

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Esnek Üst, Pro. ve İnş. Yöng
Ara. ve Cün. Asf. Bet.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metin Ata

1987

Ref
INS
105
987

150
113

100072

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

*Esnek Üstyapıların Projelendirme ve İnşaat Yöntemlerinin
Araştırılması ve Cürüflu Asfalt Betonu*

Yüksek Lisans Tezi

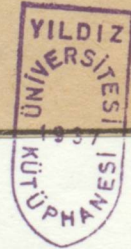
İNŞ. MÜH. M. METİN ATA

İstanbul 1987

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R. 150
Alındığı Yer : Fen Bil. Ens. 113
Tarih : 24.12.1988
Fatura :
Fiatı : 4000 TL
Ayniyat No : 1/24
Kayıt No : 45925
UDC : 693.78
Ek : 378.242

x



15

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
D.B. No 23606

**Esnek Üstyapıların Projelendirme ve İnşaat Yöntemlerinin
Araştırılması ve Cürüflu Asfalt Betonu**

Yüksek Lisans Tezi

İNŞ. MÜH. M. METİN ATA

İstanbul 1987

ÖZET

Bu çalışma Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı yüksek lisans programı içerisinde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tezin konusu "Esnek üst yapıların projelendirme ve inşaat yöntemlerinin araştırılması ve cürufllu asfalt betonu"dur.

Birinci bölümde esnek üst yapıların projelendirme yöntemleri özetlenmiş ve AASHO metoduyla üst yapı hesabı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Daha sonra gerçek gerilme yayılımı dikkate alınarak hesap yapılan tabakalı sistem hesap yöntemi ile AASHO yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır.

İkinci bölümde ise Türkiye'deki demir çelik fabrikalarında artık ürün olarak elde edilen yüksek fırın cürufunun, beton asfalt karışımlarda agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Ereğli Demir Çelik fabrikalarından getirilen cüruf, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği bitüm laboratuvarı, İ.T.Ü metalurji ve yapı malzemesi laboratuvarları ve Yıldız Üniversitesi laboratuvarlarının imkanlarından faydalanılarak beton asfalt karışımlarda agrega olarak denenmiştir. Deneyler sonucunda cürufun beton asfalt karışımlar içerisinde agrega olarak kullanılabilirliği ispatlanmıştır.

Bu çalışma esnasında sürekli yardımlarını esirgemeyen Yıldız Üniversitesi Ulaştırma Anabilim Dalı Başkanı Sayın Doç. Dr. Aydın EREL'e, Araştırma Görevlisi Yük. Müh. Mustafa İLİCALI'ya ve deneyler için imkan sağlayan Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü bitüm laboratuvarı personeline teşekkürlerimi sunarım.

ABSTRACT

This thesis is submitted as a thesis for Master of Science degree at Yıldız University, Institute of Science, Department of Civil Engineering, Transportation Division.

The subject of this thesis is Research of Design Methods of Flexible Pavements and Asphalt Concrete with slug.

I'm the first part of this study; a summary of design methods of flexible pavements is given and detailed analysis of design of flexible pavements with AASHO method is made. After wards a comparison of AASHO method and analytical method is performed by considering real tension distribution.

I'm second part; the possibility of the use of slug detained from steel mills of Turkey as agregata in asphalt concrete. For this purpose; the slug obtained from Ereğli steel works has been tested as agregate in asphalt concrete bitümen laboratory of state Highways 17. Division Directory of Turkey; at laboratory for metallurgy an construction material of Istanbul Technical University and at Laboratories of Yıldız University. Tests have proved satis factory result for the use of slug as agregate.

It is my duty to submit my deepest thanks and regards to Assoc. Prof. Aydın EREL, The head of Transportation Division of Yıldız Univedsity and Mr. Mustafa ILICALI, Head of Research Group for their kind helps and efforts and inaugurations and to Personnel of bitumen laboratory of state Highways Dept. 17. Division Directory for their help in performing the tests

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I

I.1 - GİRİŞ	1
I.2 Esnek üstyapıların tanımı ve elemanları	2
I.2.1. Esnek üstyapıların tanımı	2
I.2.2. Esnek üstyapıların elemanları	2
I.2.2.1. Alt temel tabakası	3
I.2.2.2. Temel tabakası	3
I.2.2.3. Kaplama tabakası	7
I.3 Esnek üstyapıların projelendirme yöntemleri	9
I.3.1. Grup indeksi metodu	10
I.3.2. Kaliforniya taşıma oranı (CBR) metodu	12
I.3.3. AASHO metodu	15
I.3.3.1. Son servis kabiliyeti indeksi (Pt)	17
I.3.3.2. Bölge faktörü (R)	17
I.3.3.3. Taban zemininin taşıma değeri (Si veya CBR)	18
I.3.3.4. Eşdeğer dingil yükü (Standart dingil tekerrürü sayısı)	20
I.3.3.5. (SN) Üstyapı sayısı	28
I.3.4. Tabakalı sistem hesap yöntemi (Gerçek gerilme yayılışına göre)	28
I.4 Örnek çözümler	35
I.4.1. AASHO yöntemiyle çözümler	35
I.4.2. Tabakalı sistem hesap yöntemiyle çözümler	38
I.5 AASHO yöntemi ile tabakalı sistem hesap yönteminin karşılaştırılması	43
I.5.1. AASHO yöntemi ile tabakalı sistem hesap yönteminde kullanılan hesap kriterlerinin incelenmesi ve karşılaştırılması	43
I.5.2. AASHO yöntemi ile üstyapı hesabına etki eden faktörlerin analizi	43
I.5.3. AASHO yöntemi ile tabakalı sistem yönteminin karşılaştırılması	46
I.5.3.1 Trafik hacmi	46
I.5.3.2 Dingil yükü	46

I.5.3.3	Dingil yükü tekrar sayısı	46
I.5.3.4	Taban zeminin taşıma gücü ve suya hassasiyeti	47
I.5.3.5	Üstyapıda tabakaları teşkil eden malzemelerin mekanik özellikleri	47
I.5.3.6	Yoldan beklenen hizmetin kalitesi	47
I.5.3.7	Yolun ekonomik hizmet ömrü	48
I.5.3.8	Yolun yapıldığı yerin iklimi ve bölgesel koşullar	48

BÖLÜM II

II.	CÜRUFU ASFALT BETONU	50
II.1	Yüksek fırın cürufunun tarifi	50
II.2	Yüksek fırın cürufu çeşitleri	50
II.2.1	Havada soğutulmuş cüruf	51
II.2.2	Köpüklendirilmiş cüruf	51
II.2.3	Granüler cüruf (Yüksek fırın kumu)	51
II.3	Kimyasal bakımdan cüruf tipleri	52
II.4	Yüksek fırın cürufunun elde edilmesi	52
II.5	Yüksek fırın cürufunun fiziksel özellikleri	53
II.6	Cürufun taşıma gücü	54
II.7	Erdemir cürufu ile yapılan laboratuvar çalışmaları	54
II.7.1	Laboratuvar çalışmasının esasları	54
II.7.2	Deneylerde kullanılan cürufun fiziksel ve kimyasal özellikleri	54
II.7.3	Marshall stabilite deneyi öncesi yapılan malzeme deneyleri	57
II.7.3.1	Asfalt çimentosu deneyleri	57
II.7.3.2	Agrega (cüruf) deneyleri	59
II.7.3.3	Agrega deney sonuçları	63
II.7.4	Marshall stabilite deneyi	63
II.7.4.1	Deneyin yapılışı	63
II.7.4.2	Dizayn kriterleri	66
II.7.4.3	Deney sonuçlarının bulunması	68
II.7.4.4	Deney sonuçlarının değerlendirilmesi	78

BÖLÜM I

I.I GİRİŞ

Yeni inşa edilecek bir yol üstyapısının projelendirilmesinde amaç, üstyapının dikkate alınan proje süresi boyunca üzerinden geçecek trafiği gerekli konfor kalitelerini sağlayarak, büyük deformasyonlara maruz kalmadan güvenli bir şekilde taşımasını sağlayacak toplam üstyapı kalınlığının tesbiti ve tabakalar ile bunların inşaatında kullanılacak malzemelerin özelliklerinin belirlenmesidir.

Yollar diğer mühendislik yapılarına nazaran daha karmaşık bir sistem arzederler. Karmaşıklığın nedenleri; taban zeminin yol boyunca sürekli aynı özelliğe sahip olmaması sonsuz uzunlukta olmaları, esnek üstyapıların hava sıcaklığına bağlı olarak değişik elastik ve mukavemet özellikleri göstermesi ve en önemlisi maruz oldukları yüklerin şiddet ve tekrar sayılarının kesin olarak tesbitinin mümkün olmamasıdır. Bu özetlemeye çalıştığım karmaşık sistemi çözmek için kullanılan çeşitli projelendirme yöntemleri vardır. Karayolları Genel Müdürlüğü teşkilatının kurulmasını izleyen yıllarda, yolların üstyapılarının tesbiti maksadıyla, diğer bir çok ülkede olduğu gibi zaman içindeki gelişmelere paralel olarak Wyoming metodu, Gurup indeksi metodu ve CBR metodu gibi çeşitli ampirik metodlar kullanılmıştır. Daha sonra Amerika Birleşik Devletlerinin Illinois eyaletinin Ottawa kentinde 1956-1958 yılları arasında inşa edilen AASHO deneme yolu üzerinde dingil yükleri 910 kg. ile 21800 kg. arasında değişen araçlar günde 15 saat, haftada 6 gün olmak üzere 2 yıl boyunca uygulanmış ve üstyapı sürekli olarak incelenmiştir. Ölçmeler bilgisayarlarla değerlendirilmiş ve üstyapı kalınlığının tayini için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. (AASHO metodu). Her ülke bu önemli yol deneyinin sonuçlarını kendi şartlarına uygun olarak geliştirerek kullanmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü'nde halen bu metodu kullanmaktadır. Ancak ülkemiz yollarındaki ticari taşıt veya ağır taşıt oranı, gelişmiş ülkelerde hiç rastlanmayacak şekilde %50-70 mertebesinde olup her bir ticari

taşıtın bir geçişinin yola verebileceği zararda ülkemizde diğer ülkelere nazaran oldukça büyük olmaktadır. Dolayısıyla bu projelendirme esnasında yapılan kabulleri boşa çıkarmakta ve yol üstyapısının proje süresinden önce bozulmasına neden olmaktadır.

Bu bölümde önce esnek üstyapılar hakkında genel bilgi verilip, daha sonra esnek üstyapıların projelendirme yöntemleri anlatılacaktır. Bu arada AASHO yöntemi ve tabakalı sistem hesap metodu karşılaştırılacak örnek çözümler üretilerek karşılaştırma sonuçları değerlendirilecektir.

I. 2 ESNEK ÜSTYAPILARIN TANIMI VE ELEMANLARI

I.2.1 ESNEK ÜSTYAPILARIN TANIMI :

Üstyapı; Yol, hava alanı pisti, araba parkı v.b.yerlerde taban tarafından desteklenen ve trafiğin üzerinde hareket ettiği tabakalı bir yapı diye tanımlanabilir. Fonksiyonu, trafiğin doğurduğu gerilimleri her noktada üstyapı tabakalarının ve tabanın zarar görmeden dayanabileceği bir seviyeye düşürmektir.

Esnek üstyapı ise yukarıda yapılan üstyapı tanımına uygun olarak tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve yükleri taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, gerilme direncinin veya bükülme rijitliğinin önemsiz olduğu, stabilitesi agrega kenetlenmesine dane sürtünmesine ve koheziona bağlı olan bir üstyapı tipidir.

İnşa edilecek yolun taban zeminine, trafiğe, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilmelidir. Ancak şu anda Karayolları Genel Müdürlüğünde esas olarak sadece esnek üstyapı tipi kullanılmaktadır.

I.2.2 ESNEK ÜSTYAPILARIN ELEMANLARI

Esnek üstyapı deyimi tesviye edilmiş taban yüzeyi üzerine inşa edilen alt temel, temel ve kaplama tabakalarının tümünü kapsar. Bu tabakaları tek tek ele alarak fonksiyonlarını ve özelliklerini özetlemeye çalışalım.

I.2.2.1 ALT TEMEL TABAKASI

Alt temel tabakası, fenni şartnamede verilen gradasyon limitleri içinde sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanan malzemenin su ile karıştırılarak, ince tesviyesi tamamlanmış dolgu veya yarmadan oluşan taban üzerine, bir veya birden fazla tabakalar halinde projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır. En büyük dane boyutu 3 inç'tir. Minimum alt temel kalınlığı 20 cm. olmalıdır. Alt temel tabakası, taban zemininin taşıma gücünü aşabilecek yüksek gerilmeleri ve tabanda oluşacak don etkisinin üstyapıya yansımalarını önleyecek niteliklere sahip bulunmalıdır. Malzemenin don etkisine ve basınca dayanıklı olması gerekir. Daneli alt temel malzemesi dona hassas taban zeminine karşı filtre stabilitesine sahip olmalıdır. Bu nedenle yeterli miktarda ince ve orta kum içermelidir. Böylece suyun alttan yukarıya doğru yükselmesi halinde ince daneler yüzmez veya trafik etkisi altında, alttemel daneleri arasına girmez. Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi Ek-b'de malzeme granülometrisi ve diğer özelliklerinin tablo I.1'deki şartları sağlaması istenmiştir.

I.2.2.2 TEMEL TABAKASI

Bir üstyapının temel tabakası, kaplama tabakasının hemen altına yerleştirilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzeme tabakası olup, birden fazla tabaka halindedey inşa edilebilir. Temel tabakasının başlıca görevi kaplama tabakasına dayanak sağlayarak üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. Temel tabakası trafik yüklerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilmeli ve yüksek nem oranında niteliklerini kaybetmeden işlevini sürdürebilmelidir. Temel tabakası bu işlevlerinin yanı sıra drenaja yardımcı olabildiği gibi, don etkisine karşıda bir korunma sağlayabilir. Esnek üstyapılarda kullanılan temel cinsleri aşağıda sıralanmış ve kısa açıklamalar verilmiştir.

TABLO I.1 ALT TEMEL TABAKASI MALZEME ŞARTNAMESİ			
DENEY ADI	SINIRLAMALAR		
Mekanik Analiz	<u>Elek</u>	<u>Geçen %</u>	
	<u>mm</u>	<u>inç</u>	
	75mm	3"	100
	37,5mm	1,5"	85-100
	9,5mm	3/8"	45-100
	4,75mm	No 4	25-85
	0,425mm	No 40	7-40
	0,075mm	No 200	0-12
	(x) d_{15}/d_{t85}	5	
	(xx) D_{200}/D_{40}	2/3	
Na ₂ SO ₄ sağlamlık	Kayıp \leq %25		
Los Angeles Aşınma	Aşınma \leq %50		
Likit Limit	LL \leq 25		
Plastisite İndeksi	PI \leq 6		
CBR	CBR \geq 30		
Sıkışma	% sıkışma \geq 95-100		

(x) d_{15} = Alttemelin %15'inin küçük olduğu dane boyutu

(x) d_{t85} = Tabanın %85'inin " " " "

(xx) D_{200} = No.200 elekten geçen alttemel malzemesinin %'si

(xx) D_{40} = No.40 " " " "

b-) KIRILMIŞ ÇAKIL VEYA KIRMA TAŞ TEMEL TABAKASI

Bu tip temel tabakası şartnamede verilen deney kriterlerini sağlayan ve sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanmış malzemenin, yeterli alttemel tabakası üzerine optimum su muhtevası verilerek bir veya birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşan tabakadır.

