1978'in güncelleştirilmesi yapılmıştır. Bu iki yayının bilgisayar modellerine dayanarak birlikte sahada çalışan ve gelişmiş bilgisayar imkanlarından yoksun mühendisler için grafik çizelge ve tablolarından oluşan bir tasarım yöntemi de sunulmaktadır [4].

SPDM üst yapıyı Şekil 2.1' de görüldüğü gibi, mevcut zemin, onun üzerindeki bağımsız granüler malzemenin oluşturduğu temel ve temel üzerini kaplayan bitümlü tabakadan oluşan çok katlı bir lineer elastik sistem olarak ele alınır.

Asfalt kaplama tabakası ve alt temel düzeyde yarı homojen zemin üzerindeki sonsuz yatay genişlik ve uniform kalınlıktaki homojen malzemeler olarak düşünülür. Üst yapının ömrü yapının öngörülen hasar derecesi oluşana kadar taşıyacağı tahmin edilen toplam standart dingil sayısı ile ifade edilir [3].

Yöntemin prensibi üst yapıya trafik yüklemesi sonucu alt temel ile zemin arasında aşırı deformasyon oluşumunu ve bitümlü tabakada yapısal çatlak oluşmasını önleyecek asfalt kaplama tabakasını tasarlamaktır.

Yöntemde malzemeler Young Esneklik Modülü ve Poisson oranıyla karakterize edilmiş, homojen ve izotropik olarak düşünülmüştür.

SPDM1978 %2' den %30'a kadar olan CBR değerleriyle alt temel özelliklerini göz önünde bulundurarak ve asfalt karışımının tipini 8 standart karışım tipiyle sınırlandırarak muhtemel seçenekleri ortaya koymuştur. Bu yaklaşımda geniş bir aralıktaki belirli koşulları ve karışımları kapsayan bitümlü üst yapıların tasarımı esas oluşturan 296 adet çizelge vardır[4].

2.2.1. Tasarım Ölçütleri

Standart diğil yüklemesinden ileri gelen deformasyon tekrarları ile zeminde oluşan basınç deformasyonu ve asfaltta oluşan çekme deformasyonu arasındaki ilişkiler üst yapı modeliindeki önemli mekanizmalar olarak kabul edilmiştir.

BISAR (Bitumen Stress Analysis in Road) program kullanılarak üst yapı içindeki maksimum gerilme ve deformasyonların oluştuğu noktaların yerleri modül ve tabaka kalınlığı değerlerinin geniş bir aralığı için belirlenir. Bu işlem sırasında diğkate alınan başlıca ölçütler aşağıda verilmiştir

- Taban zemininin yüzeyindeki, taban zemininde oluşan kalıcı deformasyonu kontrol eden, basınç deformasyonu (ϵ_z)
- Asfalt kaplama tabakasındaki, asfalt kaplamadaki çatlak oluşumunu kontrol eden, yatay çekme deformasyonudur (ϵ_r)

Normal yüklemeye koşulları (çift tekerlekli düşey yük) için her ikisinin de en büyük değerleri ya yük alanının ortasından geçen düşey ekseninde ya da iki yüklü alanın ortasındaki düşey simetri ekseninde oluşur.

Yapılan hesaplamalar sonucunda en büyük yatay deformasyonun oluştuğu seviye "C" parametresine bağlı olarak bulunmuştur.

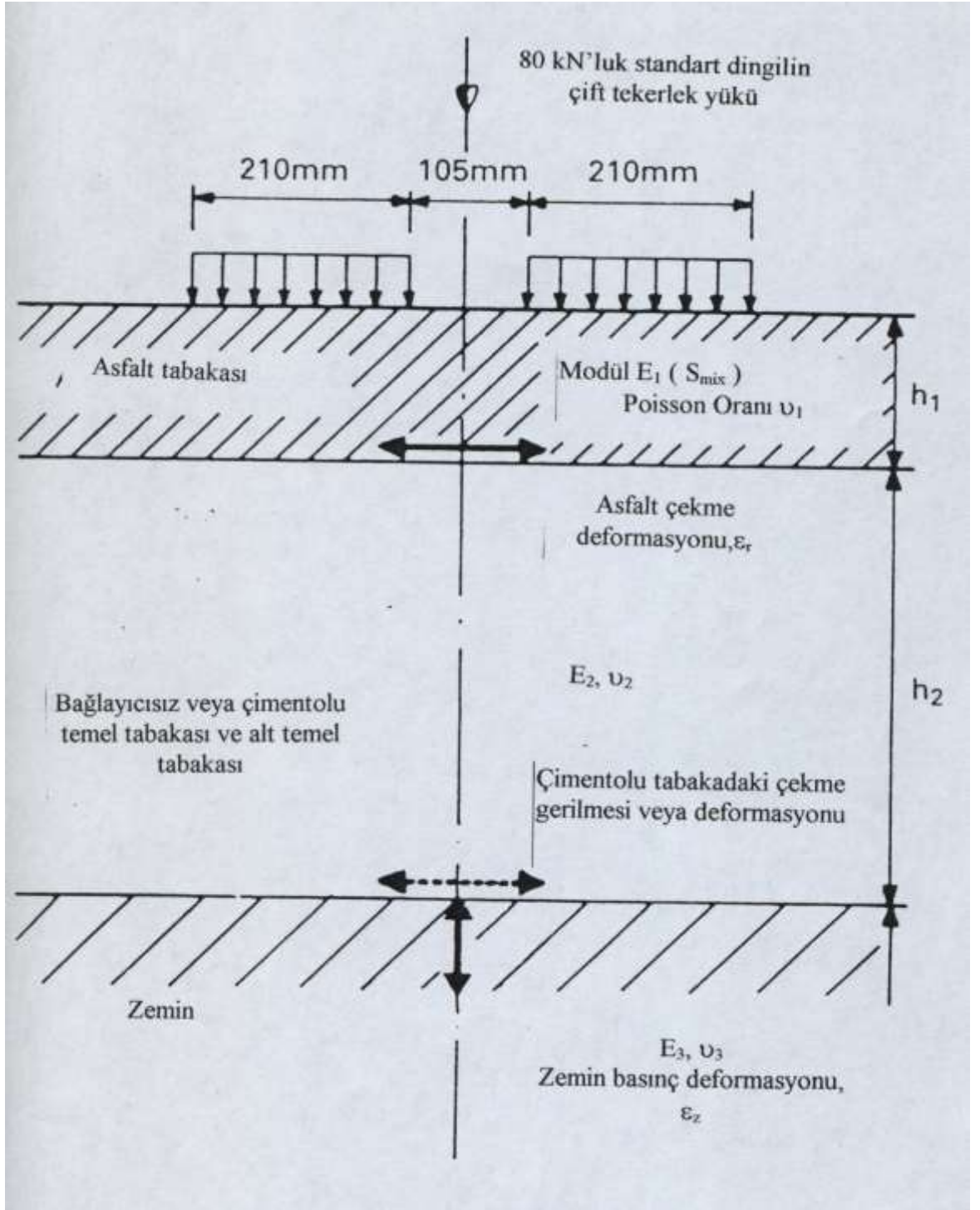
$$C = h_1 \frac{E_1}{E_2}, \text{ mm} \quad (2.1)$$

For mül de;

$E_1 (S_{mix})$: Asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülü (N/m^2)

E_2 : Temel tabakasının esneklik modülü (N/m^2)

h_1 : Asfalt kaplama tabakasının kalınlığı (mm)



Şekil 2.1 Esnek üst yapının basitleştirilmiş şekli

$C > 133$ mm ise maksimum asfalt deformasyonu tabakanın en altında değildir. Böyle bir durumda $h_1 \leq 200$ mm ise en büyük gerilme tabakanın alt ayrısında $h_1 > 200$ mm ise üst yarısında dır [5].

1974 yılında Shell araştır macıları AASHO Yol Testi'nin sonuçlarının extrapolasyonu ile geliştirilen BISTRO (Bitümen Structures in ROads) programını kullanarak bir zemin ölçütü oluşturdular. Bu ölçüt tam ölçekli yol deneylerinden çıkartıldığı için enine tekerlek yükü dağılı m ve statik-dinamik tekerlek yükleri gibi faktörleri otomatik olarak içeriyordu. Hesaplanan gerilmelerin istatistiksel analiziyle farklı güven düzeyleri için aşağıdaki zemin gerilme ölçütleri elde edilmiştir [4].

$$\%50 \text{ güvenli} : \epsilon_z = 2.8 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} \quad (2.2a)$$

$$\%80 \text{ güvenli} : \epsilon_z = 2.1 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} \quad (2.2b)$$

$$\%95 \text{ güvenli} : \epsilon_z = 1.8 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} \quad (2.2c)$$

Bu formülde ;

ϵ_z : Zeminin en üst noktasındaki düşey deformasyon

N : Uygulanan yük sayısı dır.

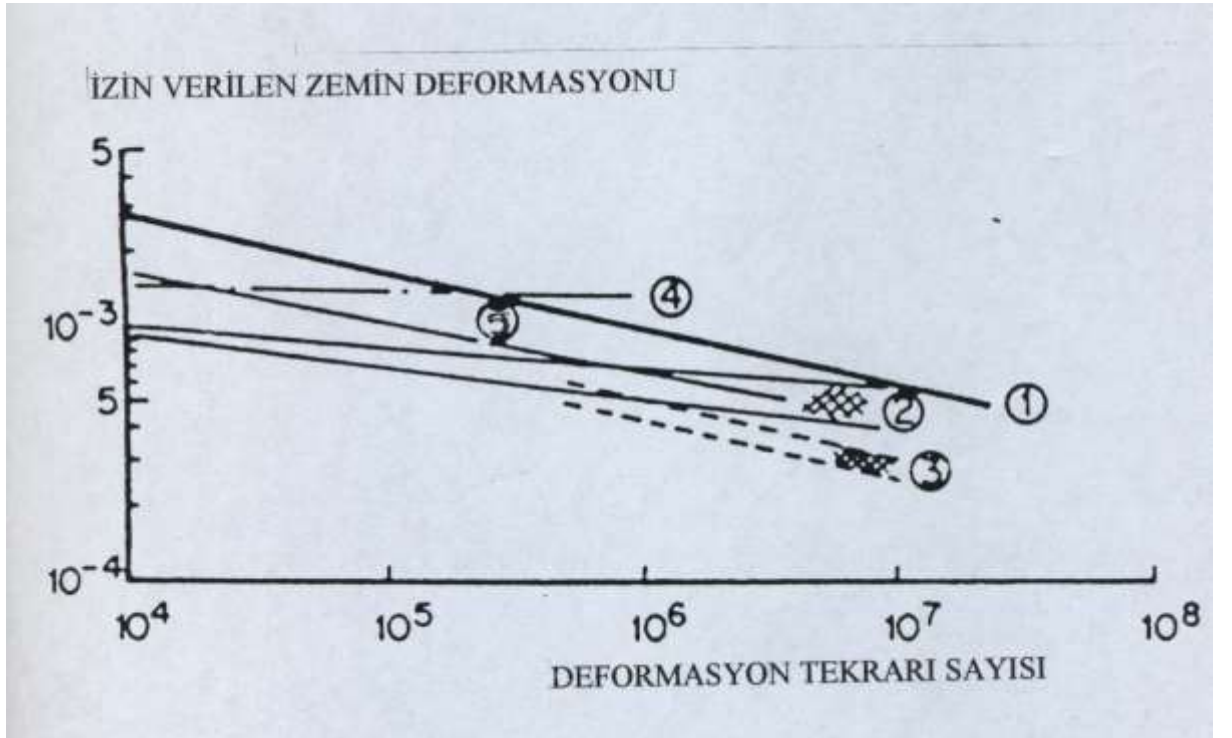
Ölçüt geliştirilirken tüm tabakalar için Poisson Oranı $\nu = 0.35$ alınmıştır. Zemindeki izin verilen basınç deformasyonu mevcut servis yeteneği indisi $PSI = 2.5$ için çift tekerlek yükü uygulananlarının bir fonksiyonu olarak Şekil 2.2 de verilmiştir

Yukarıda verilen bağıntılar CBR yöntemi ne uygun olarak tasarlanan yapıların analizi sonucunda bulunanlarla uyum içindedir. Bağıntının diğgel yükünden ve taban zeminin esneklik modülünden bağımsız olduğu ispatlanmıştır. Diğer araştır macıların kullandığ bazı izin verilebilir zemin deformasyonu ölçütleri de karşılaştırma için Şekil 2.2' de verilmiştir [4].

Asfalt kaplama tabakası için yorulma ölçütü genellikle deformasyon tekrarlarının ve asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak sunulan izin verilebilir deformasyona dayandırılmıştır. Asfalt kaplama tabakasının deformasyonu (veya yorulma deformasyonu) ölçütünü geliştirmek amacıyla bitümlü malzemelerin yorulma özelliklerini gözlemlemek için, farklı karışımlilerini, test sıcaklıklarını ve

yüklem frekanslarını içeren kapsamlı laboratuvar testleri yapılmıştır. SPDM sabit deforasyon yorulması testlerinden elde edilen laboratuvar verilerini esas alarak verilen karışımlı için uygulanan yük miktarına bağlı oluşan asfalt kaplama tabakasının deforasyonu ile ilgili bir nomograf içermeştir (Şekil 2.3) [4].

1. EDWARDS/ VALKERİ 1974 (YENİ KRİTER)
2. BRABSTON BARKER VE HARVEY
3. HINN NAI R VE MONISHM TH
4. W TZACK
5. DORMON METCALF, 1964 (İLK KRİTER)



Şekil 2.2 Deforasyon tekrarlarının bir fonksiyonu olarak izin verilebilir taban zemin deforasyonu

$$\epsilon_r = (0.856 * V_{bit} + 1.8) * S_{mix}^{-0.36} * N_{at}^{-0.2} \quad (2.3)$$

Bu bağıntıda;

ϵ_r : Asfalt kaplama tabakasında oluşan yatay çekme deforasyonu

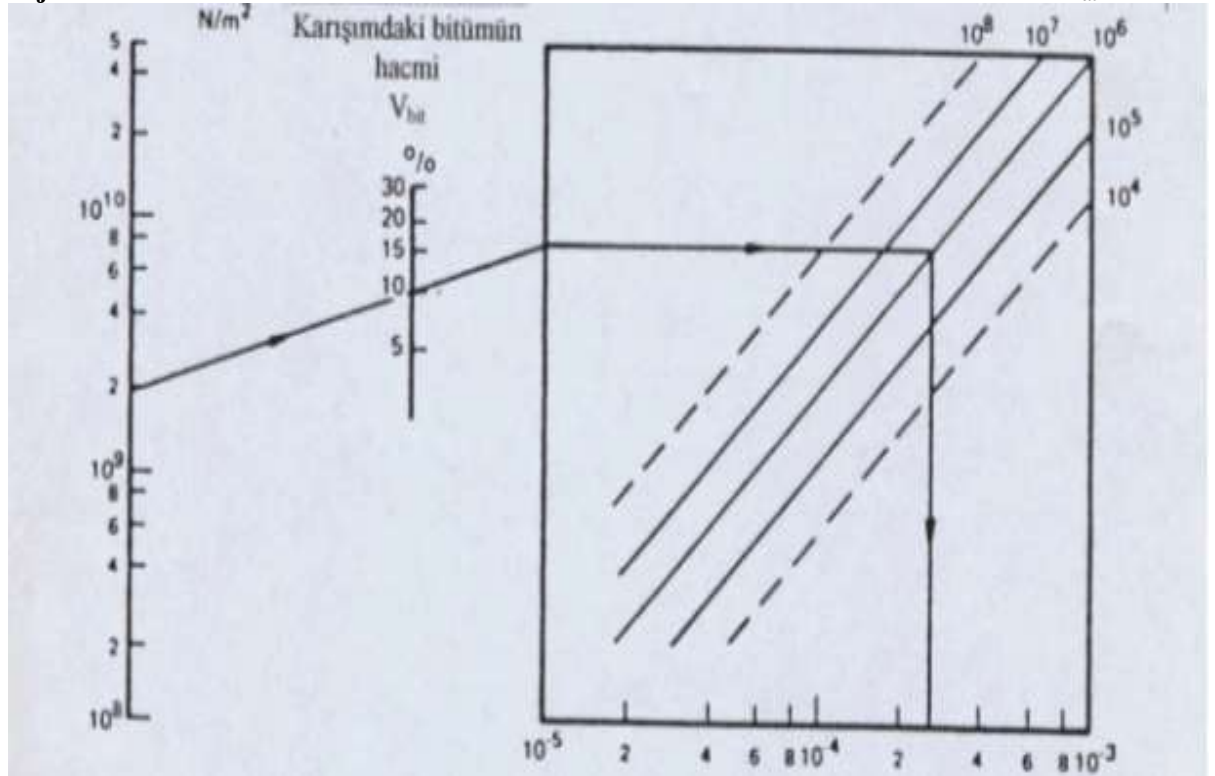
N_{at} : ϵ_r deforasyonunun uygulama sayısı

V_{bit} : Karışımındaki bitümlü bağlayıcı hacmi (%)

S_{mix} : Tasarımkoşulları için bitümlü karışımın rijitliği, (N/m^2)

Bitümlü Karışımın
Rijitlik Modülü $S_{m,x}$

Yorulma Ömrü N_{at}



Asfalt kaplama tabakası deformasyonu ϵ_{at}

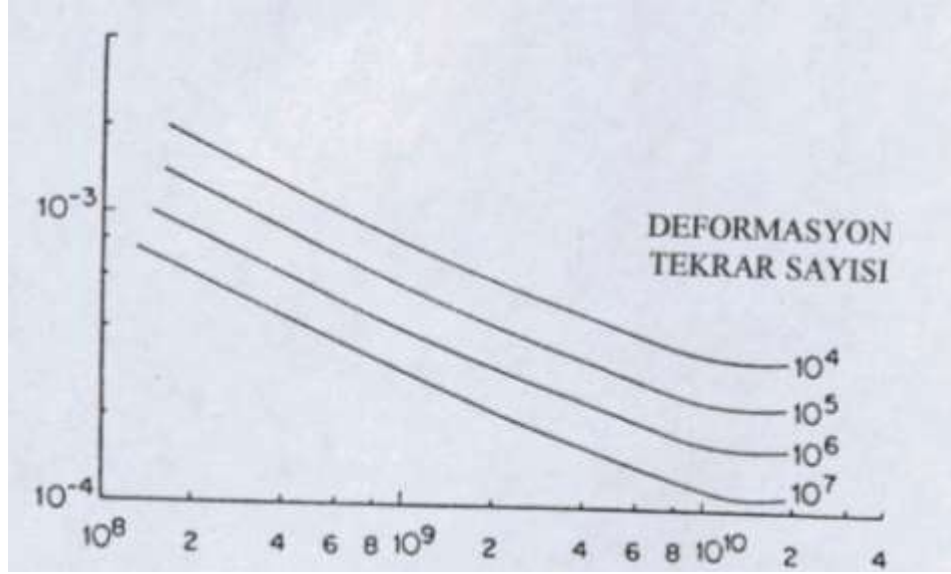
Şekil 2.3 $S_{m,x}$ ve V_b 'ye bağlı yorulma nomografı

Yorulma testleri, çeşitli ülkelerde kullanılan tipik karışımları temsil eden bir çok farklı bitümlü karışım üzerinde yürütülmüştür. Bu karışımların bileşenleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

İzin verilebilir asfalt kaplama tabakasının deformasyonu sırasıyla yoğun ve zayıf bitümlü makadam için deformasyon tekrar sayısının ve rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te verilmiştir. Şekil 2.6'da ise 10^6 Deformasyon tekrarı ve rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak çeşitli karışımlar için izin verilebilir asfalt kaplama tabakasının deformasyonları gösterilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi izin verilebilir deformasyon, bitümlü karışımlara uygulanan deformasyon tekrar sayısı ve rijitlik modülleri için tek bir fonksiyon değildir, bununla birlikte bitümlü karışımına bağlı bir değerdir[4].

Sonuçların bazı karışımlar için birbirine çok yakın olması nedeniyle benzer bitümlü karışımlar için tek bir bağıntı kullanılmıştır. Sonuçta yorulma eğrilerinin sayısı beşe düşürülmüştür. Bu durum belirli sayıdaki deformasyon tekrarları için şekil 2.7'de gösterilmiştir.

ASFALT KAPLAMA TABAKASI YORULMA DEFORMASYONU



E T ÜML Ü KARIŞI M N RİJİ TLİ K MODULU N m²

Şekil 2.4 Bit üml ü karışım n rijitlik modül ünün bir fonksiyonu olarak izi n verilebilir defor masyonu (Yoğun bit üml ü makadam)

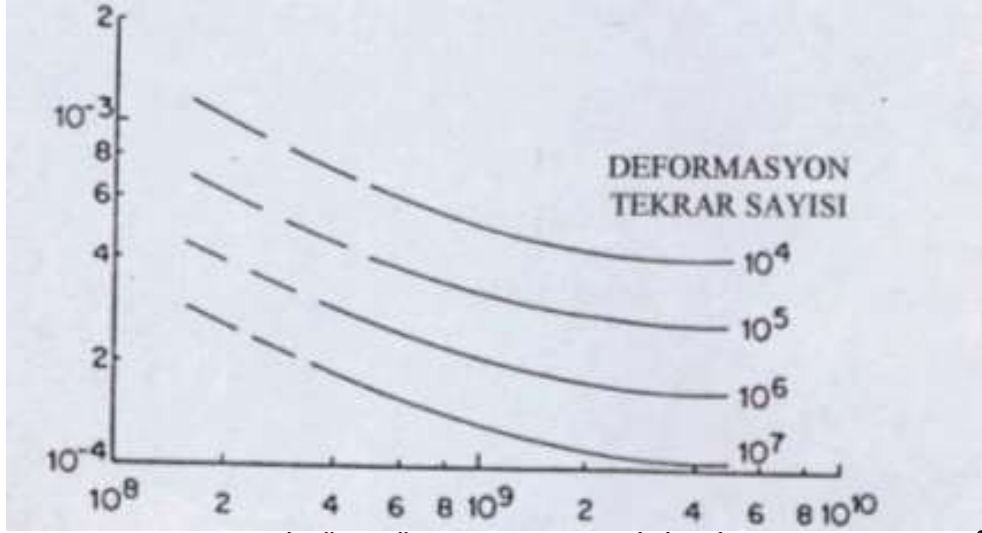
2.2.2 Tasarı m Verileri

Prencip olarak üst yapı tasarı mında bir çok parametre kullanılır. Bunlar çevresel koşullar (sıcaklık nem rüzgar) yüklenme koşulları (di ngil yükleri, yük dağılı m, temas geril mesi, temas yüzeyi alanı, yüklenme süresi, di namik etkiler) ve malzeme özellikleri (modüller, Poisson Oranı, bozul ma ölçütleri), ayrıca parametrelerin çoğu zaman bağı lı olarak değişir. Pratik bir tasarı ma yönelik çalışılabilir bir sistem geliştir meki için bazı sadeleştir meler yapılmalıdır. Çeşitli parametreler için uygulanan yaklaşı maşağı da ele alınmıştır.

2.2.2.1 Trafik

Tasarı msüresi boyunca üst yapıyı kullanacağı tahmin edilen di ngil yükleri, her biri 600 kN/ m² basınç geril mesi ve 105 mm yarı çaplı yükü alana sahip 20 kN luk eşdeğer standart di ngil yüküne dönüştürülür. Bu di ngil yükü birçok ülkede standart tasarı m di ngil yükü olarak kullanılır ve genelde üst yapıya en büyük hasarı veren di ngil grubunu temsil eder. Di ğer di ngil yüklerinden (L) dönüştürme işlemini aşağıdaki formülle standart di ngil eşdeğer sayısı (n) hesaplanarak yapılır.

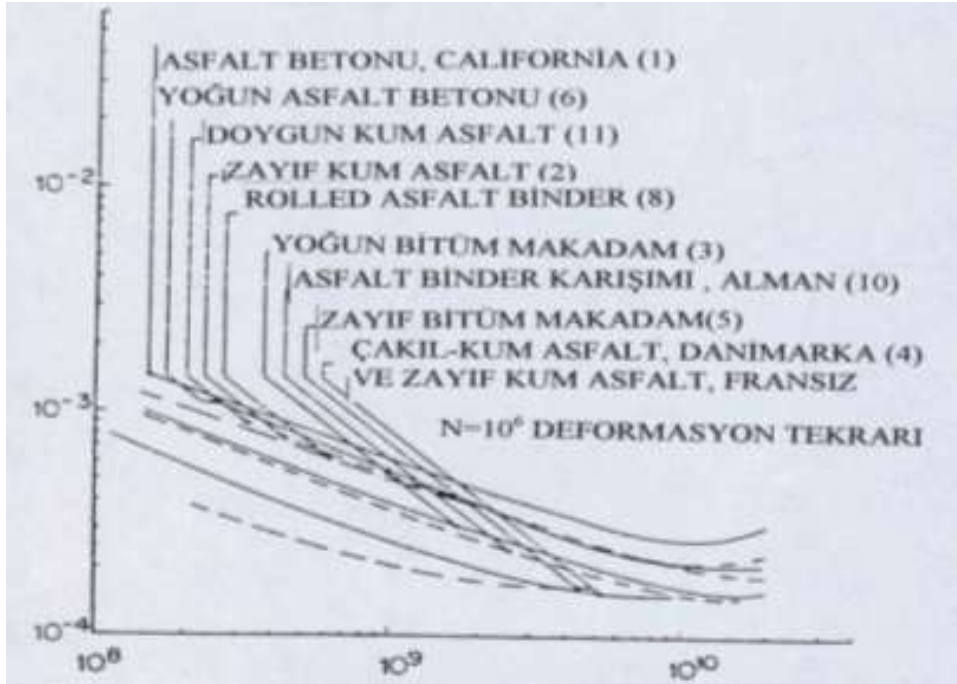
**ASFALT KAPLAMA TABAKASI
YORULMA DEFORMASYONU**



BITÜMLÜ KARIŞIMIN RİJİTLİK MODULU N_m^2

Şekil 2.5 Bitümlü karışımın rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak izin verilebilir asfalt deformasyonu (Zayıf bitümlü makadam)

**ASFALT KAPLAMA TABAKASI
YORULMA DEFORMASYONU**



BITÜMLÜ KARIŞIMIN RİJİTLİK MODULU N_m^2

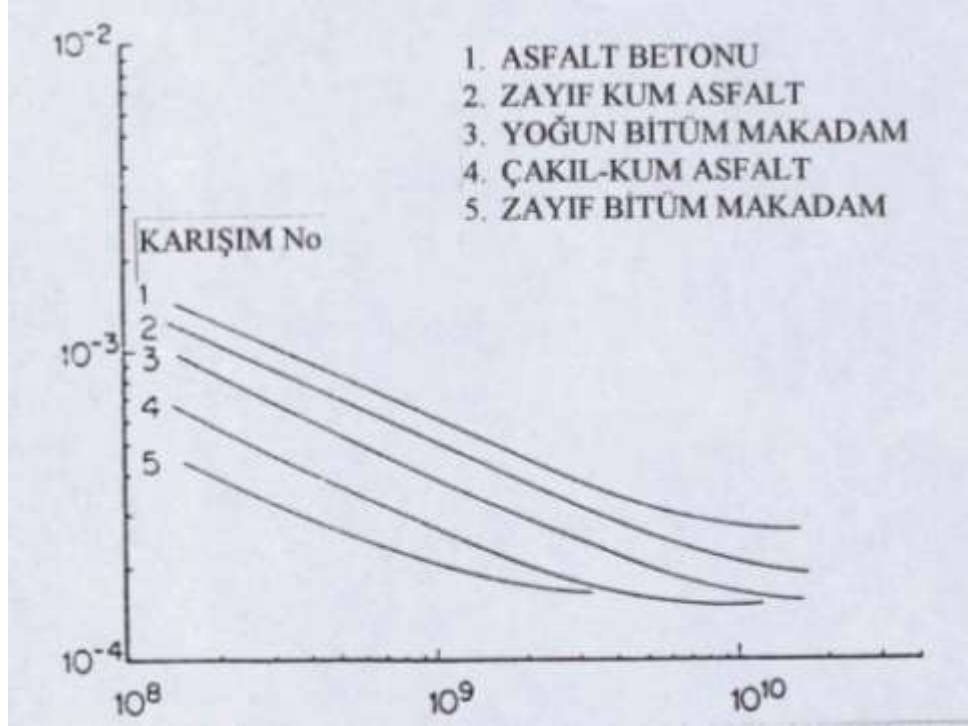
Şekil 2.6 Karışımın rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak farklı karışımlar için izin verilebilir asfalt deformasyonu (parantez içindeki sayılar Tablo 1.1.'deki karışımları gösterir)

Tablo 2.1. Asfalt karışımlarının kompozisyonu

Karışım No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Referans No	21-73 (AC) II	Kas. 76	40-75	75-20	42-75 (R 507)	RW 330 (ACI)	41-75	20-73		38-75	10-76 (R 116)	
Karışım tipi	Asfalt Betonu California	Zayıf Kum Asfalt	Yoğun Bitümlü Makadam	Çakıl Kum Asfalt, Dani marka	Zayıf Bitümlü Makadam	Yoğun Asfalt Beton	Yoğun Bitümlü Makadam	Rolled Asfalt Bider	Çakıl Bitüm Fransa	Asfalt Bitüm Karışım, Almanya	Zengin Kum Tabaka	Zayıf Kum Asfalt Fransa
Karışımın Kompozisyonu (Karıştırıldığında)												
Taş %w		-	650	49.9	97.0	550	650	660	69.5	690	-	-
Kum %w	96.0	83.0	29.5	42.2	-	35.0	295	340	220	245	86.0	84.0
Filler %w	4.0	17.0	5.5	7.9	3.0	10.0	5.5	.	85	65	140	16.0
Bitümler içeriği, pha	6.4	5.0	5.0	5.4	3.0	5.0	5.0	64	4.0	4.1	102	4.0
Tipi	40/50	80/100	80/100	45/60	80/100	40/50	40/50	40/60	40/50	B80	45/60	20/30
Agreganın Analizi												
ASTM Hek 1"	-			100.0					100.0	100.0		
3/4"	100.0		100.0	94.0			100.0	100.0	96.0	79.5		
1/2"	97.0		89.0	83.0	100.0	100.0	89.6	73.0	75.0	64.4		
3/8"	87.0		71.2	73.0	70.7	88.0	71.1	50.0	64.0	48.2		
1/4"	74.0		58.8	62.0	31.8	76.0	58.7	39.0	50.0	42.5		
noç 4	64.0		50.7	57.0	13.5	67.0	51.3	37.0	44.0	40.3		
6	55.0		48.3	55.0	5.7	57.0	43.2	35.0	37.0	35.7		100.0
10	45.0	100.0	33.9	54.0	5.2	45.0	34.1	33.0	30.0	30.7	100.0	98.0
20	34.0	90.7	23.1	52.0	4.7	30.0	22.8	29.0	20.0	24.5	93.6	90.0
30	29.0	72.6	18.7	50.0	4.6	26.0	18.4	21.0	17.0	22.5	84.5	60.0
40	25.0	60.8	16.1	46.0	4.5	22.0	15.9	14.0	15.0	18.0	71.7	48.0
50	21.0	47.8	12.2	38.0	4.4	18.0	11.9	9.0	13.0	12.3	49.1	40.0
80	16.0	34.3	9.1	25.0	4.2	14.0	8.7	4.5	11.0	7.9	24.5	25.0
100	15.0	30.1	8.2	21.0	4.2	13.0	7.9	4.0	9.0	7.4	21.9	20.0
200	9.0	16.5	5.7	8.0	4.1	9.5	5.5	2.0	8.0	6.3	15.1	16.0
Karışımın Kompozisyonu												
Taş %w	55.0		66.1	46.0	94.8	55.0	65.9	67.0	70.0	69.3	-	2.0
Kum %v	36.0	83.5	28.2	46.0	1.1	35.5	28.6	31.0	22.0	24.4	84.9	82.0
Filler %w	9.0	16.5	5.7	8.0	4.1	9.5	5.5	2.0	8.0	6.3	15.1	16.0
Bitüm pha	6.2	5.1	4.7	5.6	2.9	4.9	4.7	6.3	4.0	3.9	9.8	4.0
Karışımın Özellikleri												
V _g %v	84.1	81.1	85.6	78.0	61.9	86.7	85.4	837	81.4	88.1	72.9	63.0
V _s %v	14.2	10.5	11.0	11.0	4.9	11.4	11.0	14.1	9.3	9.3	19.3	9.0
VI M %v	1.7	8.4	3.4	11.0	33.2	19	3.6	2.2	9.3	2.6	7.8	18.0
VMA %v	15.9	18.9	14.4	22.0	38.1	133	14.6	16.3	18.6	11.9	27.1	27.0
VFB %	89.3	55.6	76.4	50.0	13.0	85.7	75.5	86.5	50.0	78.0	71.2	33.3
Geri Kazanılmaş Bitümlerin Özellikleri												
Yumuşama Noktası Halka-Bilya °C	61.0	52.0	52.0	64.0	51.0	59.0	60.5	62.5	60.0	52.0	53.5	69.0

25° C de Penetrasyon	38.0	59.0	59.0	26.0	68.0	36.0	40.0	34.0	27.0	58.0	60.0	220
Penetrasyon indisi	-0.6	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	+0.1	+0.6	+0.6	0.0	-0.3	+0.1	+1.2
* Taşların ağırlıkça %49 u 2-10mm %40'ı 0-3 mm %7 si kum												

ASFALT KAPLAMA TABAKASI YORULMA DEFORMASYONU



BİTÜMLÜ KARIŞIMIN RİJİTLİK MODULU N/m^2

Şekil 2.7 Bitümlü karışımın rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak temsil edilen asfalt karışımları için izin verilebilir asfalt deformasyonu (Eğrilerin numaraları Tablo 2.1'deki karışımları gösterir)

$$n = 2,4 \times 10^8 \times L^4 \quad (2.4)$$

Bu formülde (L) kN'ci nsindendir. Bağntı AASHO Yol Testi'nden elde edilen yük eşdeğerlik faktörüne dayanır

Büyük yolların çoğunda günlük yük tekrarlarının sayısının gün içinde üniform olarak dağıldığı kabul edilebilir. Tandem dingilleri iki ayrı dingil halinde düşünülür. Temas yüzeyi ve temas gerilmeleri dağılımının büyüklüğü ile şekliindeki ufak oynamalar, zemin deformasyonu ve maksimum asfalt deformasyonu üzerindeki etkileri önemsiz olduğu için ihmal edilebilir[4].