Bağlayıcı içermeyen bu tip temelde, tabakanın trafik yükleri altında en az deformasyona uğraması için yüksek stabiliteye sahip olması gerekir. Tabakanın stabilitesi, kullanılan malzemenin dane şekline, dane boyutu dağılımına izafi yoğunluğuna ve daneler arası içsel sürtünmeye bağlı olarak değişmektedir.

b-) PLENTS-MİKS KIRMATAŞ TEMEL TABAKASI

Plents-miks kırmataş temel tabakası, kaba ve ince agregalar olmak üzere en az iki ayrı dane boyutu grubundaki malzemenin verilen limitler dahilinde sürekli gradasyon verecek şekilde, optimum su içeriğinde stabilizasyon plentlerinde karıştırılması ve finişerle yeterli alttemel üzerine serilmesiyle elde edilir.

c) PENETRASYON MAKADAM TEMEL :

Penetrasyon makadam temel tabakası düşük trafikli yollarda uygulanabilecek temel seçeneklerinden biridir. Bu tip temel tabakası, serilip sıkıştırılmış kaba agregalar üzerine ince agreganın serilip sıkıştırılarak kaba agreganın boşluklarınının doldurulması ilkesine dayanır. İnce agreganın serilmesinden önce kaba agregalar üzerine yüksek penetrasyonlu (TS-100, 120-150) sıcak asfalt çimentosu uygulanır. Kaba agreganın yüzey boşlukları dolduktan sonra yüzey, sıcak asfalt çimentosu ve ince agregalar uygulanarak kaplanır. Penetrasyon makadam temel tabakası açık gradasyonlu bir temel tipi olduğundan trafik altında sıkışma beklenmelidir. Penetrasyon makadam temel tabakası sıkışmadan sonraki kalınlığı minimum 7,5 cm. olacak şekilde inşa edilmelidir.

d-) ASFALTLI MAKADAM TEMEL

Asfaltlı makadam temel tabakası düşük trafikli

yollarda, bir bitümlü aşınma tabakası altında kullanılabilecek temel tipidir. Yüksek penetrasyonlu (75-100, 150-200, 200-300.) asfalt çimentosu ile karıştırılmış kaba agreganın bir veya birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasından sonra yüzeydeki boşlukların asfalt çimentosu ve ince agregaya ile doldurulması şeklinde inşa edilirler. Her bir tabakanın kalınlığı maksimum dane boyutunun 1,5 katından az 3 katından çok olmamalıdır. Asfaltlı makadam temel tabakası da açık gradasyonlu bir temel tipi olup trafik yükleri altında sıkışır.

e) SICAK KARIŞIM BITÜMLÜ TEMEL(SICAK BITÜMLÜ TEMEL)

Sıcak bitümlü temel, belli gradasyon limitleri içinde kırılmış kaba agregaya ile ince agreganın plentte sıcak bitümlü bağlayıcı ile karıştırılması ile elde edilir. Agregaya, ince ve kaba olmak üzere iki tip malzemenin karışımıyla elde edildiğinden, sürekli bir gradasyona sahiptir. Bu nedenle üstyapıda kaplamaya iyi bir temel teşkil ettiği gibi, granüller temel ve alt temele gelen yükler büyük ölçüde azaltılır. Bu nedenle özellikle orta ve yüksek trafikli yollarda, kaplama ile granüler temel arasında minimum kalınlığı maksimum dane boyutunun 1,5 katından az olmamak şartı ile bir veya birden fazla tabakalar halinde inşa edilerek kullanılır.

f) ÇİMENTOLU TEMELLER

Çimentolu temeller, çimento ile zemin stabilizasyonu, çimento bağlayıcılı granüler temel ve zayıf beton olmak üzere üç tipte incelenir. Çimento ile zemin stabilizasyonu üst yapılarda genellikle alttemel olarak kullanılırlar. Çimento bağlayıcılı granüler temel ise yüksek ve çok yüksek trafikli yollarda kullanılan bir üstyapı temel tipidir. En az iki ayrı dane boyutu grubundaki agreganın sürekli gradasyon verecek şekilde ve yeterli oranda çimento ile plentte karıştırılıp, serici ile serilmesiyle inşa edilir. Çimento bağlayıcı granüler temelde 7 günlük basınç mukavemeti 150 mm. küp için $35,0 \text{ kg/cm}^2$ yükseklik-çap oranı 2/1 olan silindir için $28,0 \text{ kg/cm}^2$ olmalıdır.

Zayıf beton ise beton kavramı içinde incelenir ve normalbeton plentlerinde imal edilip serici ile serilir.

28 günlük küp mukavemeti 100 kg/cm^2 'den küçük olmamalıdır.

I.2.2.3 KAPLAMA TABAKASI

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalara göre daha bir elastisite modülüne sahip olmalıdır.

Kaplama tabakası yol altyapısını çevre ve iklim şartları ile suyun olumsuz etkilerinden koruduğu gibi, seyahat edenler açısından konforu sağlayan tabakadır. Dolayısıyla kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yolun direnci artacağı gibi, temel tabakasına iletilen basınç ve kayma gerilmeleri azalır.

Yollarda kaplama tabakası olarak kullanılan bitümlü kaplama tipleri yapım ve çalışma ilkeleri birbirinden oldukça farklı olarak iki tipe ayrılırlar.

A- Yüzeysel (sathi) Kaplamalar

B- Bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamalar

A- YÜZEYSEL (SATHI) KAPLAMALAR

Yüzeysel kaplama, yol yüzeyine ince bir film halinde asfalt veya katran sermek ve sonra bunun üstünü tabaka halinde agrega ile örtmek suretiyle yapılan bir kaplama şeklidir. Yüzeysel kaplamaların maliyetleri düşük olup, yapımlarında kolaydır.

Yüzeysel kaplamalar 3 gruba ayrılırlar.

- Bir tabaka bitümlü yüzeysel kaplama
- İki tabaka bitümlü yüzeysel kaplama
- Bir veya birkaç tabaka bitümlü koruyucu yüzeysel kaplama (Seal-Coat)

Yukarıdaki şekilde 3 grupta incelenebilen yüzeysel kaplamaların ömür ve kaliteleri kullanılan bağlayıcı ve agreganın özelliklerine, çevre ve trafik koşulları ile yapım sırasındaki malzemelerin uygulanmasına bağlı olarak değişirler.

A.1) BİR TABAKA BİTÜMLÜ YÜZEYSEL (SATHI) KAPLAMA

Bir tabaka bitümlü yüzeysel (sathi) kaplama yapımı

dört aşamada gerçekleştirilir. Önce mevcut yol yüzeyi kaplama tabakası yapılmasına hazır hale getirilir. Sonra bir yüzey üzerine astar tabakası serilip üzerine esas bitümlü bağlayıcı tabaka tatbik edilerek bunun üzerinede mineral agregadan oluşan örtü tabakası serilip sıkıştırıldıktan sonra istenen kaplama tabakası ve uygun yuvarlanma yüzeyi elde edilmiş olur.

A.2) İKİ TABAKA BİTÜMLÜ YÜZEYSEL KAPLAMA

İki tabakalı bitümlü yüzeysel kaplama yapımı bir tabakalı kaplamaya benzer olup ilave olarak A.1'de anlatılan işlemlerden sonra mevcut yüzeye bir tabaka daha bitümlü bağlayıcı ve agregada serilip sıkıştırılarak elde edilirler.

A.3) BİR VEYA BİRKAÇ TABAKA BİTÜMLÜ KORUYUCU YÜZEYSEL KAPLAMA (SEAL-COAT)

Bu tip koruyucu yüzeysel kaplamalar, mevcut herhangi tipte kaplama veya bitümlü bir temel tabakası üzerine yalnız bitümlü bağlayıcı veya bitümlü bağlayıcı ve agregadan oluşan bir koruyucu tabakanın uygulanması ile elde edilir. 1/2 inçten daha az kalınlıkta yapılması gereken koruyucu yüzeysel kaplamanın amacı yolu hava ve nem etkilerinden korumak, eski ve kuru yol yüzeylerini yenilemek veya kayganlaşmış eski yol yüzeyleri üzerinde kaygan olmayan yeni bir tabaka oluşturmaktır.

B- BİTÜMLÜ KARIŞIMLARLA OLUŞTURULAN KAPLAMALAR

Bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamaları başlıca 3 kategoride incelemek mümkündür. Bunlar

- Yerinde karıştırılmış (Road-Mix) hafif bitümlü kaplamalar

- Makina ile karıştırılmış (Plent-Mix) sıcak karışımli hafif bitümlü kaplamalar

- Asfalt Betonu (Beton asfalt) kaplamalar

sözü edilen bu kaplama tiplerini kısa başlıklarla inceleyelim.

B-1) YERİNDE KARIŞTIRILMIŞ (ROAD-MIX) HAFİF BİTÜMLÜ KAPLAMALAR

Bu tip kaplamalar, yeterli kalınlıktaki stabilize veya makadam temeller üzerine yapılan soğuk karışımli bir

aşınma tabakasıdır. Yerinde karıştırma kaplamalar maliyet yönünden orta pahalılıkta olup, orta ağırlıkta trafik koşulları için idealdir. Karışımın hazırlanması kaba agrega, ince agrega, filler ve bağlayıcının yol üzerinde greyder veya karıştırıcı makina ile yapılır ve serilerek sıkıştırılır.

B.2) MAKİNA İLE KARIŞTIRILMIŞ (PLANT-MIX) SICAK KARIŞIMLI HAFİF BİTÜMLÜ KAPLAMALAR

Makina ile karıştırılmış bitümlü kaplamaların, yerinde karıştırılmış kaplamalardan farkı, mineral agrega ile bitümlü malzemenin uygun bir karıştırma aletinde iyice karıştırılması ve yola serilmesidir. Daha çok ikinci sınıf devlet karayollarında kullanılır.

B.3) ASFALT BETONU (BETON ASFALT) KAPLAMALAR

Asfalt betonu kaplama, kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belirli granülometri limitleri arasında işyeri karışım formülü esaslarına uygun olarak bitümlü bir bağlayıcı ile bir plentte sıcak olarak karıştırılması ile elde edilir. En gelişmiş kaplama tipi olan beton asfalt kaplamalar otoyollarda ve havaalanı pistlerinde kullanılmakta olup, her çeşit iklim koşullarında uygulanabilir. Beton asfalt kaplamalar yeterli sağlamlıktaki temeller veya diğer bitümlü kaplamalar ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak tatbik edilir. Asfalt betonu genel anlamı ile aşınma ve birder tabakalarından oluşur.

Günlük ticari taşıt sayısı çift yönde 500'den büyük veya proje ömür süresi içinde toplam standart dingil sayısı 3×10^6 'dan fazla olan yollarda kaplama olarak asfalt betonu kullanılmalıdır.

13- ESNEK ÜSTYAPILARIN PROJELENDİRME YÖNTEMLERİ

Bir esnek üstyapının yük taşıma kapasitesi, sistemi oluşturan tabakaların üstyapı direncine katkısı ve yükü yayabilme özelliklerine bağlıdır. İyi projelendirilmiş bir üstyapıda tabakalar tarafından yayılan yük, tabana ulaştığında, tabanın büyük deformasyonlara maruz kalmadan taşıyabileceği bir düzeye düşürülmüş olur.

Esnek bir yol üstyapısına etkiyen faktörler şunlardır.

- Trafik hacmi
- Dingil yükü
- Dingil yüklerinin tekrar sayısı
- Taban zeminin taşıma gücü ve suya hassasiyeti
- Üstyapının alttemel, temel ve kaplama tabakalarında kullanılan çeşitli malzemelerin mekanik özellikleri
- Yoldan beklenen hizmetin kalitesi
- Yolun ekonomik hizmet ömrü
- Yolun yapıldığı yerin iklimi ve bölgesel koşullar

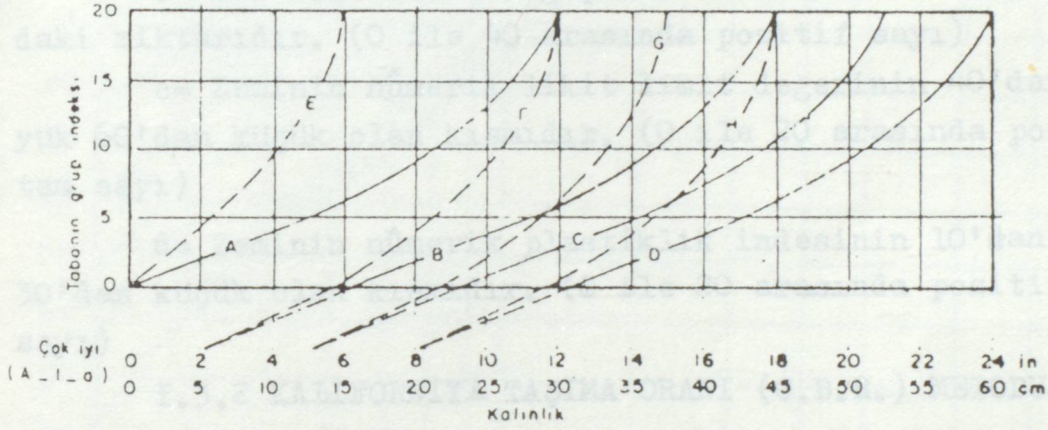
Üstyapıda tabakaları oluşturan malzemeler değişik özelliklere sahiptir. Alttemel ve temel tabakalarında granüler malzemeler kullanılırken, kaplama tabakasında, özellikleri sıcaklığa ve yükleme hızına bağlı olan, viskoelastik davranış gösteren bitümlü karışımlar kullanılmaktadır. Trafikle ilgili faktörlerde çok sayıdadır. Yani bir projelendirme esnasında değerlendirilecek çok sayıdaki etken birçok değişken faktöre bağlıdır. Değişik ülkelerde çeşitli projelendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Ülkemizde ise Karayolları Genel Müdürlüğü'nde esnek üstyapıların projelendirilmesinde bir çok ülkede olduğu gibi AASHO yöntemi kullanılmaktadır. Burada başlıca kullanılan yöntemleri özetleyip daha sonra AASHO yöntemi ile tabakalı sistem hesap yönteminin karşılaştırılması yapılacaktır.

I.3.1 GRUP İNDEKSİ METODU :

1945 yılında Amerikalı Mühendis STEELE tarafından geliştirilen bu metotta zemin direncine göre üstyapı tayin edilmektedir. Zeminin direnci ise Grup İndeksi (GI) ile ölçülmektedir. Ayrıca trafik durumunda dikkate alınarak hazırlanmış olan abaklardan malzeme kalınlığı bulunur. (Şekil I.1) Eğer temel ve alttemelin yeteri kadar sıkıştırıldığı kabul edilirse, üstyapı kalınlığının tayin edecek en önemli etken tabanın direnci olacaktır. Tabanı oluşturan zeminin direnci ise:

- a) Zeminin nem oranına,
- b) Zeminin kuru yoğunluğuna,

Tabanın genel değerlendirilme sınıfı	Tabanın grup İndeksal bölgesi	Günlük toplam ticari trafik hacmi			Kaplama ve temel kalınlığı, kamyon trafiğine bağlıdır
		Hafif (< 50)	Orta (50 ila 300)	Ağır (> 300)	
İyi	0 - 1	6" = 15 cm	9" = 22.5	12" = 30 cm	2"
Orta	2 - 4	4"	4"	4"	4"
Zayıf	5 - 9	8"	8"	8"	10cm
Çok zayıf	10 - 20	12"	12"	12" = 30 cm	20cm



Şekil. I-1 Grup İndeksi değerleri yardımı ile üstyapı kalınlıklarını veren abaklar

- A eğrisi : Seçme malzemelerden inşa edilen alttemelin kalınlığı
- B eğrisi : Hafif trafik için kaplama, temel ve alttemelin toplam kalınlığı
- C eğrisi : Orta trafik için kaplama, temel ve alttemelin toplam kalınlığı
- D eğrisi : Ağır trafik için kaplama, temel ve alttemelin toplam kalınlığı
- E eğrisi : A eğrisinden bulunan alttemel yerine ikame edilebilecek ilave temel kalınlığı
- F eğrisi : Hafif trafik için kaplama ve temelin toplam kalınlığı (alttemel yoktur)
- G eğrisi : Orta trafik için kaplama ve temelin toplam kalınlığı (alttemel yoktur)
- H eğrisi : Ağır trafik için kaplama ve temelin toplam kalınlığı (alttemel yoktur)

c) Zeminin yapısına, bağlıdır.

İlk iki madde, tabanın iyi drenajı ve sıkıştırılma ile kontrol altına alınabileceğine göre, zemin direnci yalnızca zeminin yapısına bağlı olacaktır. Bu düşünceler metodun esasını oluşturmaktadır. Zeminin yapısı grup indeksi ile ölçülmektedir. Grup indeksi aşağıdaki formül ile hesap edilir.

$$GI = 0,2(a) + 0,005(a.c) = 0,01 (b.d)$$

formülde kullanılan notasyonlar ise,

a= Taban zemininin 200 nolu elekten geçen kısmının %35'ten büyük, %75'ten küçük olan miktarıdır. (0 ile 40 arasında bir pozitif sayı)

b= 200 Nolu elekten geçen zeminin %15 ile %55 arasındaki miktarıdır. (0 ile 40 arasında pozitif sayı)

c= Zeminin nümerik likit limit değerinin 40'dan büyük 60'dan küçük olan kısmıdır. (0 ile 20 arasında pozitif tam sayı)

d= Zeminin nümerik plastiklik indisinin 10'dan büyük, 30'dan küçük olan kısmıdır. (0 ile 20 arasında pozitif tam sayı)

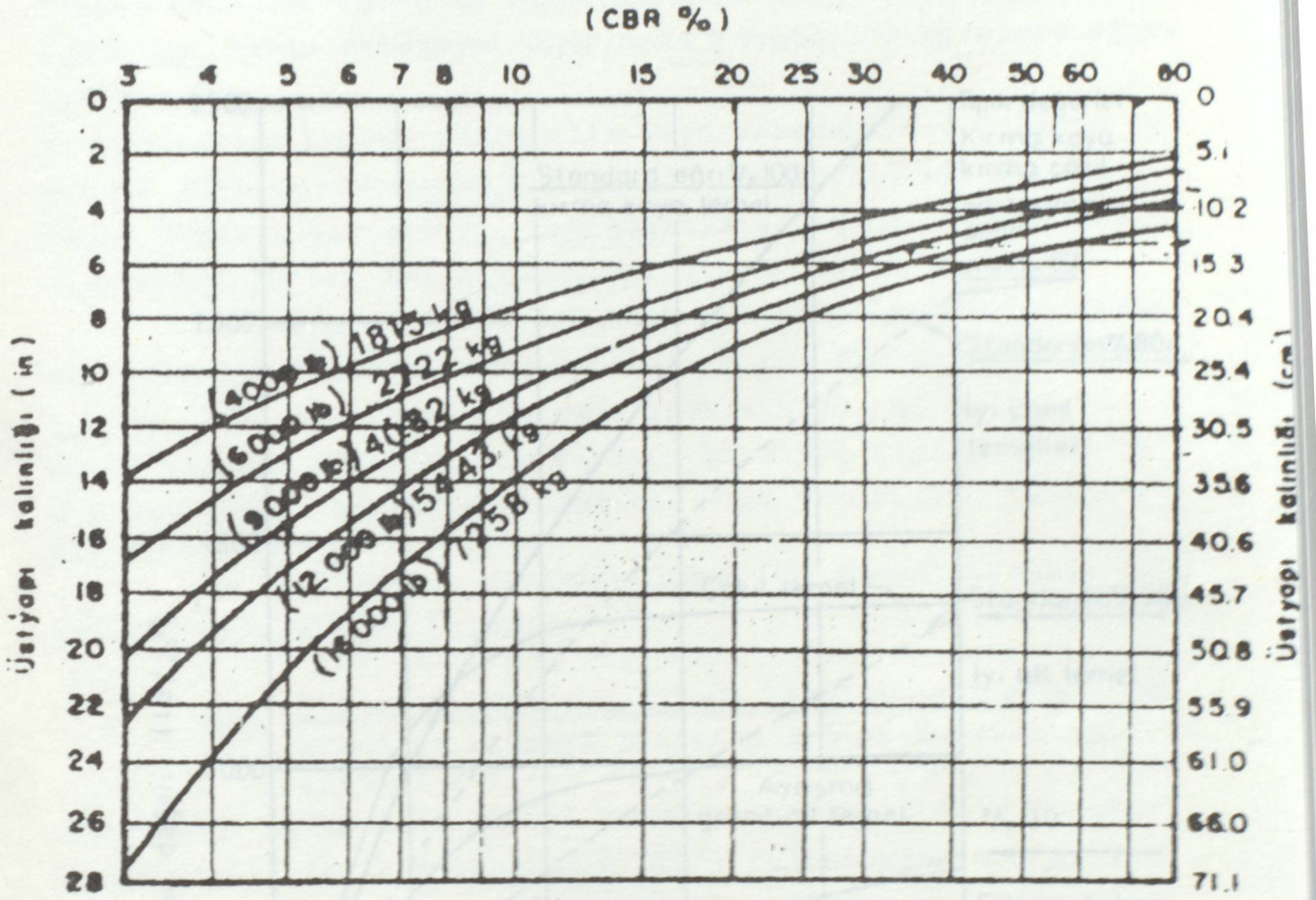
I.3.2 KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI (C.B.R.) METODU

Bu metod 1930'larda O.J. Porter tarafından geliştirilmiştir. Önce havaalanı pistlerinin hesabında kullanılan CBR metodu, daha sonra yapılan bazı değişiklikler ile yol üstyapıları içinde kullanılmaya başlanmıştır.

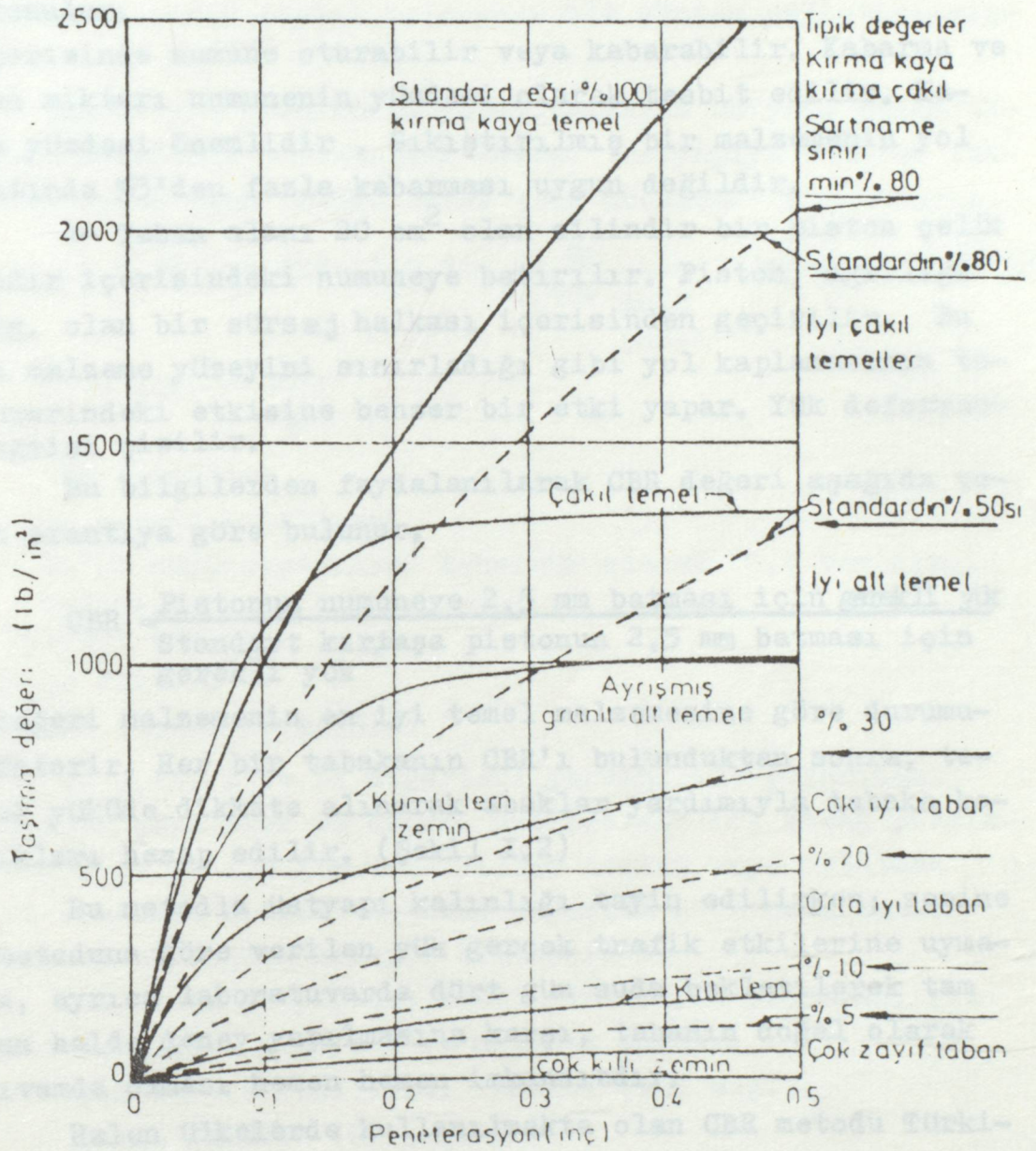
Yük deformasyon eğrisi deneyle belirlendikten sonra CBR değeri tesbit edilir. Taşıtın tekerlek yükü ve bir diyagramdan faydalanılarak üstyapı kalınlıkları tayin edilir. Taban, alttemel ve temel malzemeleri üzerinde CBR deneyi uygulanır. Kaliforniya taşıma oranı deneyi aşağıdaki sıraya göre yapılır.

1- Yaklaşık 4 kg. ağırlığında değişik su muhtevasında olan numuneler, 15 cm çapında 20 cm yüksekliğinde çelik silindirlere içerisinde 140 kg/cm^2 yük ile sıkıştırılır. Elde edilen numunenin yüksekliği 10 cm kadar olmaktadır.

2- Bu numunelerin herbirine ait yoğunluk, su muhtevası



Şekil 1-2 CBR Metodu ile üstyapı kalınlık hesap eğrileri.



Şekil : I.3 CBR metodu ile incelenen çeşitli zeminlerde Yük-Deformasyon eğrileri.

eğrisi çizilerek maksimum yoğunluk değeri bulunur.

3- Çelik kalıpla birlikte bu numune dört gün su içerisinde konulur. Temel ve alttemel malzemesinin üzerine 2 adet 2,250 kg. taban malzemesi üzerinde 5 adet 2,250 kg ilave ağırlık konulur.

Su içerisinde numune oturabilir veya kabarmabilir. Kabarma ve oturma miktarı numunenin yüzdesi olarak tesbit edilir. Kabarma yüzdesi önemlidir. Sıkıştırılmış bir malzemenin yol inşaatında %3'den fazla kabarması uygun değildir.

4- Taban alanı 20 cm^2 olan silindirik bir piston çelik silindir içerisindeki numuneye batırılır. Piston, ağırlığı 4,5 kg. olan bir sürsaj halkası içerisinde geçirilir. Bu halka malzeme yüzeyini sınırladığı gibi yol kaplamasının temel üzerindeki etkisine benzer bir etki yapar. Yük deformasyon eğrisi çizilir.

Bu bilgilerden faydalanılarak CBR değeri aşağıda verilen orantıya göre bulunur.

$$\text{CBR} = \frac{\text{Pistonun numuneye } 2,5 \text{ mm batması için gerekli yük}}{\text{Standart kırtaşa pistonun } 2,5 \text{ mm batması için gerekli yük}}$$

CBR değeri malzemenin en iyi temel malzemesine göre durumunu gösterir. Her bir tabakanın CBR'ı bulunduğundan sonra, tekerlek yüküde dikkate alınarak abaklar yardımıyla tabaka kalınlıkları hesap edilir. (Şekil I.2)

Bu metodla üstyapı kalınlığı tayin edilirken; zemine CBR metoduna göre verilen yük gerçek trafik etkilerine uymakta, ayrıca laboratuvarında dört gün suda bekletilerek tam doygun halde deney yapılmasına karşı, tabanın doğal olarak bu kıvamda olması hemen hemen imkansızdır.

Halen ülkelere kullanılmakta olan CBR metodu Türkiye'de terk edilmiştir.

I.3.3. AASHO METODU :

(Karayolları Genel Müdürlüğü'nce Uygulanan Metod)

Amerikada Illinois eyaletinin Ottawa kentinde inşa edilen AASHO deneme yolunun yapımı 1956 yılında başlamış ve 1958 yılında tamamlanmıştır. Altı bölümden oluşan bu yolda

tek ve çift dingilli vasıtalar ile 910 kg 21800 kg arasında değişen çeşitli yükler günde 15 saat, haftada 6 gün olmak üzere 2 yıl boyunca uygulanmış ve üstyapı sürekli olarak incelenmiştir. Ölçmeler bilgisayarda değerlendirilmiş ve üst yapı kalınlığının tayini için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

AASHO yol deneyinden yararlanılarak üstyapı kalınlıklarının hesabında kullanılmak üzere, üstyapıya etkiyen faktörleri içine alan "AASHO Deney yolu denklemi" kurulmuştur.

$$\log T_{8,2} = 9,36 \log (SN+1) - 0,20 + \frac{5t}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,9}}} + \log \frac{1}{R} + 0,372(S-30)$$

$$Gt = \log \left(\frac{4,2 - Pt}{4,2 - 1,5} \right)$$

Bu formülde;

Pt = Son servis kabiliyeti

$T_{8,2}$ = Pt'ye düşünceye kadar tekerrür edecek (8,2 ton) dingil sayısı.

SN = Üstyapı sayısı

R = Bölge faktörü

Si = Zemin taşıma değeridir.

$T_{8,2}$, Pt, R ve Si değerleri yardımı ile yukarıdaki denklemler çözülerek SN değeri hesaplanabilir. Ancak pratikte Pt=2,0 ve Pt=2,5 ile t=20 yıllık toplam veya ortalama günlük standart dingil tekerrür sayısına göre hazırlanan abaklardan SN değeri kolayca bulunabilir.

Bir esnek üstyapının AASHO yöntemiyle projelendirilmesinde aşağıdaki sıraya göre hareket edilir.

- Son servis kabiliyeti indeksi (Pt) seçilir.
- Bölge faktörü (R) seçilir.
- Taban zemininin Si (veya CBR) değeri saptanır.
- Proje trafiği hesaplanır.
- Pt, Si, R ve proje trafiği değerlerine karşılıklıdan üstyapı sayısı (SN) ilgili abaktan bulunur.
- Üstyapı kompozisyonu, üstyapı tabakalarında kullanılacak malzeme cinsleri seçilir.

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

D_1, D_2, D_3 = sırasıyla kaplama, temel ve alttemel tabakalarının kalınlıkları (cm), olduğuna göre

$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$ eşitliğinden yararlanarak üstyapıdaki tabakaların kalınlıkları hesaplanır.

Şimdi hesaplamalar sırasında kullanılan kriterleri tek tek ele alarak, inceleyelim.

I.3.3.1 SON SERVİS KABİLİYETİ İNDEKSİ (Pt):

Bir üstyapının servis kabiliyeti yüksek hız ve hacimdeki trafiğe hizmet edebilme kabiliyeti olarak tanımlanır. Mevcut servis kabiliyeti derecesi (PSR) diye isimlendirilmektedir. Servis kabiliyeti derecesi 0 ile 5 arasında değişen bir sayı ile ifade edilir. Burada 5 değeri en yüksek, 0 değeri ise en düşük servis kabiliyeti indeksini gösterir. Son servis kabiliyeti (Pt) yolun standardına ve trafiğe bağlı olarak seçilir. Otoyolları, expres yollar ve devlet yollarında 2,5, il yollarında ise 2,0 olarak alınır.

I.3.3.2 BÖLGE FAKTÖRÜ (R):

Çevre ve iklim koşulları, üstyapı projelendirilmesinde dikkate alınması gereken önemli bir konudur. AASHO yol deneyinin en önemli eksikliklerinden birisi, çok çeşitli yapısal farklılıklar gösteren üstyapıların değişik trafik yükleri ve sayıları karşısında davranışlarının incelenmesine karşın, tek bir çevre ve belirli iklim koşullarında yapılmış olmasıdır. AASHO yol deneyinin yapıldığı bölge yıllık ortalama yağışı 860 mm, ortalama yaz sıcaklığı 24°C , ortalama kış sıcaklığı -3°C , don derinliği 70 cm. olan bir iklime sahiptir. Yol deneyinin yapıldığı bu şartlara benzerliğin yanı sıra, topoğrafik yapı, yağış, don derinliği, ısı, yer altı su seviyesi, drenaj v.s gibi etkenlerde göz önüne alınarak bölge faktörü (R) değeri seçilebilir. Örnek olarak belirli tip koşullar için aşağıdaki değerler alınır.