Bir noktadaki yüklenme süresi hızla, yükleneyi yapan tekerleğin yanal dağılımına, üst yapı kalınlığına, yapıdaki derinliğe ve sıcaklığa bağlıdır. Prensipte bu değişkenliklere izin verilerek birlikte 50 – 60 km/ h hızla sahip araçları temsil eden yüklenme süresini $t = 0.02$ sn alınması daha pratik olur[4].

2.2.2.2 İklim

Hava sıcaklıklarındaki değişimler, bağlayıcı malzemelerin modülleri üzerinde belirli etkileri olmaktadır. Ortalama yıllık ve aylık sıcaklıklarıyla asfalt kaplama tabakasının kalınlığına bağlı efektif asfalt sıcaklığı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bir yöntem geliştirilmiştir.

Ne mi içeriğindeki ve yeraltı suyu seviyesindeki değişimler zemin modülü ve Poisson Oranı'na etkileyebilir. Don ve don çözülmesi dönemlerinin de zemin özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır[4].

2.2.2.3 Malzeme Özellikleri

Taban Zemiği : Laboratuvar deneyleri ve tam ölçekli yol deneyleri sonucunda, malzeme modülleri, uygun yüklem koşulları altında belirlendiği takdirde, üst yapı davranışını belirlemede lineer elastik teorisinin kullanılabilirliği görülmüştür. Bununla birlikte taban zemiği esneklik modülünün esas yerinde, gerçek trafiği temsil eden yükler altında dinamik defleksiyon ölçümleriyle belirlenmesi uygun olur. Bu tip inkanların ve verilerin mevcut olmadığı durumlarda CBR değerleriyle dinamik taban zemiği esneklik modülü (E_3) arasındaki ampirik bağlantı kullanılabilir:

$$E_3 = 107 \times \text{CBR} \quad (2.5)$$

Dinamik esneklik modülü (E_3) nispeten yüksek frekanslarda ve küçük deформasyonlarla yapılan ölçümlerden elde edildiği halde CBR değeri fazla deформasyon olmasında belirlenebilir. Bu sebeple iki arasında doğrudan bir ilişki olmaksızın birlikte uygulamada ampirik bağlantının doğru sonuç verdiği görülmüştür[4].

Bağlayıcı Tabakalar : Zeminde olduğu gibi bağlayıcı temel tabakalarının modülleri de büyük oranda gerilmeye bağlıdır. Teorik analizle desteklenen saha ölçümleri bağlayıcı temel tabakasının esneklik modülünün (E_2) temel tabakasının kalınlığına (h_2) ve altındaki taban zemiği esneklik modülüne (E_3) bağlı olduğunu aşağıdaki bağlantıyla göstermiştir.

$$E_2 = k_2 \times E_3 \quad (2.6a)$$

$$k_2 = 0.2 \times h_2^{0.45} \quad (2 < k < 4 \text{ ve } h_2 \text{ 'nin birimi mm'dir}) \quad (2.6b)$$

Malzemenin dayanabileceğinden daha yüksek çekme gerilmelerine sebep olacağı için bağlayıcısız temel tabakalarında daha büyük esneklik modülüne izin verilmez. Bununla birlikte temel tabakasının iki bağlayıcı tabakası arasına alınması durumunda daha büyük esneklik modül değerleri kullanılabilir[4].

Çimentolu Temeller : Çimentolu temellerin esneklik modülü, üst yapıdan kesilen örnekler laboratuvar da dinamik eğilme testleri v. b. uygulanarak bulunabilir. Bununla beraber bu şekilde belirlenecek malzemenin esneklik modülünün kullanımındaki malzemenin esneklik modülünü yansıtacağı şüphelidir[4].

Tasarımda kullanılacak tipik küçümlü çimento modül değerleri ($E = 5 \times 10^9 - 10^{10} \text{ N/m}^2$) kaynaklardan alınmıştır. Bu değerler dalga yayılım ölçümlerinden elde edilen değerlerle aşağı-yukarı aynıdır.

Asfalt Kaplama Tabakası : Asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülünün değeri 10^6 ile $5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ arasında değişir. Rijitlik değerlerinin üst aralığı ($10^8 - 5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$) çok sayıda asfalt karışımı için dinamik veya yarı statik (örn Sabit yükleme oranı) testlerle çeşitli sıcaklıklar ve farklı yükleme koşulları için belirlenmiştir. Bulunan modülün yalnızca bitüm içeriğine, bitümün rijitliğine ve bitümü karışımındaki boşluklara bağlı olduğu görülmüştür. Bitümün rijitliğini bulmak için Van Der Poel nomografından yararlanılabilir (Şekil 2.8)

$$S_b = 1.157 \times 10^7 \times t^{-0.368} \times 2.718^{PI_r} \times (SP_r - T)^5 \quad (2.7)$$

Bu formülde ;

S_b : Bitümün rijitliği

SP_r : Ceri kazanılmış bitümün yumuşama noktası ($^{\circ}\text{C}$)

PI_r : Ceri kazanılmış bitümün penetrasyon indisi (dmm)

T : Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

t : Yükleme süresi (sn)

Günümüzde deneysel çalışmaların sonuçları verilen bitüm rijitliği, agrega ve bitümün %hacimleri için bitümü karışımın rijitliğini bulmasında kullanılacak bir nomograf halinde Şekil 2.9 da sunulmuştur.

Bitümün karışımının yüksek sıcaklıklardaki ve / veya uzun yüklenme sürelerindeki düşük rijitlik modül değerleri ($< 10^8 \text{ N m}^2$) yukarıda sözü edilen parametrelere olduğu kadar agreganın özelliklerine ve derecelenmesine de bağlıdır.

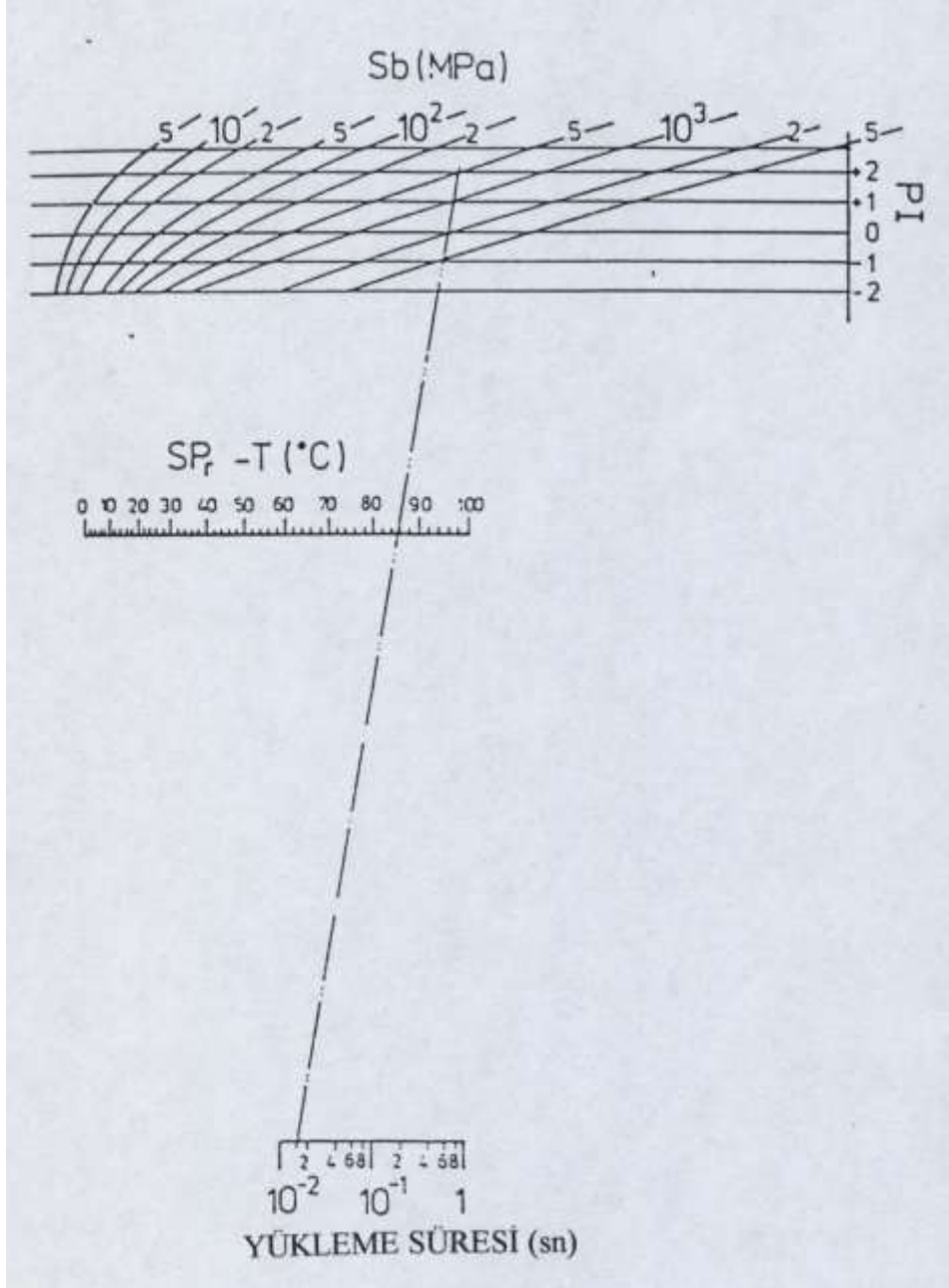
Bu koşullar altında rijitlik modülü statik veya dinamik sabit yükler tek eksenli basınç deneyleriyle belirlenir. Asfalt deforasyonu bu deneylerle verilen sıcaklıklarda eklenip yüklenme süresinin bir fonksiyonu olarak ölçülebilir. Asfalt modülü yüksek rijitlik değerlerindeki dinamik testlerle sıcaklığa, bitümün tipine ve yüklenme süresine bağlı olan bitümün rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak bulunabilir. Bu bağlantı karışımın kompozisyonuna ve kullanılan agreganın tipine bağlıdır.

Çeşitli ülkelerde kullanılan bazı bitümün karışımına içi karışımın ve bitümün rijitlik değerleri arasındaki ilişki Şekil 2.10' da verilmiştir. Bu eğriler laboratuvar ölçümlerinin sonuçlarına göre çizilmiştir. Bitümün karışımına ilgili ayrıntılı bilgi Tablo 2.1'de görülmektedir. Bazı karışımınların çok benzer davranışlar sergilemesi sebebiyle, kolaylık olması açısından, eğri sayısı dörde düşürülmüştür (Şekil 2.11). Bu eğrilerden bitümün, ilgili sıcaklık ve yüklenme süresi için Van Der Poel nomografından elde edilen, rijitlik modülüne bağlı olarak asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülü bulunabilir. Bitümün rijitliğini belirlemek için penetrasyon indisi (PI) ve yumuşama noktası yada penetrasyon 800'deki sıcaklık (T_{800}) bilinmelidir. Tasarımda yüklenme süresi olarak 0.02 sn alınırsa sonuçta çeşitli asfalt karışımının rijitlik modülleri sıcaklık ile verilen bitüm tipinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir (Şekil 2.12-Şekil 2.13).

İlk tasarım çizelgeleri (1963) hazırlanırken hesaplamalarda sırasıyla zemin deforasyonu ve asfalt deforasyonu ile ilgili iki tane efektif asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülü kullanılmıştır[4].

Daha sonraları değişik iklimlerden kaynaklanan sıcaklık farklılıklarını karşılaması için Edwards ve Valering tarafından bir yöntem geliştirilmiştir.

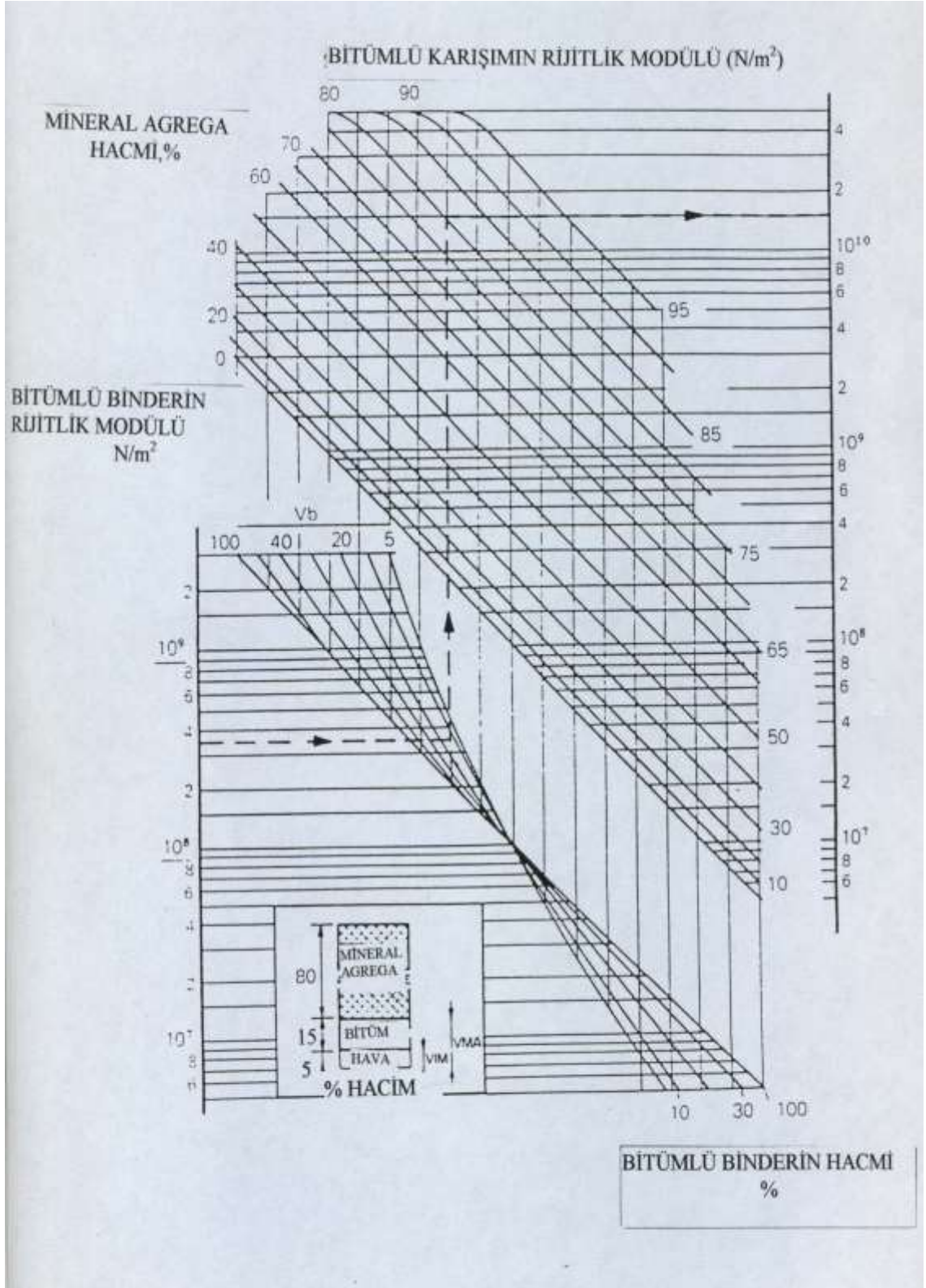
Kaynaklardan asfalt kaplama tabakasının çeşitli derinliklerindeki asfalt sıcaklıkları ile ortalama aylık hava sıcaklığı (MMAT) arasındaki ilişki bulunur. MMAT'nin çeşitli değerleri için bu şekilde elde edilen sıcaklık gradyanlarından bazı tipik üst yapıların çeşitli derinliklerdeki asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülleri bulunur ve her bir sıcaklık gradyanı için asfalt deforasyonları hesaplanır. Daha sonra farklı sıcaklık gradyanları için bulunan



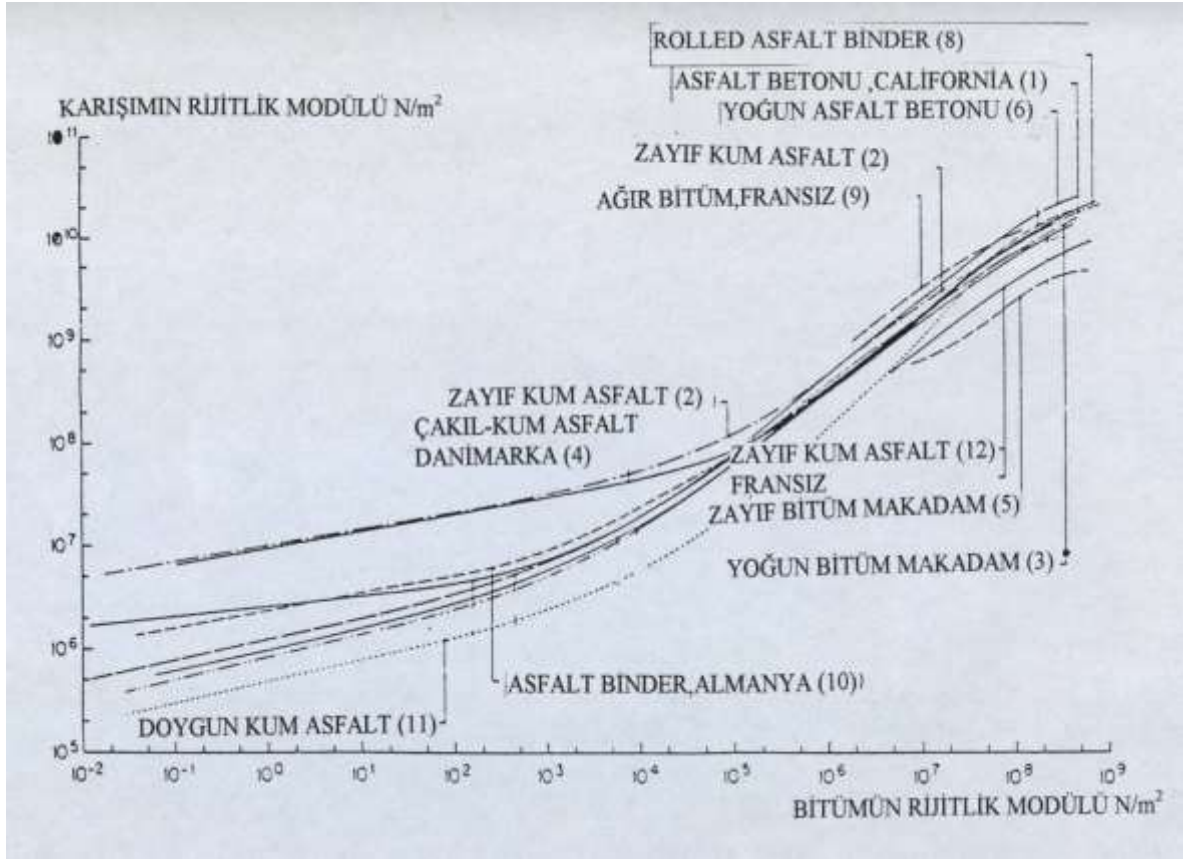
Şekil 2.8 Bütünü bağlayıcının rijitliğini belirlemede kullanılan Van Der Poel Nomografı

deformasyon değerleri dizisiyle aynı toplam tahribatı yapan efektif deformasyon değerleri bulunur. Efektif deformasyon (ϵ_{eff}) "n" değişik sıcaklık gradyanı için aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$(\epsilon_{eff})^4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\epsilon_i)^4 \quad (2.8)$$

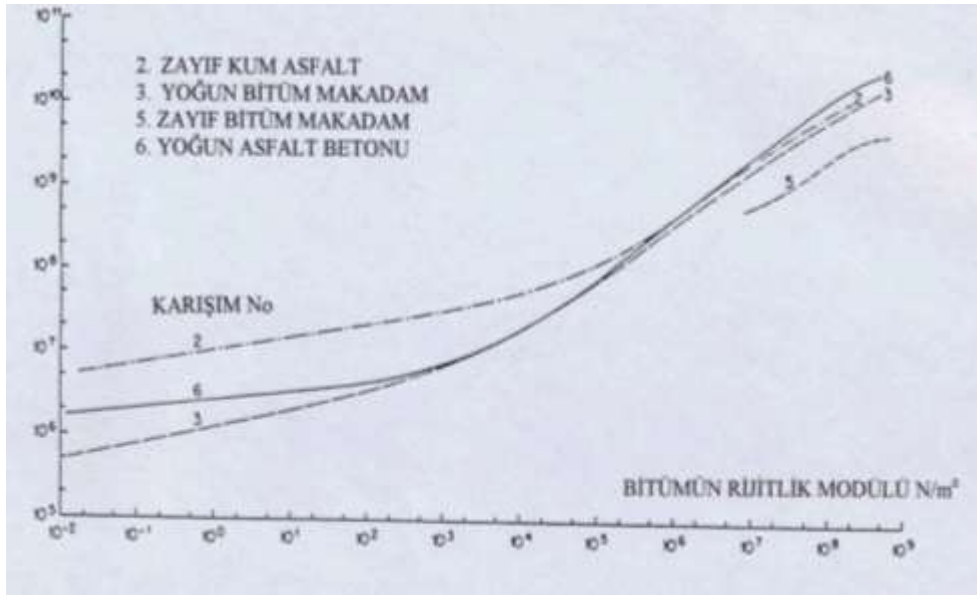


Şekil 2.9 Bitümlü karışımın rijitliğini bulmak için kullanılan nomograf



Şekil 2.10 Bitümü bağlayıcının rijitlik modülünün bir fonksiyonu olarak farklı asfalt karışımlarının rijitlik modülleri

BİTÜMLÜ KARIŞIMIN RİJİTLİK MODÜLÜ N/m^2



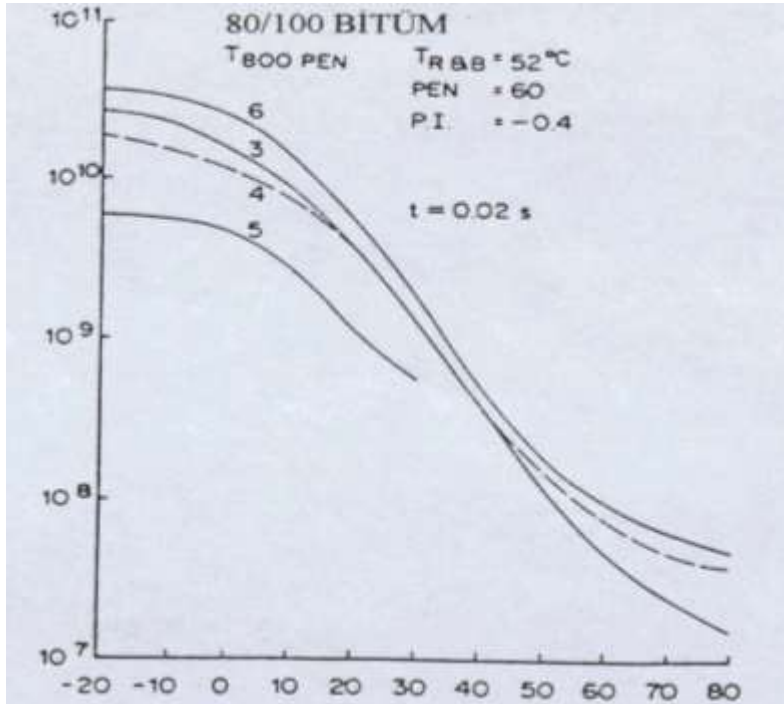
Şekil 2.11 Bitümü bağlayıcının rijitlik modülünün bir fonksiyonu temsili bitümü karışımın rijitlik modülü

İzin verilen asfalt kaplama tabakasının deformasyonu üzerindeki sıcaklık etkisini hesaba katmak için asfalt kaplama tabakasının deformasyonu kriterine dayanan kalınlık tasarımına sıcaklığın etkisini gösteren bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin özeti aşağıda verilmiştir.

Aynı sıcaklık gradyanlarıyla asfalt kaplama tabakasının çeşitli derinliklerindeki asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülleri belirlenir. BISAR programı kullanılarak bu gradyanlar için asfalt kaplama tabakasının en altındaki ile tabaka kalınlığının 1/2 ve 2/3 seviyelerindeki asfalt kaplama tabakası deformasyonları hesaplanır. Her gradyan ve derinliği için ilgili karışımın yorulma verileri kullanılarak çeşitli deformasyon ve rijitlik modülüne bağlı tasarım ömrü (N) bulunur. Daha sonra her bir derinliği için efektif tasarım ömrü “n” gradyan serisi için aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$N_{eff} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{N_i}\right)} \quad (2.9)$$

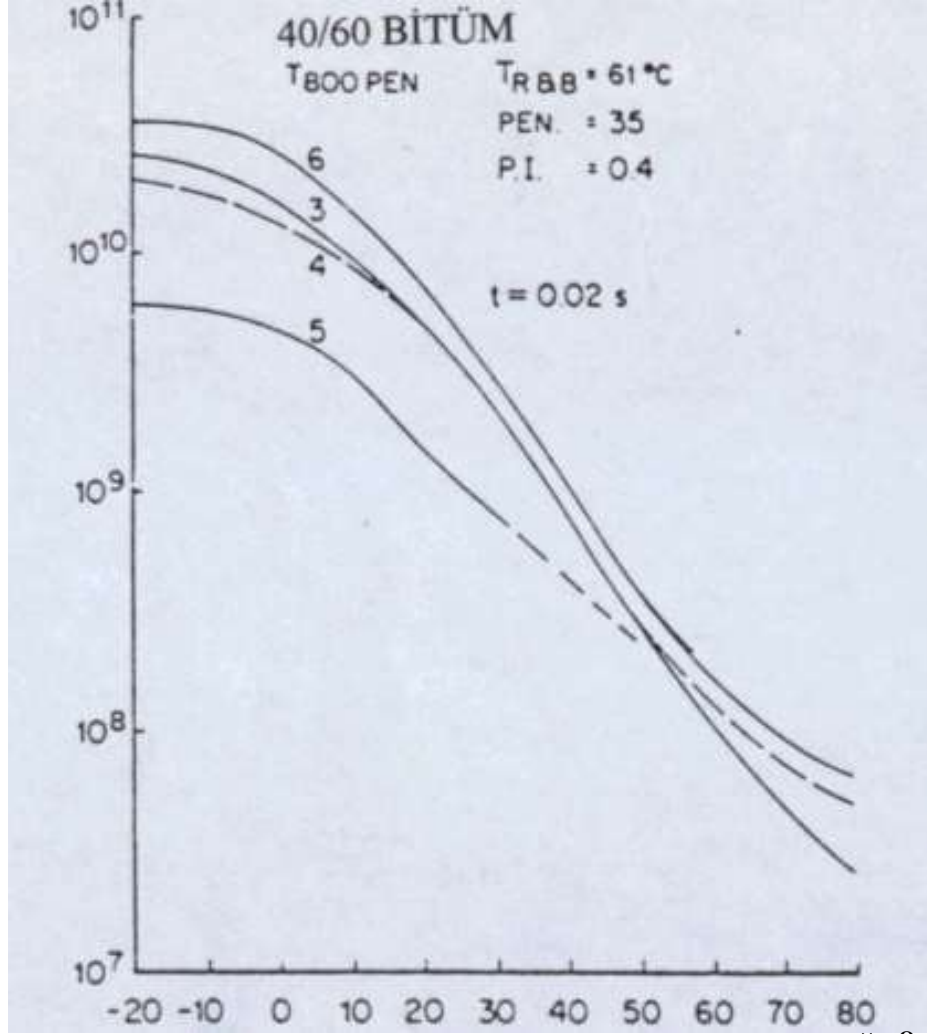
BİTÜMLÜ KARIŞIMIN RİJİTLİK MODÜLÜ N_m



ASFALT KAPLAMA TABAKASI SICAKLIĞI $^{\circ}C$

Şekil 2.12 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak temsili bitümlü karışımların rijitlik modülleri (80/100 pen bitümlü karışımlar) Karışım numaraları Tablo 2.1.'dekileri gösterir

**BİTÜMLÜ KARIŞIMIN
RİJİTLİK MODÜLÜNÜN**



ASFALT KAPLAMA TABAKASI SICAKLIĞI °C

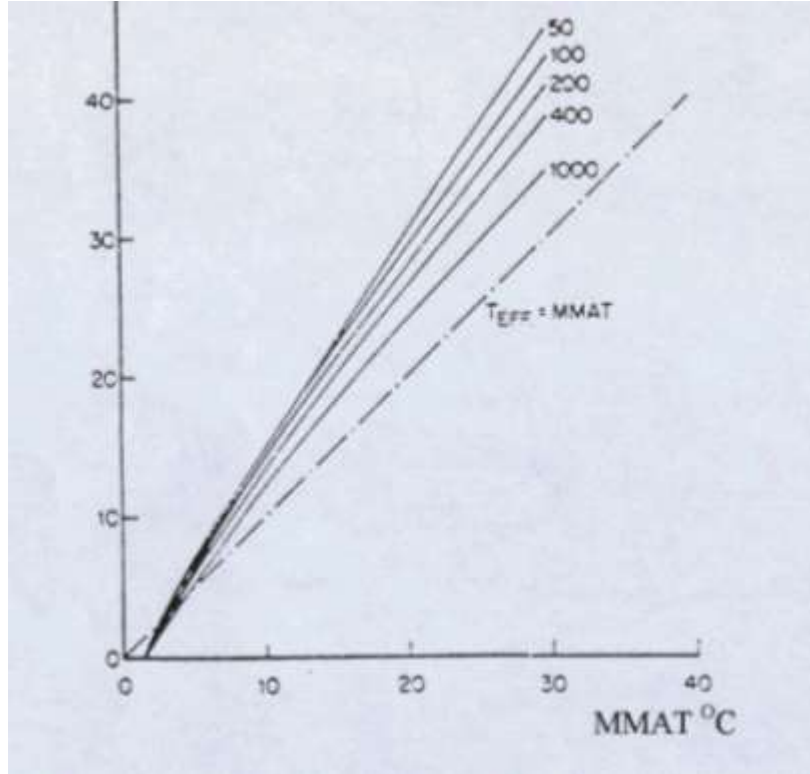
Şekil 2.13 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak temsili bitümlü karışımların rijitlik modülleri (40/60 pen bitümlü karışımlar) Karışımların numaraları Tablo 2.1.'dekileri gösterir

Prinzip olarak herhangi bir yapının efektif tasarımı için verilen ortalama hava sıcaklığı (gradyanlar) ve karışım tipleri için bu şekilde hesaplanabilir. Bununla birlikte ince asfalt kaplama tabakaları ($h_1 \cong 100$ mm) ve düşük sıcaklıklar ($< 10^0$ °C) dışında sıcaklık gradyanları için hesaplanan tasarımı veren efektif rijitlik modülü (toplam asfalt kaplama tabakası için) ve bu rijitlik modülüyle oluşan asfalt kaplama tabakası deforasyonu kombinasyonu yoktur. Bununla birlikte efektif asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülüyle zemin deforasyonuna bağlı eşdeğer hasara dayanan, önceki yöntemle hesaplanan efektif tasarımı için çeşitli gradyanlar için hesaplanan efektif tasarımı her zaman "2" faktörü kadar büyüktür. Buda 200 mm ve üzerindeki asfalt kaplama tabakasının kalınlıklarıyla

10 °C üzerindeki sıcaklıklarda asfalt kaplama tabakası deformasyonu kriteri için tasarımı için elde etmek amacıyla tasarımı 1 ve 2 arasında bir faktörle düzeltilerek aynı efektif rijitlik modülünün kullanılacağı anlamına gelir[4].

Bu yöntemle çeşitli karışımlar için MMAT, asfalt kaplama tabakası kalınlığı ve efektif asfalt kaplama tabakasının rijitlik modülü arasındaki bağıntı bulunur. Bu bağıntının tipik bir örneği Şekil 3.14’ de görülebilir. Bu eğrilerin çeşitli karışım tipleri için üretilmesi durumunda efektif rijitlik modülüne denk düşen efektif asfalt kaplama tabakası sıcaklığı (MMAT) ve asfalt kaplama tabakası kalınlığı arasındaki ortalama bir bağıntı görülebilir (Şekil 2.15) [4].