	<u>R</u>
Donmuş taban zemini (12,5cm. veya daha derin)	= 0,2-1,0
Kuru taban zemini (Yazın ve sonbaharda)	= 0,3-1,5
Doygun taban zemini (İlkbaharda don çözülmesi)	= 4,0-5,0

yapılan araştırmalarda ÷lkemiz için aşağıdaki kriterlere göre bölge faktörü seçiminin uygun olacağı belirlenmiştir.

a) Yağışsız, yılın çok önemli bir bölümünde toprak kurak veya katı şekilde donmuş olan bölgeler için bölge faktörü: 0,5

b) Yazları kurak, ilkbahar, kış başlangıcı ve kışları normal yağışlı, toprak yazın ve sonbaharda kuru ve kısa süre için 10 cm. derinliğe kadar don olan bölgeler için bölge faktörü 0,5-1,0

c) Yılın önemli bir bölümü yağışlı, don olayı etkili don derinliği 10 cm. ile 40 cm. arasında olan bölgeler için bölge faktörü : 1,0 -1,5

d) Toprak yılın önemli bir bölümünde suya doygun, yazları hariç diğer mevsimler çok yağışlı, donma-çözölme periyotları sık, don derinliği 40 cm'den fazla olan bölgeler için bölge faktörü 1,5-2,0 olarak alınmalıdır.

I.3.3.3 TABAN ZEMİNİNİN TAşIMA DEĞERİ (Si veya CBR)

Taban zemininin üstyapı projelendirilmesinde esas olan taşıma gücü, CBR değeri ile tanımlanır. CBR değeri dinamik yaş CBR deneyi (ASTM-D 1883) ile bulunur. Yapılacak CBR deneyleri sonunda proje CBR deneyi aşağıdaki şekilde hesaplanır. Si ile CBR ilişkisi şekil I.4'te gösterilmiştir.

a)Yol güzergahındaki her değışik taban kesimi için yeterli sayıda CBR deneyi yapılır.

b) Bilinen toplam eşdeğer standart dingil tekerrür sayısı ($T_{8,2}$) yardımcı ile taban zemini proje emniyet yüzdesi Tablo I.2 'dan seçilir.

TABLO I.2 $T_{8,2}$ 'ye BAĞLI OLARAK TABAN Z. EMNİYET YÜZDESİ	
TOPLAM EŞDEĞER DİNGİL YÜKÜ SAYISI ($T_{8,2}$)	TABAN ZEMİNİ PROJE EMNİYET YÜZDESİ
$T_{8,2} < 10^4$	60
$10^4 < T_{8,2} < 10^6$	75
$T_{8,2} > 10^6$	90

b) Ölçülen CBR değerleri birbirinden büyük olanlar ve herbirinden büyük olanlar.

d) Bulunan değerler grafik kağıdına işlenir.

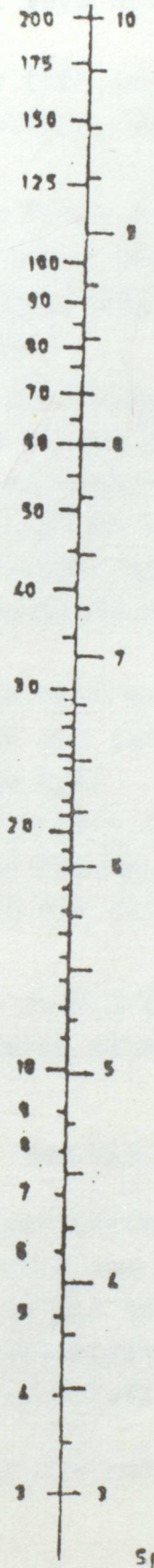
e) Bu eğri ...
proje maniyet ...
1.3.3.4 ...

Trafik ...
yolun ...
bulunan ...
değerleri ...
trafik ...
her ...

Her ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...

Her ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...

Her ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...
trafik ...



Şekil : I.4

c) Ölçülen CBR değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve herbirinden büyük veya eşit CBR sayısı yüzdesi bulunur.

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

e) Bu eğri üzerinde Tablo I.2'den seçilecek uygun - proje emniyet %'si yardımıyla proje CBR değeri seçilir.

I.3.3.4 EŞDEĞER DİNGİL YÜKÜ (STANDART DİNGİL TEKERÜRÜ SAYISI)

Toplam eşdeğer standart dingil yükü tatbik sayısı, yolun hizmete açılmasından hizmet kabiliyeti indeksinin seçilen değere düşeceği zamana kadar hesap şeridinin taşıyacağı umulan toplam trafiktir. Yolun hizmete açıldığındaki ilk trafik ile trafik analiz süresi sonundaki son trafik değerleri yardımıyla üstyapı hesabında dikkate alınacak olan proje trafiği hesaplanır.

Her bir trafik grubu için belirlenen trafik sayıları taşıt eşdeğerlik faktörleri ile çarpılarak eşdeğer dingil sayısına dönüştürülür. (Tablo I.6)

İlk yıl için günlük trafik (t_0) ve trafik artış katsayısı (r) belli ise (t) sene sonraki trafik

$t_t = t_0 (1+r)^t$ formülü ile bulunur. ($1+r$)^t değerleri Tablo I.3'dedir.

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

$$t_p = 0,4343 \frac{t_t - t_0}{\log \frac{t}{t_0}} \text{ formülü ile bulunur.}$$

Yoldan proje süresince geçecek toplam trafik (T_p) ise

$$T_p = t_p \times 365 \times t \text{ formülü ile bulunabilir.}$$

T_p 'nin proje süresi (t), ilk yıl toplam trafiği (T_0) ve yıllık trafik artış yüzdesi yardımıyla bulunmasına yarayan (f) katsayıları Tablo I.4'de verilmiştir. Bu katsayı yardımıyla

$$T_0 = t_0 \times 365$$

$$T_p = f \times T_0 \text{ formülleri ile bulunur.}$$

$(1+r)^t$ DEĞERLERİ

t yıl $(1+r)$	2	3	4	5	10	15	20	21	22	23	24	25
1.01	1.0201	1.0303	1.0406	1.0510	1.1046	1.1610	1.2202	1.2324	1.2447	1.2571	1.2617	1.2824
1.02	1.0404	1.0612	1.0824	1.1041	1.2190	1.3458	1.4859	1.5157	1.5460	1.5769	1.6084	1.6406
1.03	1.0609	1.0927	1.1255	1.1591	1.3439	1.5580	1.8061	1.8603	1.9161	1.9736	2.0328	2.0937
1.04	1.0816	1.1249	1.1699	1.2166	1.4802	1.8009	2.1911	2.2788	2.3699	2.4646	2.5633	2.6658
1.05	1.1025	1.1576	1.2155	1.2763	1.6289	2.0316	2.6533	2.7859	2.9252	3.0715	3.2250	3.3863
1.06	1.1236	1.1910	1.2625	1.3382	1.7939	2.3966	3.2072	3.3996	3.6036	3.8198	4.0490	4.2919
1.07	1.1449	1.2250	1.3108	1.4025	1.9672	2.7591	3.8697	4.1406	4.4304	4.7406	5.0724	5.4275
1.08	1.1664	1.2597	1.3605	1.4693	2.1589	3.1722	4.6610	5.0339	5.4366	5.8715	6.3413	6.8486
1.09	1.1881	1.2950	1.4116	1.5386	2.3673	3.6424	5.6043	6.1087	6.6564	7.2577	7.9109	8.6228
1.10	1.2100	1.3310	1.4641	1.6105	2.5938	4.1773	6.7276	7.4004	8.1404	8.9545	9.8499	10.8349
1.11	1.2321	1.3676	1.5181	1.6851	2.8394	4.7846	8.0623	8.9492	9.9336	11.0263	12.2392	13.58
1.12	1.2544	1.4049	1.5735	1.7623	3.1059	5.4736	9.6463	10.8038	12.1003	13.5523	15.1786	17.0000
1.13	1.2769	1.4429	1.6307	1.8423	3.3945	6.2542	11.5228	13.0208	14.7135	16.6262	18.7877	21.2300
1.14	1.2996	1.4815	1.6890	1.9254	3.7072	7.1380	13.7436	15.6677	14.8612	20.3617	23.2124	26.4621
1.15	1.3225	1.5209	1.7490	2.014	4.0456	8.1371	16.3667	18.8217	21.6449	24.8917	28.6255	32.9192

Tablo I.3.

Tablo I.4. Trafik Artış Katsayıları, (f)

Proje Süresi	YILLIK TRAFİK ARTIŞ YÜZDESİ								
	0	2	4	5	6	7	8	10	
1 yıl	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2 "	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10	2.11
3 "	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31	3.34
4 "	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64	4.68
5 "	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11	6.14
6 "	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72	7.75
7 "	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49	9.52
8 "	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44	11.47
9 "	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58	13.61
10 "	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94	15.97
11 "	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53	18.56
12 "	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38	21.41
13 "	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52	24.55
14 "	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97	28.00
15 "	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77	31.80
16 "	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95	35.98
17 "	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55	40.58
18 "	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60	45.63
19 "	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16	51.19
20 "	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28	57.31

Dingil eşdeğerlik faktörlerinin bulunmasında, tek dingil yüklerini, standart dingil (8,2 ton) sayısına dönüştürmek için

Tablo I.5. Dingil Eşdeğerlik Faktörleri

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

Dingil eşdeğerlik faktörlerinin bulunmasında, tek dingil yüklerini, standart dingil (8,2 ton) sayısına dönüştürmek için

$x = \left(\frac{P}{P_0}\right)^n$ üssel fonksiyonu kullanılır. n üssünün değeri $3,5^2$ ile 4,5 arasında değişmekte olup ülkemiz için 4,4 alınması uygun görülmüştür.

Bu değerler Tablo I.5'de verilmiştir.

Taşıt eşdeğerlik faktörlerinin bulunmasında lodometre çalışmasının mümkün olmadığı hallerde, değişik trafik kategorilerine göre 4 taşıt grubu için Tablo I.6'da verilen ortalama taşıt eşdeğerlik faktörleri kullanılabilir.

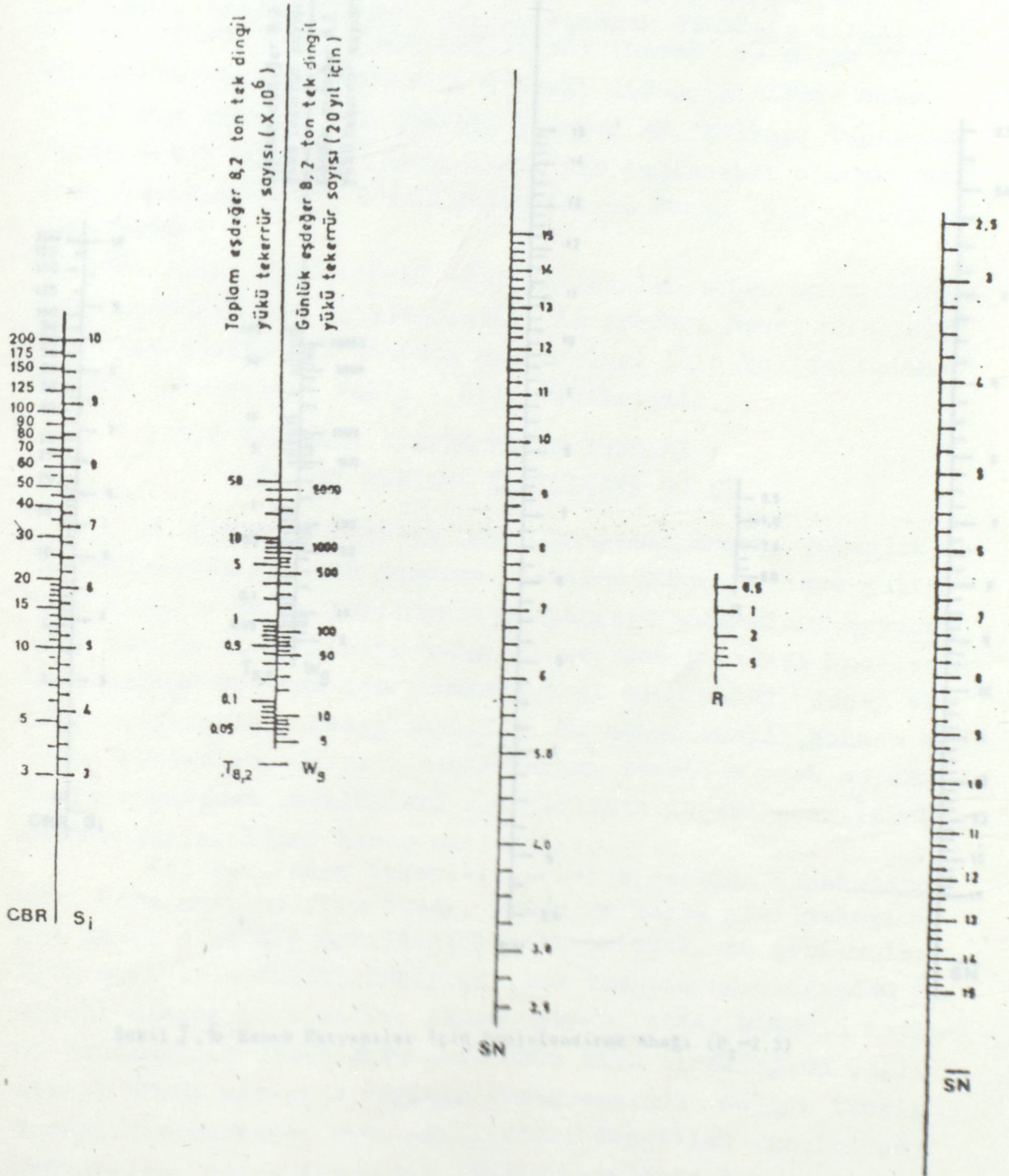
TABLO I. 6 TAŞIT EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ					
TRAFİK GRUBU	TRAFİK KATEGORİSİ				
	0-250	250-500	500-1500	1500-3000	3000
KAMYON	1,74	1,83	1,96	2,04	2,18
TREYLER	2,78	2,88	3,06	3,15	3,35
OTOBÜS	0,90	0,90	0,95	0,95	0,98
OTOMOBİL	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006

Yukarıda anlatılan şekilde hesaplanan eşdeğer dingil yükleri her iki yön için bütün şeritlerin taşıyacağı toplam trafiği ihtiva eder. Projelendirme amaçları için bu trafik yön ve şeritler itibariyle dağıtılmalıdır. Özel şartlar mevcut olmadıkça dağıtım her yöne trafiğin yarısının verilmesiyle yapılır. Yani yön dağıtım faktörü genellikle (1/2) olarak alınır. Bu katsayı ile yönlere dağıtım yapılan trafik değerinin tekrar bir katsayı ile çarpılarak ticari araçların bulunduğu şeridin trafiği, yani hesap şeridindeki trafiğin bulunması gerekir. Bunun için Tablo I.7'deki katsayıları kullanılır.

TABLO I.7 ŞERİT DAĞITMA FAKTÖRLERİ	
İKİ YÖNDEKİ ŞERİT SAYISI	ŞERİT DAĞITMA FAKTÖRÜ
2	1,00
4	0,90
6 veya daha çok	0,80

Tablo I.8 Tabaka Katsayıları

Tabaka Tipi	M.S (kg)	CBR %	β_7 kg/cm ²	a katsayısı
a) KAPLAMA TABAKASI :				
Asfalt-Betonu Aşınma	750-900			0.42-0.44
Asfalt Betonlu Binder	600-750			0.40-0.42
b) TEMEL TABAKASI :				
Penetrasyon mak.temel				
Asfaltlı makadam temel				
Bitümlü temel	400-500			0.32-0.34
Çimentolu temel			70	0.30
"			45-70	0.23
"			28-45	0.20
"			28	0.15
Zirilmiş çakıl veya kırmataş temel		90		0.14
Plent-Miks kırmataş temel		100		0.15
c) ALTTEMEL TABAKASI				
Bitümlü Stabilize edilmiş zemin				0.20
Kireç ile Stabilize edilmiş zemin			7	0.12
Çimento ile Stabilize edilmiş zemin			17.5	0.14
Kuh-çakıl alttemel		30		0.11



Şekil I. 5. Sınıf Üstyapılar İçin Projelendirme Abağı ($P_c=2.0$)

I.3.3.5 (SN) ÜSTYAPI SAYISI :

Daha önce anlatılan şekilde hesaplanan Pt, Si, R ve proje trafiği (EDY) değerlerine karşılık gelen (SN) üstyapı sayısı esnek üstyapılar için verilen projelendirme abağı yardımıyla bulunabilir. (Şekil.I.5,6) Üstyapı sayısı; verilen bir zemin taşıma değeri, toplam eşdeğer standart dingil yükü tekerrürü, son servis kabiliyeti indeksi ve bölge faktörü kombinezonu için gerekli üstyapı direncini ifade eden soyut bir sayıdır. Bu şekilde bulunan SN, üstyapı tabakalarının izafi mukavemet katsayıları ile bağlantılı olarak üst yapı kalınlıklarına dönüştürülecektir. Bunun için kullanılacak formül,

SN: $a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$ olup kullanılan notasyonlar konunun başlangıcında açıklanmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğünce inşa edilen yol üstyapı malzemeleri için kullanılacak tabaka katsayıları Tablo I.8'de verilmiştir.

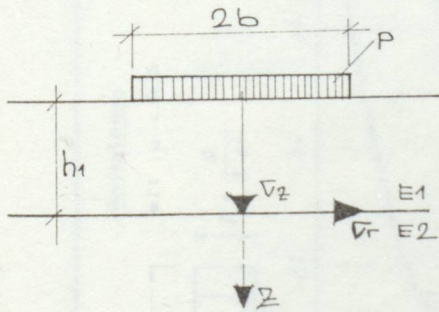
I.3.4 TABAKALI SİSTEM HESAP YÖNTEMİ : (GERÇEK GERİLME YAYILIŞINA GÖRE)

Bu sistemde yapılan hesaplamalarda aracın tekerlekleri vasıtasıyla kaplama üzerine iletilen yükün meydana getirdiği gerilme ve bu gerilmenin üstyapının tabakaları boyunca tabi zemine ulaşıncaya kadar ki gerilme yayılışı incelenir. Bu inceleme sonunda her tabakaya etki eden yatay, düşey ve kayma gerilmeleri hesaplanabilir. Bu hesaplamalar sonucu bulunan gerilmeler, üstyapı tabakalarını teşkil edecek malzemelerin mukavemet özellikleri ile birlikte değerlendirilerek tabaka kalınlıkları hesap edilebilir.

Yol üzerinden tekerlek geçisi sırasında tabakalara etki eden gerilmelerin düşey, yatay ve kayma gerilmeleri olmak üzere 3 sınıfa ayrıldığını belirtmiştik. Bu gerilmeleri ayrı ayrı incelersek: Düşey gerilme taşıtın ağırlığından dolayı oluşan gerilmedir. Esnek üstyapılarda, bitümlü kaplama tabakasının elastisite modülünün hava sıcaklığına bağlı olarak büyük miktarda değişim göstermesinden dolayı farklı sıcaklıklarda geçen aynı ağırlıktaki dingiller farklı düşey gerilmeleri neden olacaktır. Soğuk havalarda daha rijit davranan kaplama tabakası, daha fazla taşıma gücüne sahip

olacak ve alt tabakalara iletilen düşey gerilme azalacak, buna karşın sıcak havalarda alt tabakalara iletilen düşey gerilme büyüyecektir. Karayolu üstyapısına oluşan yatay gerilmelere ise taşıtın hızlanma ve frenleme anındaki tekerlek ile kaplama arasındaki sürtünme nedeniyle oluşan kuvvet neden olur. Yatay gerilmeler, düşey gerilmelerin aksine aksine sıcak havalarda kaplama tarafından büyük ölçüde sönmelenirken, soğuk havalarda rijit halde olan üstyapı tarafından alt tabakalara aktarılırlar. Bu nedenlerden dolayı tabakalı sistem hesap yöntemi ile üstyapı tabakalarının kalıkları hesaplanırken yatay gerilmelerin hesabında kaplama tabakasının kış aylarındaki elastisite modülü, düşey gerilmelerin hesabında ise yaz aylarındaki elastisite modülü dikkate alınır. Tabakalarda oluşan yatay ve düşey gerilmelerin değerlerinin farklı olması bir kayma gerilmesinin oluşumuna neden olur. Ki bu gerilme Boussinesg'e göre $\tau = \frac{1}{2} (\sigma_z - \sigma_r)$ 'e eşittir.

Bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda kullanılan formüllere bağlı olarak hazırlanan abaklar hesap kolaylığı sağlamaktadır. Biz burada gerilme hesabında kullanılan formülleri gösterelim,



Düşey gerilme;

$$\sigma_z = P \left[1 - \frac{h^3}{(b^2 + h^2)^{3/2}} \right] \text{ Boussinesq}$$

$$h^x = 0,9 \cdot h_1 \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} - \text{odemark}$$

Tabakaların tekrar sayısına bağlı max gerilmesi

$$\sigma_{\max} = \frac{0,0006 E_d n}{1 + 0,7 \log N}$$

yatay gerilme,

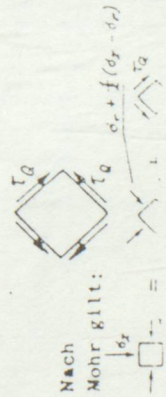
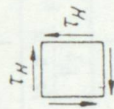
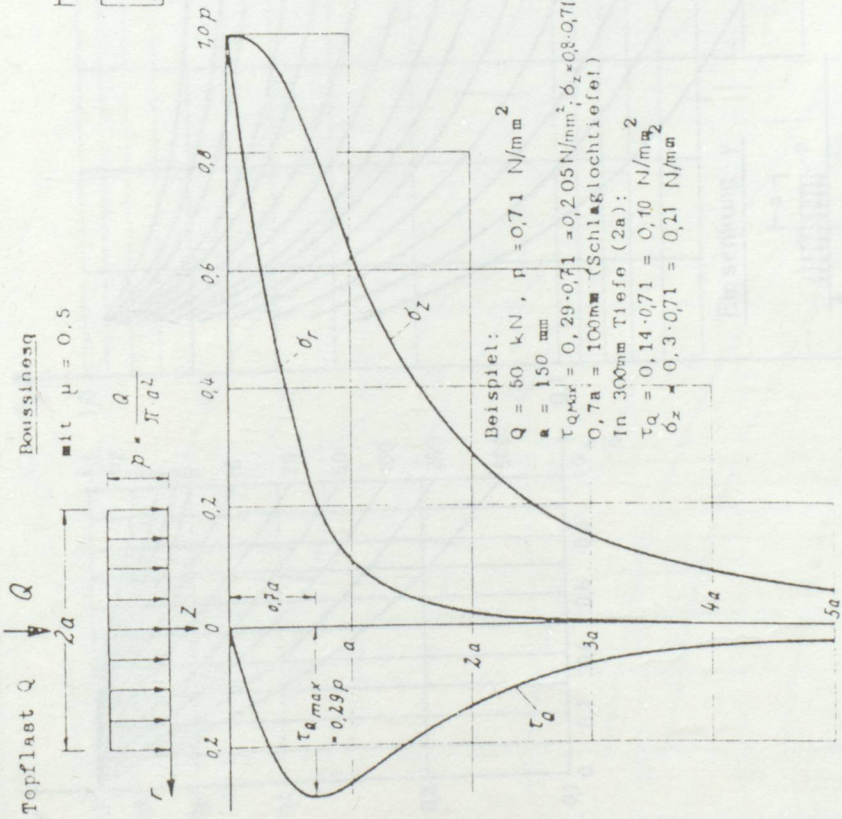
$$\sigma_r = \frac{0,275 Q}{h^2} (1 + \gamma) \left[\log \left(\frac{E \cdot h_1^3}{K \cdot a^4} \right) \right] - \text{Wastergood}$$

$$b < 1,74 h_1 \quad a = \sqrt{1,6b^2 + h_1^2} - 0,675 h_1$$

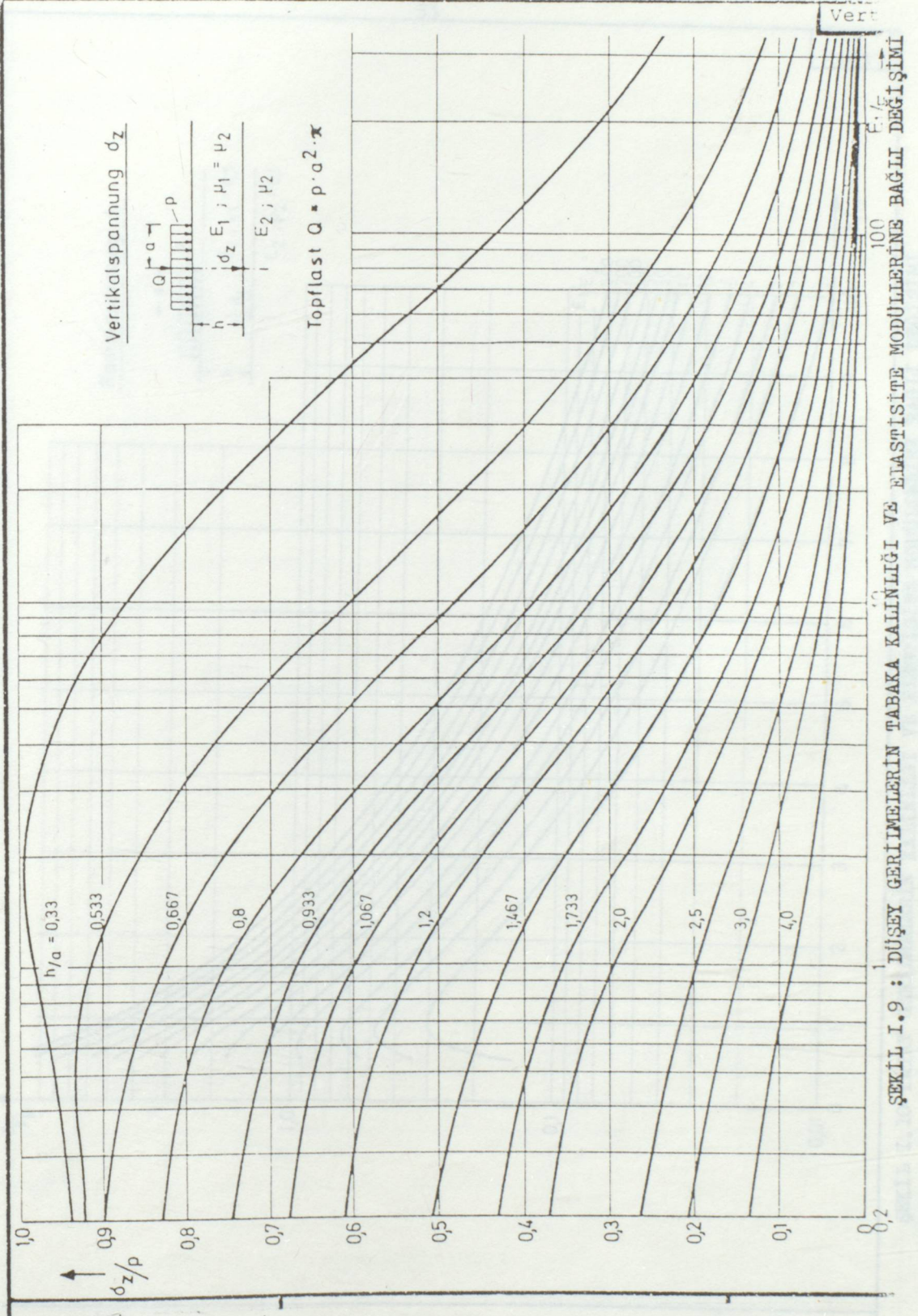
$$b > 1,724 h_1 \quad a = b$$

$$K = \frac{E_2}{h^x}, \quad h^x = 0,9 \cdot h_1 \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}}$$

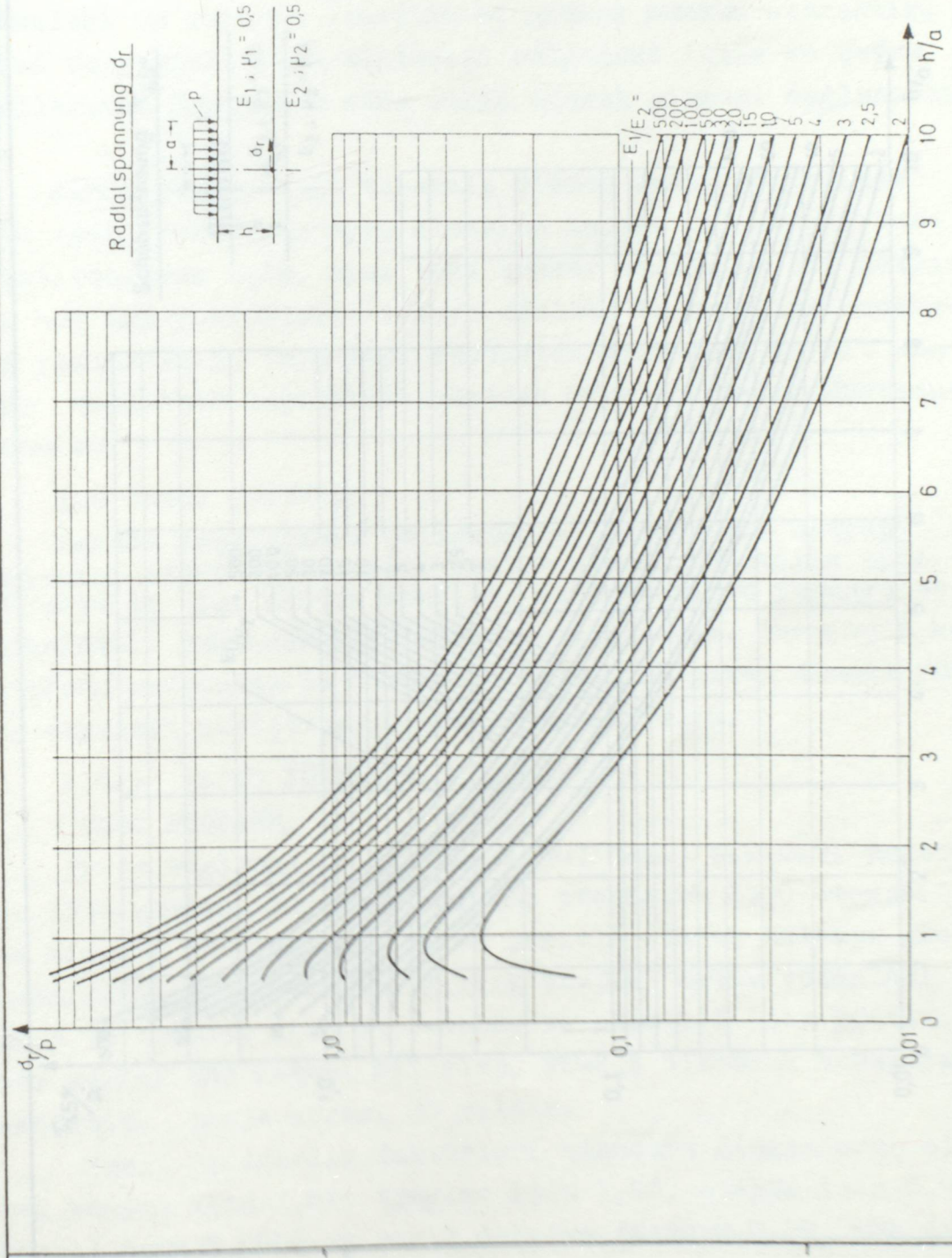
Cerutti (für Einzellast)



SEKIL 1.7: DINGIL YÜKÜNÜN TATBİK NOKTASINA GÖRE DAĞILIMI



ŞEKİL I.9 : DÜŞEY GERİLMELERİN TABAKA KALINLIĞI VE ELASTİSİTE MODÜLLERİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