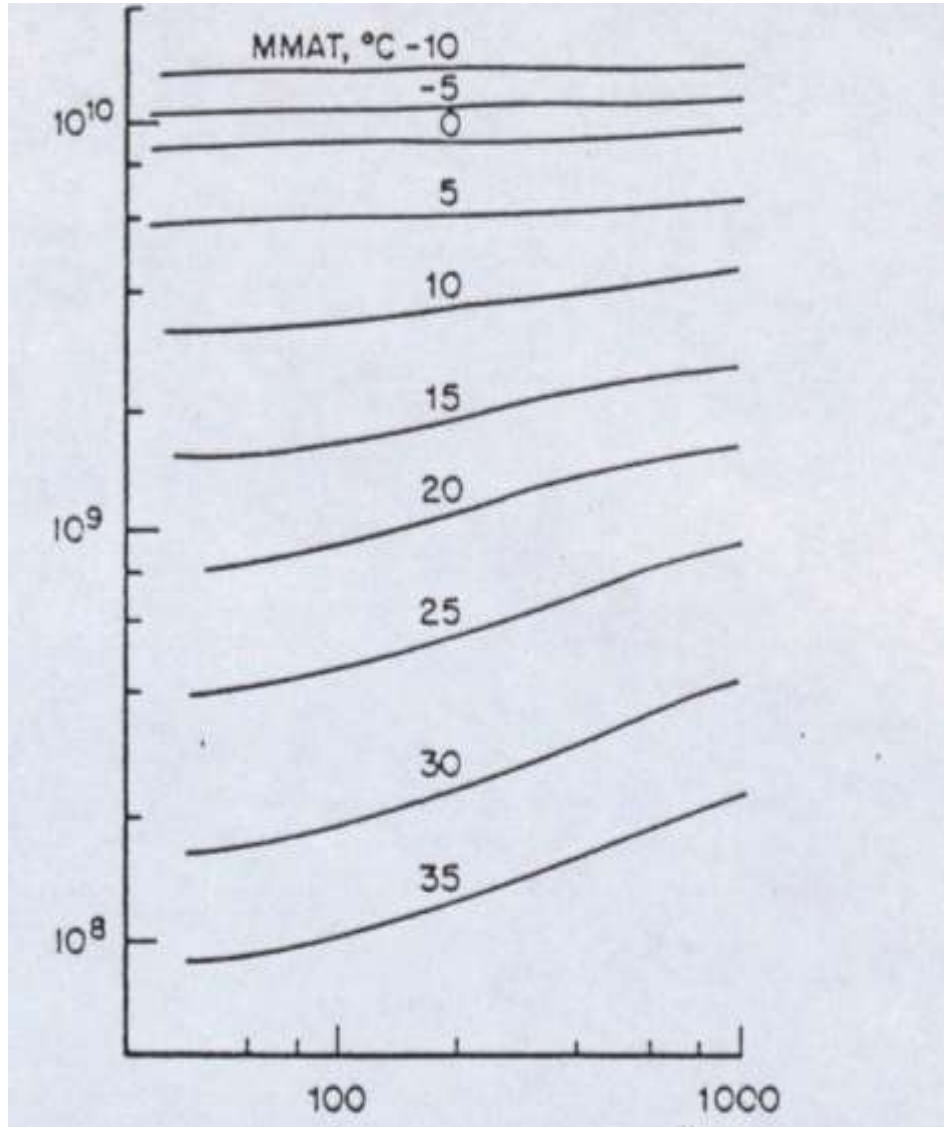
EFEKTİF ASFALT KAPLAMA TABAKASI SICAKLIĞI (°C) **ASFALT KAPLAMA TABAKASI KALINLIĞI (mm)**



Şekil 2.14 MMAT ve tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak bitümlü karışımın rijitlik modülü (80/100 bitümlü bağlayıcı yoğun bitümlü makadam)

Yukarıda açıklanan yöntem farklı iklimlere ait çeşitli bölgelerdeki üst yapıların efektif rijitlik modüllerini bulmakta kullanılmaktadır. Her bir bölge ve yapı için 12 deformasyon değerinden oluşan seriyle eşdeğer hasarı verecek efektif zemin veya asfalt kaplama tabakası deformasyonunu elde etmek için kullanılacak hava sıcaklığı yukarıdaki yöntemle benzer bir yolla bulunabilir. Her bir bölge ve yapı için bulunan sıcaklıklar (yıllık ortalama hava sıcaklığı MAAT) yapılar arasında ufak farklılıklar gösterebilir, ortalama MAAT aritmetik ortalama değeri hesaplanarak bulunur[4].

BİTÜMLÜ KARIŞIMIN EFEKTİF RİJİTLİK MODÜLÜ N/m^2



ASFALT KAPLAMA TABAKASI KALINLIĞI (mm)

Şekil 2.15 MMAT ve tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak efektif bitümlü karışımın sıcaklığı

Poisson Oranı: Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı malzemeler için bir dizi Poisson Oranı (ν) değeri verilmiştir. Çok ince ve dikkatli ölçümler gerektirmesi nedeniyle Poisson Oranı'nın doğru olarak belirlenmesi oldukça zordur. Dahası Poisson Oranı gerilme, sıcaklık v.b. faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bununla birlikte Poisson Oranı'ndaki değişimlerin birincil tasarım parametreleri (maksimum zemin basınç deforasyonu, asfalt kaplama tabakasındaki maksimum çekme deforasyonu) üzerinde etkisi azdır. Kısa süreli yüklemeler için asfaltın Poisson Oranı $\nu = 0.25$ değeri kullanılır[4].

2.2.3 Tasarım Ölçütleri

Zemin deformasyonlarının, verilen zemin ve asfalt kaplama tabakasının rijitlik modüllerinde izin verilen değerleri aşmaması için gerekli asfalt ve bağlayıcısız temel tabakası kalınlıkları; verilen yük uygulamalarına denk düşen izin verilen zemin deformasyonlarının temel grafikte yerine konmasıyla bulunur. Çimentü temeller için izin verilen gerilme değerleri de aynı yolla bulunabilir.

Asfalt kaplama tabakası deformasyonu ölçütleri için izin verilen asfalt kaplama tabakası deformasyonu değeri asfalt kaplama tabakası rijitlik modülüne ve efektif asfalt kaplama tabakası rijitlik modülü kullanılması sebebiyle asfalt kaplama tabakasının kalınlığına bağlı olduğundan deneme yanılma dayalı bir yöntem kullanılmasıdır. Ayrıca tasarım örneğine tekerlek yükü dağılımı ($N_{eff} \cong 0.1 \times N - 0.8 \times N$ sırasıyla yoğun ve zayıf karışımlar) ve sıcaklık gradyanı ($N_{eff} = N - 2 \times N$ ince tabaka ve/veya düşük sıcaklıklar – kalın tabaka ve yüksek sıcaklıklar) etkileri için düzeltme faktörü uygulanır. Bağlayıcısız temeldeki malzemelerin CBR değerleriyle ifade edilen minimum kalite düzeyleri bulacak esneklik modülüne bağlı tanımlanmıştır ve taban zemin esneklik modülüyle bağlayıcısız temel tabakasının kalınlığına bağlıdır.

2.2.4 Temel Hesaplamalar

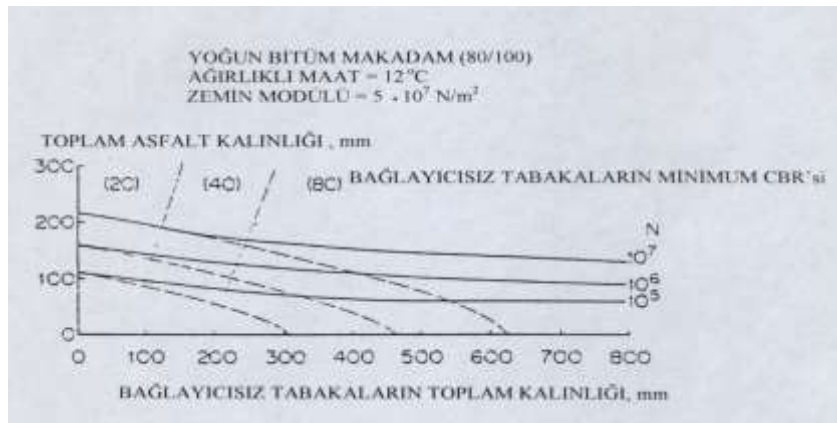
BİSAR programı kullanılarak değişik zemin ve asfalt kaplama tabakası rijitlik modülleri ile bağlayıcısız temel ve asfalt kaplama tabakası kalınlıkları için çok sayıda yapının standart çift tekerlek yükü altındaki zemin basınç ve asfalt yatay çekme deformasyonları hesaplanmıştır. Bağlayıcısız temel esneklik modülü temel kalınlığıyla ve taban zemin esneklik modülüyle orantılı olarak değişir. Deformasyon değerleri tekerleklerden birinin merkezinin altında ve tekerlekler arasındaki sırtı ekseninde; asfalt kaplama tabakası deformasyonu da hem trafik yönünün sağ açısında hem sol açısında hesaplanır ve asfalt kaplama tabakası deformasyonu bulunur. Her seviye için en büyük değer o seviyenin deformasyonu olarak alınır[4].

2.2.5 Tipik Tasarım Eğrileri

Shell tasarımı çizgilerini ilk hali (1963) gerekli asfalt kaplama tabakası kalınlığı, verilen taban zemin esneklik modülü ve bağlayıcısız temel tabakası kalınlığının bir fonksiyonu olarak veren eğrileriyle mühendisler tarafından uygulamada kullanılmak

açısından uygun bulunmaktadı. Yeni sistemde hava sıcaklığı ve karışım tipiyle ilgili yeni parametrelerde göz önünde bulundurularak çizelge sayısı artırılmıştır[4]. Verilen taban zemin esneklik modülü, karışım tipi ve ortalama hava sıcaklığı için tipik bir tasarımın aşamaları aşağıdaki gibidir.

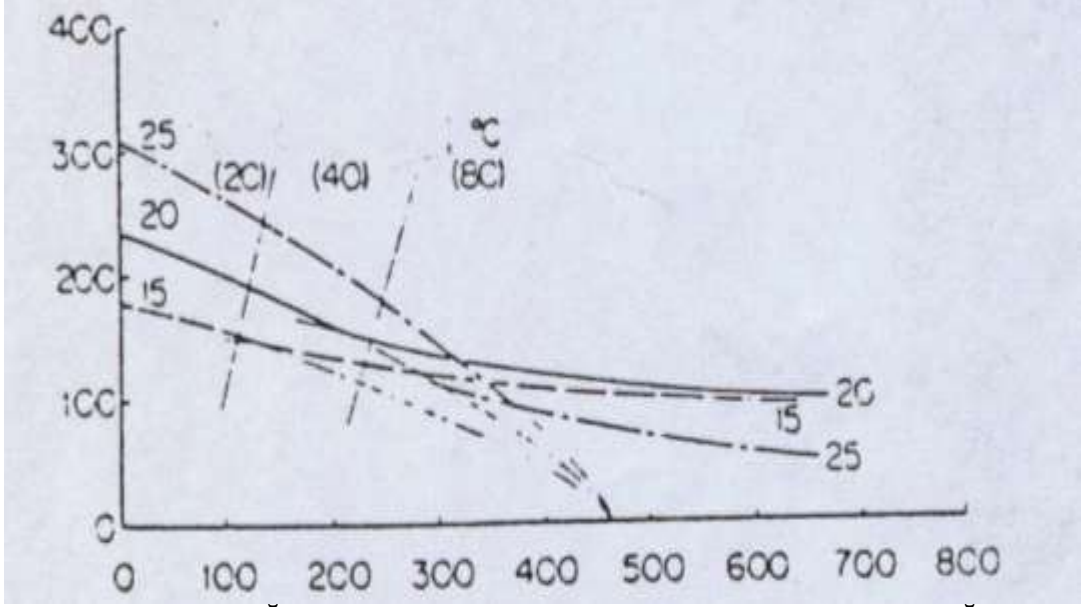
Belirtilen karışım tipi için efektif asfalt kaplama tabakası rijitlik modülü Şekil 2.15'te gösterilen ortalama hava sıcaklığı ile efektif asfalt sıcaklığı arasındaki bağıntı ve Şekil 2.12'de ve Şekil 2.13'teki asfalt kaplama tabakası rijitlik modülüyle asfalt sıcaklığı arasındaki ilişki kullanılarak Şekil 2.14'teki benzer bir şekilde ortalama hava sıcaklığı ve tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak bulunur. Daha sonra verilen asfalt kaplama tabakası sıcaklığı için bağılayıcısız temel tabakasının zemin basıncı deformasyonunu sınırlamak için, gerekli kalınlık yük uygulama sayısı ve taban zemin esneklik modülüyle BISAR program kullanılarak bulunur. Bu işlem verilen ortalama hava sıcaklıkları ve uygulanan yük miktarı için taban zemin deformasyonu ölçütlerine dayalı tasarım eğrileri oluşturmak amacıyla asfalt kaplama tabakası kalınlığının çeşitli değerleriyle tekrarlanır. Aynı ortalama hava sıcaklıklarıyla yük miktarı kullanılarak ve efektif rijitlik modülünün belirlendiği asfalt kaplama tabakası kalınlığı alınarak asfalt kaplama tabakası deformasyonu ölçütlerine dayalı tasarım eğrisi çizilir. Ardından Şekil 2.4'ten izin verilen asfalt kaplama tabakası deformasyonu ve temel grafikten bağılayıcısız malzeme kalınlığı bulunur. İşlemden sonra asfalt kaplama tabakası kalınlıkları için tekrarlanır. Son olarak "Tasarım Öçütleri" bölümünde anlatıldığı şekilde enine tekerlek yükü dağılımı vb. için tasarım eğrisinde düzeltmeler yapılır[4]. Diğer hava sıcaklıkları ve bitümlü karışım tipleri için benzer şekilde tasarım eğrileri çizilebilir. Bununla ilgili örnekler Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de görülebilir.



Şekil 2.16 Tipik tasarım eğrileri (Değişken N)

YOĞUN BİTÜM MAKADAM (80/100)
AĞIRLIKLI MAAT = 20°C
ZEMİN MODÜLÜ = 5·10⁷ N/m²

TOPLAM ASFALT KAPLAMA TABAKASI KALINLIĞI (mm)

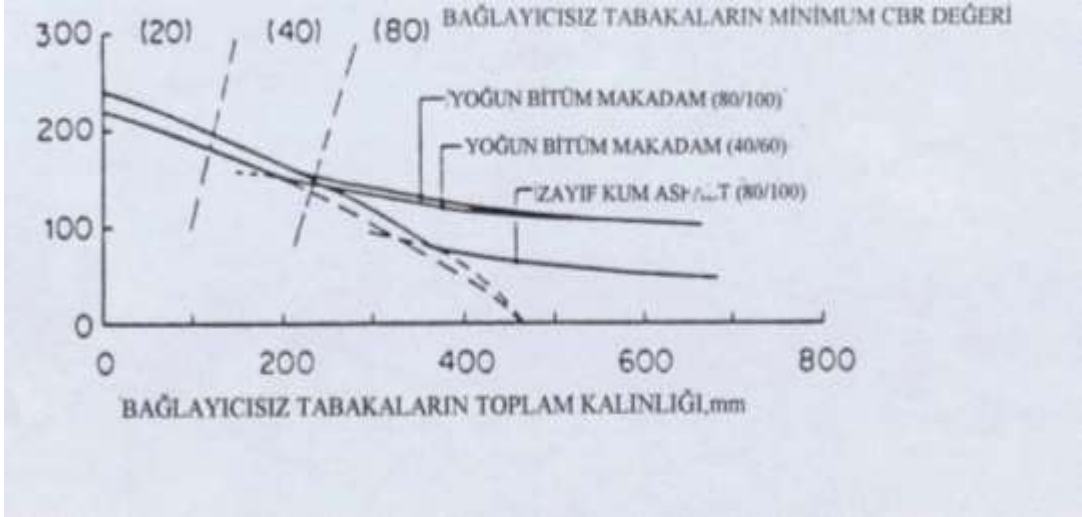


BAĞLAYISIZ TABAKALARIN TOPLAM KALINLIĞI (mm)

Şekil 2.17 Tipik tasarım eğrileri (Değişken ağırlıklı yıllık ortalama hava sıcaklığı WMMAT)

ZEMİN MODÜLÜ = 5·10⁷ N/m²
STANDART DİNGİL YÜKÜ SAYISI = 10⁶
AĞIRLIKLI MAAT = 20 °C

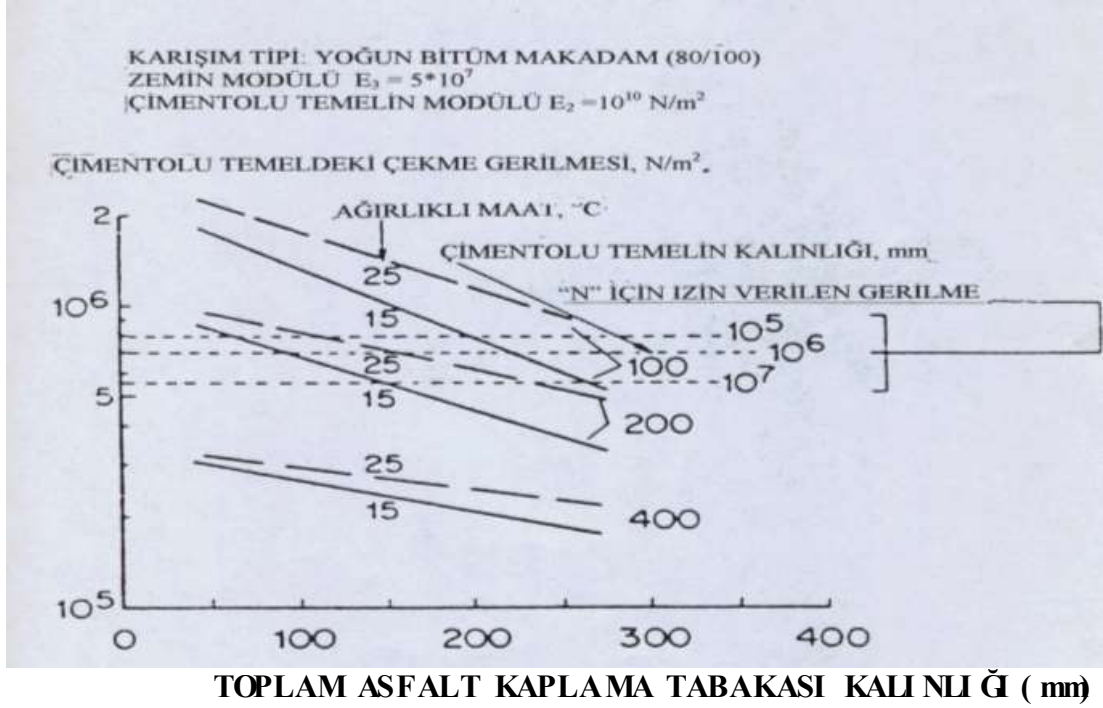
TOPLAM ASFALT KAPLAMA TABAKASI KALINLIĞI (mm)



Şekil 2.18 Farklı karışımtipleri içi n tasarım eğrileri

İzin verilen gerilme değeri belirtilerek, çimentolu temel tabakaları içinde benzer yöntemle tasarım eğrisi çizilebilir. Çimentolu temel tabakaları için, genellikle,

standartlaştırılmış kalınlıklar kullanılır ve verilen taban zemin esneklik modülü, temel esneklik modülü, ortalama hava sıcaklığı ve tasarım ömrü için gerekli asfalt kaplama tabakası kalınlığı belirlenir. Bu kritere göre bir hesaplama modeli kullanarak gerekli minimum asfalt kaplama tabakası kalınlığının belirlenmesi oldukça zordur ve bu nedenle tecrübeye dayalı bir seçimi yapılır. Genelde 150 mm – 250 mm minimum asfalt kalınlığı önerilir. Şekil 219’de bir örnek verilmiştir.



Şekil 219 Çimentolu temel tabakasına sahip üst yapıların kalınlık tasarımı

2.2.6 PC Versiyonu

Tasarım yönetiminin bilgisayar versiyonu bir takım farklı fakat birbirini takip eden adımlardan oluşur. Bunların her birini yöntemi içinde ayrı ve iyi tanımlanmış bir işlevi vardır. Programın yapısı aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

1. İklimin özelliklerini belirlemesi,
2. Üst yapıyı tasarım ömrünün trafik yükü kullanılarak belirlenmesi,
3. Temel ve zemin özelliklerini belirlemesi,
4. Bitümün rijitliğini belirlemesi,
5. Asfalt karışımının rijitliğini belirlemesi,
6. Üst yapı modelini tanımlanması,
7. Hesaplamaların başlangıcı için asfalt kaplama tabakasının kalınlığının belirlenmesi,

8. Gerilmelerin hesaplanması için H SAR modülü
9. Üst yapı gerilmelerini üst yapı ömrüne dönüştürülmesi,
10. İstenen tasarım ömrü için kaplama yapısının belirlenmesine yönelik deneğe yanıtına dayalı H SAR hesaplamalarının yapılması

2.2.6.1 İklimin Özelliklerinin Belirlenmesi

Gösterilen ilk modül kullanıcıya yapının bulunduğu bölgeye ait iklim koşullarını temsil eden sıcaklık koşullarını seçme veya girme imkanı sağlar. Modül belirli bir bölge için ortalama aylık hava sıcaklığı verilerini kullanarak ağırlıklı yıllık ortalama hava sıcaklığını verir. “Ağırlıklı” kelimesiyle kastedilen kaplama sıcaklıklarındaki, aylık sıcaklıkların aritmetik ortalamasından anlaşılacak, günlük ve aylık değişimlerin tasarıma etkilerinin de hesaba katıldığıdır. Modül normalde sıcak, ılıman ve soğuk iklimleri temsil eden 21 bölgeye ait verileri içerir. Meteorolojik verilerin mevcut olması durumunda kullanıcı verilen bölge için özel verileri de girebilir[5].

2.2.6.2 Üst yapı Tasarım Ömrünün Trafik Yükü Kullanarak Belirlenmesi

Tasarımda kullanılan trafik yüklemesi üst yapının hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı toplam eşdeğer standart dingil yüküyle temsil edilir. 80 kN'luk tek dingil standart tasarım yükünün iki çift 20 kN tekerlekten oluştuğu kabul edilir. Trafik verilerinin şerit başına günlük ticari dingil sayısı olarak bilinmesi gerekir. Bunlar daha sonra eşdeğer standart dingile çevrilecektir.

Bir yılda bu trafik düzeyinin gözleendiği gün sayısı ve tasarım ömrü boyunca tahmin edilen trafik artış oranı da bu orana dahildir. Alternatif olarak tasarım ömrü boyunca yapıya uygulanacağı tahmin edilen toplam standart dingil sayısını kapsayan eklenik trafik değeri de veri olarak girilebilir[5].

2.2.6.3 Temel ve Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Yol temeli ve kaplama yapısının sonraki perforansı için çok büyük öneme sahiptir. Zemin iletilen gerilmeler, inşaat esnasında ve yolun hizmet ömrü boyunca tabakanın altındaki bölgede aşırı gerilmelerin oluşmasını engellemek amacıyla, en az indirgenmelidir. Kısıtlamalara rağmen (%) olarak ifade edilen California Taşınma Oranı (CBR) kaplama zeminlerini sağlanışının belirlenmesi konusunda kabul gören bir yöntemdir ve aşağıdaki eşitlik aracılığıyla resilient karakteristikleriyle ilişkilendirilir.

$$E_3 = 17.6 \times (\text{CBR})^{0.64} \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte

E_3 : Taban zeminin esneklik modülü

CBR : California Taşıma Gramı'dır.

CBR değeri laboratuvar değerleriyle ölçülenli yada ideal olarak, resilient, özellikleri örneklerin test edilmesiyle elde edilmiştir. Bu verilerin mevcut olması durumunda zemin modülü Şekil 2.20'den bulunabilir.

Bağlayıcısız temel, inşaat süresince, bir yük yayma tabakasının ve taşıyıcı yolun görevlerini tatmin edici bir şekilde yerine getirilmiştir. Malzeme özellikleri rijitlikle nitelendirilmiştir. Kaplama tasarımı için resilient modülünün tasarımı kabul edilen giriş değerlerini sağlaması gerekir. Alt temel in rijitliği malzemenin tipine, tabaka kalınlığına, sıkıştırılmaya ve zeminin yeterliliğine bağlı olarak birlikte aşağıdaki eşitlik kullanılarak yaklaşık olarak belirlenebilir[5].

$$E_2 = k \times E_3 \quad (2.11)$$

Bu formülde;

E_2 : Alt temel in esneklik modülü (N/m^2)

E_3 : Taban zemin in esneklik modülü (N/m^2)

k : $0.2 \times (h_2)^{0.45}$ (h_2 : Alt temel in kalınlığı, mm)

Granüler alt temelde tahmin edici bir rijitlik – kalınlık kombinasyonu sağlamak suretiyle zeminin üzerinde yüksek gerilmelerin oluşması önlenmiş ve böylece tamamlanmış üst yapının gerilme deforasyonu ölçütünü gerçekleştirmesi sağlanmış olur[5].

2.2.6.4 Bütünün Rijitliğinin Belirlenmesi

Asfalt kaplama tabakasının tasarımıdaki bir sonraki adım hacim oranları ve yük yayma özellikleriyle nitelendirilen karışım kompozisyonunun belirlenmesidir. Asfalt kaplama tabakasının yükü yayma ve alt temele iletilen gerilmeleri azaltma yeteneği malzemenin servisteki rijitliğiyle ifade edilir. Bu parametre, malzemeler hakkında yeterli bilgi mevcutsa, doğrudan kullanılabilir veya karışım kompozisyonunun

özelliklerinden tahmin edilebilir. Bitümün rijitliği asfalt kaplama tabakasında kullanılan bitüm ile ilgili aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyan Van der Poel nomografinin (Şekil 2.8) bilgisayara yüklenen haliyle bulunabilir[5].

- Geri kazanılmış bitümün yumuşama noktası ($^{\circ}\text{C}$)
- Geri kazanılmış bitümün penetrasyon indisi (dmm)
- Yükleme süresi (Normalde hareketli trafiğe temsilen $t = 0.02$ sn alınır)

Tahmine dayalı yöntem yalnızca S tipi penetrasyon sınıfı bitümler için geçerlidir, poli mer modifiye bitümlerin belirgin şekilde değişen reolojilerine hitap etmez.

2.2.6.5 Bitümlü Karışımın Rijitliğinin Belirlenmesi

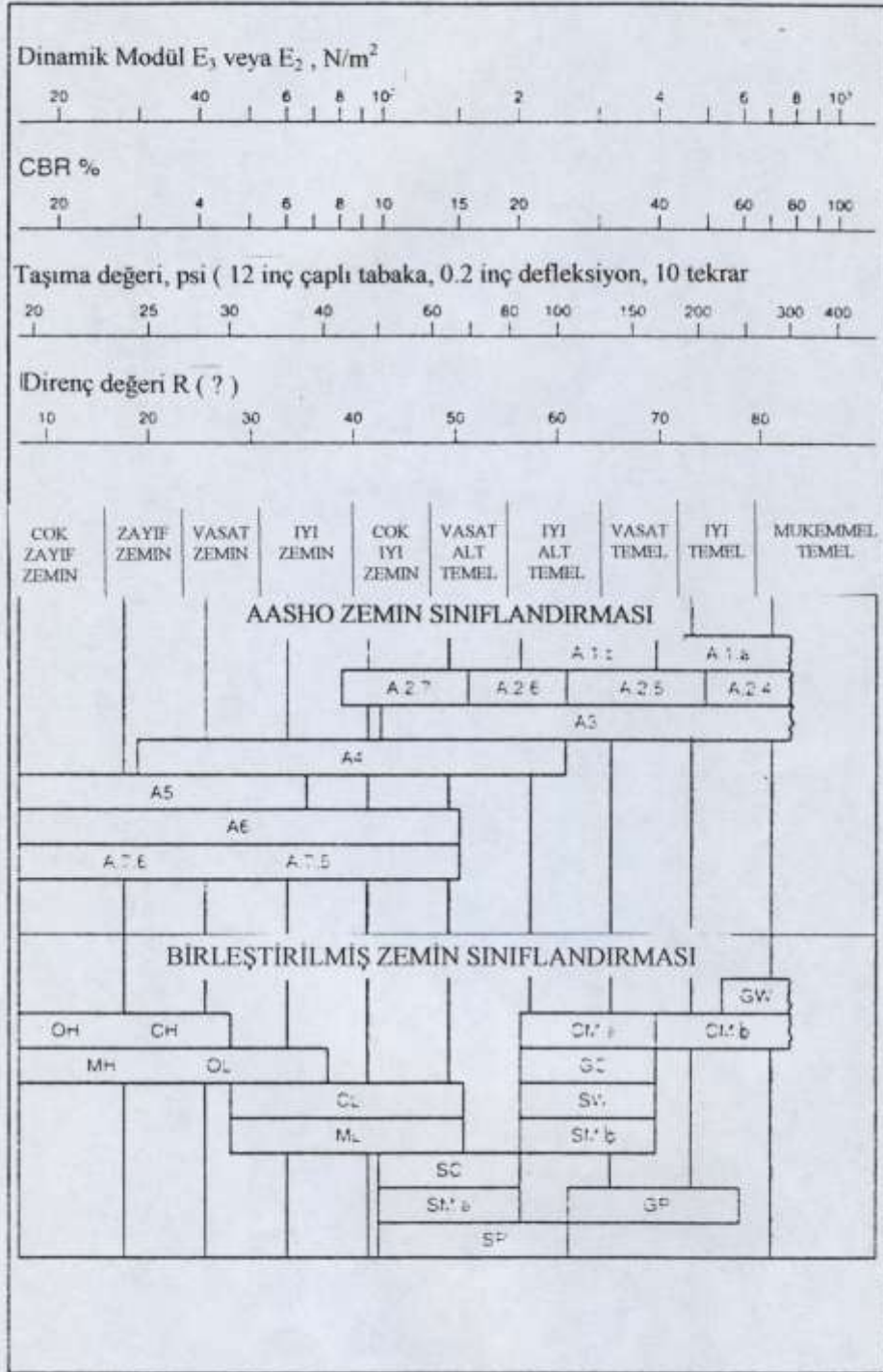
Bitümlü karışımın rijitliğinin belirlenmesi Bonnaure ve arkadaşlarının önerdiği, 12 standart bitümlü karışımın değerlendirilmesiyle geliştirilen yöntemle dayanır (Şekil 2.9).

Gerekli bilgiler aşağıdaki şekildedir.

- Bitümün rijitliği (S_b)
- Karışımındaki bitümün hacim yüzdesi (V_{bit})
- Mineral agregatın hacim yüzdesi (V_{agg})

2.2.6.6 Üstyapı Ömrünün ve Asfalt Kaplama Kalınlığının Belirlenmesi

SPDM PC de BLSAR programı kullanılarak tasarlanan yapının kritik noktalarındaki, yukarıda sözü edilen, gerilmeler hesaplanır. Sonuçlar daha sonra bozulma ölçütlerini veren eşitliklerde (tasarım güven derecesine bağlı olarak 1-4 nolu eşitlikler) yerine konur ve bulunan üstyapı ömrü ile karşılaştırılır. Eğer hesaplanan ömürle olması istenen ömür arasındaki fark %5'ten küçükse üstyapı kalınlığı tasarım kalınlığı olarak kabul edilir. Üstyapı ömrünün uzun veya kısa olması nedeniyle fark %5'ten büyükse asfalt kaplama tabakasının kalınlığı artırılıp azaltılarak gerilmeler hesaplanır ve karşılaştırma işlemi tekrarlanır. Bu deneme yanılma dayalı işlem karşılaştırmadan tatmin edici bir sonuç alınana kadar tekrarlanmakla birlikte genellikle dört veya beşinci deneme yanılma sonra arzu edilen sonuca ulaşır. Diğer bir yöntem ise Ek A'da verilen nomograflar yardımıyla asfalt kaplama tabakasının kalınlığı bulunabilir.



Şekil 2.20 Taban zemininin veya bağlayıcısız temel malzemelerinin dinamik modülünün belirlenmesi

2.3 ASFALT KAPLAMA TABAKASININ KALINLIĞININ TASARIM DEĞİŞKENLERİNE GÖRE DEĞİŞİMİ

2.3.1 Asfalt Kaplama Tabakası Kalınlığının Proje Trafikğine Bağlı Olarak Değişimi

Diferansiyel değişkenler sabit tutularak trafik sayısı arttırılmıştır ve bu artışın sonucunda asfalt kaplama tabakasının kalınlığının nasıl değiştiği aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablodaki değerler grafik olarak gösterilmiştir.

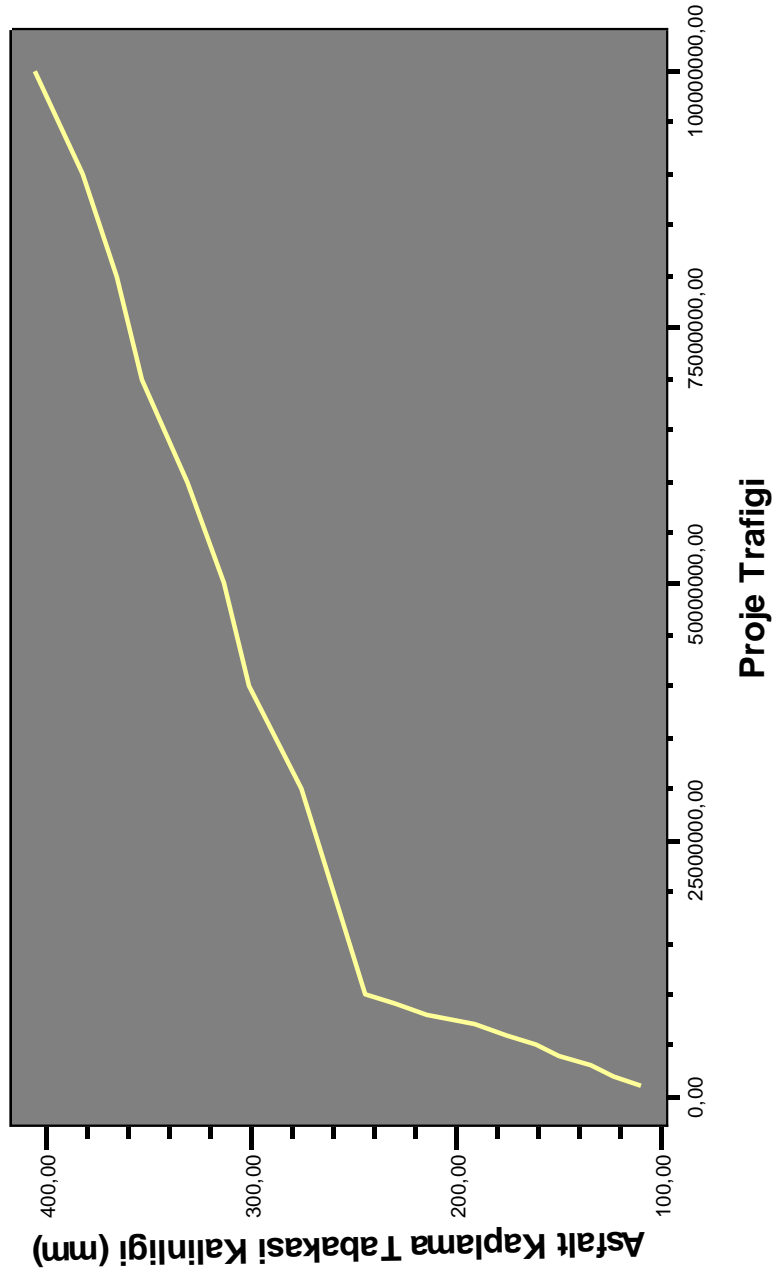
Tablo 2.2 Trafik sayısına bağlı olarak asfalt kaplama tabakası kalınlığının aldığı değerler

N	WMAAT (C)	h2 (mm)	E (N m ²)	h1 (mm)
1000000	28	550	25000000	110
2000000	28	550	25000000	124
3000000	28	550	25000000	135
4000000	28	550	25000000	150
5000000	28	550	25000000	162
6000000	28	550	25000000	176
7000000	28	550	25000000	192
8000000	28	550	25000000	215
9000000	28	550	25000000	230
10000000	28	550	25000000	245
20000000	28	550	25000000	260
30000000	28	550	25000000	276
40000000	28	550	25000000	301
50000000	28	550	25000000	314
60000000	28	550	25000000	331
70000000	28	550	25000000	354
80000000	28	550	25000000	366
90000000	28	550	25000000	382
100000000	28	550	25000000	406

Trafik sayısı arttıkça grafikte de görüldüğü gibi asfalt kaplama tabakası kalınlığı artmaktadır. İkisinin arasındaki korelasyon 0.939'dur.