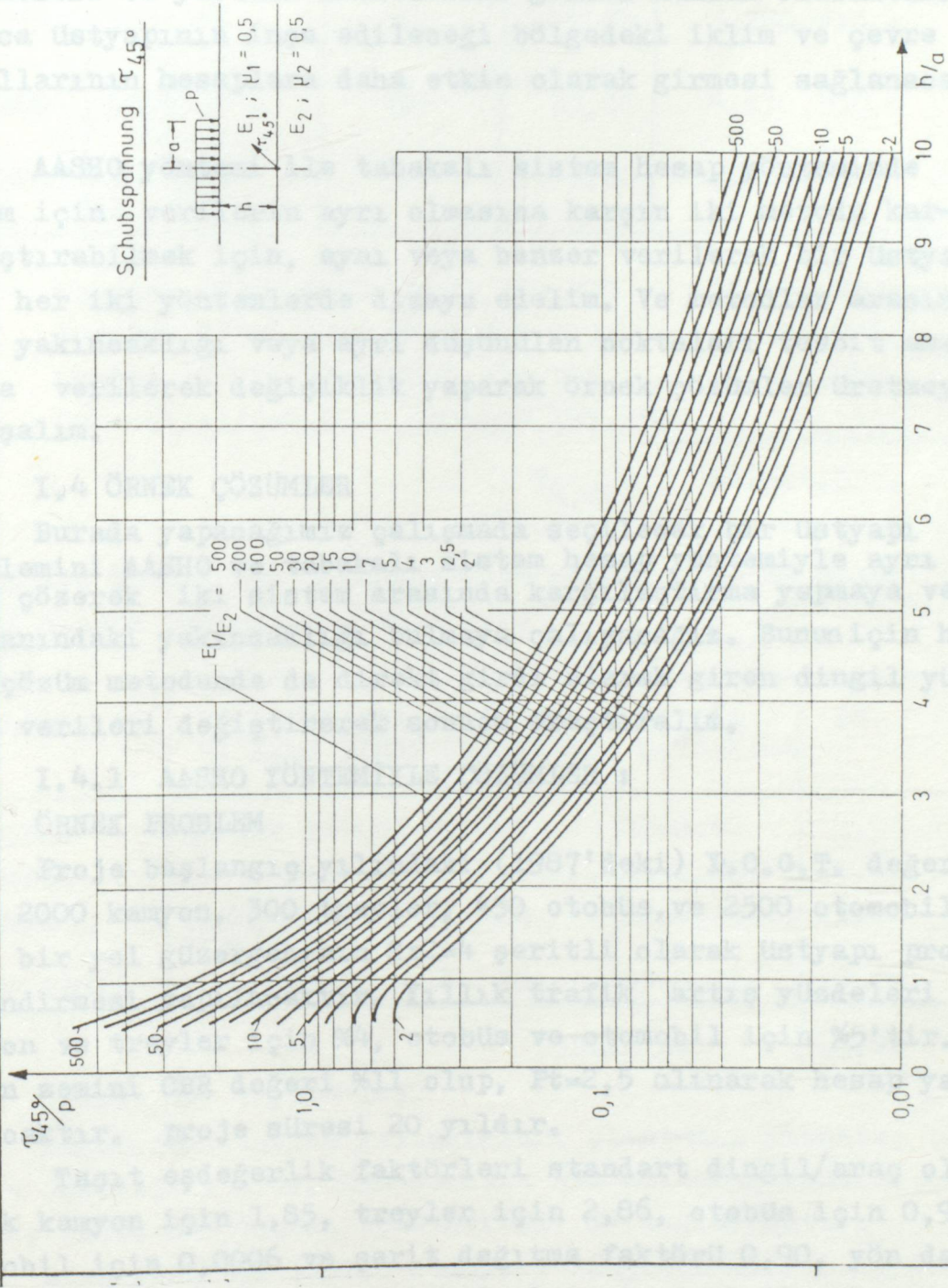


ŞEKİL I.10 YATAY GERİLMELERİN KALINLIĞI VE ELASTİSİTE MODÜLLERİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

Gerilme hesaplarında kullanılan abaklar ve elastisite

modüllerine bağlı gerilme hesaplarında kullanılan abaklar ve elastisite
lar şekli şekillerde verilmiştir.

Bu yöntemle yapılacak üstyapı hesabında trafiğin ger-
çek etkisini, tabakalara elyüzüne malzemelerdeki gerçek
gerilmeleri ve yerleşim limitlerindeki gerçek mümkün olacaktır.
Ayrıca üstyapı hesabında edilecek bölgedeki iklim ve çevre
koşullarının da etkisi olarak girme işlemi sağlanabilir.



ŞEKİL I.11. KAYMA GERİLMELERİNİN TABAKA KALINLIĞI VE ELASTİSİTE MODÜLÜNE GÖRE DEĞİŞİMİ

Gerilme hesaplarında kullanılan abaklar ve elastisite modüllerine bağlı gerilme özelliklerini gösterir diyagramlar ekli şekillerde verilmiştir.

Bu yöntemle yapılacak üstyapı hesabında trafiğin gerçek etkisini, tabakaları oluşturan malzemelerdeki gerçek gerilmeleri ve yorulma limitlerini görmek mümkün olacaktır. Ayrıca üstyapının inşa edileceği bölgedeki iklim ve çevre koşullarının hesaplara daha etkin olarak girmesi sağlanacaktır.

AASHO yöntemi ile tabakalı sistem hesap yönteminde çözüm için verilerin ayrı olmasına karşın iki metodu karşılaştırabilmek için, aynı veya benzer verilerek bir üstyapıyı her iki yöntemlerde dizayn edelim. Ve metodlar arasındaki yakınsaklığı veya ayrı düşünülen noktaları tesbit amacıyla verilerek değişiklik yaparak örnek çözümler üretmeye çalışalım.

I.4 ÖRNEK ÇÖZÜMLER

Burada yapacağımız çalışmada seçilecek bir üstyapı problemini AASHO ve tabakalı sistem hesap yöntemiyle ayrı ayrı çözerek iki sistem arasında karşılaştırma yapmaya ve aralarındaki yakınsaklığı bulmaya çalışacağız. Bunun için her iki çözüm metodunda da direkt girdi olarak giren dingil yükü gibi verileri değiştirerek sonucu araştıralım.

I.4.1 AASHO YÖNTEMIYLE ÇÖZÜMLER :

ÖRNEK PROBLEM

Proje başlangıç yılındaki (1987'deki) Y.O.G.T. değerleri 2000 kamyon, 300 treyler, 450 otobüs, ve 2500 otomobil olan bir yol güzergahının 2x2=4 şeritli olarak üstyapı projelendirmesi yapılacaktır. Yıllık trafik artış yüzdeleri kamyon ve treyler için %4, otobüs ve otomobil için %5'tir. Taban zemini CBR değeri %11 olup, $P_t=2,5$ alınarak hesap yapılacaktır. proje süresi 20 yıldır.

Taşıt eşdeğerlik faktörleri standart dingil/araç olarak kamyon için 1,85, treyler için 2,86, otobüs için 0,95, otomobil için 0,0006 ve şerit dağıtma faktörü 0,90, yön dağıtma faktörü : 1/2 ise 20 yıllık toplam standart dingil sayısı:

TAŞIT GRUBU	İLK(YILLIK) TRAFİK	YILLIK ARTIŞ %	f	20 YILLIK TOPLAM TRAFİK
KAMYON	2000x365= 730.000	%4	29,78	21.739.400.-
TREYLER	300x365 = 109.500	%4	29,78	3.260.910.-
OTOBÜS	450x365 = 164.250	%5	33,06	5.430.105.-
OTOMOBİL	2500x365= 912.500.-	%5	33,06	30.167.250.-

Kamyon: $1/2 \times 0,90 \times 1,85 \times 21.739.400 = 18.098.050.$

Treyler: $1/2 \times 0,90 \times 2,86 \times 3.260.910 = 4.196.791.$

Otobüs : $1/2 \times 0,90 \times 0,95 \times 5.430.105. = 2.321.369.$

Otomobil: $1/2 \times 0,90 \times 0,0006 \times 30.167.250 = 8.145.$

$$T_{8,2} = 24.624.355.$$

Taban CBR değeri %11 olduğuna göre nomoğraftan SN değeri 12,75 olarak okunmuştur. Buna göre

TABAKA ADI	KULLANILACAK MAİZEME CİNSİ	TABAKA KALINLIĞI (cm)	TABAKA KATSAYISI	SN
AŞINMA BİNDER	ASFALT BETONU	7	$a_1=0,42$	2,94
TEMEL	" "	12	$a_1=0,40$	4,80
ALT TEMEL	PLENT-MİKS KIRMATAŞ	20	$a_2=0,15$	3,00
	KUM-ÇAKIL	20	$a_3=0,11$	2,20
TOPLAM SN				12,94

Mevcut SN: $12,94 > 12,75$

Yukarıdaki tabaka kalınlıkları plent-mix kırmataş temel için CBR değeri %100, Kum-çakılın %30 alınarak kontrol edilmiş olup, her tabaka için gerekli SN sağlanmıştır.

Buna göre 8,2 tonluk standart dingilin 20 yol boyunca 24.624.355. tekrarı için üstyapı tabaka kalınlıkları:

Aşınma tabakası : 7 cm (Asfalt betonu)
 Binder " : 12 cm (" ")
 Temel " : 20 cm (Plent-Miks kırmataş)
 Alttemel " : 20 cm (Kum-çakıl) bulunmuştur.

— Aynı dingil tekrar sayısını 10 tonluk dingil yükü için çözersek :

24.624.325,10 ton dingil/20 yıl dersek

$$T_{8,2} = 24.624.325 \times 2,39 = 58.852.136 \text{ standart dingil/20 yıl}$$

Aynı verilerle bu tekrar sayısına göre nomograftan okunan SN değeri 14,25'tir. Buna göre

Aşınma tabakası : 10 cm.
 Binder " : 12 cm.
 Temel " : 20 cm.
 Alttemel " : 21 cm. olacaktır.

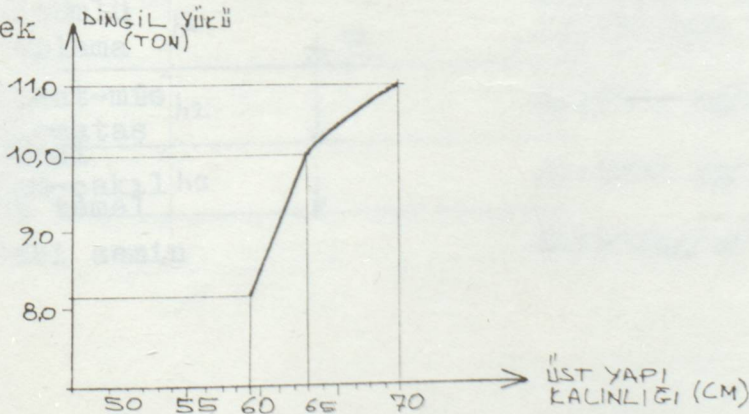
— Dingil yükünü 11 tonluk alarak üstyapıyı tayin edersek; 24.624.325 11 ton dingil/20 yıl ise

$$T_{8,2} = 24.624.325 \times 3,65 = 89.878.786 \text{ standart dingil/20 yıl}$$

Aynı verilerle bu tekrar sayısına göre nomograftan okunan SN değeri 15,35'tir buna göre

Aşınma tabakası : 10 cm.
 Binder " : 14 cm,
 Temel " : 20 cm.
 Alttemel " : 25 cm. olacaktır.

Bulunan bu tabaka kalınlıklarını toplam üstyapı kalınlığı ve dingil yükünün fonksiyonu olarak grafik hale getirirsek



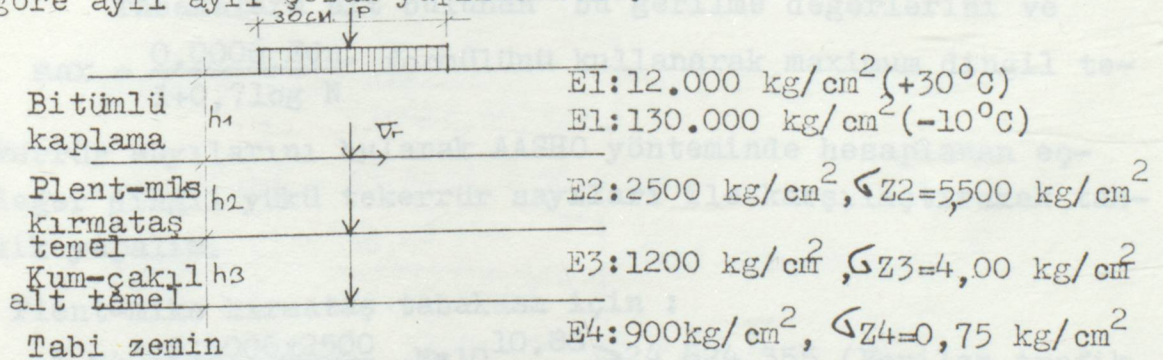
Bu grafik; toplam üstyapı kalınlığına bağlı çizildiğinden ve üstyapıyı teşkil eden tabakaların katsayıları farklı olup tabaka kalınlıklarındaki birim artışların toplam üstyapı kalınlığını farklı değerlere götüreceğinden bize genel bilgi vermekten uzaktır. Ancak bir yaklaşım olarak çizilmiştir.

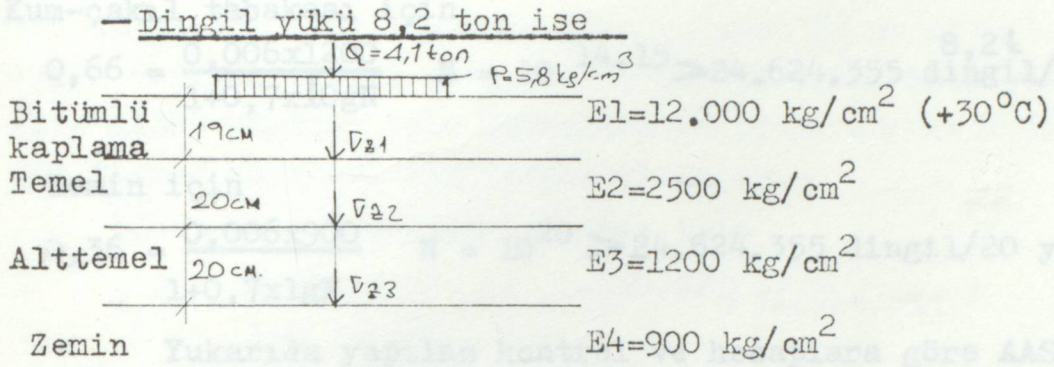
I.4.2 TABAKALI SİSTEM HESAP YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMLER

ÖRNEK PROBLEM :

Bir önceki bölümde AASHO yöntemiyle çözülen problemi şimdide tabakalı sistem hesap yöntemiyle çözümlenmeye çalışalım. Buna göre veriler; proje başlangıç yılındaki Y.O.G.T değerleri 2000 kamyon, 300 treyler, 450 otobüs ve 2500 otomobildir. Yol $2 \times 2 = 4$ şeritli olacaktır. Yıllık trafik artış yüzdesi kamyon ve treyler için %4, otobüs ve otomobil için %5'tir. Proje süresi 20 yıldır. Yol yapılacak bölgedeki mevsimlere göre en düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları -10°C ve $+30^{\circ}\text{C}$ olarak kabul edilecektir. Üstyapı teşkilinde kaplama tabakasında beton asfalt, temel tabakasında plent-mix kırmataş, ve alttemel tabakasında kum-çakıl kullanılacaktır. Tabakaları oluşturan malzemelerin elastisite modülleri asfalt betonu için -10°C da $E_1 = 130.000 \text{ kg/cm}^2$, $+30^{\circ}\text{C}$ de 12.000 kg/cm^2 , Plent-mix kırmataş tabakası $E_2 = 2500 \text{ kg/cm}^2$, kum-çakıl tabakası $E_3 = 1200 \text{ kg/cm}^2$, zemin için $E_4 = 900 \text{ kg/cm}^2$ olarak kabul edilmiştir.

Bu verilere göre 8,2,10 ve 11 tonluk dingil yükü etkisine göre ayrı ayrı çözüm yapılacaktır.





$$h^x = c \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}}$$

$$\sigma_{Z1} = f(h^x_1), h^x_1 = 0,9 \times 19 \times \sqrt[3]{\frac{12000}{2500}} = 29 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Z2} = f(h^x_1 + h^x_2), h^x_2 = 0,9 \times 20 \times \sqrt[3]{\frac{2500}{1200}} = 23 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Z3} = f(h^x_1 + h^x_2 + h^x_3), h^x_3 = 0,9 \times 20 \times \sqrt[3]{\frac{1200}{900}} = 20 \text{ cm}$$

$$\sigma_Z = P \left[1 - \frac{h^x_1}{(b^2 + h^x_1)^{3/2}} \right]$$

$$\sigma_{Z1} = 5,8 \left[1 - \frac{29^3}{(15^2 + 29^2)^{3/2}} \right] \rightarrow \sigma_{Z1} = 1,74 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_2 = h^*_1 + h^*_2 = 29 - 23 = 52 \text{ cm.}$$

$$\sigma_{Z2} = 5,8 \left[1 - \frac{52^3}{(15^2 + 52^2)^{3/2}} \right] \Rightarrow \sigma_{Z2} = 0,66 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_3 = h^*_1 + h^*_2 + h^*_3 = 29 - 23 - 20 = 72 \text{ cm.}$$

$$\sigma_{Z3} = 5,8 \left[1 - \frac{72^3}{(15^2 + 72^2)^{3/2}} \right] \Rightarrow \sigma_{Z3} = 0,36 \text{ kg/cm}^2$$

Tabakalara ait bulunan bu gerilme değerlerini ve

$$\max = \frac{0,0006 \text{ Edn.}}{1 + 0,7 \log N} \text{ formülünü kullanarak maximum dingil te-}$$

kerrür sayılarını bularak AASHO yönteminde hesaplanan eş-
değer dingil yükü tekerrür sayıları ile karşılaştırarak tah-
kik yapalım.

Plent-miks kırmatas tabakası için :

$$1,74 = \frac{0,0006 \times 2500}{1 + 0,7 \log N} \quad N = 10^{10,88} > 24.624.355 \text{ (Verilen trafik}$$

değerlerine göre AASHO yön-
teminde bulunan proje süre-
si boyunca geçecek dingil
sayısı)

Kum-çakıl tabakası için

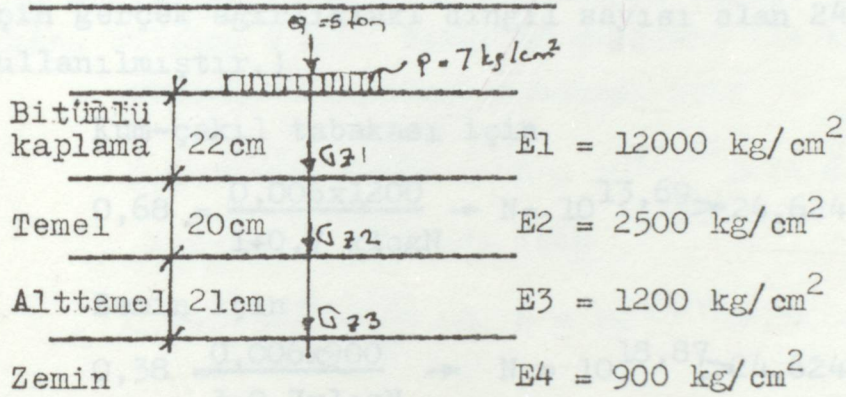
$$0,66 = \frac{0,006 \times 1200}{1 + 0,7 \times \log N} \quad N = 10^{14,15} > 24.624.355 \text{ dingil/20 yıl}^{8,2t}$$

Zemin için

$$0,36 = \frac{0,006 \times 900}{1 + 0,7 \times \log N} \quad N = 10^{20} > 24.624.355 \text{ dingil/20 yıl}$$

Yukarıda yapılan kontrol ve hesaplara göre AASHO yönteminde bulunan kalınlıklar gerçek gerilme yayılışına görede yeterlidir.

- Dingil yükü 10 ton ise



$$h_1^* = 0,9 \times 22 \times \sqrt[3]{\frac{12000}{2500}} = 33,4 \text{ cm.}$$

$$h_2^* = 0,9 \times 20 \times \sqrt[3]{\frac{2500}{1200}} = 23 \text{ cm}$$

$$h_3^* = 0,9 \times 21 \times \sqrt[3]{\frac{1200}{900}} = 20,8 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Z1} = 7 \left[1 - \frac{33,4^3}{(15^2 + 33,4^2)^{3/2}} \right] \rightarrow \sigma_{Z1} = 1,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_2 = h_1^* + h_2^* = 33,4 + 23 = 56,4 \text{ cm.}$$

$$\sigma_{Z2} = 7 \left[1 - \frac{56,4^3}{(15^2 + 56,4^2)^{3/2}} \right] \rightarrow \sigma_{Z2} = 0,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_3 = h_1^* + h_2^* + h_3^* = 33,4 + 23 + 20,8 = 77,2 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Z3} = 7 \left[1 - \frac{77,2^3}{(15^2 + 77,2^2)^{3/2}} \right] \rightarrow \sigma_{Z3} = 0,38 \text{ kg/cm}^2$$

10 tonluk dingil yüküne göre bulunan bu değerleri, problemde verilen trafik sayıları ve yıllık artış katsayılarına göre AASHO yöntemi için hesaplarınının proje süresi içinde dingil tekrar sayıları ile karşılaştırılalım.

Plent-miks kırmataş tabakası için

$$1,68 = \frac{0,006 \times 2500}{1+0,7 \times \log N} \rightarrow N = 10^{11,32} > 24.624.355^x$$

(^xAASHO yönteminde 10 ton'luk dingil yükü için hesaplanan 58.852.136 dingil sayısı 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil sayısı olduğundan karşılaştırma ve kontrol yapmak için gerçek ağırlıktaki dingil sayısı olan 24.624.355 rakamı kullanılmıştır.)

Kum-çakıl tabakası için

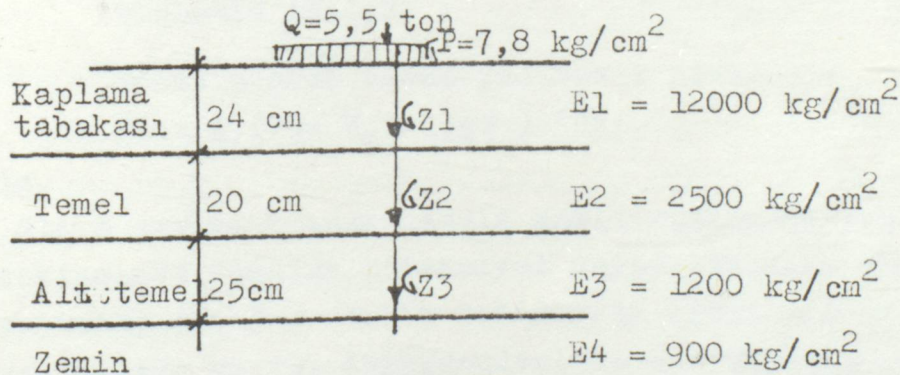
$$0,68 = \frac{0,006 \times 1200}{1+0,7 \times \log N} \rightarrow N = 10^{13,69} > 24.624.355 \text{ din}/20 \text{ yıl}$$

Zemin için

$$0,38 = \frac{0,006 \times 900}{1+0,7 \times \log N} \rightarrow N = 10^{18,87} > 24.624.355 \text{ din.}/20 \text{ yıl}$$

Dingil yükünün 10 ton olması haline göre AASHO yöntemiyle seçilen tabaka kalınlıkları gerçek gerilme yayılışına göre yeterli.

- Dingil yükü 11 ton ise



$$h^x_1 = 0,9 \times 24 \times \sqrt[3]{\frac{12000}{2500}} = 36,4 \text{ cm}$$

$$h^x_2 = 0,9 \times 20 \times \sqrt[3]{\frac{2500}{1200}} = 23,0 \text{ cm}$$

$$h^x_3 = 0,9 \times 25 \times \sqrt[3]{\frac{1200}{900}} = 24,7 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Z1} = 7,8 \left[1 - \frac{36,4^3}{(15^2 + 36,4^2)^{3/2}} \right] \sigma_{Z1} = 1,64 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_2 = h_1^* + h_2^* = 36,4 + 23 = 59,4 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Z2} = 7,8 \left[1 - \frac{59,4^3}{(15^2 + 59,4^2)^{3/2}} \right] \sigma_{Z2} = 0,69 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_3 = h_1^* + h_2^* + h_3^* = 36,4 + 23 + 24,7 = 84,1 \text{ cm.}$$

$$\sigma_{Z3} = 7,8 \left[1 - \frac{84,1^3}{(15^2 + 84,1^2)^{3/2}} \right] \sigma_{Z3} = 0,36 \text{ kg/cm}^2$$

Bulunan bu gerilme değerlerine bağlı olarak tabakalar için max. dingil tekerrür sayılarını bulup, trafik değerlerinden bulunan dingil tekerrür sayıları ile karşılaştıralım.

Plat-Miks kırmataş tabakası için

$$1,64 = \frac{0,006 \times 2500}{1 + 0,7 \lg N} = N = 10^{11,63} > 24.624.355 \text{ Din./20y}$$

Kum-çakıl tabakası için

$$0,69 = \frac{0,006 \times 1200}{1 + 0,7 \lg N} = N = 10^{13,47} > 24.624.355 \text{ din/20 y.}$$

Zemin için

$$0,36 = \frac{0,006 \times 900}{1 + 0,7 \lg N} = N = 10^{20} > 24.624.355 \text{ din/20 y.}$$

seçilen tabaka kalınlıkları gerçek gerilme yayılışına göre yeterli olup, tabakalar emniyetle hizmet edecektir.

TORİLERİN ANALİZİ :

Genel olarak AASRO yol testi denklemi:

$$W_1 = P (\log W_2 - \log f) \text{ 'dir.}$$

Burada,

W_1 : 4 seviye içinde servis kabiliyetindeki kayma, Pt-1,5 noktasında ölçülen potansiyel kayma oranının fonksiyonu (logaritmik), P : P-4 servis kabiliyeti eğrisinin eğimini etkileyen dizayn ve yük değişkenlerinin bir fonksiyonu

W_2 : 4 seviyedeki toplam dingil tekerrür sayısı
 f : Servis kabiliyeti indeksi 1,5 olduğunda beklenen dingil yükü değişkenlerinin sayısını gösteren dizayn ve yük değişkenlerinin bir fonksiyonu
 Pt: 4. Servis kabiliyeti

I-5-1- AASHO YÖNTEMİ İLE TABAKALI SİSTEM HESAP YÖNTEMİNDE KULLANILAN HESAP KRİTERLERİNİN İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI.

Gerek AASHO yöntemi, gerekse tabakalı sistemde yapılan hesaplamalarda veri olarak kullanılan kriterleri inceleyebilmek ve karşılaştırmasını yapabilmek için önce esnek bir yol üstyapısına etkiyen faktörleri inceleyelim. Esnek bir yol üst yapısına veya projelendirilmesine etki eden faktörler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

- a. Trafik hacmi
- b. Dingil yükü
- c. Dingil yükü tekrar sayısı
- d. Taban zemininin taşıma gücü ve suya hassasiyeti
- e. Üstyapıda tabakaların teşkilinde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri
- f. Yoldan beklenen hizmetin kalitesi
- g. Yolun ekonomik hizmet ömrü
- h. Yolun yapıldığı yerin iklimi ve bölgesel koşullar

Sıralanan faktörlerin ayrı ayrı başlıklar halinde incelenmesine geçmeden önce, AASHO yönteminde hesaplara etki eden faktörleri inceleyelim. Ve daha sonra esnek üstyapı hesabına etki eden faktörleri alt başlıklar halinde inceleyerek iki sistemin karşılaştırmasını yapalım.

I.5.2 AASHO YÖNTEMİ İLE ÜSTYAPI HESABINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN ANALİZİ :

Genel olarak AASHO yol testi denklemi:

$$G_t = \beta (\log W_t - \log \beta) \text{ 'dır.}$$

Burada,

G_t: t zamanı içinde servis kabiliyetindeki kaybın, P_t= 1,5 noktasında ölçülen potansiyel kayba oranının fonksiyonu (logaritmik), β : P-W servis kabiliyeti eğrisinin şeklini etkileyen dizayn ve yük değişkenlerinin bir fonksiyonu

W_t: t zamanındaki toplam dingil tekerrür sayısı

β : Servis kabiliyeti indeksi 1,5 olduğunda beklenen dingil yükü geçişlerinin sayısını gösteren dizayn ve yük değişkenlerinin bir fonksiyonu

P_t : Son servis kabiliyeti

Yukarıdaki formülde adı geçen β ve β fonksiyonları esnek üstyapılar için aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

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

$$\log \beta = 5,93+9,36 \log (SN+1)-4,79 \log(L_1+L_2)+4,33 \log L_2$$

Buradaki notasyonlardan

L_1 : tek dingil yükü veya tandem dingilin birisini

L_2 : aks kodunu (1: tek dingili, 2: tandem dingili)

SN : üstyapı sayısını , 0

göstermektedir. Formüldeki dingil yükleri yerine $L_1: 18 \text{ kip}$ $L_2=1$ konulursa;

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081 (18+1)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19}}$$

$$\beta = 0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}} \text{ olur.}$$

$$\log \beta = 5,93+9,36 \log(SN+1)-4,79 \log(18+1)+4,33 \cdot \log 1$$

$$\log \beta = 9,36 \log (SN+1)-0,20 \text{ olur.}$$

Konunun başlangıcında yazdığımız genel denklem ifadesinden W_t 'li terimi çekersek,

$$\log W_t = \log \beta + Gt/\beta$$

β ve β yerine yukarıdaki eşitliklerden karşılık değerlerini alırsak

$$\log W_{t18} = 9,36 \log(SN+1)-0,20 + \frac{Gt}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}}$$

burada $Gt = \log \left(\frac{4,2-Pt}{4,2-1,5} \right)$ olarak tanımlanmaktadır.

Son formüllerdeki W ve Pt değerleri yerine dizayn edilecek yolun değerleri konularak buradan SN hesap edilebilir.

Ancak buradan bulunacak sonuç, bize ancak AASHO yol deneyinin yapıldığı bölgedeki iklim ve bölgesel koşullardaki tanımlar. Bu nedenle bulunan sonuçların bölge faktörünü dikkate alarak düzeltilmesi veya yol yapılacak bölgenin çevre koşullarına adapte edilmesi gerekir.

Bu geçiş için şu formülden yararlanılmaktadır.

$$W_{t18} = N_{t18} \left(\frac{1}{R} \right)$$

$$\log W_{t18} = \log N_{t18} + \log \left(\frac{1}{R} \right)$$

W_{t18} = t süresince 18 kip (80 KN) dingil tekerrür sayısı

N_{t18} = toplam dingil tekerrür sayısı

R = Bölge faktörü

Çevre koşullarıda dikkate alınarak düzeltilen formül son olarak zemin taşıma değerinin etkisinde gözönüne alınarak en genel hale getirilir.

$$\log W_{t18} = \log N'_{t18} + f(S)$$

$$f(S) = K (S_i - S_o)$$

S_i = Zemin taşıma değeri

S_o = Yol testinin yapıldığı zemin taşıma değeri

N'_{18} = Yol testinin yapıldığı durumda toplam dingil tekerrürü.

W_{t18} = Toplam dingil tekerrürü

K: Sabit

$$\text{Buna göre } : 10^{K(S_i - S_o)} = \frac{W_{t18}}{N_{t18}}$$

$K = 0,372$ olup formül $\log W_{t18} = 0,372 (S_i - 3,0) + \log N'_{t18}$ şeklini alır.

Buna göre

$$\log W_{t18} = 9,36 \log (SN+1) - 0,20 + \frac{Gt}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}}$$

şeklinde yazdığımız AASHO yol deneyi denklemine bölge faktörü ve zemin ile ilgili terimleride ilave edersek en genel haliyle

$$\log W_{t18} = 9,36 \log (SN+1) - 0,20 + \frac{Gt}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + \log \frac{1}{R}$$

$+0,372(S_i - 3,0)$ denklemi elde edilir.

Bilindiği üzere; pratikte yukarıdaki denklemler yerine bu denklemlerden hareket edilerek $P_t=2,0$ ve $P_t=2,5$ için hazırlanmış olan nomogramlar yardımıyla hesap yapılmaktadır. Ancak biz burada AASHO metoduyla esnek üstyapı hesabına etkileyen tüm faktörleri görebilmek ve karşılaştırma yapabilmek için incelemek gereğindedik.

I.5.3 AASHO YÖNTEMİ İLE TABAKALI SİSTEM HESAP YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI:

İki sistemin karşılaştırmasını, daha önce sıralanmış olduğumuz esnek bir yol üstyapısına etkiyen faktörlere göre alt başlıklar halinde yapalım.

I.5.3.1 TRAFİK HACMİ :

Trafik hacmi her iki sistemde de hesaplamalara direkt olarak girmektedir. AASHO yönteminde projelendirme anındaki mevcut trafik lodometre çalışması ile tesbit edilip , trafik artış katsayıları ile proje süresi sonundaki trafik hesaplanmakta ve ilk ve son trafik değerlerine bağlı olarak proje trafiği hesaplanmaktadır. Tabakalı sistem hesap yönteminde de analiz için kullanılacak dingil yükü ve dingil yükü tekrar sayısına geçebilmek için benzer şekilde bir trafik etüdü ve hesabı gereklidir.