N-h1 Grafığı

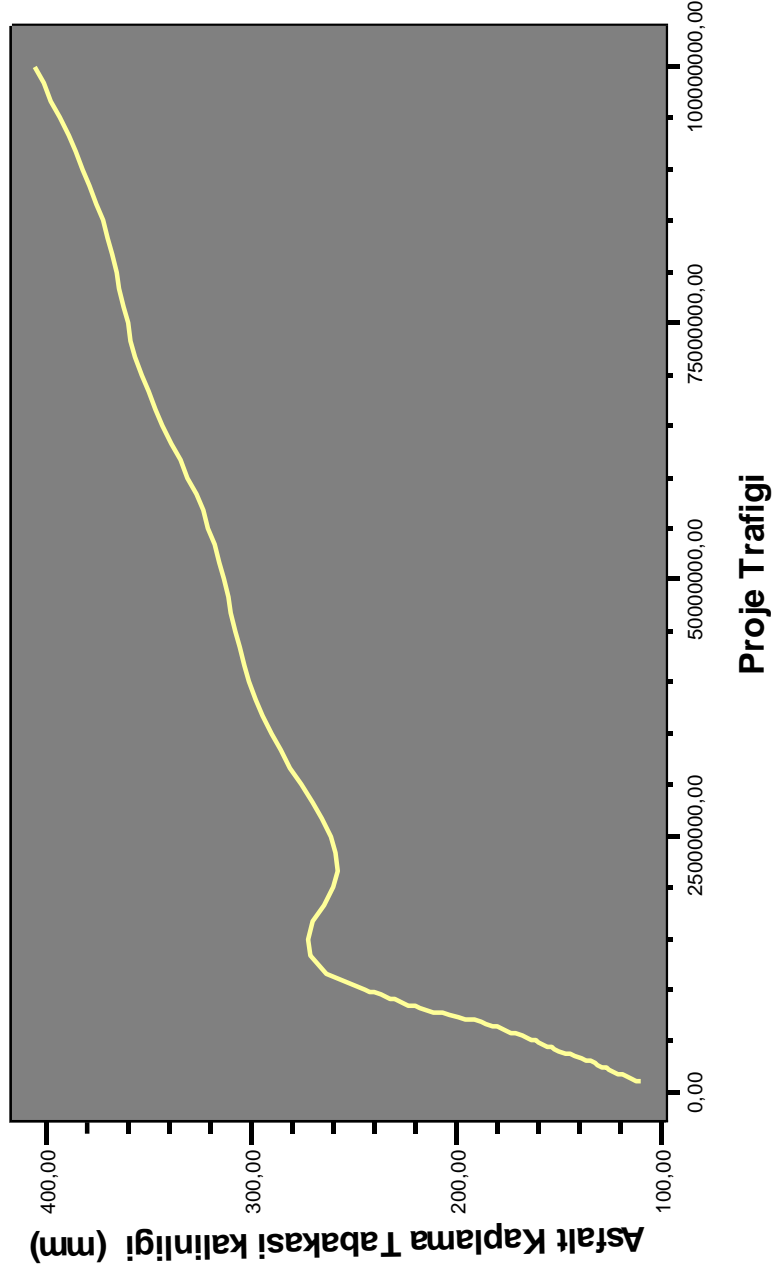
WMAAT = 20 C h2= 550 mm E= 25000000 N/m²



Şekil 2.21 Asfalt Kaplama kalınlığının proje trafiğine bağlı olarak değişiminin doğrusal gösterimi

N-h1 Grafığı

WMAAT = 20 C h2= 550 mm E= 25000000 N/m2



Şekil 2.22 Asfalt kaplama tabakası kalınlığının proje trafiğine bağlı olarak değişimini eğrisel gösterimi

2.3.2 Asfalt Kaplama Tabakası Kalınlığının Temel Tabakası Kalınlığına Bağlı Olarak Değişimi

Diferansiyel değişkenler sabit tutularak temel tabakası kalınlığı artırılmıştır ve bu artışın sonucunda asfalt kaplama tabakası kalınlığının nasıl değiştiği aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablodaki değerler grafik olarak gösterilmiştir.

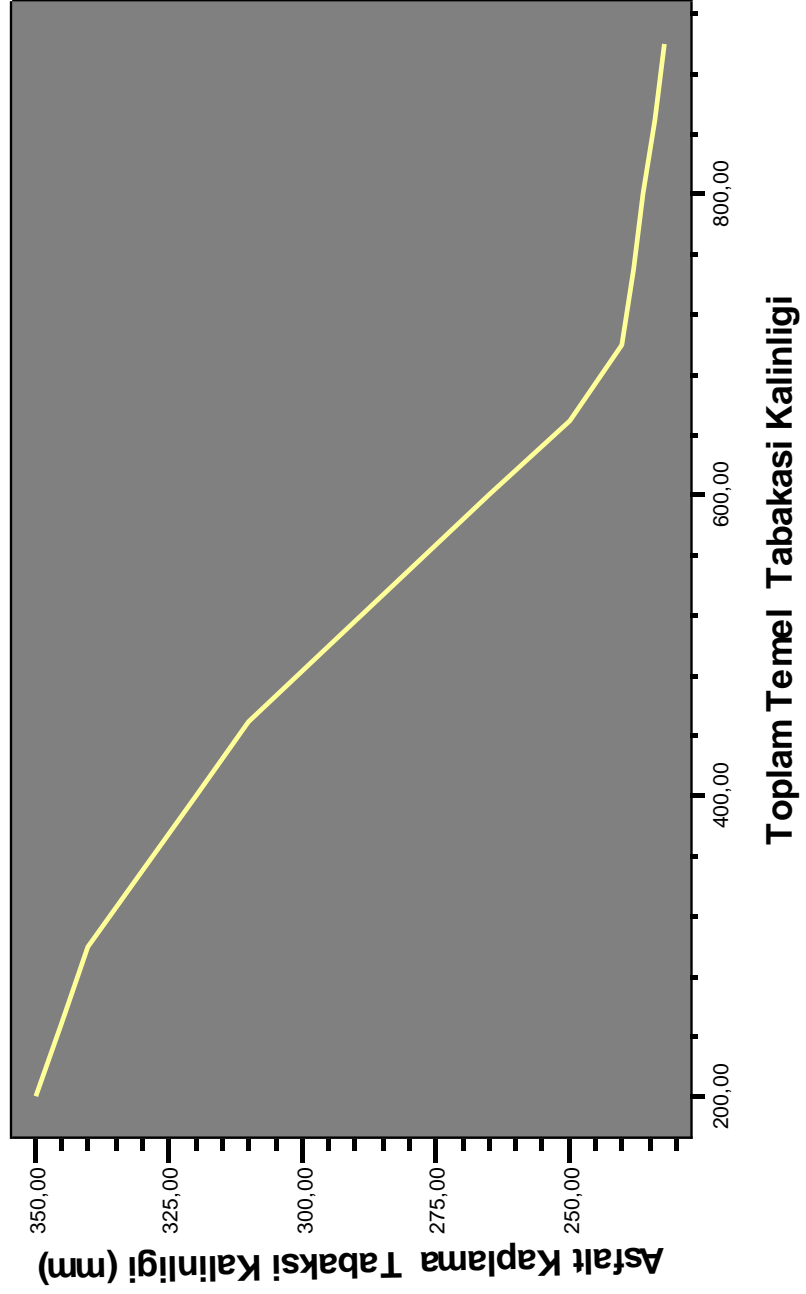
Tablo 2.3 Temel tabakası kalınlığına bağlı olarak asfalt kaplama tabakası kalınlığının aldığı değerler

h2 (mm)	WMAAT (°C)	N	E (N m ²)	h1 (mm)
200	20	10000000	5000000	350
250	20	10000000	5000000	345
300	20	10000000	5000000	340
350	20	10000000	5000000	330
400	20	10000000	5000000	320
450	20	10000000	5000000	310
500	20	10000000	5000000	295
550	20	10000000	5000000	280
600	20	10000000	5000000	265
650	20	10000000	5000000	250
700	20	10000000	5000000	240
750	20	10000000	5000000	238
800	20	10000000	5000000	236
850	20	10000000	5000000	234
900	20	10000000	5000000	232

Temel tabakasının kalınlığı arttıkça görüldüğü gibi asfalt kaplama tabakasının kalınlığı azalmaktadır. İkiisi arasındaki korelasyon 0.980'dir

h2 - h1 Grafiği

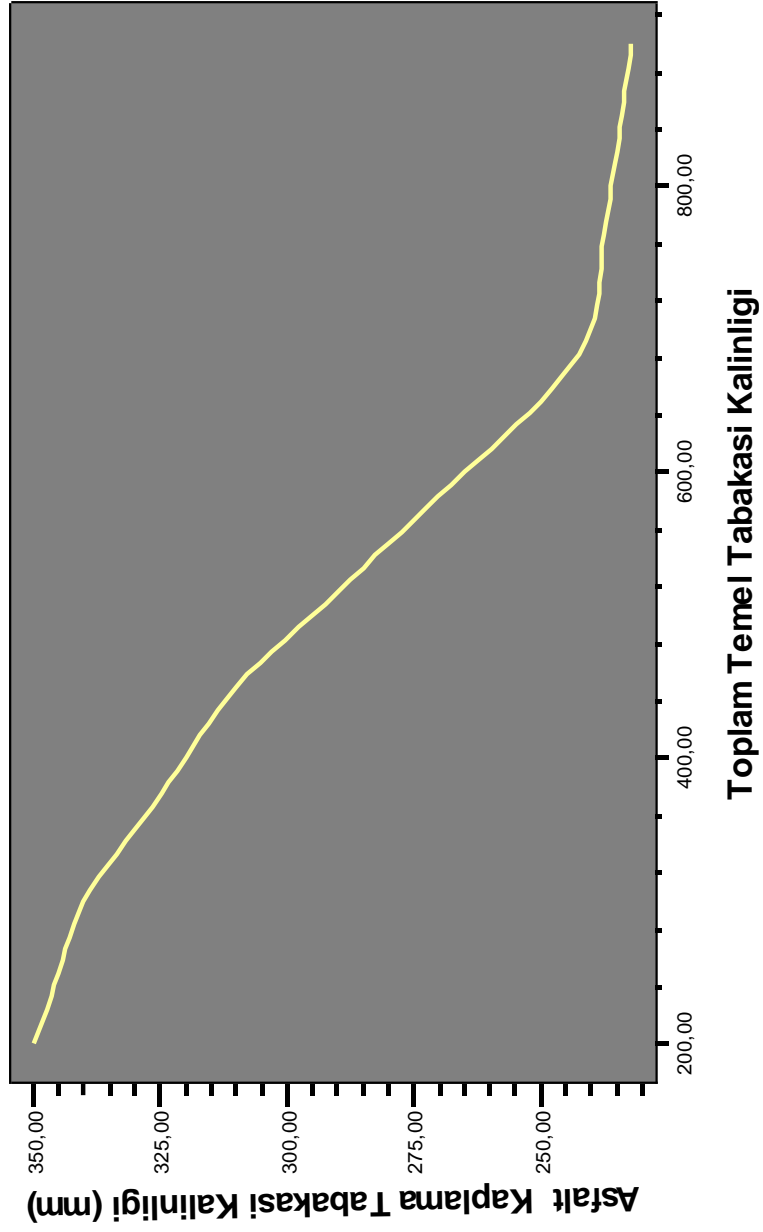
WMAAT = 20 C N = 1000000000 E= 500000000 N/m²



Şekil 2.23 Asfalt kaplama tabakası kalınlığının temel tabakası kalınlığına bağı olarak değışiminin doğrusal gösterimi

h2 - h1 Grafığı

WMAAT = 20 C N = 100000000 E= 500000000 N/m²



Şekil 2.24 Asfalt kaplama tabakası kalınlığının temel tabakasına bağlı olarak değişiminin eğrisel gösterimi

2.3.3 Asfalt Kaplama Tabakası Kalınlığının Ağırlıklı Ortalama Yıllık Hava Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi

Diğer değişkenler sabit tutularak temel tabakası kalınlığı artırılmıştır ve bu artışın sonucunda asfalt kaplama tabakası kalınlığının nasıl değiştiği aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablodaki değerler grafik olarak gösterilmiştir.

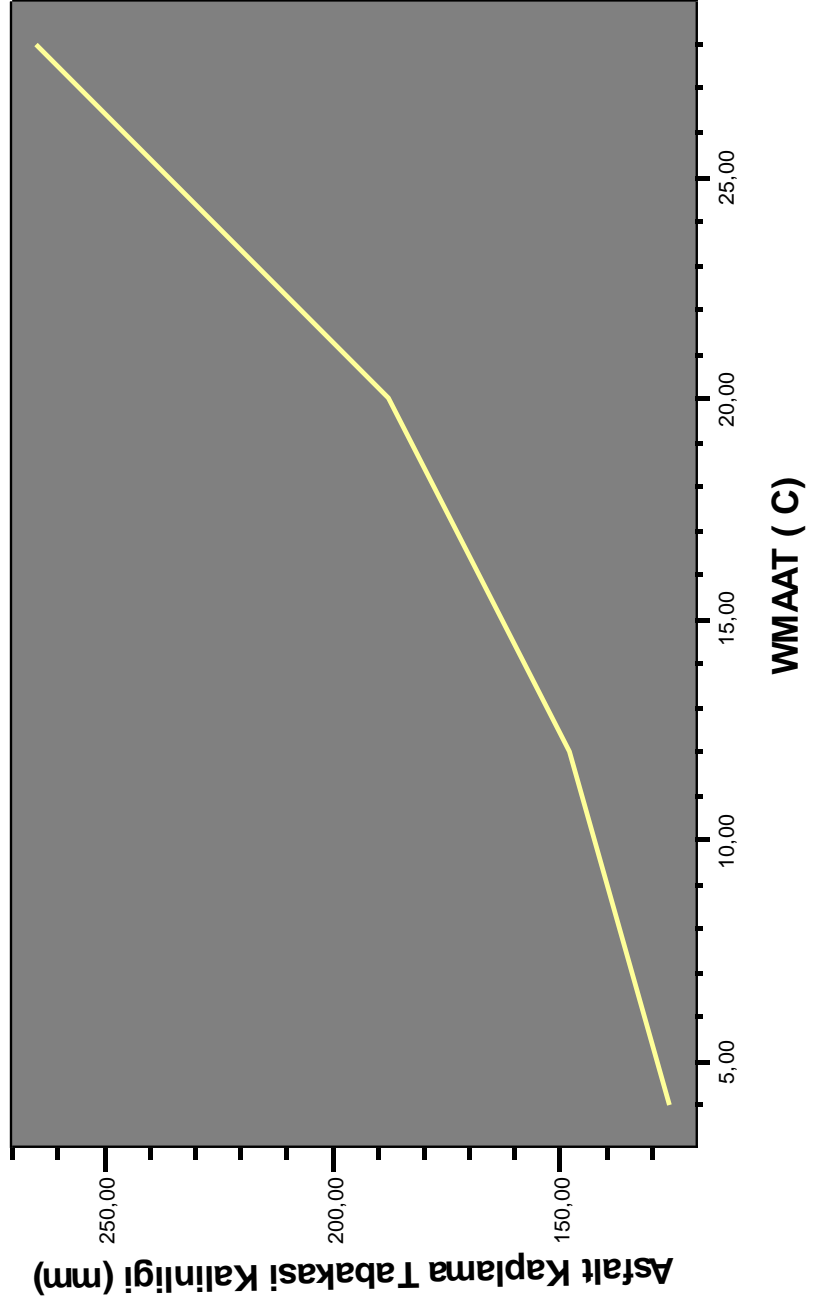
Tablo 2.4 WMAAT'a bağlı olarak asfalt kaplama tabakası kalınlığının aldığı değerler

WMAAT (C)	E (N m ²)	N	h2 (mm)	h1
4	25000000	10000000	500	126
12	25000000	10000000	500	148
20	25000000	10000000	500	188
28	25000000	10000000	500	265

Ağırlıklı ortalama yıllık hava sıcaklığı arttıkça grafikte de görüldüğü gibi asfalt tabakasının kalınlığı artmaktadır. İkiisi arasındaki korelasyon 0.965'tir.

WMAAT - h1 Grafiki

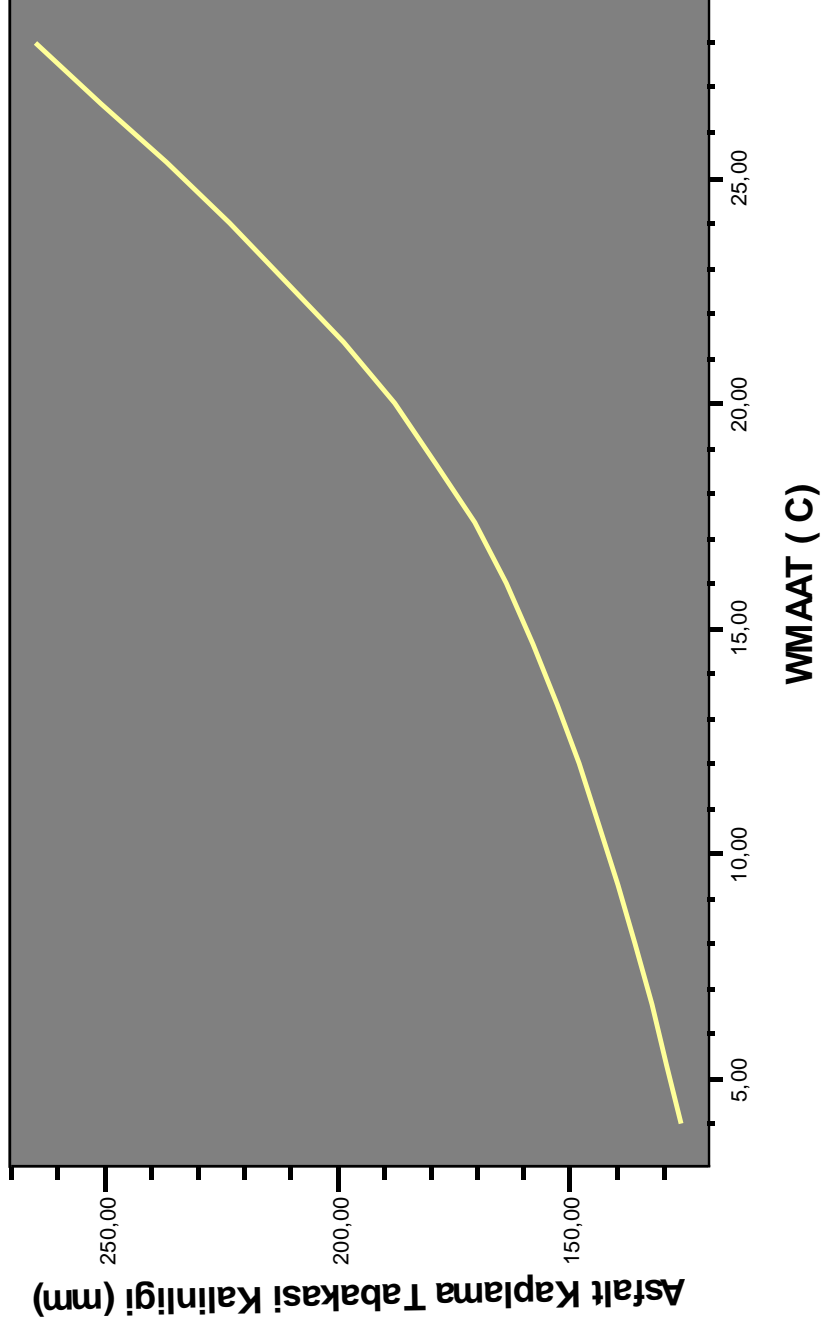
$h_2 = 500 \text{ mm}$ $N = 100000000$ $E = 250000000 \text{ N/m}^2$



Şekil 2.25 Asfalt kaplama tabakası kalınlığının WMAAT değerine bağlı olarak değişiminin doğrusal gösterimi

WMAAT - h1 Grafığı

$h_2 = 500 \text{ mm}$ $N = 10000000$ $E = 250000000 \text{ N/m}^2$



Şekil 2.26 Asfalt kaplama tabakası kalınlığının WMAAT değerine bağlı olarak değişiminin eğrisel gösterimi

2.4 Sonuçlar Ve Tartışma

Bu yöntemi inin u para metreninin değişimini incelemiştir. Nomoğrafalarda taban zeminini esneklik modülü iini iki değer alınmıştır. Bu iki değer arasındaki değerler iini iki değer iini zmyapılır ve arasında ent interpolasyon yapılır. Yani esneklik modülünün doğrusal değiştiği kabul edilir.

Asfalt kaplama tabakasının kalınlığının belirlenmesi ne en fazla etkiyen parametrenin ağırlıklı ortalama yıllık hava sıcaklığının olduğu grafiklerden grlmştir. İkinci derecede etki eden parametre seçilen temel kalınlığıdır. Daha sonra ise eşdeğer standart dığil yükü sayısı tekrarı gelmektedir.

Buradan çıkan sonuç ise bulunan çevrenin ağırlıklı ortalama yıllık hava sıcaklığının iyi belirlenmesi gerektiğidir. Bunun sebebi ise bitümlü bağlayıcının sıcaklığa çok hassas olduğudur.

BÖLÜM3

ANALİTİK AMPİRİK YÖNTEMLER

3.1 Giriş

Arştırmalar göstermiştir ki, üst yapı performansında, analitik metotla modellenemeyen bazı faktörlerinde etkisi olmuştur. Bunun sonucu olarak analitik yöntemlerin ampirik bağıntılarla ve performans gözlemleriyle kalibrasyonu gerekli görülmüştür. Sonuçta analitik-ampirik yöntemler gerçeğe daha yakın daha başarılı yöntemler olmuştur.

3.2 AASHTO 93

Analitik-ampirik yöntemlerden olan bu yöntem AASHTO (Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Görevlileri Birliği) tarafından 1956-58 yılları arasında Illinois eyaletinin Otawa kentinde inşa edilen ve içerisinde çeşitli tip kalınlıkta kaplamalar ve kısa açıklıklı köprüler içeren, deneysel yolu sonuçlarından yararlanılarak oluşturulmuştur [1, 6].

AASHO yol testi, yol test koşullarına göre, Asfalt kaplama tabakasının kalınlığı, yüklem miktarı, dingil tipi, uygulanan yük sayısı ve kaplamadaki servis yeteneği arasındaki ampirik ilişkiyi kurar. Orijinal ampirik model denklemde gösterilen yol test verilerinden türetilmiştir [6].

$$\text{Log}(W) = \text{Log}(\rho) + G\beta \quad (3.1)$$

Burada

- W : Son servis yeteneğine ulaşana kadar uygulanan dingil yükü sayısı
G : "t" anındaki servis yeteneği indeksini 1.5 olana kadar ki alınan potansiyel kayıptaki servis yeteneğinin kayıp oranının logaritmik fonksiyonu
 β : p-w servis yeteneği eğrisinin şeklini etkileyen tasarım ve yük değişkenlerinin bir fonksiyonu
 ρ : Servis yeteneği indeksi 1.5 a düşene kadar uygulandığı kabul edilen dingil yükü sayısını veren tasarım ve yük değişkenlerinin bir fonksiyonu

AASHO yol testinde, esnek üst yapı değişkenlerinin ρ ve β terimleri ile ilgili ilişkileri aşağıdaki gibidir

$$\text{Log}(\rho) = 54,93 + 9,36 \text{Log}(SN+1) - 4,79 \text{Log}(L_1 + L_2) + 4,33 \text{Log}(L_2) \quad (3.2)$$

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081(L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} + L_2^{3,23}} \quad (3.3)$$

Burada

- SN : Üst yapı sayısı
L₁ : Bir tandem dingil seti veya bir tek dingilin yükü
L₂ : Dingil kodu (tek dingil için "1" tandem dingil için "2")

AASHTO rehberinin 1972 de ve 1981 de 2 versiyonu basılmıştır. Ancak esnek üst yapı tasarımı işlemlerinde hiçbir fark yoktur. 1986 da yayınlanan AASHTO tasarım rehberinde, AASHO yol testi sonuçlarından yola çıkarak esnek üst yapı tasarımı da büyük değişiklikler olmuştur. Tasarımı ne deneylere dayandırılacakla birlikte taban zemin taşıma gücü, trafik dingil yükleri ve tekrarı, iklim koşulları ve

üst yapı da kullanılan malzemelerin birbirine göre direnç özellikleri de göz önüne alınmıştır[1, 6].

Güvenilirlik kavramları, üst yapı tasarımı da tasarımı şüphelerine bir açıklık getirmek için 1986 da tasarımı işlemlerine girmiştir. Tasarımı bu kavram sayesinde belli bir risk seviyesine kadar güvenilir tasarımı yapabilir. Toplam standart sapma ve güvenilirliğin bir fonksiyonu olan Tasarım Güvenilirlik Faktörü (F_r), trafik tahmininde, üst yapı performans tahmininde malzemeyle yapı özelliklerinin belirlenmesinde ki risk payını hesaplar. Soyulma, kusma gibi malzeme dayanıklılık problemlerini hesaplamaz[6].

Taban zemin destek değeri yerine 1986 da esneklik (resilient) modülü AASHTO rehberine girmiştir. Esneklik modülü malzeme özelliklerinin belirlenmesinde rasyonel bir test yöntemi kullanılması na olanak verir[6].

Yine bu rehberde drenaj özelliklerini hesaba katmak için bir drenaj katsayısına (η) yer verilmiştir. Neme yaklaşık olarak doygunluk yüzdesini ve drenaj kalitesini ifade eder[6].

1986 tasarımı rehberine göre bir diğer özellikte şişme ve don kabarması etkileridir. Bir üst yapı nın servis yeteneğindeki kayıp don kabarmasına ve şişmeye bağlıdır.

Esnek üst yapılar için sonuçlanan AASHTO yapısal tasarımı yöntemi 1993 tasarımı rehberindeki kullanılan modelle aynıdır[1, 6].

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (3.4)$$

W_{18} : 82 ton (18 kip) eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı (proje trafiği)

Z_R : Standart sapma

S_0 : Toplam standart sapma

ΔPSI : Başlangıçtaki servis yeteneği indeksi (P_0) ile son servis yeteneği indeksi (P_t) arasındaki fark [$(P_0 - P_t) = \text{toplam servis yeteneği kaybı}$]

M : Taban zeminin efektif esneklik (resiliant) modülü (lb/in^2)

SN : Üst yapı kalınlığını bulmak için gerekli üst yapı sayısı

Bu denklemde üst yapı sayısı trafik yükünü taşıyabilecek esnek üst yapının yapısal yeteneğinin bir ölçüsü olarak ortaya çıkar.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 M_2 + a_3 D_3 M_3 \quad (3.5)$$

a_i : i. tabakanın tabaka katsayısı

D_i : i. tabakanın kalınlığı

M_i : i. tabakanın drenaj katsayısı

3.2.1 Esnek Üst yapının Tasarım İçin Gerekli Veriler

1. Performans Ölçütü - Servis Yeteneği
2. Genel Tasarım Değişkenleri
 - 2.1. Zaman Kısıtları
 - 2.1.1. Performans Periyodu
 - 2.1.2. Analiz Periyodu
 - 2.2. Trafik
 - 2.3. Güvenilirlik
 - 2.4. Çevresel Etkiler
 - 2.4.1. Taban Zeminin Şişmesi
 - 2.4.2. Dön Kabarması
3. Malzeme Özellikleri
 - 3.1. Taban Zeminin Efektif Esneklik Modülü
 - 3.2. Üst yapı Tabakalarının Tabaka Katsayıları ve Malzeme Özellikleri
4. Üst yapı Yapısal Özellikleri
 - 4.1. Drenaj

3.2.1.1 Performans Ölçütü - Servis Yeteneği

Üst yapının servis yeteneği, yüksek hızdaki ve hacimdeki trafiğe hizmet yeteneğidir. Servis yeteneğinin ilk ölçüsü servis yeteneği indeksi dir. Bu değer “0” (kötü yollar için) ve “5” (mükemmel yollar için) değerleri arasında değişir. Bu rehberin basitçe

tasarım felsefesi performans periyodunun sonunda arzu edilen toplam trafik yükü ve minimum servis yeteneği seviyesinden kurulu bir üst yapı tasarımı sağlayan servis yeteneği- performans kavramıdır [1].

En düşük servis yeteneği indeksi yani son servis yeteneği indeksini “ P_t ” seçimi, takviyeden veya yeniden yapımdan önce müsaade edilebilen en düşük indekse göre yapılır. Bu indeks yüksek kapasiteli otoyollar için 2.5 veya daha yukarı, trafik kapasitesi daha düşük yollar için 2.0 olarak tavsiye edilir [1, 6].

Başlangıç servis yeteneği indeksi (P_0) üst yapı tasarımının ve kalitesinin bir fonksiyonudur. Bu değer AASHO yol testinde edinilen sonuçlara göre esnek üst yapılar için 4.2 olduğu ortaya çıkmıştır [1, 6].

Servis yeteneğindeki toplam değişim ise;

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \text{ olarak denklemlenmiştir.} \quad (3.6a)$$

PSI'nin basitçe denklemi;

$$PSI = A_0 + A_1 \times R + A_2 F_1 + A_3 F_2 \quad (3.6b)$$

PSI : Üst yapı servis yeteneği indeksi

A : Katsayılar

R : Bozukluğun ölçüsü

F_1, F_2 : Çatlakların ve yamaların fiziksel ölçüsü

AASHO yol testinden geliştirilen orijinal denklem aşağıdaki gibidir [6].

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38(RD)^2 - 0.01(C + P)^{0.5} \quad (3.7)$$

PSI : Servis yeteneği indeksi

SV : Ortalama eğim değişimi

C+P : Çatlakların uzunluğu ve onarımın yaygınlığı

RD : Tekerlek izi derinliği (ortalama)

3.2.1.2 Genel Tasarım Değişkenleri

Genel tasarım değişkenleri herhangi bir üst yapının tasarımında mutlaka hesaba katılması gereken değişkenlerdir. Bu kategoride seçilmiş performans ve analiz periyotları gibi zaman kısıtları, trafik tasarım güvenirliliği ile yol yatağı genişliği donatılması gibi çevresel etkiler yer almaktadır.

Zaman Kısıtları : Üst yapının tasarım için zaman değişkenlerinden "performans periyodu" ve "analiz periyodunun seçilmesi" gereklidir. Bu kısıtlar hem ottoyollar hem de düşük kapasiteli yolların tasarımında da kullanılmalıdır.

Performans Periyodu : Performans periyodu yol hizmete açıldıktan, ilk takviye ihtiyacına kadar geçen süreyi ifade eder. Aynı zamanda takviyeler arasındaki sürede performans periyodu kavramına girer. Başka bir deyişle üst yapının başlangıç servis yeteneği (P_0) seçilen servis yeteneği (P_1) düşüğü ana kadar geçen süreyi ifade eder. Performans periyodu için tasarımı daha önceki tecrübelerden ve politik durumlardan dolayı minimum ve maksimum sınırları seçmelidir. Bu tahmin edilen değerler AASHO yol testi tecrübelerinden faydalanılarak alınır [1, 2, 6].

Minimum Performans Periyodu : Üst yapının hizmet kalitesinin biteceği en kısa süreyi ifade eder.

Maksimum Performans Periyodu : Kullanıcının öngörülen servis derecesine göre bekleyebileceği en uzun süreyi ifade eder [1, 2, 6].

Analiz Periyodu : Geçmişte tasarımlar analiz periyoduna, tasarım ömrü deniliyordu. Analiz periyodu performans periyotlarının toplam olarak ifade edilebilir ve ilk performans periyodunu ve devamında yapılan takviyeleri içerir. Geçmişte bu değer için 20 yıl uygun görülüyordu. Fakat, günümüzde bu değer daha büyük alınıyor. Yol tipleri için öngörülen değerler aşağıdaki tablodadır [1, 2, 6].

Tablo 3.1 Karayolu tipleri için öngörülen analiz periyotları

Karayolu Koşulları	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

Trafik : Hem ot yolların hem de düşük yoğunluktaki yolların tasarım analiz periyodu boyunca taşıyacak toplam 8.2 ton (18 kip). Eşdeğer standart dingil yüküne (ESAL) dayanır. Üst yapıda gerçek trafik, farklı brüt ağırlıklarına, dingil tiplerine ve dingil ağırlığı dağılımlarına sahip farklı tipteki araçların bir kombinasyonudur. Üst yapıya uygun araç dingil yükleri Yük Eşdeğerlik Faktörleri (YEF) kullanılarak ESAL'ne dönüştürülür [6]. Değerler EKB' de tablo halinde verilmiştir. Yük eşdeğerlik faktörü, verilen üst yapı için standart dingil yükünün sebep olduğuyla uygulanan dingil yükünün oluşturduğu servis yeteneği kaybının arasındaki ilişkiyi ifade eder. İlişki sayısal bir değerdir [6]. İlişki;

$$YEF = \frac{\text{Verilen Servis Yeteneği Kaybına Neden Olan 18 – Kip ESAL Sayısı}}{\text{Aynı Servis Yeteneği Kaybına Neden Olan X – Kip ESAL Sayısı}} \quad (3.8)$$

Tekerlek izi derinliğine göre hesabı ise;

Tek dingil için;

$$YEF = 1.83 \times 10^{-5} (RD)^{0.3854} \times (SW)^{3.89} \quad (3.9a)$$

Tandem dingil için;

$$YEF = 1113 \times 10^{-4} (RD)^{0.0279} (TW)^{2.778} \quad (3.9b)$$

YEF : Yük eşdeğerlik faktörü

RD : Kriter için sınır tekerlek iz derinliği

SW : Tek dingil yükü

TW : Tandem dingil yükü

YEF tandem akslar arasında ifade edilen bozulmadaki eşit seviyeye ulaşmayı sağlarken daha uygun özel araçlardan oluşan bozulmaların ortalama miktarını ifade eder. Bu bir ağır vasıta geçişinden oluşan toplam bozulma miktarı olarak bir ağır vasıtanın akslarının her birinin sebep olduğu, oluşan ortalama bozulma miktarıdır. Bu da ağır vasıta başına 18 kip ESAL uygulamalarının ortalama sayısı olarak ifade edilen ağır vasıta faktörüdür [6].

$$T_F = \frac{ESAL}{T_V} \quad (3.10)$$

T_F : Ağır vasıta faktörü

ESAL : Eşdeğer standart diñgil yükü sayısı

T_V : Ağır vasıta miktarı

Diñgil eşit ağırlık faktörü ilgili tablolardan son servis yeteneği indeksi (P_t), diñgil tipleri ve üst yapı sayısına bağlı olarak alınır. Bu faktörler yardımıyla tasarı mtrafiği ESAL cinsinden hesaplanır.

$$W_{18} = TP \times TKS \times G_F \times DY \times DŞ \times T_F \times 365 \quad (3.11)$$

W_{18} : Tasarı mperiyodu boyunca uygulanan ESAL sayısı

TP : Günlük ortalama 2 yönlü proje trafiği

TKS : Ağır vasıta yüzdesi (FHWA sınıf 5 veya daha fazla)

G_F : Büyüme faktörü, ağır vasıta faktörü ve miktarı için

$$BF = [(1 + g)^n - 1] / g \text{ burada}$$

$$g = \text{oran} / 100 \quad g = [(1 + g_{TV}) \times (1 + g_{TF})] - 1$$

g_{TV} : Trafik miktarındaki büyüme oranı

g_{TF} : Ağır vasıta faktöründeki büyüme miktarı

DY : Yön dağıtım faktörü (ondalık olarak)

DŞ : Şerit dağıtım faktörü (ondalık olarak)

T_F : Ağır vasıta faktörü

Bu hesaplamalar AASHTO üst yapı tasarı m bilgisayar program DAR W n de daha rahat hesaplanmaktadır[6].

Tablo 3.2 AASHTO 93 de önerilen Şerit Dağılım Oranları

Bir Yöndeki Şerit Sayısı	Şerit Dağıtım Faktörü (%)
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Güvenilirlik: Bu kavram analiz periyodunu uzatacak çeşitli tasarı mseçeneklerini sağlamak için tasarı m işleme kesinlik derecesi katan bir değişkeni temsil

etmektedir. Toplam standart sapma ve güvenilirliğin bir fonksiyonu olan Tasarım Güvenilirlik Faktörü (F_r), trafik tahmininde, üst yapı performans tahmininde ve malzemeyle yapı özelliklerinin belirlenmesindeki risk payını hesaplar. F_r kullanılarak suretiyle proje trafiğinin tahmini riski azaltılıp üst yapı performansı artırılmaya çalışılır[1].

Tasarım güvenilirlik faktörünün hesaplanması :

Bu işlem 5 adımdan oluşmaktadır.

1. Yolun sınıfı saptanır.
2. Yolun sınıfı için önerilen güvenilirlik seviyesi oranı R tablodan bulunur.
3. Tablo 3.4' den (R) ye bağlı olarak normal standart sapma (Z_r) değeri alınır.
4. Toplam standart sapma (S_0) seçilir. S_0 değerini nesnek üst yapılar için 0.4-0.5 değerleri arasında olduğu ve genellikle 0.45 civarında bir değer aldığı AASHTO yol testinde saptanmıştır.
5. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak F_r hesaplanır.

$$F_r = 10^{-Z_r \cdot S_0} \quad (3.12)$$

F_r değeri hesaplandıktan sonra tahmin edilen trafik W_R ile çarpılarak performans trafiği bulunur[1].

Tablo 3.3 AASHTO 93 rehberinde önerilen Güvenilirlik Seviyesi oranları (R)

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

Tablo 3.4 AASHTO 93 rehberinde güvenilirlik oranlarına bağlı olarak verilen standart sapma değerleri

Güvenilirlik Oranı (R) %	Standart Normal Sapma (Zr)
50	0.00
60	-0,253
70	-0,324
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99.9	-3,090
99.99	-0,750

Çevresel etkiler : Çevre üst yapı performansını değişik yollarla etkileyebilir. Sıcaklık ve nem oranındaki değişiklikler üst yapı ve taban zemininin güç, dayanıklılık ve yük taşıma kapasitesini etkileyebilir. Diğer büyük çevresel etkiler ise don kabarması ve taban zeminin şişmesidir. Bu etkiler üst yapıda patlama ve parçalanmayı etkiler. Bu da servis yeteneğinde ve sürüş kalitesinde kayıplara neden olur. İlave etkilerse yaşlanma, aşırı sıcak ve hava koşullarına bağlı olarak malzeme kötüleşmeleri rehberde incelenmiştir [1, 6].

Şişme, taban zemininin su alarak hacimle büyümesiyle meydana gelir. Taban zeminin suyu emmesini engellemek iyi bir drenaj sistemiyle mümkün olur. Bu şekilde şişme engellenebilir veya azaltılabilir.

Don kabarması ise taban zeminindeki suyun donarak hacimle artışından ortaya çıkar. Bu donma homojen olmadığından kaplama tabakasında büktümlere ve bozulmalara neden olur. Yine bu sorun da iyi bir drenajla ortadan kaldırılabilir. Her taban zeminin şişmesi hem de don kabarması servis yeteneği kaybını kolaylaştırır. Bundan dolayı performans periyodu düşerek erken takviye yapılmasına neden olur [1, 2, 6].

Servis yeteneğindeki kayıp aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{Tr} + \Delta PSI_{SW} + \Delta PSI_{FH} \quad (3.13)$$

ΔPSI : Servis yeteneği indeksi ndeki toplam azalma

ΔPSI_{Tr} : Trafik yükü nedeniyle servis yeteneği indeksi ndeki azalma

ΔPSI_{SW} : Şişme nedeniyle servis yeteneği indeksi ndeki azalma

ΔPSI_{FH} : Don kabarması nedeniyle servis yeteneği indeksi ndeki azalma

Çevresel etkilere (don kabarması ve şişme) bağlı olarak servis yeteneği indeksi ndeki azalma Şekil 3.1' deki grafik le bulunur.

3.2.1.3 Yapısal Tasarım İçin Malzeme Özellikleri

Taban Zemin Efektif Esneklik Modülü: Taban zemin esneklik modülü nevsim koşulları altında zemin örneğine uygulanan üç eksenli basınç deneyi (AASHTO T 274 e göre düzenlenen Esneklik Modül Deneyi) sonunda bulunur. Şu şekilde hesaplanır [1, 2, 6].

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon} \quad (3.14)$$

M_R : Esneklik modülü

σ_d : Deviatör gerilme $(\sigma_1 - \sigma_3)\sigma_2 = \sigma_3$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: Asal gerilmeler

ε : Birim şekil değiştirme

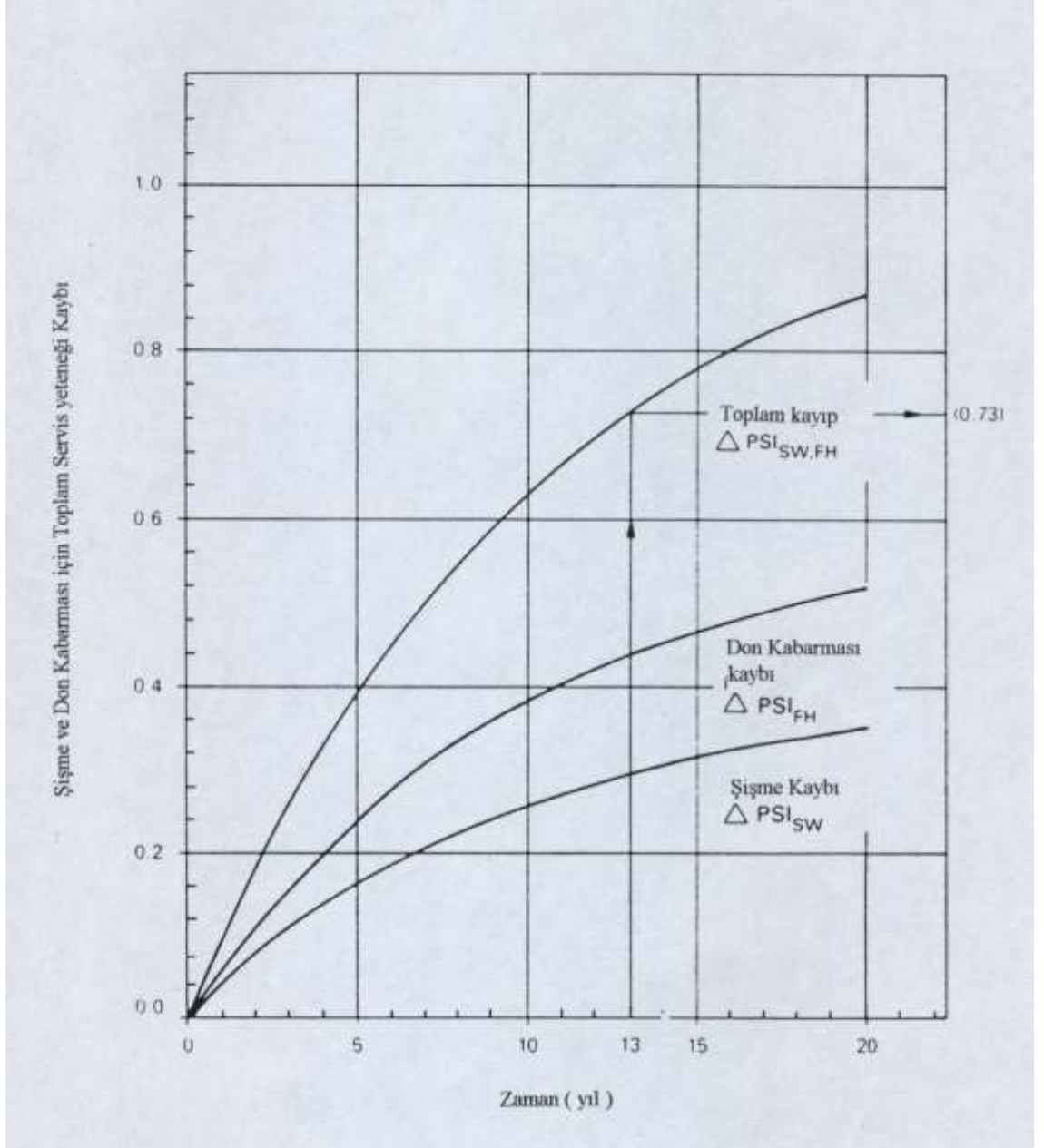
Esneklik modülü nevsimlere bağlı olarak değişir. Bu nedenle yağışlı ve yağışsız nevsimler için ayrı testler yapılarak nem oranı ile M_R değeri arasındaki ilişki nin saptanması gerekir.

Karşı seçenek olarak esneklik modülünün belirlenmesi için gerekli teçhizatın olmadığı durumlarda kullanılmak üzere M_R ile CBR arasında ilişki araştırılmış ve aşığıdaki bağlantılar elde edilmiştir.

$$M_R = 107. CBR (N m^2) \quad (3.15a)$$

$$M_R = 1500. CBR (lb/in^2) \quad (3.15b)$$

$$M_R = 110. CBR (kg/cm^2) \quad (3.15c)$$



Şekil 3.1 Belli bir bölge için zamana bağlı olarak toplam çevresel servis yeteneği kaybı

Üstyapı Tabakalarının Tabaka Katsayıları ve Malzeme Özellikleri :
AASHTO'daki esnek üstyapı tabaka katsayısı (a_1) verilen malzemenin birim kalınlığının yapısal bileşeni olarak davranabilme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Örneğin tabaka katsayısı 0.4 olan 25.4 mm (1 in) kalınlığındaki malzemenin tabaka katsayısı 0.2 ve kalınlığı 50.8 (2 in) olan yapısal malzemeyle aynı yapısal etkiyi sağlayacağı varsayılır. Buradan da üstyapı sayısı ortaya çıkar[1].

$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i \quad (3.16)$$

a_i : Tabaka katsayısı

D_i : Tabaka kalınlığı

Tabaka katsayıları malzemenin yük taşıma yeteneğinin bir göstergesi olarak dayanıklılığı tamolarak ifade etmez. AASHTO 93'te beş malzeme grubu için tabaka katsayılarının belirlenmesiyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Asfalt Beton Kaplama Tabakası : Asfalt betonu kaplama tabakasının 68 F⁰ esneklik modülü tabaka katsayısına bağlı olarak deneylerle elde edilmiş olan veriler Şekil 3.2'deki grafikte bulunur. Bu değeri 450000psi (3100 MP_a)'den yukarı olması tavsiye edilmez. Çünkü yüksek modüllü asfalt betonu eğilme karşı daha sert ve dirençlidir. Bu da sıcaklıklardan ve yorulma çatlaklarından daha çabuk etkilenmesini sağlar. Yani, daha kırılğan bir yapı gözlenir [1, 2, 6].

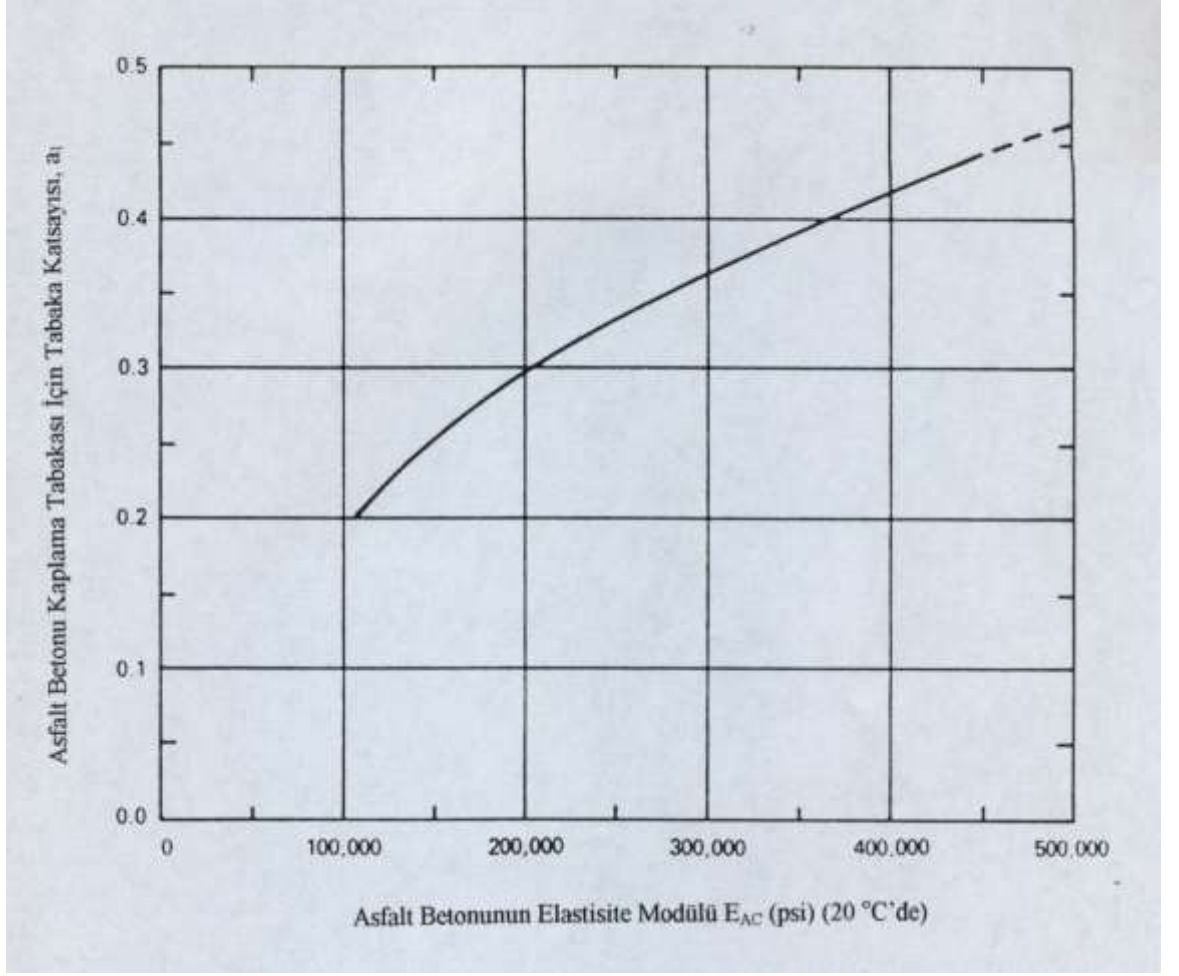
Granüler Temel Tabakalar : Tabaka katsayısını tahmin edebilmek için temel esneklik modülüne bağlı olarak granüler temel malzemesinden elde edilen dört farklı laboratuvar da yapılan test sonuçlarından oluşmuş Şekil 3.3 kullanılır [1, 2, 6]. AASHTO yol testi ne göre bu korelasyon ;

$$a_2 = 0.14$$

$$E_{BS} = 30.000 \text{ psi}$$

$$\text{CBR} = 100 \text{ (Yaklaşık)}$$

$$R \text{ Değeri} = 85 \text{ (Yaklaşık)}$$



Şekil 3.2 Asfalt kaplama tabakasının tabaka katsayısının (a_1) esneklik modülüne bağlı olarak bulunması

Tablo 3.5 Temel tabakası için aşağıdaki taban zemini esneklik modülü ile asfalt kaplama tabakası kalınlığı değerlerine bağlı olarak θ değerleri verilmiştir.

Asfalt Betonu Kalınlığı (inç)	Taban Zemini Esneklik Modülü (psi)		
	M_R		
	3000	7500	15000
2' den az	20	25	30
2 - 4	10	15	20
4 - 6	5	10	15
6' dan fazla	5	5	5

Granüler temel tabakası esneklik modülünden (E_{BS}) tabaka katsayısı a_2 nomografтан bulunmak yerine aşağıdaki formülle de hesaplanabilir.

$$a_2 = 0.249 (\log E_{BS}) - 0.977 \quad (3.17)$$

Toplam temel tabakası için E_{BS} belirlenen gerilmenin (θ) bir fonksiyonudur. Bu ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_{BS} = k_1 \theta^{k_2} \quad (3.18)$$

θ : Gerilme durumu veya asal gerilmelerin toplam ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$)

k_1, k_2 : Malzemenin tipine bağlı regresyon sabitleridir ve değerleri Tablo 3.6 da verilmiştir.

Temel malzemeleri için temel değerleri :

$$k_1 = 3\,000 - 8\,000$$

$$k_2 = 0.5 - 0.7 \text{ arasında değişir.}$$

Tablo 3.6 Temel ve alt temel tabakaları malzemeleri için tipik k_1 ve k_2 değerleri

Nem Durumu	k_1	k_2
TEMEL		
Kuru	6000 - 10000	0,5 - 0,7
Nemli	4000 - 6000	0,5 - 0,7
Islak	2000 - 4000	0,5 - 0,7
ALTTEMEL		
Kuru	6000 - 8000	0,4 - 0,6
Nemli	4000 - 6000	0,4 - 0,6
Islak	1500 - 4000	0,4 - 0,6

AASHO yol testinde temel için modül değerleri (E_{BS} in psi)

Tablo 3.7 Gerilme durumu – Esneklik Modülü (E_{BS}) ilişkisi

Nem Durumu	Esneklik Modülü Eşitliği	Gerilme Durumu			
		$\theta = 05$	$\theta = 10$	$\theta = 20$	$\theta = 30$
Kuru	$8\,000 \theta^{0.6}$	21.012	31.848	48.273	61.569
Nemli	$4\,000 \theta^{0.6}$	10.506	15.924	24.136	30.784
Islak	$3\,200 \theta^{0.6}$	8.404	12.739	19.309	24.627

Temel tabakası için gerilme değerleri (θ) taban zemin esneklik modülü (M_k) ve asfalt betonu kaplama tabakası kalınlığına bağlı olarak Tablo 3.8'de verilmiştir [1, 2, 6].

Tablo 3.8 Temel tabakası için aşağıdaki taban zemini esneklik modülü ile asfalt betonu kalınlığı değerlerine bağlı olarak θ değerleri

Asfalt Betonu Kalınlığı (inç)	Toplam Taban Zemini Esneklik Modülü (psi)		
	M_R		
	3000	7500	15000
2' den az	20	25	30
2 - 4	10	15	20
4 - 6	5	10	15
6' dan fazla	5	5	5

Granüler Alt Temel Tabakaları : Granül alt temel tabakasının tabaka katsayısı esneklik modülü (E_{SB})'na bağlı olarak dört farklı laboratuvar da yapılan deneylerle elde edilmiş Şekil 3.4'teki nomografтан bulunur [1, 2, 6]. AASHO yol testinde bu korelasyon ;

$$a_3 = 0.11$$

$$E_{BS} = 15000$$

$$CBR = 30 \text{ (yaklaşık)}$$

$$R = 60 \text{ (yaklaşık)}$$

Ayrıca bu formül den de a_3 hesaplanabilir.

$$a_3 = 0.227 (\log E_{SB}) - 0.839 \quad (3.19)$$

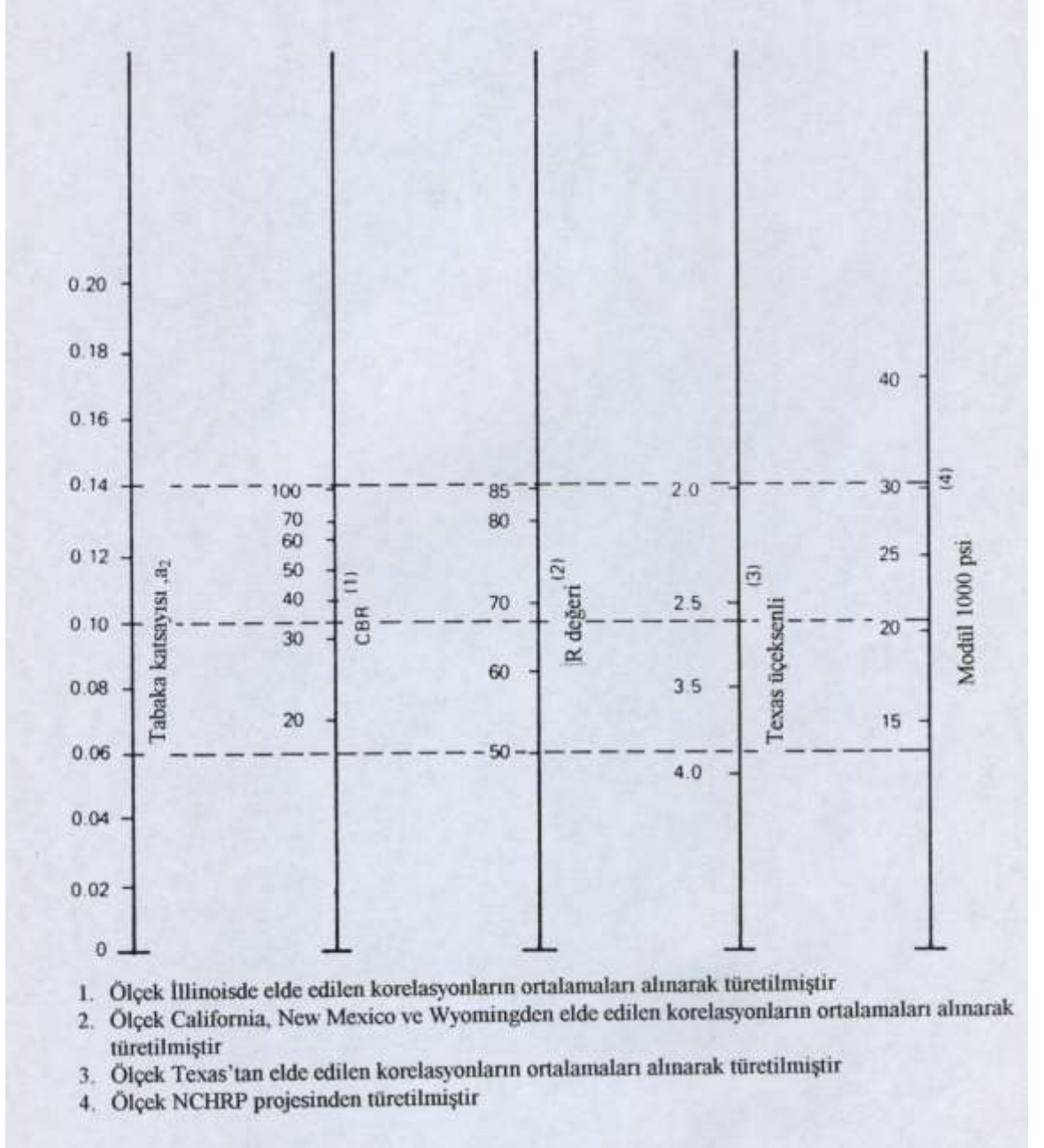
Aynı formül bu tabaka için de geçerlidir.

$$E_{BS} = k_1 \theta^{k_2} \quad (3.20)$$

Aşağıdaki tablolardan θ değerleri alınır alt temel tabakasının esneklik modülü hesaplanır.

Tablo 3.9 Alt temel için θ değerleri

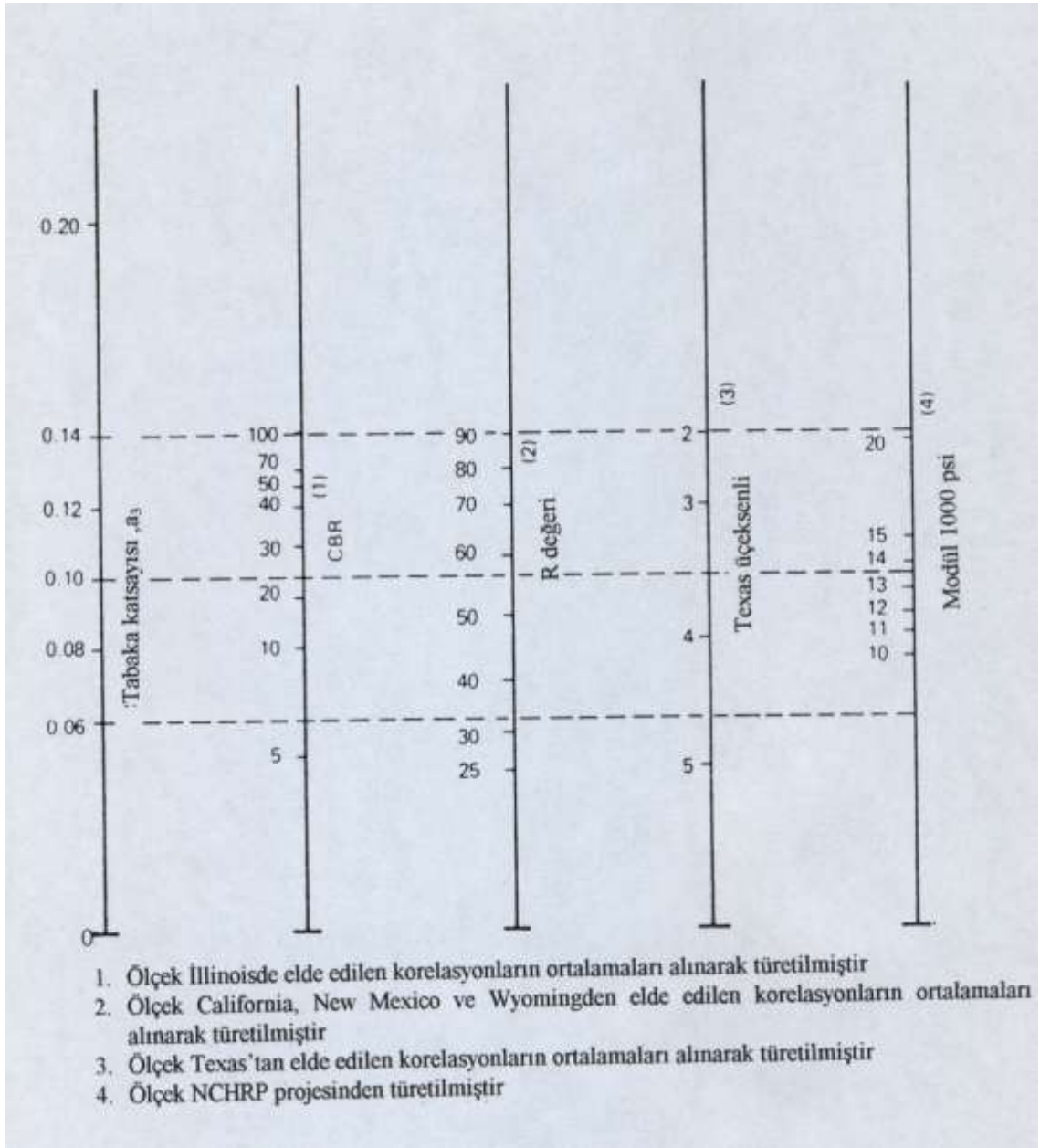
Asfalt Betonu Kaplama Kalınlığı (inç)	Gerilme Durumu (psi)
2 >	10.0
2 - 4	7.5
> 4	5.0



Şekil 3.3 Granüler temel tabaka katsayısı a_2 farklı gerilme durumuna bağlı olarak bulunması

Tablo 3.10 Gerilme durumu – Esneklik modülü (E_{SB}) ilişkisi

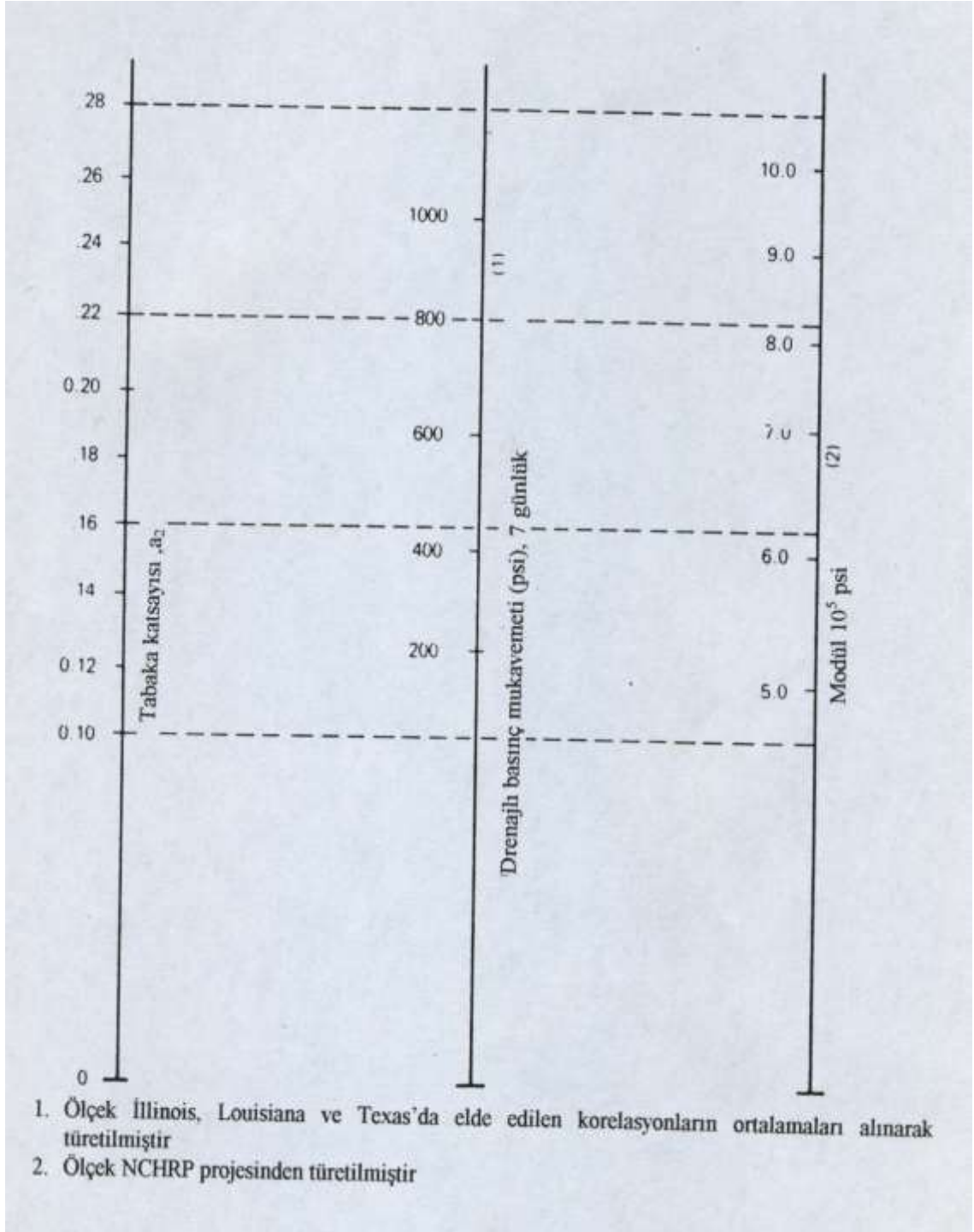
Nem Durumu	Geliştirilmiş Eşitlik	Gerilme Durumu (psi)		
		$\theta = 5$	$\theta = 7.5$	$\theta = 10$
Nemli	$M_R = 5400 \times \theta^{0.6}$	14.183	18.090	21.497
Islak	$M_R = 4600 \times \theta^{0.6}$	12.052	15.410	18.312



Şekil 3.4 Granüler alt temel tabakasının tabaka katsayısının (a_3) bulunması

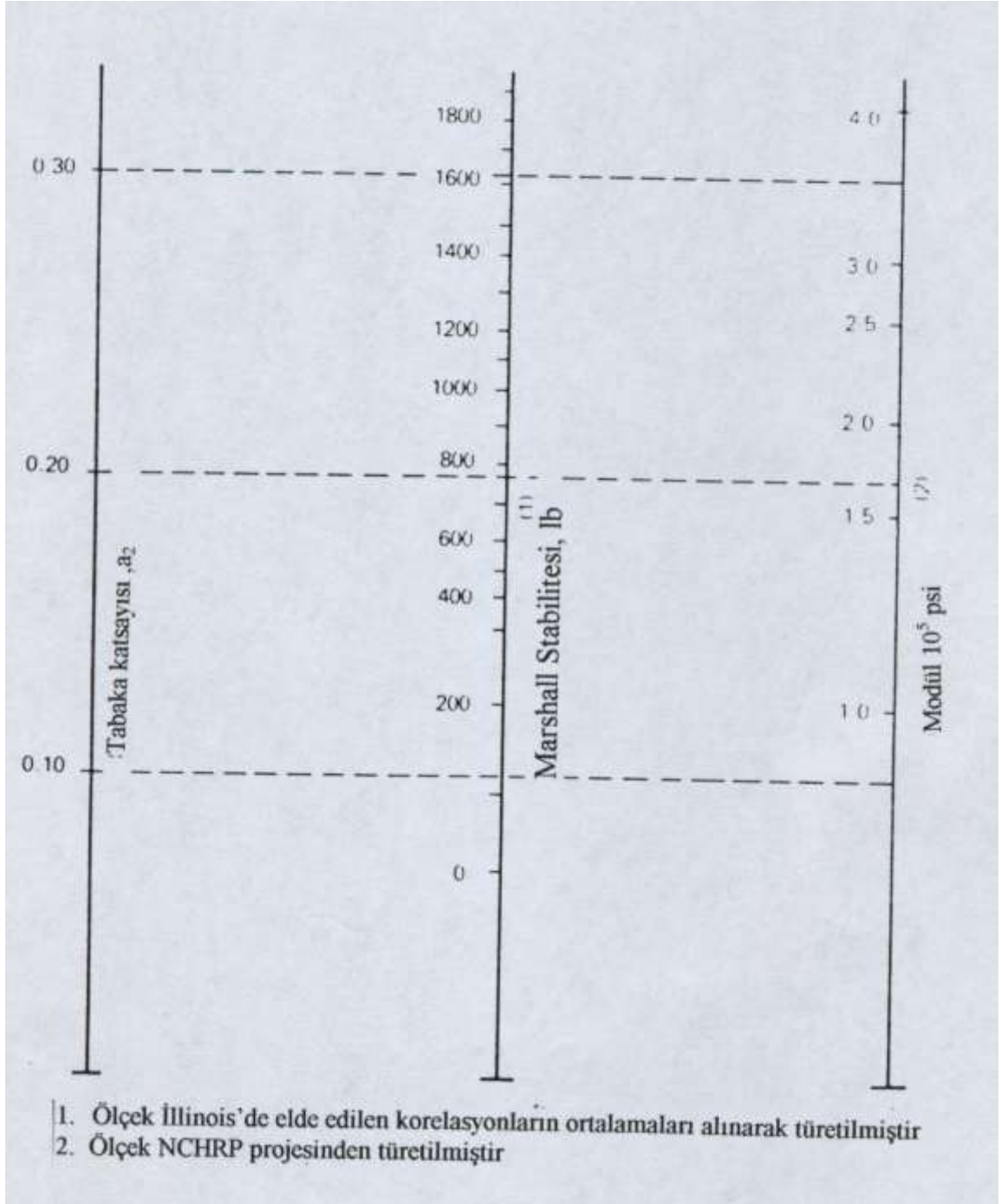
Çimentolu Temeller

Çimentolu temel tabakasının tabaka katsayısının (\bar{a}_2) bulunmak için esneklik modülü veya yedi günlük drenajlı basınç mukavemeti değeri kullanılır ve Şekil 3.5'teki nomograftan bulunur [1, 2, 6].



Şekil 3.5 Çimentolu temel tabakasının tabaka katsayısının (a_2) bulunması

Bütünleşmeler: Bütünleşmeli tabakasının tabaka katsayısı (\bar{a}_2) veya Marshall Stabilesi değeri veya esneklik modülü kullanılarak Şekil 3.6'daki nomograftan bulunur [1, 2, 6].



Şekil 3.6 Bütünü bağıncılı temel tabakasının tabaka katsayısının bulunması

3.2.1.4 Üstyapı Yapısal Özellikleri

Drenaj : Bu kavram tahmin edilen üstyapı performansını, drenajın kalitesini ve yüzdesini temsil eder. Drenajın tasarımları ve yapım metotlarıyla ilgilenmez.

Tablo 3.11 Drenaj kalitesinin saptanması

Drenaj Kalitesi	Suyun Uzaklaştırma Süresi
Çok İyi	1/2 gün
İyi	1 gün
Orta	1 hafta
Kötü	1 ay
Çok Kötü	Su Uzaklaşmıyor

Üst yapı sayısı drenaja sahip tabakaların tabaka drenaj katsayıları (n) ile düzeltilir.

AASHTO 93'te verilen m değerleri aşağıdaki tablodadır.

Tablo 3.12 Esnek üst yapılar için güçlendirilmiş temel ve alt temel malzemeleri için önerilen (m) değerleri

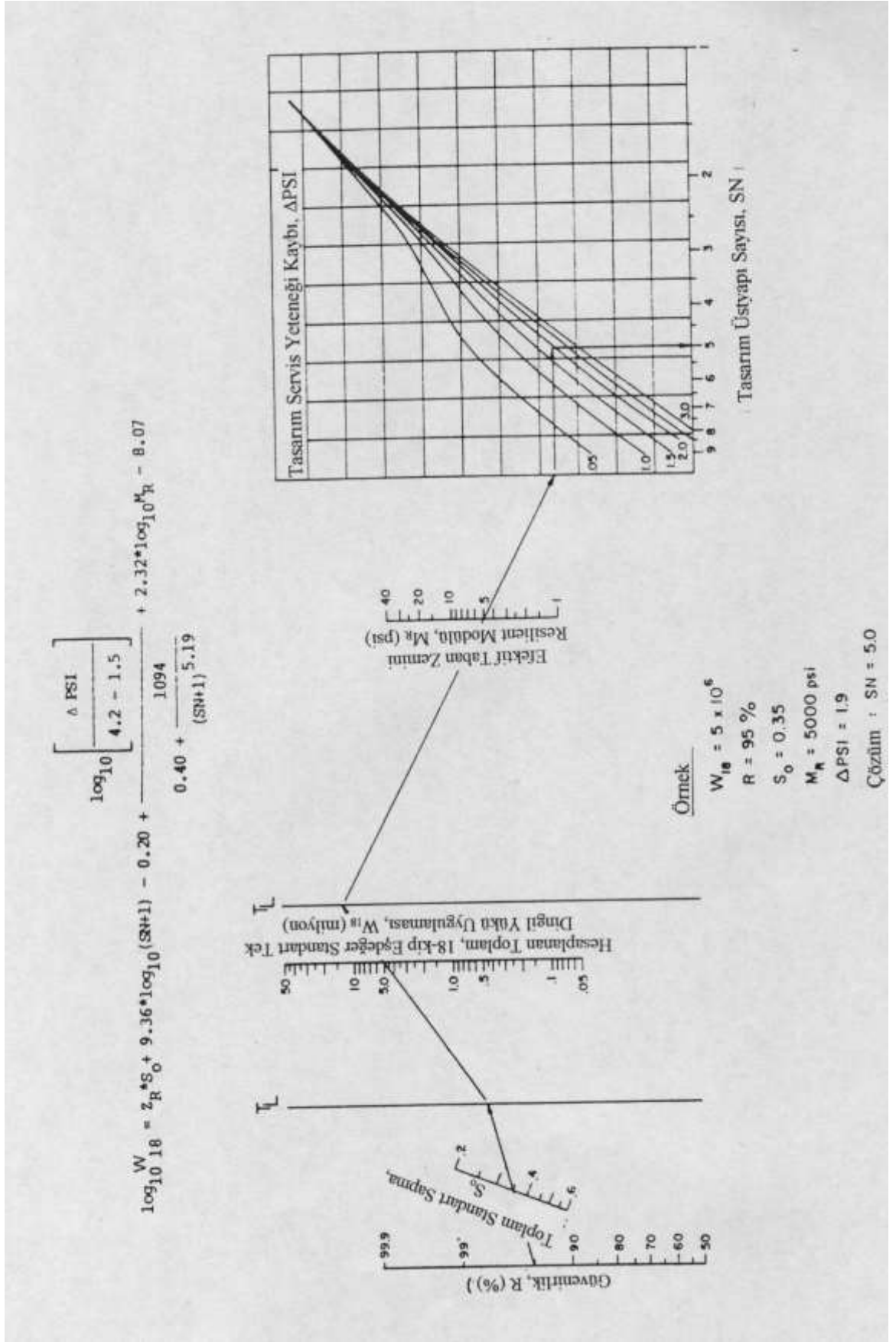
Drenaj Kalitesi	Üst yapının Doygunluk Seviyesinin Yakın Rutubete Maruz Kaldığı Sürenin Yıl İçindeki Yüzdesi			
	% 1 den az	% 1 - 5	% 5 - 25	%25 den fazla
Çok İyi	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
İyi	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Orta	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Kötü	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Çok Kötü	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

3.2.2 Esnek Üst yapı Tasarımı

Tasarımda amaç, hizmet ömrü boyunca dinamik yüklerinin üst yapıda oluşturacağı bozulmaları önleyecek bir üst yapı sayısını (SN) bulmaktır..

Hesaplanan proje trafiği (W_8) standart sapma (Z_r) toplam standart sapma S_0 , taban zemininin efektif esneklik modülü (M_k) ve toplam servis yeteneği kaybına (ΔPSI) bağlı olarak ister verilen formül den isterse nomograf yardımıyla gerekli üst yapı sayısı (SN) hesaplanır [1,2,6].

Şişme ve don kabarmasından dolayı servis yeteneğinde bir kayıp varsa performans periyodundaki azalma bulunur [1,2]. Bunun için



Şekil 3.7 Esnek üst yapılar için tasarım çizelgesi

1. SN değeri seçilir. Bu değeri n nomografıan veya formül den bulunan değer olması tavsiye edilir.
2. Belirlenen maksimum performans periyodundan daha küçük bir dene me periyodu seçilir.
3. Seçilen performans periyoduna bağlı olarak şiş me ve don kabarmasından oluşan servis yeteneği kaybı bulunur.
4. Trafikten gelen kayıp bulunur. $= \Delta PSI - \Delta PS_{S_{WFH}}$
5. ΔPSI_{Tr} bağlı olarak kümülatif W_8 hesaplanması için proje denklemi veya nomograf kullanılır.
6. Kümülatif W_8 ile süre grafiğinde kesiş me noktası yardımıyla süre bulunur.
7. Seçilen performans periyodu ile altıncı adımda bulunan performans periyodu karşılaştırılır. Eğer fark bir yıldan büyükse ikisinin ortalaması alınır ve bundan sonraki iterasyonu için bu değer kullanılır. Bu işleme fark bir yılın altına düşene kadar devam edilir. Son iki değeri n ortalaması tahmini performans periyodudur [2].

Esnek üst yapıyı oluşturan tabakaların kalınlıkları, malzeme özelliklerine bağlı olarak SN sayısını sağlayacak biçimde belirlenir. Tabaka kalınlıklarının tespitinde aşağıdaki formül kullanılır [1, 2, 6].

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (3.5)$$

SN = Üst yapı sayısı

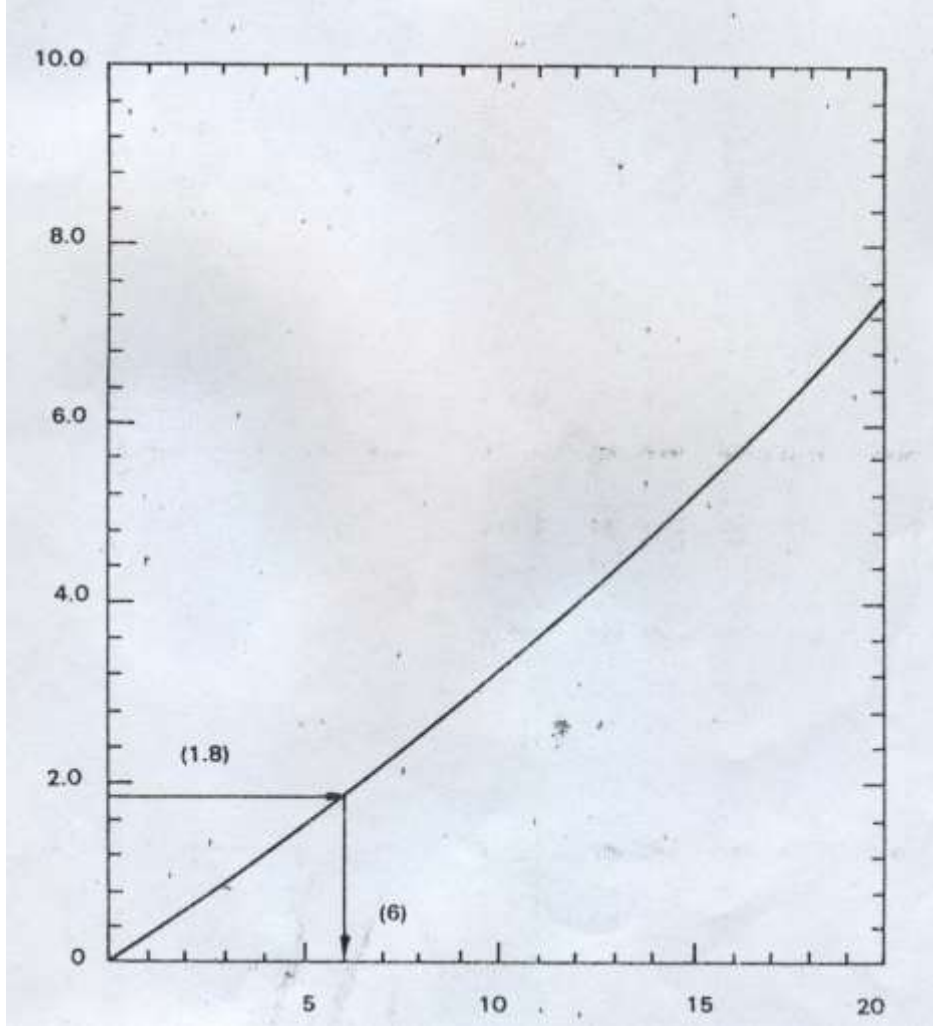
a_i = Tabaka katsayısı

D_i = Tabaka kalınlıkları

m_i = Tabaka drenaj katsayıları

Bu denklemin tek çözümü yoktur. Tabaka kalınlıkları için bu denklemi sağlayan pek çok kombinasyon mevcuttur. Minimum tabaka kalınlıkları aşağıdaki tablodan küçük olmaz. Bu yüzden seçtiğimiz tabaka kalınlıklarına dikkat etmeliyiz.

ESAL sayısı (milyon)

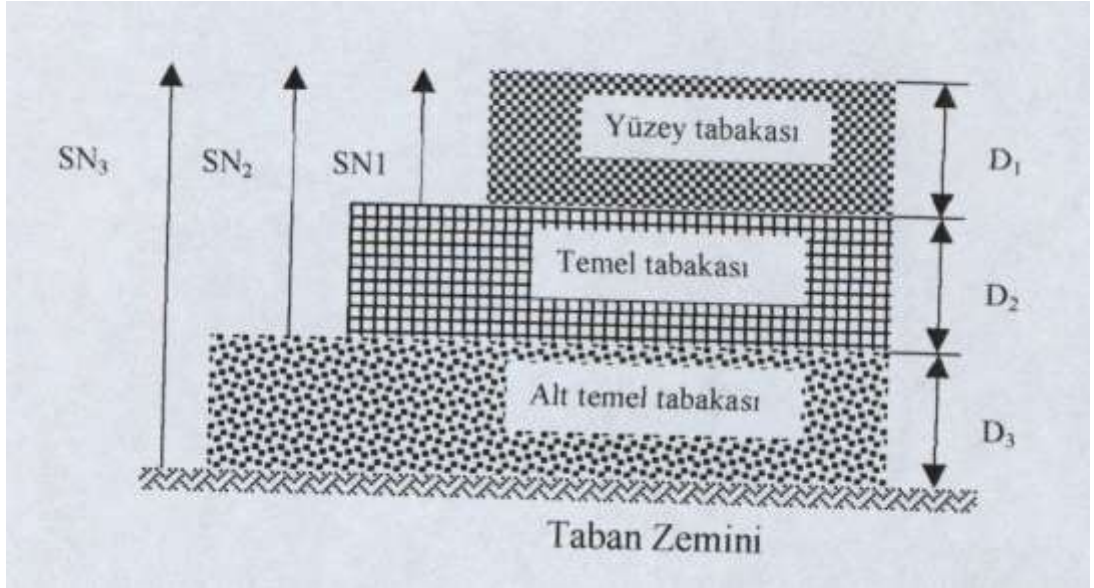


Za man (yıl)

Şekil 3.8 Kü mül atif ESAL sayısı na karşılı k gel en peri yot

Tabl o 3.13 Mni mu mt abaka kalı nlı kl arı

Trafik ESAL	Minimum Tabaka Kalı nlı ğı	
	Asfalt kaplama	Temel
<5000	1 (2.5 cm)	4 (10 cm)
5000 - 15000	2 (5.1 cm)	4 (10 cm)
15000 - 500000	2.5 (6.5 cm)	4 (10 cm)
50000 - 200000	3 (7.5 cm)	6 (15 cm)
200000 - 700000	3.5 (9.0 cm)	6 (15 cm)
> 700000	4.0 (10.0 cm)	6 (15 cm)



$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1 \geq SN_1$$

$$D_2^* = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

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

- 1) a , D m ve SN gerekli minimum değerlerdir.
- 2) D^* ve SN^* gerekli minimum değerlere eşit olması gereken gerçek değeri ifade eder.

Şekil 3.9 Tabaka analiziyle tabaka kalınlıklarının belirlenmesi

3.2.3 Üstyapı Sayısının Tasarım Değişkenlerine Göre Değişimi

3.2.3.1 Üstyapı Sayısının Proje Trafikğine Bağlı Olarak Değişimi

Diferansiyel değişkenler sabit tutularak proje trafiği artırılmıştır ve bu artışın sonunda SN sayısının nasıl değiştiği aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [7]. Tablodaki değerler grafik olarak gösterilmiştir.

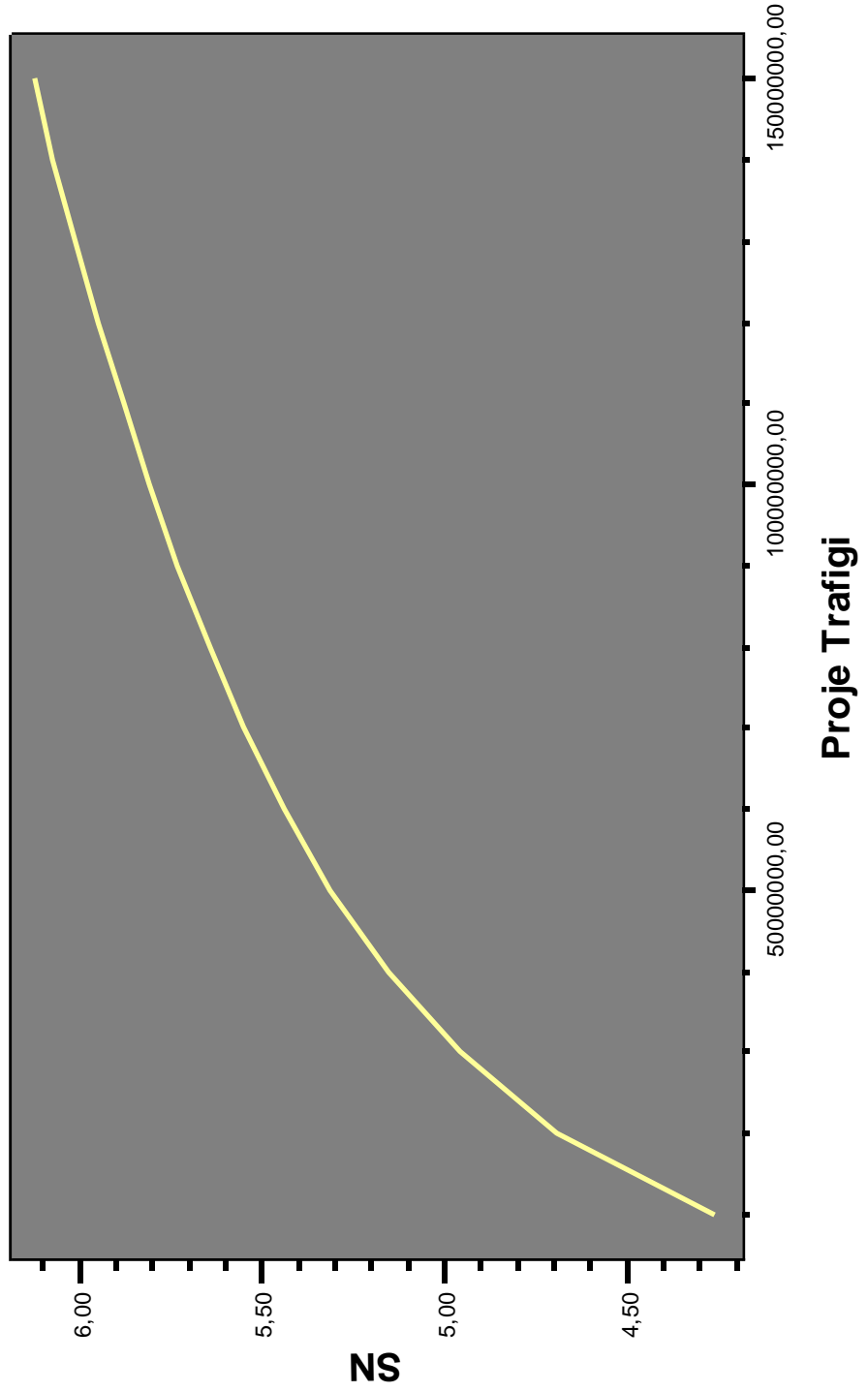
Tablo 3.14 SN'nin proje trafiği değiştiğinde aldığı değerler

W ₂ (ESAL)	S ₀	R _E (%)	ΔPSI	M _R (psi)	SN
10.000.000	0,43	95	2,2	11000	4.26
20.000.000	0,43	95	2,2	11000	4.69
30.000.000	0,43	95	2,2	11000	4.96
40.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.15
50.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.31
60.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.44
70.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.55
80.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.64
90.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.73
100.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.81
110.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.88
120.000.000	0,43	95	2,2	11000	5.95
130.000.000	0,43	95	2,2	11000	6.01
140.000.000	0,43	95	2,2	11000	6.07
150.000.000	0,43	95	2,2	11000	6.12

Proje trafiği arttıkça grafikte de görüldüğü gibi SN sayısı da artmaktadır. İkisinin arasındaki korelasyon 0.952'dir

W8.2(ESAL) - SN Grafığı

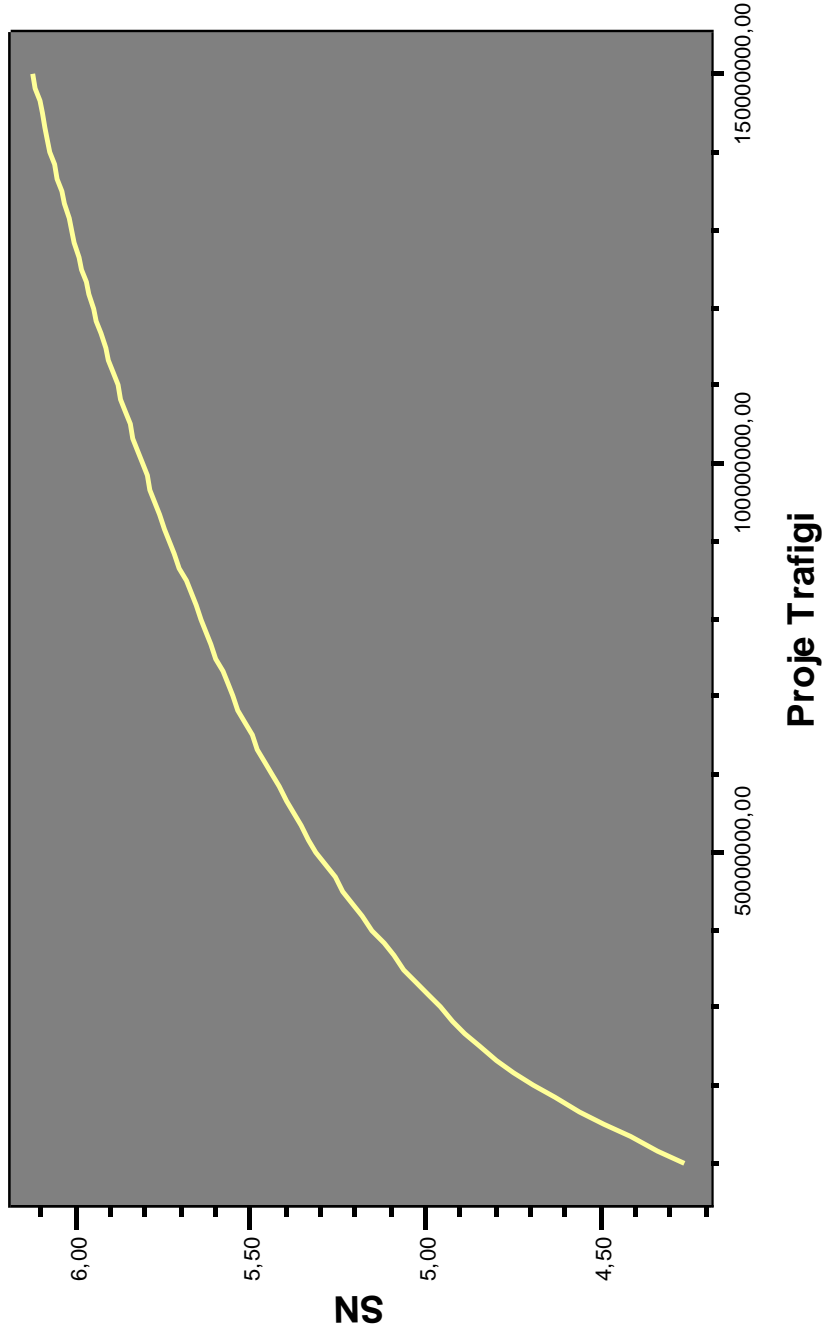
$S_0 = 0.43$ $PSI=2.2$ $Mr = 11000 \text{ lb/in}^2$ $Re=0.95$



Şekil 3.10 SN değerini n proje trafiğine bağı olarak değişimini doğrusal olarak göstermektedir

W8.2(ESAL) - SN Grafığı

$S_0 = 0.43$ $PSI=2.2$ $M_r = 11000$ lb/in^2 $Re=0.95$



Şekil 3.11 SN değerini n proje trafiğine bağlı olarak değişimini n eğrisel olarak gösteren

3.2.3.2 Üstyapı Sayısının Esneklik Modülüne Bağlı Olarak Değişimi

Diferansiyel sabit tutularak esneklik modülü artırılmıştır ve bu artırma sonunda SN sayısının nasıl değiştiği aşağıdaki tabloda gösterilmiştir[7]. Tablodaki değerler grafik olarak gösterilmiştir.

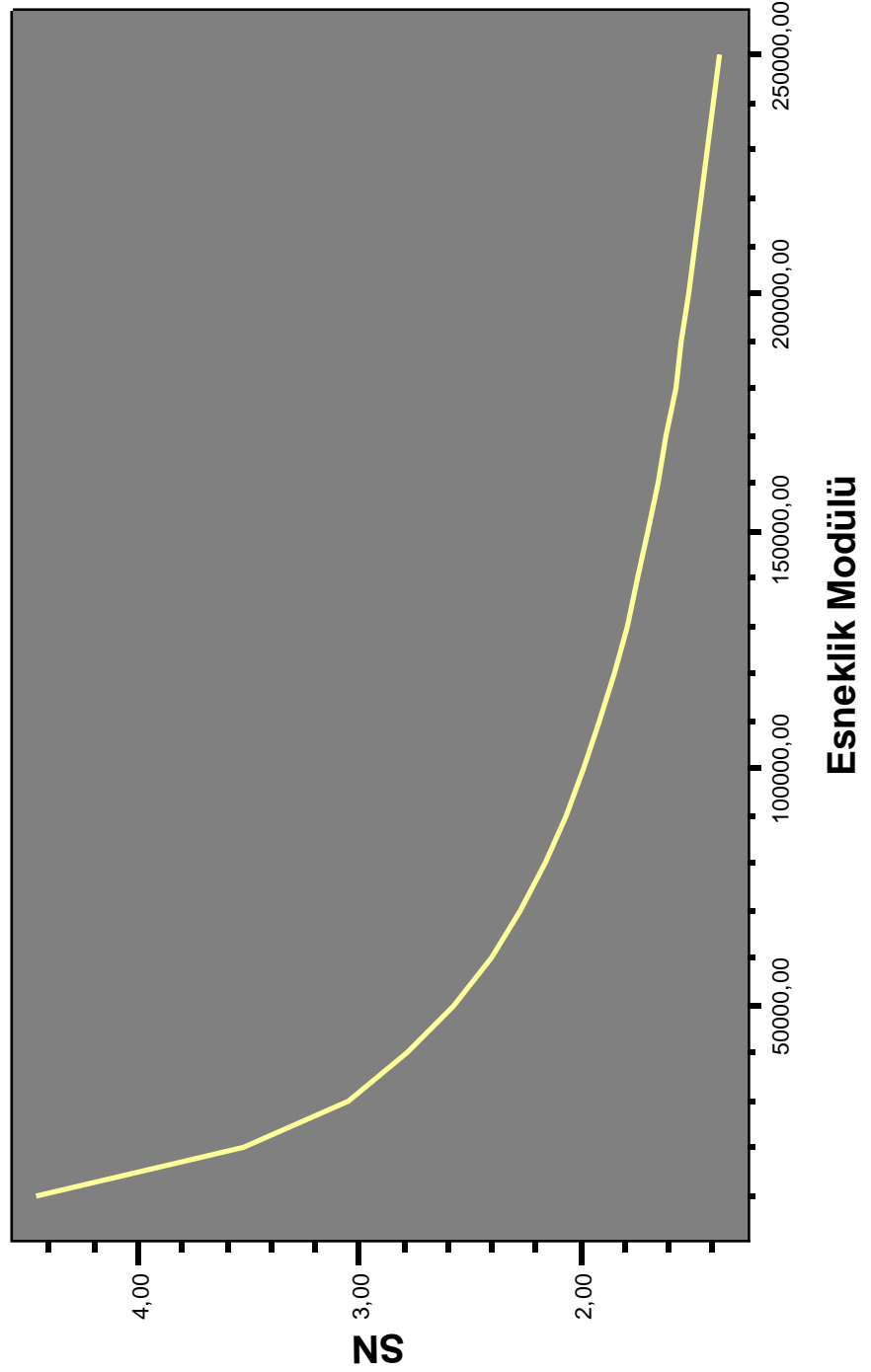
Tablo 3.15 SN'nin taban zemini esneklik modülü değıştiğçe aldığı değerler

W ₂ (ESAL)	S ₀	R _E (%)	ΔPSI	M _R (psi)	SN
15.000.000	0,45	90,0	2,2	10000	4,46
15.000.000	0,45	90,0	2,2	20000	3,53
15.000.000	0,45	90,0	2,2	30000	3,05
15.000.000	0,45	90,0	2,2	40000	2,78
15.000.000	0,45	90,0	2,2	50000	2,57
15.000.000	0,45	90,0	2,2	60000	2,40
15.000.000	0,45	90,0	2,2	70000	2,27
15.000.000	0,45	90,0	2,2	80000	2,16
15.000.000	0,45	90,0	2,2	90000	2,06
15.000.000	0,45	90,0	2,2	100000	1,98
15.000.000	0,45	90,0	2,2	110000	1,91
15.000.000	0,45	90,0	2,2	120000	1,85
15.000.000	0,45	90,0	2,2	130000	1,79
15.000.000	0,45	90,0	2,2	140000	1,74
15.000.000	0,45	90,0	2,2	150000	1,69
15.000.000	0,45	90,0	2,2	160000	1,65
15.000.000	0,45	90,0	2,2	170000	1,61
15.000.000	0,45	90,0	2,2	180000	1,57
15.000.000	0,45	90,0	2,2	190000	1,54
15.000.000	0,45	90,0	2,2	200000	1,51
15.000.000	0,45	90,0	2,2	250000	1,37

Esneklik modülü arttıkça grafikte de görüldüğü gibi SN sayısı azalmaktadır. İki arasındaki korelasyon 0.862'dir

MR - SN Grafigi

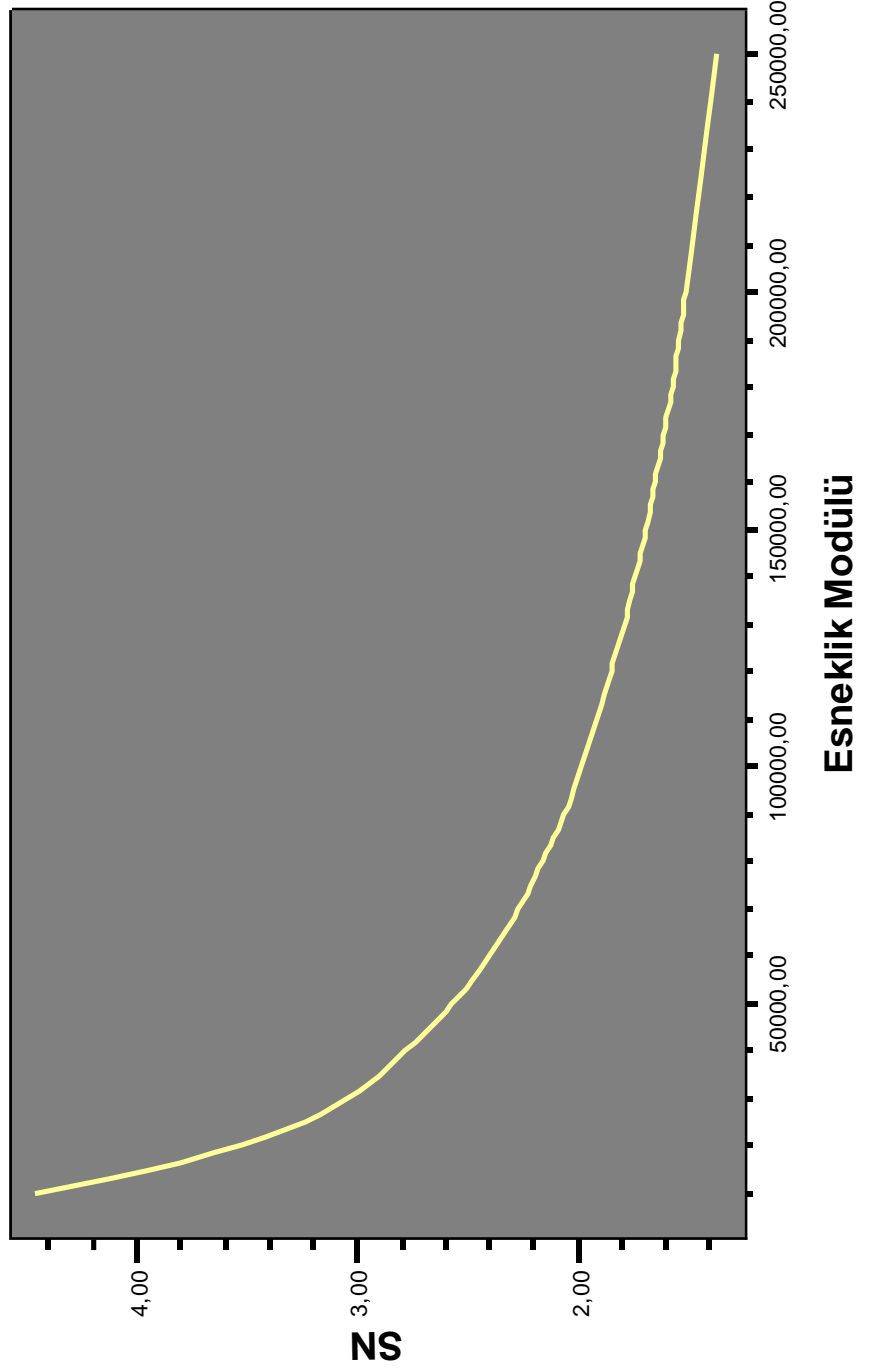
$S_o=0.45$ $Re=0.90$ $PSI=2.2$ $W8.2=15.000.000$



Şekil 3.12 SN değerinin esneklik modülüne bağlı olarak değişiminin doğrusal olarak gösterimi

MR - SN Grafığı

$S_o=0.45$ $Re=0.90$ $PSI=2.2$ $W8.2=15.000.000$



Şekil 3.13 SN değerinin esneklik modülüne bağlı olarak değişiminin eğrisel olarak gösterimini

3.2.3.3 Üstyapı Sayısının Güvenilirlik Oranına Bağlı Olarak Değişimi

Diğer değişkenler sabit tutularak güvenilirlik oranı artırılmıştır ve bu artırma sonunda SN sayısının nasıl değiştiği aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [7]. Tablodaki değerler grafik olarak gösterilmiştir.

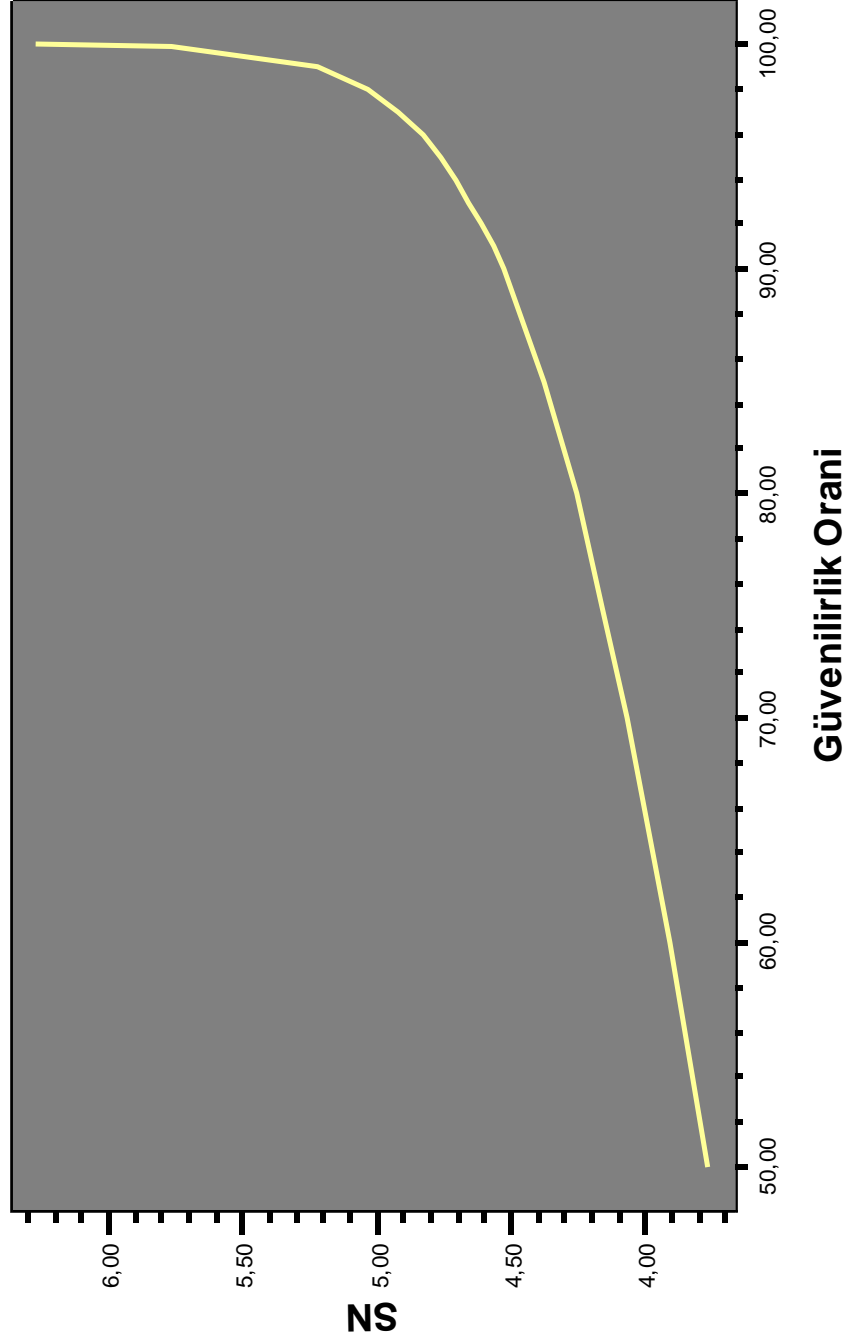
Tablo 3.16 SN nin güvenilirlik oranı değiştiğinde aldığı değerler

$W_{8.2}$ (ESAL)	S_0	R_E (%)	ΔPSI	M_R (psi)	SN
12.800.000	0,42	50	1,9	9600	3,77
12.800.000	0,42	60	1,9	9600	3,91
12.800.000	0,42	70	1,9	9600	4,07
12.800.000	0,42	75	1,9	9600	4,16
12.800.000	0,42	80	1,9	9600	4,26
12.800.000	0,42	85	1,9	9600	4,38
12.800.000	0,42	90	1,9	9600	4,53
12.800.000	0,42	91	1,9	9600	4,57
12.800.000	0,42	92	1,9	9600	4,61
12.800.000	0,42	93	1,9	9600	4,66
12.800.000	0,42	94	1,9	9600	4,71
12.800.000	0,42	95	1,9	9600	4,76
12.800.000	0,42	96	1,9	9600	4,83
12.800.000	0,42	97	1,9	9600	4,92
12.800.000	0,42	98	1,9	9600	5,04
12.800.000	0,42	99	1,9	9600	5,22
12.800.000	0,42	99,9	1,9	9600	5,77
12.800.000	0,42	99,99	1,9	9600	6,27

Güvenilirlik oranı arttıkça grafikte görüldüğü gibi SN sayısı artmaktadır. İkiisi arasındaki korelasyon 0.806'dır.

RE (%) - SN Grafığı

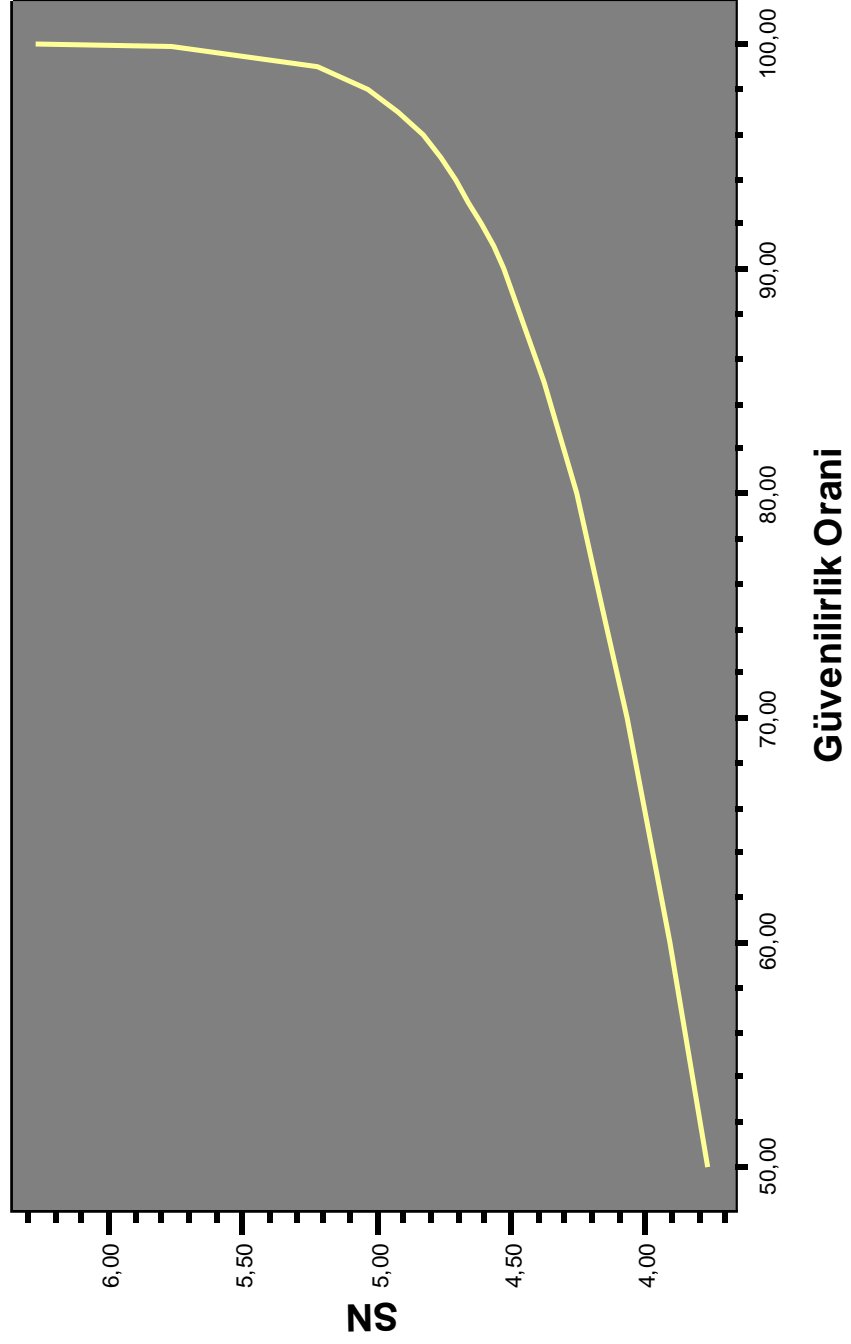
$S_o=0.42$ $PSI=1.9$ $W8.2=12.800.000$ $Mr = 9600$ lb/in^2



Şekil 3.14 SN değerini n güvenilirlik oranına bağı olarak değişimini n doğrusal olarak gösterirni

RE (%) - SN Grafığı

$S_o=0.42$ $PSI=1.9$ $W8.2=12.800.000$ $Mr = 9600$ lb/in^2



Şekil 3.15 SN değerinin güvenilirlik oranına bağlı olarak değişiminin eğrisel olarak gösterimi

3.2.3.4 Üstyapı Sayısının Standart Sapmaya Bağlı Olarak Değişimi

Diğer değişkenler sabit tutularak standart sapma artırılmıştır ve bu artırma sonunda SN sayısının nasıl değiştiği aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [7]. Tablodaki değerler grafik olarak gösterilmiştir.

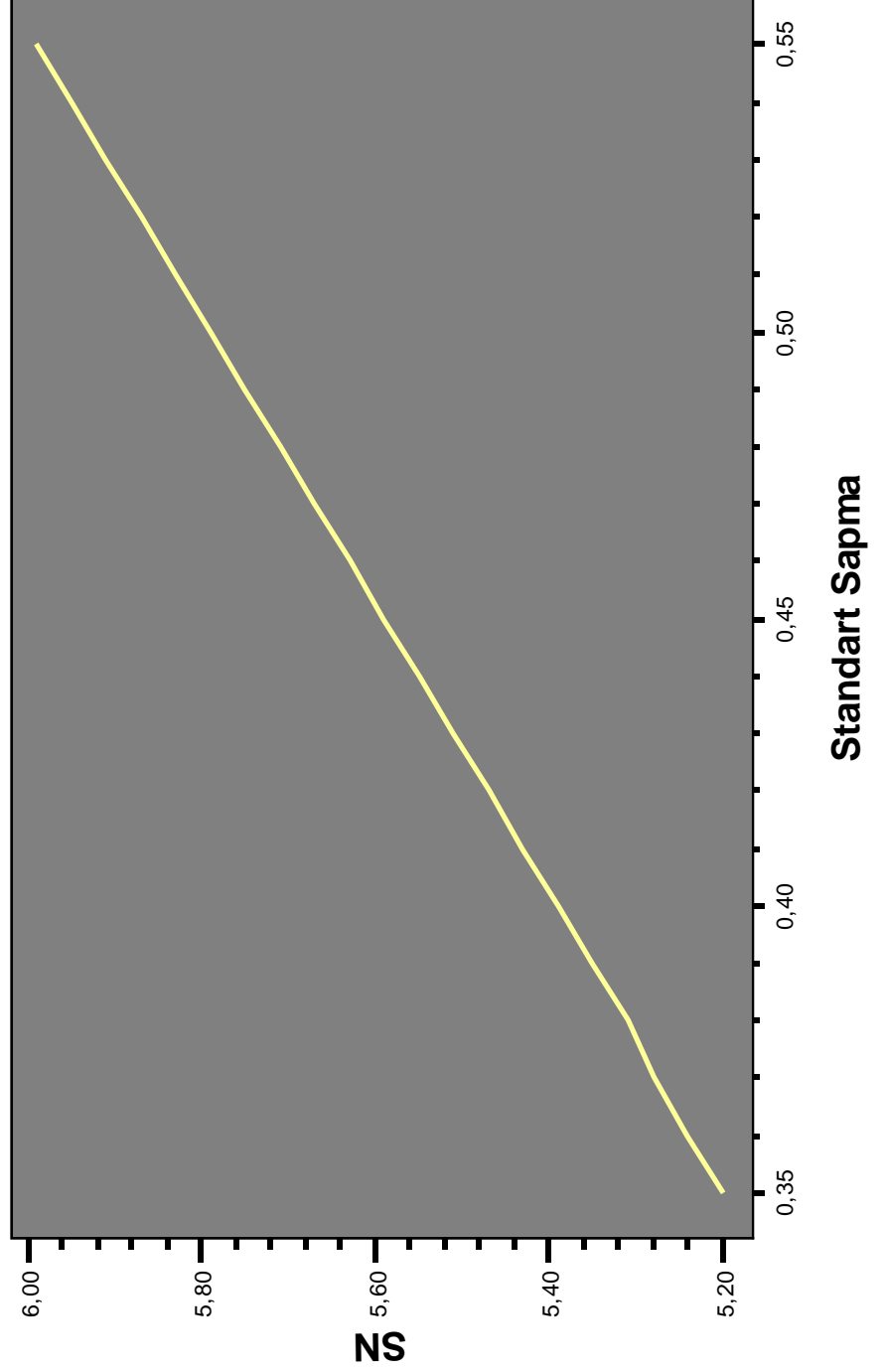
Tablo 3.17 SN'nin standart sapma değeri değiştiğinde aldığı değerler

$W_{8.2}$ (ESAL)	S_0	R_E (%)	ΔPSI	M_R (psi)	SN
14.300.000	0,35	99	2,0	8300	5,20
14.300.000	0,36	99	2,0	8300	5,24
14.300.000	0,37	99	2,0	8300	5,28
14.300.000	0,38	99	2,0	8300	5,31
14.300.000	0,39	99	2,0	8300	5,35
14.300.000	0,40	99	2,0	8300	5,39
14.300.000	0,41	99	2,0	8300	5,43
14.300.000	0,42	99	2,0	8300	5,47
14.300.000	0,43	99	2,0	8300	5,51
14.300.000	0,44	99	2,0	8300	5,55
14.300.000	0,45	99	2,0	8300	5,59
14.300.000	0,46	99	2,0	8300	5,63
14.300.000	0,47	99	2,0	8300	5,67
14.300.000	0,48	99	2,0	8300	5,71
14.300.000	0,49	99	2,0	8300	5,75
14.300.000	0,50	99	2,0	8300	5,79
14.300.000	0,51	99	2,0	8300	5,83
14.300.000	0,52	99	2,0	8300	5,87
14.300.000	0,53	99	2,0	8300	5,91
14.300.000	0,54	99	2,0	8300	5,95
14.300.000	0,55	99	2,0	8300	5,99

Standart sapma arttıkça grafikte de görüldüğü gibi SN sayısı lineer olarak artmaktadır. İkiisi arasındaki korelasyon 1.000'dir.

So - SN Grafığı

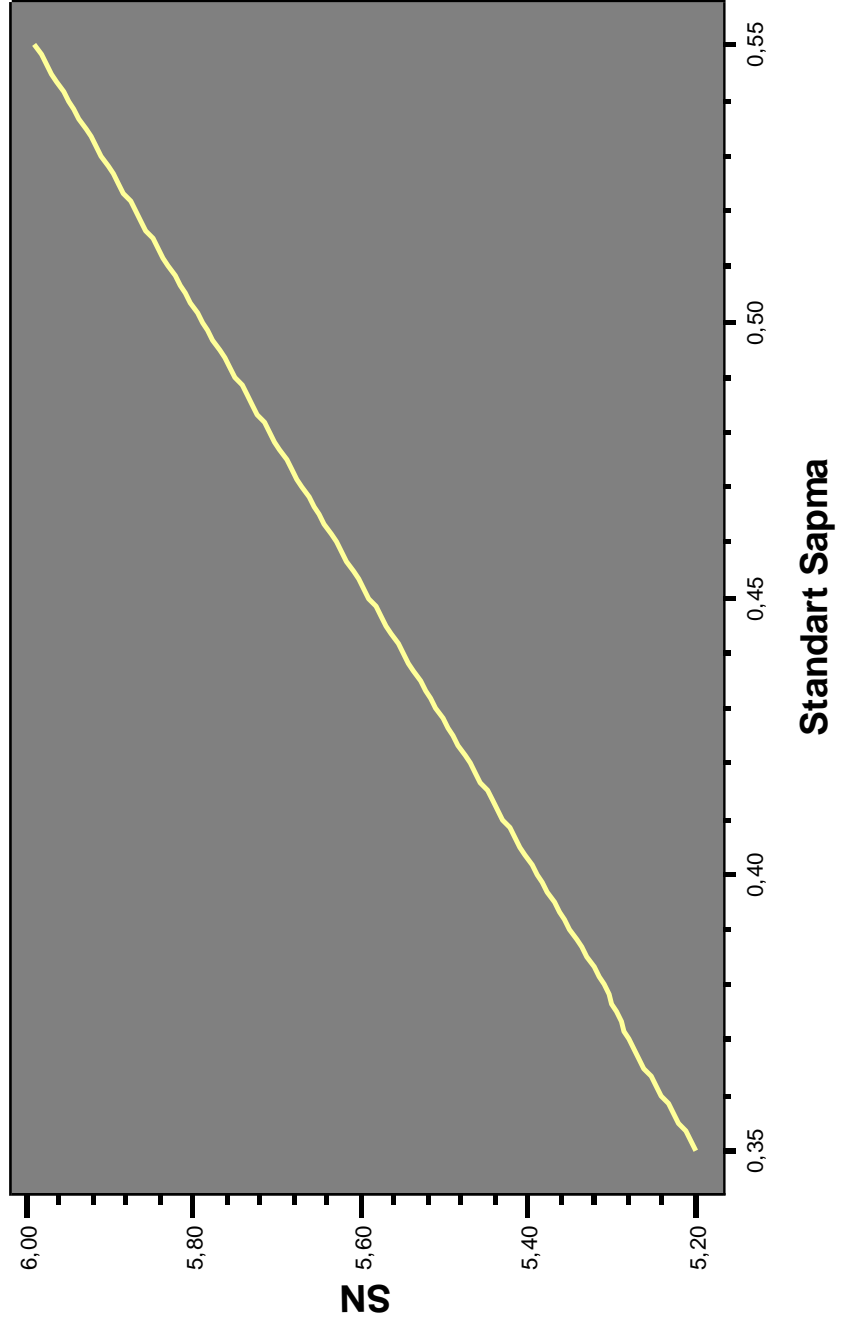
$PSI=1.9$ $W8.2=14.300.000$ $Mr=8300$ lb/in^2 $Re = 0.99$



Şekil 3.16 SN değeri ni standart sapmaya bağlı olarak değişi ni ni n doğrusal olarak gösteri mi

So - SN Grafığı

$PSI=1.9$ $W8.2=14.300.000$ $Mr=8300$ lb/in^2 $Re=0.99$



Şekil 3.17 SN değerini n standart sapmaya bağlı olarak değişimini n eğrisel olarak gösterimi

3.3 Sonuçlar Ve Tartışma

Bu yöntemi in proje trafiği, esneklik modülü, güvenilirlik oranı ve standart sapma parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Parametrelerin esnek üst yapıya etkileri gözlenmiştir. Grafiklerden çıkan sonuçta üst yapı sayısını ençok etkileyen parametrenin taban zeminde esneklik modülü olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci derecede üst yapı sayısına etkileyen parametre ise emmiyet faktörüdür.

Standart sapma ve trafiği temsil eden toplam eşdeğer standart diğil yükü sayısı üst yapı sayısını daha az etkilemektedir.

Sonuç olarak projelendirme yapılmadan önce, taban zeminde esneklik modülü hesaplanırken daha hassas davranılmalı ve mnknse daha yüksek esneklik modülüne sahip arazilerden geçki geçirilmelidir. Eğer yol uzunluğu artıyorsa maliyet analizi yapılmalı ve ekonomik olan seçilir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

Shell Üst yapı Tasarım Yöntemi için proje trafiği, temel tabakasının kalınlığı ve WMAAT parametrelerinin değişiminin etkisi incelenmiştir. Asfalt tabakasının kalınlığının belirlenmesine en fazla etkiyen parametrenin ağırlıklı ortalama yıllık hava sıcaklığının olduğu grafiklerden görülmüştür. İkinci derecede etki eden parametre seçilen temel kalınlığıdır. Daha sonra ise eşdeğer standart dingil yükü sayısı tekrarı gelmektedir.

Buradan çıkan sonuç ise bulunan çevrenin ağırlıklı ortalama yıllık hava sıcaklığının iyi belirlenmesi gerektiğidir. Bunun sebebi ise bitümlü bağlayıcının sıcaklığa fazla duyarlı olmasıdır.

AASHTO 93 tasarımı yöntemi için trafiği, esneklik modülü, güvenilirlik oranı ve standart sapma parametrelerinin değişiminin etkisi incelenmiştir. Çıkan sonuçta üst yapı sayısını en çok etkileyen parametrenin taban zeminini esneklik modülü olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci derecede üst yapı sayısına etkiyen parametre ise emniyet faktörüdür.

Standart sapma ve trafiği temsil eden eşdeğer standart dingil yükü sayısı tekrarı üst yapı sayısını daha az etkilemektedir.

Sonuç olarak projelendirme yapılmadan önce, taban zeminini esneklik modülü hesaplanırken daha hassas davranılmalı ve mümkünse daha yüksek esneklik modülüne sahip arazilerden geçki geçirilmelidir. Eğer yol uzunluğu artıyorsa maliyet analizi yapılmalı ve ekonomik olan seçilir.

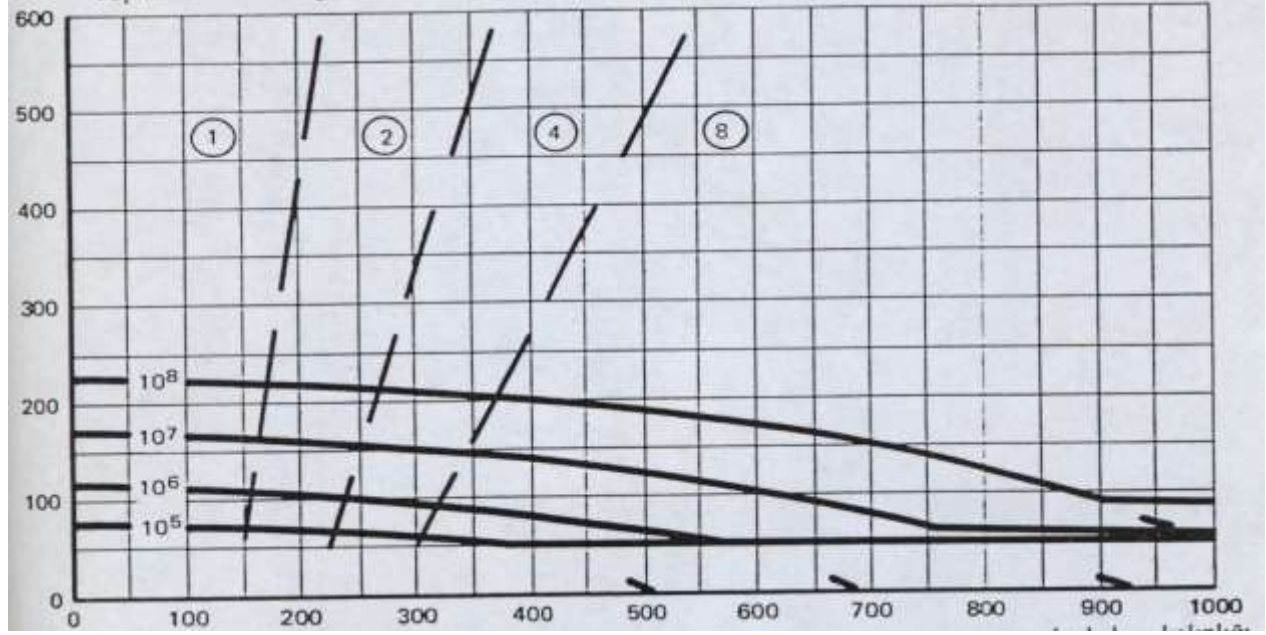
KAYNAKLAR

- [1] **AASHTO (1993)**, AASHTO Guide For Design Of Pavement Structure
- [2] **AĞAR, E (2000)**, “Esnek Yol Üst yapılarının Projelendirilmesi Yüksek Lisans Ders Notları” Ulaştırma Anabilim dalı, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] **BROWN, S E,(1980)** An Introduction To The Analytical Design Of Bituminous Pavements, Nottingham August
- [4] **CALESSEN, A I, M, EDWARDS, J, M, SOMMER, P., UGE, P.,(1977)**, Asphalt Pavements Design: The Shell Method, Paper Prepared For 4th International Conference On The Structural Design Of Asphalt Pavements, University Of Michigan, Ann Arbor, USA 21-26 August
- [5] **MTH, M,(1997)** Analytical Pavement Design, SPDM PC, Journal Of Highway And Transportation, December.
- [6] **US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1994)**, AASHTO Design Procedures For New Pavements, Publication No. FHWA- H-94-023, February
- [7] **[http:// www.roadwaydesign.com/cgi- bin/drain_base.pl](http://www.roadwaydesign.com/cgi-bin/drain_base.pl)**

EKA

80 kN ESAL Sayısı : Değişken	Zemin Modülü N/m^2 : $2.5 \cdot 10^7$	WMMAT , °C: 4
------------------------------	---	---------------

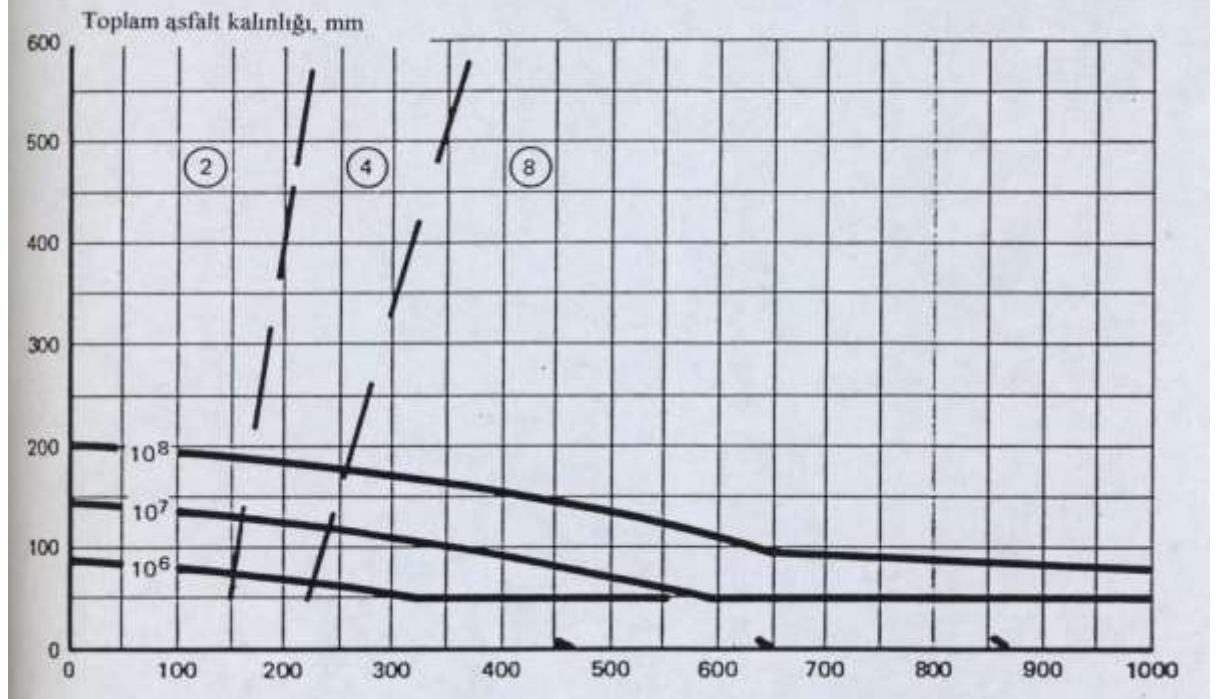
Toplam asfalt kalınlığı mm



Toplam bağımsız temel tabakası kalınlığı mm

Şekil A1 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

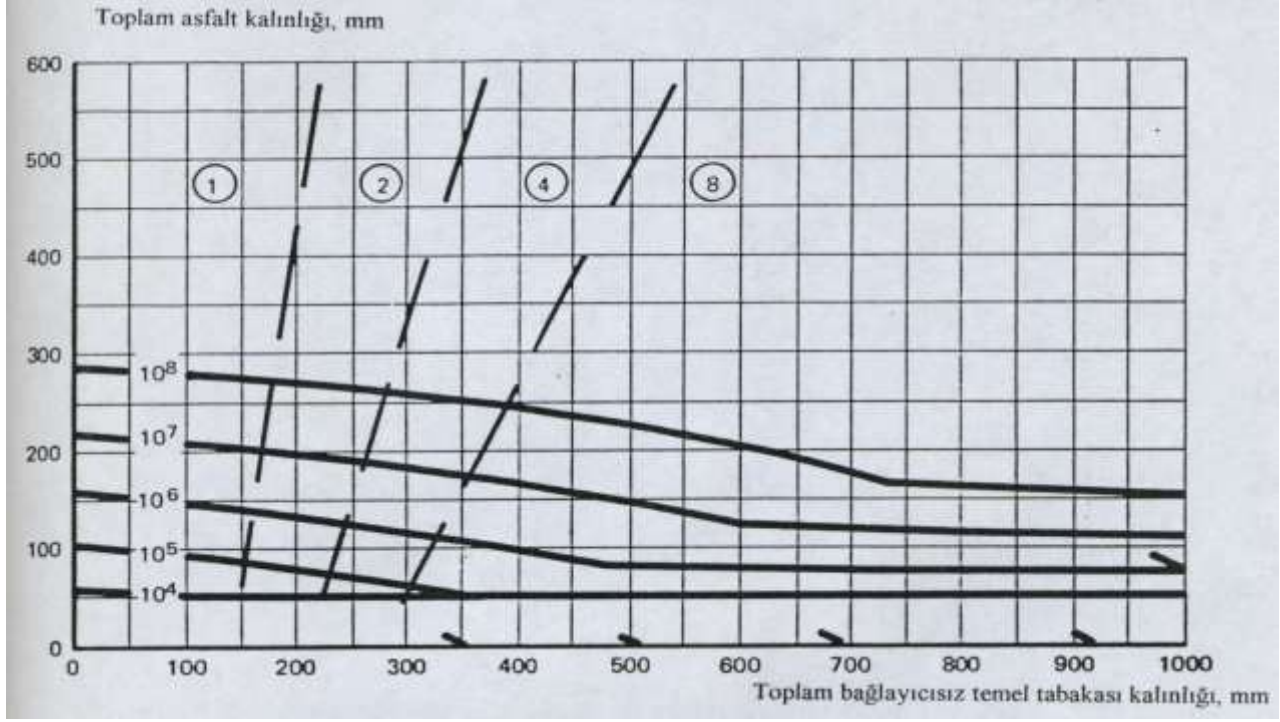
80 kN ESAL Sayısı : Değişken	Zemin Modülü N/m^2 : $5 \cdot 10^7$	WMMAT , °C: 4
------------------------------	---------------------------------------	---------------



Toplam bağımsız temel tabakası kalınlığı mm

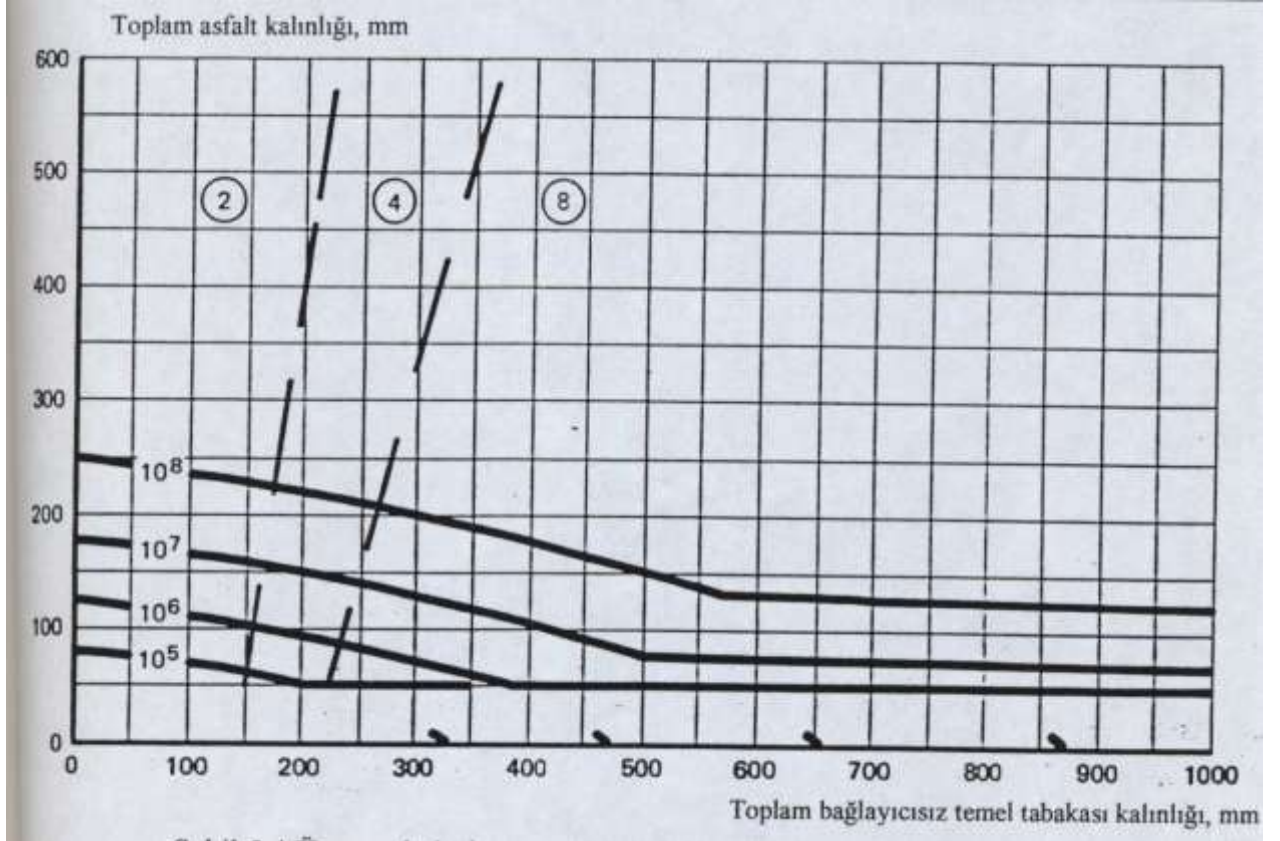
Şekil A2 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

80 kN ESAL Sayısı : Değişken	Zemin Modülü N/m^2 : $2,5 \cdot 10^7$	WMMAT, °C: 12
------------------------------	---	---------------



Şekil A3 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

80 kN ESAL Sayısı : Değişken	Zemin Modülü N/m^2 : $5 \cdot 10^7$	WMMAT, °C: 12
------------------------------	---------------------------------------	---------------

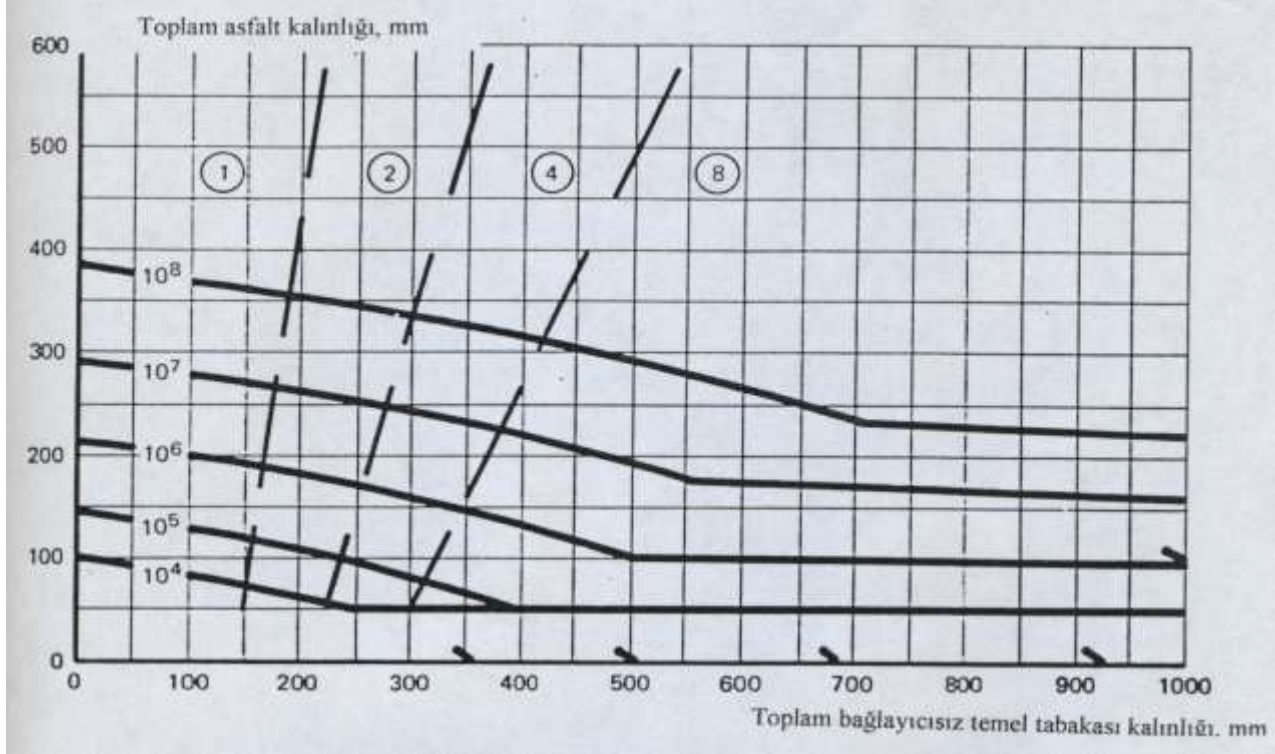


Şekil A4 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

80 kN ESAL Sayısı : Değişken

Zemin Modülü N/m^2 : $2,5 \cdot 10^7$

WMMAT, °C: 20

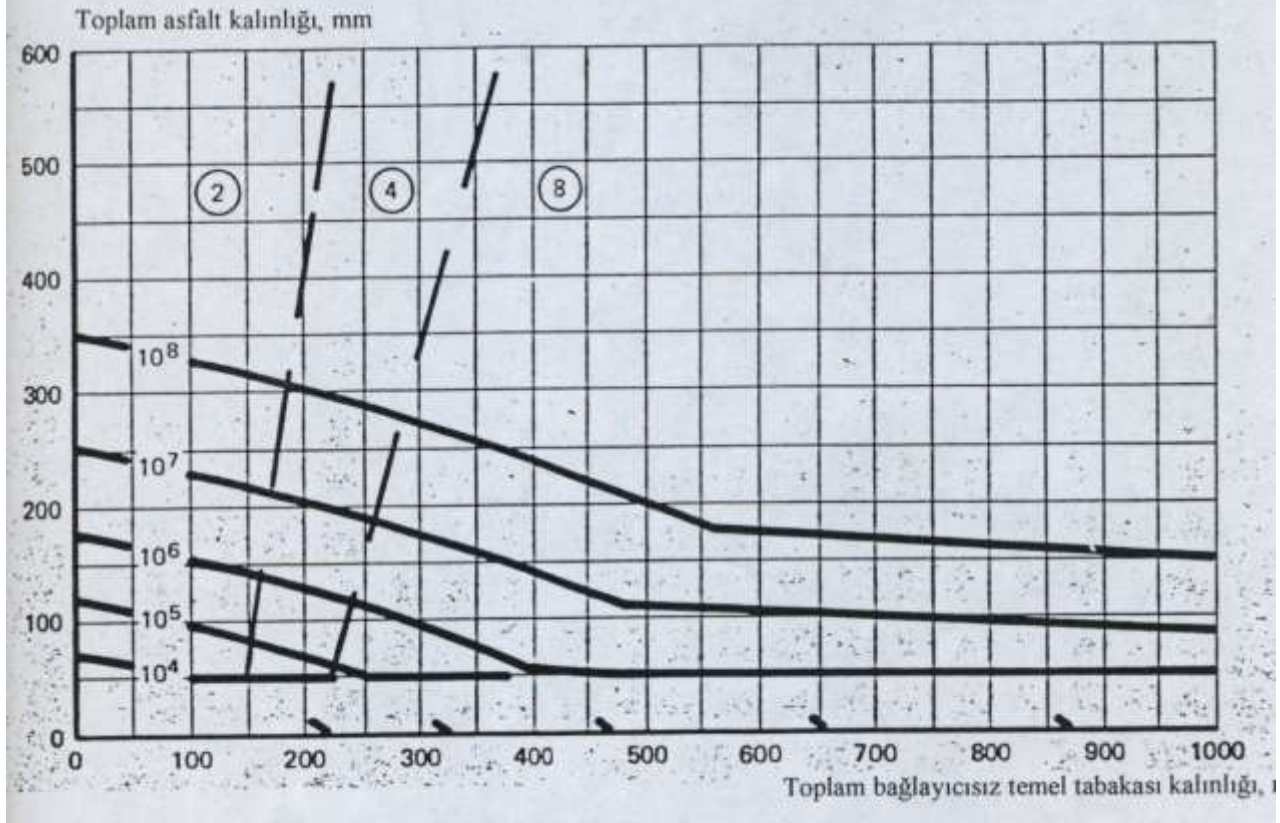


Şekil A5 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

80 kN ESAL Sayısı : Değişken

Zemin Modülü N/m^2 : $5 \cdot 10^7$

WMMAT, °C: 20

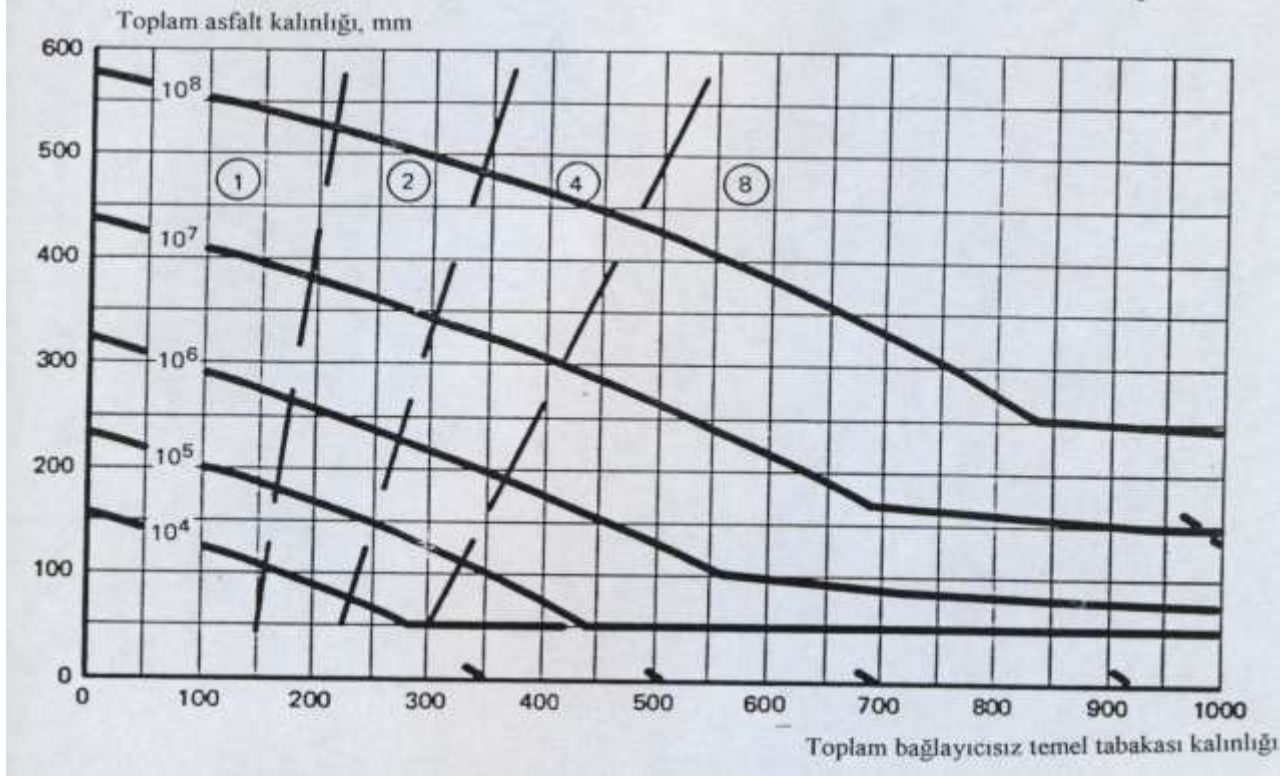


Şekil A6 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

80 kNESAL Sayısı : Değişken

Zemin Modülü N/m^2 : $2,5 \cdot 10^7$

WMMAT, °C: 28

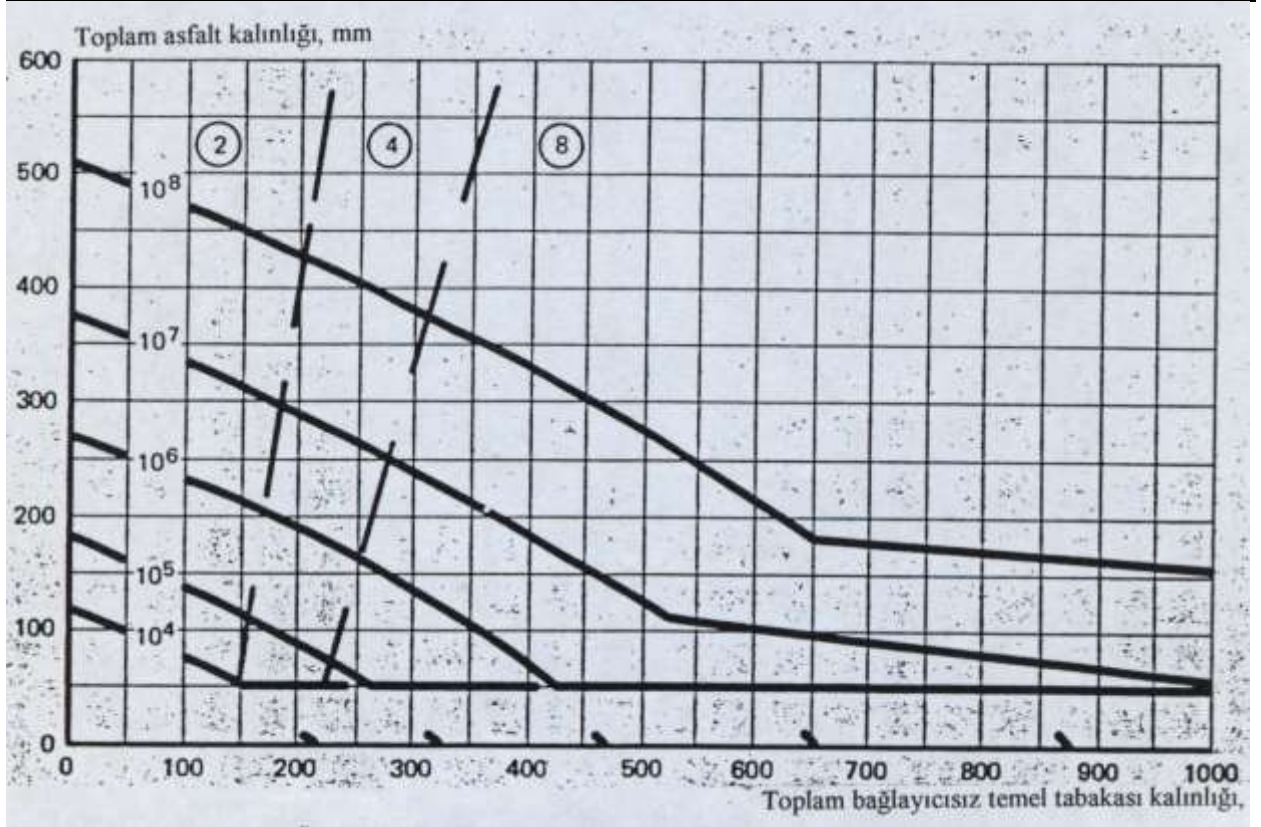


Şekil A7 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

80 kNESAL Sayısı : Değişken

Zemin Modülü N/m^2 : $5 \cdot 10^7$

WMMAT, °C: 28



Şekil A8 Üst yapı kalınlığının çeşitli N değerleri için hesaplanması

EKBTablo A 1 Esnek üst yapılar da tek d ngil ve $P_t = 2.0$ i çin d ngil yükü eşdeğerlik faktörleri

D ngil Yükü (k p)	Üst yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.750	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.40	10.00	9.20	8.60	8.70	9.20
32	14.00	13.50	12.40	11.50	11.50	12.10
34	18.50	17.90	16.30	15.00	14.90	15.60
36	24.20	23.30	21.20	19.30	19.00	19.90
38	31.10	29.90	27.10	24.60	24.00	25.10
40	39.60	38.00	34.30	30.90	30.00	31.20
42	49.70	47.70	43.00	38.60	37.20	38.50
44	61.80	59.30	53.40	47.60	45.70	47.10
46	76.10	73.00	65.60	58.30	55.70	57.00
48	92.90	89.10	80.00	70.90	67.30	68.60
50	113.00	108.00	97.00	86.00	81.00	82.00

Tablo A 2 Esnek üst yapılar da tane m d i n g i l ve $R_f = 2.0$ i ç i n d i n g i l yükü eş de ğ erlik fakt ö rleri

D i n g i l Yükü (k i p)	Üst yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.40	10.10	9.30	8.80	9.00	9.40
58	12.20	11.80	10.90	10.30	10.40	10.90
60	14.30	13.80	12.70	11.90	12.00	12.60
62	16.60	16.00	14.70	13.70	13.80	14.50
64	19.30	18.60	17.00	15.80	15.80	16.60
66	22.20	21.40	19.60	18.00	18.00	18.90
68	25.50	24.60	22.40	20.60	20.50	21.50
70	29.20	28.10	25.60	23.40	23.20	24.30
72	33.30	32.00	29.10	26.50	26.20	27.40
74	37.80	36.40	33.00	30.00	29.40	30.80
76	42.80	41.20	37.30	33.80	33.10	34.50
78	48.40	46.50	42.00	38.00	37.00	38.60
80	54.40	52.30	47.20	42.50	41.30	43.00
82	61.10	58.70	52.90	47.60	46.00	47.80
84	68.40	65.70	59.20	53.00	51.20	53.00
86	76.30	73.30	66.00	59.00	56.80	58.60
88	85.00	81.60	73.40	65.50	62.80	64.70
90	94.40	90.60	81.50	72.60	69.40	71.30

Tablo A 3 Esnek üst yapılar da üç lü d i ngil ve $P_1 = 2.0$ i ç i n d i ngil yükü eş de ğ erlik fakt ö rleri

D i ngil Yükü (k i p)	Ü st yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.028	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.06	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.20	10.80	1.10	9.60	9.80	10.20
84	12.50	12.10	11.20	10.60	10.80	11.30
86	13.90	13.50	12.50	11.80	11.90	12.50
88	15.50	15.00	13.80	13.00	13.20	13.80
90	17.20	16.60	15.30	14.30	14.50	15.20

Tablo A4 Esnek üst yapılar da tek d i ngil ve $P_t = 2.5$ i ç i n d i ngil yükü eş de ğ erli k fakt ö rleri

D i ngil Yükü (k i p)	Ü st yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.010	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.30	9.50	7.90	6.80	7.00	7.80
32	13.90	12.80	10.50	8.80	8.90	10.00
34	18.40	16.90	13.70	11.30	11.20	12.50
36	24.00	22.00	17.70	14.40	13.90	15.50
38	30.90	28.30	22.60	18.10	17.20	19.00
40	39.30	35.90	28.50	22.50	21.10	23.00
42	49.30	45.00	35.60	27.80	25.60	27.70
44	61.30	55.90	44.00	34.00	31.00	33.10
46	75.50	68.80	54.00	41.40	37.20	39.30
48	92.20	83.90	65.70	50.10	44.50	46.50
50	112.00	102.00	79.00	60.00	53.00	55.00

Tablo A 5 Esnek üst yapılar da tane m d i n g i l ve $R_t = 2.5$ i ç i n d i n g i l yükü eşdeğerlik faktörleri

D i n g i l Yükü (k i p)	Üst yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002
6	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
8	0.004	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
10	0.008	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
12	0.015	0.024	0.023	0.018	0.014	0.013
14	0.026	0.041	0.042	0.033	0.027	0.024
16	0.044	0.065	0.070	0.057	0.047	0.043
18	0.070	0.097	0.109	0.092	0.077	0.070
20	0.107	0.141	0.162	0.141	0.121	0.110
22	0.160	.0198	0.229	0.207	0.180	0.166
24	0.231	0.273	0.315	0.292	0.260	0.242
26	0.327	0.370	0.420	0.401	0.364	0.342
28	0.451	0.493	0.548	0.534	0.495	0.470
30	0.611	0.648	0.703	0.695	0.658	0.633
32	0.813	0.843	0.889	0.887	0.857	0.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.30	9.60	8.10	7.20	7.40	8.20
58	12.10	11.30	9.40	8.20	8.40	9.40
60	14.20	13.10	10.90	9.40	9.60	10.70
62	16.50	15.30	12.60	10.70	10.80	12.10
64	19.10	17.60	14.50	12.20	12.20	13.70
66	22.10	20.30	16.60	13.80	13.70	15.40
68	25.30	23.30	18.90	15.60	15.40	17.20
70	29.00	26.60	21.50	17.60	17.20	19.20
72	33.00	30.30	24.40	19.80	19.20	21.30
74	37.50	34.40	27.60	22.20	21.30	23.60
76	42.50	38.90	31.10	24.80	23.70	26.10
78	48.00	43.90	35.00	27.80	26.20	28.80
80	54.00	49.40	39.20	30.90	29.00	31.70
82	60.60	55.40	43.90	34.40	32.00	34.80
84	67.80	61.90	49.00	38.20	35.30	38.10
86	75.70	69.10	54.50	42.30	38.80	41.70
88	84.30	76.90	60.60	46.80	42.60	45.60
90	93.70	85.40	67.10	51.70	46.80	49.70

Tablo A 6 Esnek üst yapılar da üç lü d i ngil ve $P_t = 2.5$ i ç i n d i ngil yükü eş de ğ erlik fakt ö rleri

D i ngil Yükü (k i p)	Ü st yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0006	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003
8	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
10	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
12	0.005	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003
14	0.008	0.012	0.010	0.008	0.006	0.006
16	0.012	0.019	0.018	0.013	0.011	0.010
18	0.018	0.029	0.028	0.021	0.017	0.016
20	0.027	0.042	0.042	0.032	0.027	0.024
22	0.038	0.058	0.060	0.048	0.040	0.036
24	0.053	0.078	0.084	0.068	0.057	0.051
26	0.072	0.103	0.114	0.095	0.080	0.072
28	0.098	0.133	0.151	0.128	0.109	0.099
30	0.129	0.169	0.195	0.170	0.145	0.133
32	0.169	0.213	0.247	0.220	0.191	0.175
34	0.219	0.266	0.308	0.281	0.246	0.228
36	0.279	0.329	0.379	0.352	0.313	0.292
38	0.352	0.403	0.461	0.436	0.393	0.368
40	0.439	0.491	0.554	0.533	0.487	0.459
42	0.543	0.594	0.661	0.644	0.597	0.567
44	0.666	0.714	0.781	0.769	0.723	0.692
46	0.811	0.854	0.918	0.911	0.868	0.838
48	0.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.10	10.40	8.80	7.90	8.20	9.00
84	12.40	11.60	9.80	8.60	8.90	9.90
86	13.80	12.90	10.80	9.50	9.80	10.90
88	15.40	14.30	11.90	10.40	10.60	11.90
90	17.10	15.80	13.20	11.30	11.60	12.90

Tablo A 7 Esnek üst yapılar da tek d i ngil ve $P_t = 3.0$ i ç i n d i ngil yükü eş de ğ erli k fakt ö rleri

D i ngil Yükü (k i p)	Ü st yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0008	0.0009	0.0006	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.004	0.008	0.006	0.004	0.002	0.002
6	0.014	0.030	0.028	0.018	0.012	0.010
8	0.035	0.070	0.080	0.055	0.040	0.034
10	0.082	0.132	0.168	0.132	0.101	0.086
12	0.173	0.231	0.2 %	0.260	0.212	0.187
14	0.332	0.388	0.468	0.447	0.391	0.358
16	0.594	0.633	0.694	0.693	0.651	0.622
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.60	1.53	1.41	1.38	1.44	1.51
22	2.47	2.29	1.96	1.83	1.97	2.16
24	3.67	3.33	2.69	2.39	2.60	2.96
26	5.29	4.72	3.65	3.08	3.33	3.91
28	7.43	6.56	4.88	3.93	4.17	5.00
30	10.20	8.90	6.50	5.00	5.10	6.30
32	13.80	12.00	8.40	6.20	6.30	7.70
34	18.20	15.70	10.90	7.80	7.60	9.30
36	23.80	20.40	14.00	9.70	9.10	11.00
38	30.60	26.20	17.70	11.90	11.00	13.00
40	38.80	33.20	22.20	14.60	13.10	15.30
42	48.80	41.60	27.60	17.80	15.50	17.80
44	60.60	51.60	34.00	21.50	18.40	20.60
46	74.70	63.40	41.50	26.10	21.60	23.80
48	91.20	77.30	50.30	31.30	25.40	27.40
50	110.00	94.00	61.00	37.00	30.00	32.00

Tablo A 8 Esnek üst yapılar da tane m d i n g i l ve $R_t = 3.0$ i ç i n d i n g i l yükü eşdeğerlik faktörleri

D i n g i l Yükü (k i p)	Üst yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
6	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
8	0.006	0.011	0.009	0.005	0.003	0.003
10	0.011	0.024	0.020	0.012	0.008	0.007
12	0.019	0.042	0.039	0.024	0.017	0.014
14	0.031	0.066	0.068	0.045	0.032	0.026
16	0.049	0.096	0.109	0.076	0.055	0.046
18	0.075	0.134	0.164	0.121	0.090	0.076
20	0.113	0.181	0.232	0.182	0.139	0.119
22	0.166	0.241	0.313	0.260	0.205	0.178
24	0.238	0.317	0.407	0.358	0.292	0.257
26	0.333	0.413	0.517	0.476	0.402	0.360
28	0.457	0.534	0.643	0.614	0.538	0.492
30	0.616	0.684	0.788	0.773	0.702	0.656
32	0.817	0.870	0.956	0.953	0.896	0.855
34	1.07	1.10	1.15	1.15	1.12	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.71	1.64	1.62	1.66	1.70
40	2.21	2.11	1.94	1.89	1.98	2.08
42	2.75	2.59	2.29	2.19	2.33	2.50
44	3.39	3.15	2.70	2.52	2.71	2.97
46	4.15	3.81	3.16	2.89	3.13	3.50
48	5.04	4.58	3.70	3.29	3.57	4.07
50	6.08	5.47	4.31	3.74	4.05	4.70
52	7.27	6.49	5.01	4.24	4.57	5.37
54	8.65	7.67	5.81	4.79	5.13	6.10
56	10.20	9.00	6.70	5.40	5.70	6.90
58	12.00	10.60	7.70	6.10	6.40	7.70
60	14.10	12.30	8.90	6.80	7.10	8.60
62	16.30	14.20	10.20	7.70	7.80	9.50
64	18.90	16.40	11.60	8.60	8.60	10.50
66	21.80	18.90	13.20	9.60	9.50	11.60
68	25.10	21.70	15.00	10.70	10.50	12.70
70	28.70	24.70	17.00	12.00	11.50	13.90
72	32.70	28.10	19.20	13.30	12.60	15.20
74	37.20	31.90	21.60	14.80	13.80	16.50
76	42.10	36.00	24.30	16.40	15.10	17.90
78	47.50	40.60	27.30	18.20	16.50	19.40
80	53.40	45.70	30.50	20.10	18.00	21.00
82	60.00	51.20	34.00	22.20	19.60	22.70
84	67.10	57.20	37.90	24.60	21.30	24.50
86	74.90	63.80	42.10	27.10	23.20	26.40
88	83.40	71.00	46.70	29.80	25.20	28.40
90	92.70	78.80	51.70	32.70	27.40	30.50

Tablo A9 Esnek üst yapılar da üç lü d i ngil ve $P_t = 3.0$ i ç i n d i ngil yükü eş de ğ erlik fakt ö rleri

D i ngil Yükü (k i p)	Ü st yapı Sayısı (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
8	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
10	0.005	0.008	0.005	0.003	0.002	0.002
12	0.007	0.014	0.010	0.006	0.004	0.003
14	0.011	0.023	0.018	0.011	0.007	0.006
16	0.016	0.035	0.030	0.018	0.013	0.010
18	0.022	0.050	0.047	0.029	0.020	0.017
20	0.035	69	0.069	0.044	0.031	0.026
22	0.043	0.090	0.097	0.065	0.046	0.039
24	0.059	0.116	0.132	0.092	0.066	0.056
26	0.079	0.145	0.174	0.126	0.092	0.078
28	0.104	0.179	0.223	0.168	0.126	0.107
30	0.136	0.218	0.279	0.219	0.167	0.143
32	0.176	0.265	0.342	0.279	0.218	0.188
34	0.226	0.319	0.413	0.350	0.279	0.243
36	0.286	0.382	0.491	0.432	0.352	0.310
38	0.359	0.456	0.577	0.524	0.437	0.389
40	0.447	0.543	0.671	0.626	0.536	0.483
42	0.550	0.643	0.775	0.740	0.649	0.593
44	0.673	0.760	0.889	0.865	0.777	0.720
46	0.817	0.894	1.014	1.001	0.920	0.865
48	0.984	1.048	1.152	1.148	1.080	1.030
50	1.18	1.23	1.30	1.31	1.26	1.22
52	1.40	1.43	1.47	1.48	1.45	1.43
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.92	1.86	1.85	1.88	1.91
58	2.28	2.21	2.09	2.06	2.13	2.20
60	2.66	2.54	2.34	2.28	2.39	2.50
62	3.08	2.92	2.61	2.52	2.66	2.84
64	3.56	3.33	2.92	2.77	2.96	3.19
66	4.09	3.79	3.26	3.04	3.27	3.58
68	4.68	4.31	3.62	3.33	3.60	4.00
70	5.34	4.88	4.02	3.64	3.94	4.44
72	6.08	5.51	4.46	3.97	4.31	4.91
74	6.89	6.21	4.94	4.32	4.69	5.40
76	7.78	6.98	5.47	4.70	5.09	5.93
78	8.76	7.83	6.04	5.11	5.51	6.48
80	9.84	8.75	6.67	5.54	5.96	7.06
82	11.00	9.80	7.40	6.00	6.40	7.70
84	12.30	10.90	8.10	6.50	6.90	8.30
86	13.70	12.10	8.90	7.00	7.40	9.00
88	15.30	13.40	9.80	7.60	8.00	9.60
90	16.90	14.80	10.70	8.20	8.50	10.40

ÖZGEÇMİŞ

İnşaat Mühendisi Mustafa BERBEROĞLU 1977 yılında Tokat'ta doğdu. Orta öğretimi 1994 yılında Tokat Gazi Osman Paşa Lisesi'nde tamamladı. Aynı sene Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde buradaki eğitime başladı ve 1998 yılında eğitimi tamamladı. 1999-2000 yılları arasında İTÜ de İngilizce eğitimi aldıktan sonra 2000 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Ulaştırma Mühendisliğinde yüksek lisans programına eğitime başladı.