Sonuç olarak, trafik hacmi her iki sistemde de benzer etkinlikte bir veri olarak dikkate alınmaktadır.

I.5.3.2 DİNGİL YÜKÜ :

Her iki yöntemde de hesap yapabilmek için projelendirilecek yol güzergahındaki trafiği oluşturan araçların dingil yükü ve tiplerini belirlemek için bir çalışma yapılmalıdır. Bu çalışma sonucunda değişik ağırlıktaki dingil yüklerini , bir grupta toplamak gerekecektir. Bunun için dingil eşdeğerlik faktörleri kullanılmaktadır. AASHO yöntemiyle yapılan hesaplamalarda, mevcut nomogramlardan faydalanabilmek için dingil yüklerinin mutlaka 8,2 tonluk standart dingil cinsinden ifade edilmesi gereğine karşılık, tabakalı sistem hesap yönteminde dingil yükleri istenilen grupta sınıflandırılabilir. Örneğin tek tip araçların kullanacağı bir özel hizmet yolunda (maden, mahalli yol v.s)gibi mevcut dingil yükü direkt olarak alınarak daha gerçekçi ve sağlıklı sonuçlara gidilebilir.

I.5.3.3 DİNGİL YÜKÜ TEKRAR SAYISI :

Dingil yükü tekrar sayısı her iki yöntemdede sonuçlar için birinci derecede etkindir. AASHO yönteminde hesap başlangıcında bulunan eşdeğer standart dingil yükü tekrar

sayısına bağlı sonuca gidilmesine karşın, tabakalı sistem hesap yönteminde gerilmelere bağlı bulunan maximum dingil tekerrür sayıları, proje dingil tekerrür sayısı ile karşılaştırılarak hesap yapılmaktadır.

I.5.3.4 TABAN ZEMİNİN TAŞIMA GÜCÜ VE SUYA HASSASİYETİ

Tabakalı sistem hesap yönteminde yol yapılacak zeminin taşıma gücü direkt olarak hesaplamalara girmektedir. Yani zemin gerçek durumuyla temsil edilmektedir. AASHO yönteminde ise zeminin taşıma gücü, zemin taşıma değeri diye tanımlanan bir katsayı ile hesaba girmektedir. Zemin taşıma değeri (S_i) ile zeminin CBR değeri arasında bir bağlantı yardımıyla S_i yine zeminin taşıma gücüne bağlı olarak tesbit edilebilmektedir.

I.5.3.5 ÜSTYAPIDA TABAKALARI TEŞKİL EDEN MALZEMELE- RİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İki sistem arasındaki farklılıklarının en belirgin olduğu noktalardan birisi tabakaları teşkil eden malzemelerin mekanik özelliklerin sistemlerdeki temsilidir. AASHO yönteminde malzemeler, malzeme katsayısı adı altında malzeme cinsleri için önceden genellenmiş sabitlerle hesaba dahil olurken, tabakalı sistem hesap yönteminde tabakaları oluşturan malzemelerin elastisite modülleri direkt olarak hesaba katılmaktadır. Sınıflandırmada aynı gruba giren malzemelerin inşaat esnasında temin edildikleri çevreye göre değişiklik gösterebileceği ve bñhassa sıcaklığa bağlı olarak mekanik özellikleri çok büyük değişiklikler gösteren bitümlü tabakanın davranışı düşünülürse, tabakaları katsayılar yerine gerçek mekanik özellikleri ile temsil etmenin daha doğru sonuçlara götüreceği kesindir.

I.5.3.6 YOLDAN BEKLENEN HİZMETİN KALİTESİ :

Yoldan beklenen hizmet kalitesi AASHO yönteminde servis kabiliyeti derecesi olarak isimlendirilmiş 0 ile 5 arasında değişen rakamlarla kaliteler temsil edilmiştir. 0 en düşük hizmet kabiliyetini 5 ise en yüksek hizmet kabiliyeti derecesini göstermektedir. Tabakalı sistem hesap yönteminde ise yoldan beklenen hizmet kalitesi hesaplarda direkt girdi olarak görülmemektedir.

I.5.3.7 YOLUN EKONOMİK HİZMET ÖMRÜ :

Yeni projelendirilecek bir yolun ekonomik hizmet ömrünün hesabında veya seçiminde iki sistem arasında farklılık yoktur. Çünkü yolun ekonomik hizmet ömrü, projelendirme yönteminin dışında olan çevre, inşaat, ülke ekonomisi v.s ile bağlantılıdır.

I.5.3.8 YOLUN YAPILDIĞI YERİN İKLİMİ VE BÖLGESEL KOŞULLAR

Yolun yapıldığı yerin iklimi ve bölgesel koşulları AASHO yönteminde bölge faktörü adı altında bir katsayı ile hesaba dahil edilmektedir. Bu faktörün değişimde ise birinci derecede etken olan bölgedeki yağış, ve don derinliğidir. Bu faktör çevre şartlarına bağlı olarak zeminin durumunu temsil etse bile, bölgesel koşullara bağlı olarak mekanik özellikleri büyük farklılıklar gösteren bitümlü karışımların değişimini yeterince temsil etmekten uzaktır. Tabakalı sistem hesap yönteminde ise yolun yapılacağı bölgenin iklim ve koşullarına bağlı olarak tabakaları teşkil eden malzemelerin ve zeminin gerçeğe en yakın şekliyle temsil edilmesi mümkündür.

TABLO I.9. AASHO YÖNTEMİ İLE TABAKALI SİSTEM HESAP YÖNTEMİNDEKİ FAKTÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI		
PROJELENDİRMEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	AASHO METODU	TABAKALI SİSTEM HESAP YÖNTEMİ
TRAFİK HACMİ	PROJE TRAFİĞİ	PROJE TRAFİĞİ
DİNGİL YÜKÜ	$W_{8,2}=8,2$ tonluk eşdeğer dingil yükü	W_{Ei} tonluk dingil yükü
DİNGİL YÜKÜ TEKRAR SAYISI	$T_{8,2}$	T_i
TABAN ZEMİNİNİN TAŞIMA GÜCÜ	S_i	G_z
TABAKALARI TEŞKİL EDEN MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	a_i : Malzeme katsayıları	E_i :Elastisite modülleri
YOLDAN BEKLENEN HİZMET KALİTESİ	P_t = Servis kabiliyeti	-
YOLUN EKONOMİK HİZMET ÖMRÜ	BAĞIMSIZ	BAĞIMSIZ
YOLUN YAPILDIĞI YERİN İKLİMİ VE BÖLGESEL KOŞULLARI	R = Bölge fakt.	G, E = tabaka malzemeleri ve zeminin mekanik özellikleri

BÖLÜM II

II- CÜRUF LU ASFALT BETONU

II.1 - YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN TARİFİ

Yol inşaatında kullanılan cüruflar genellikle yüksek fırın cüruflarıdır. Demir filizinin endrüstride indirgenmesi sırasında artık madde olarak elde edilen cüruf kalsiyum, aliminyum ve magnezyumun çeşitli kompleks karışımıdır. Üretim sonucu kalan cüruf eğer değerlendirilmezse ayrıca birde depolama sorunu ve dolayısıyla depo maliyeti ortaya çıkmaktadır. Bu cürufların değerlendirilmesi ülkemizde pek yaygın olmasada, yol yapımında, çimento üretiminde, izolasyon maddelerinde, demiryollarında ve zirai üretimde gübre olarak kullanılabilirler.

Bizim yaptığımız laboratuvar çalışmaları sırasında beton asfalt karışım için agrega olarak Ereğli Demir Çelik Fabrikalarının çeşitli cürufları kullanılarak uygun bir karışım formülü aranmıştır. Cüruflar üzerinde Karayolları teknik şartnamesinde belirtilen agrega deneyleri uygulanmıştır. Cüruf cinslerine göre elde edilen sonuçlar konunun devamında verilmektedir. Ancak laboratuvar çalışmamız sırasındaki gözlemlerimize göre bilhassa şartname standartlarını en iyi sağlayan çelik cürufunun kırılması ve istenilen gronülometriye getirilmesinin oldukça zor olduğu görülmüştür. Ve bizim laboratuvar çalışmalarımız için gerekli malzemeyi temin edebilmek için Yıldız Üniversitesi ve Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği laboratuvarlarının yanısıra İ.T.Ü. yapı ve metalurji laboratuvarlarında kullanmamız gerekmiştir.

II.2 - YÜKSEK FIRIN CÜRUFU ÇEŞİTLERİ

Demir üretimi sırasında elde edilen cüruf genellikle 3 sınıfa ayrılmaktadır.

- a) Havada soğutulmuş cüruf,
- b) Köpüklendirilmiş (Genleştirilmiş) cüruf,
- c) Granüler cüruf

Bu değişik cüruf çeşitleri üretimleri ve özellikleri yönünden ayrı ayrı inceleyelim.

II.2.1 - HAVADA SOĞUTULMUŞ CÜRUF

Yüksek fırından çıkan kor halindeki cüruf potalara dökülmek suretiyle fırından uzaklaştırılarak kendi halinde soğumaya bırakılır. Bu şekilde kendi halinde soğuyan cüruf büyük kütleler halinde sertleşir. Daha küçük boyutlarda elde etmek için üzerine su serpilir ve istenilen granülometriye getirmek için konkasör tesislerinde kırılmalı ve eleme işlemi yapılmalıdır.

II.2.2 - KÖPÜKLENDİRİLMİŞ CÜRUF

Ergimiş cürufun özel bir çukura boşaltılması esnasında kontrollü şartlar altına üzerine su püskürtülerek, oluşan ani buhar sonucu genleşmiş bir cüruf çeşidi oluşur. Oluşan bu cüruf hafif agregalar sınıfına girip, köpüklü cüruf olarak isimlendirilmektedir. Köpüklü cüruf çok boşluklu olduğundan buna aynı zamanda yüksek fırın bimside denilmektedir. Köpüklü cüruf yapı malzemesi olarak kullanıldığı gibi hafif beton yapımında da kullanılmaktadır. Yol yapımında özel şartlar altında köpüklü cüruf kullanılmaktadır. Örneğin yolun turba üzerinden geçmesi gerekiyorsa ve turbanın sökülüp atılmasının teknik zorlukları varsa yoğunluğu turbadan daha az olan köpüklendirilmiş cüruf ile bir tabaka teşkil etmek suretiyle meydana gelecek oturmalar azaltılabilir. Köpüklü cüruf ile teşkil edilecek alt temel tabakası ağırlığı azaltılacağı gibi, antikapiler bir tabaka olarak çalışacaktır.

II.2.3 - GRANÜLER CÜRUF (YÜKSEK FIRIN KUMU)

Ergimiş cürufa yüksek basınçlı su püskürtülerek, hızlı soğumadan dolayı kristalleşmeden önce camsı bir yapıda katılaşması sağlanır. Bu şekilde elde edilen cürufa granüller cüruf veya yüksek fırın kumu adı verilir. Granüler cüruf çimento üretiminde ve yol yapımında esnek üst yapının stabilizasyonunda başarı ile kullanılmaktadır. Havada kendi halinde soğutulan cüruflar, ani su altında soğutulan yani

granüler cürufun granülometrisine getirilseler dahi aynı özellikleri göstermemektedir.

II.3 - KİMYASAL BAKIMDAN CÜRUF TIPLERİ

Yüksek fırın cürufları kimyasal bakımdan asidik ve bazik olmak üzere iki kategoride incelenmektedir. Silikat ve seramik mamülleri tekniğinde önemli rolü olan bu değer $P = \%CaO / \%SiO_2$ olarak tanımlanmaktadır. $P < 1$ için asidik $P = 1$ için nötr, $P > 1$ bazik karakter ifade eder. Çimento imalinde kullanılacak cürufun mutlaka bazik karakterde olması gereklidir.

II.4 - YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN ELDE EDİLMESİ

Yüksek fırın iç çeperi ateş tuğlası ile kaplı yüksek ve dairesel çelik bir kovandır. Ergimiş ürünlerin toplandığı dip kısma ocak denir. Bu ocak dahili su sirkülasyonunu sistemi ile çevrilidir. Fırının üst kısmında gazlarını kaçırmadan malzeme ile beslenmesini sağlayan komplike bir ünite ile bir tür hava kilidi denilebilecek başlıkla donatılmış bir baca vardır. Ergimiş demiri göndermek için bulunan tapa deliği veya demir oluğu ocağın çevresindedir. Sıvı demir cürufun altında kalır ve demir oluğunun üstündeki bir seviyede bulunan oluktan cüruf dışarı alınır. Yüksek fırın sürekli bir işlemdir. Günün 24 saati boyunca yukarıdan hammaddeler verilir ve meydana gelen ürünler muntazam aralıklarla aşağıdan alınır. Maden oluğunun takriben 1 - 1,5 m. üzerinde bulunan cüruf oluğu döküm saatlerinden yaklaşık yarım saat önce açılarak maden üzerine toplanmış bulunan cüruf boşaltılır. Bu delikten cürufun hepsi alınmadığı için maden oluğu açıldıktan 20 dakika sonra maden oluğundan madenle birlikte cürufta akar, bunlar bir haznede toplanarak yüzeyde toplanan cüruf üst kısımdaki bir kanal vasıtasıyla cüruf toplama havuzuna alınır.

Yüksek fırında kullanılan malzemelerin ve imal edilen ham demirin cinsine ve istenilen evsafa göre yüksek fırınlarda cüruf yapmak mümkündür. Bilhassa cüruf sanayii bir imalatta kullanılıyorsa ekonomik sınırlar içerisinde kalması

şartıyla istenilen nitelikte cüruf üretilebilir. Yüksek fırınlarda kullanılan malzemelerin evsafı ve fırın dizaynı, bazen istenilen cürufu elde etmeye müsait olabilir. Türkiye de bugün mevcut olan yüksek fırınlardan çıkan cüruf, bir sanayide kullanılmadığı için cüruf evsafı, fırınların çalışma durumuna ve eldeki mevcut malzemenin evsafına göre olmaktadır.

Ülkemizdeki demir çelik fabrikalarında elde edilen cüruflardan sadece granüler cürufun küçük bir bölümü çimento sanayiinde kullanılmaktadır. Ülkemizdeki son yıllardaki cüruf üretimi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

TABLO II.1 TÜRKİYEDEKİ D.Ç.FABRİKALARINDA CÜRUF ÜRETİMİ TON/YIL				
FABRİKALAR	REFERANS YILI	YÜKSEK FIRIN CÜRUFU ÜRETİMİ	GRANÜLE CÜRUF ÜRETİMİ	ÇELİK CÜRUFU ÜRETİMİ
İskenderun	1983-84	410.000	203.000	100.000
Karabük	1983-84	360.000	250.000	150.000
Ereğli	1984-85	515.000	20.000 (Satılan)	250.000

II.5 - YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Yüksek fırın cürufu kırma ve eleme işlemlerine tabi tutularak kullanım amacına göre istenilen granülometriye getirildiği zaman fiziksel özellikleri yönünden diğer agrega türlerine nazaran bir takım avantajları vardır. Kil ve siltten arı olması, iyi bir sürtünme özelliğine sahip bulunması ve pürüzlü bir yüzeye sahip olması nedeniyle özellikle bitümle olan karışımlarında iyi bir yüzey adezyonuna sahiptir. Bunun yanında ateşe mukavemeti yüksek olup poroz bir malzeme olduğu için su adsorpsiyonu fazladır. Yol yapımında kullanılan agregalarında bitümle birleşerek flexible ve stabil bir yapı oluşturduğu göz önüne alınırsa yüksek fırın cürufu-

nun bu amaçla kullanılabilceği görülür. Kendi halinde soğuyan cüruf yollar fenni şartnamesinde istenen üst yapı tabakalarının gradasyon limitlerinin hiçbirisine uymaz, ancak kırma ve eleme işlemleri yapılarak kullanılabilirler.

II.6 - TAŞIMA GÜCÜ

Kendi halinde soğumaya bırakılmış Karabük cürufu üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinde alınan sonuçlara göre yaş ve kuru C.B.R değerleri hep 80'in üzerinde olmuştur. Ki cüruf kırılıp elenerek granülometrisi uygun hale getirilirse bu değerlerin dahada artacağı ve kırmataş değerine kadar yükseleceği doğaldır.

II.7 - ERDEMİR CÜRUFU İLE YAPILAN LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

II.7.1 - LABORATUVAR ÇALIŞMASININ ESASLARI

Yaptığımız laboratuvar çalışmasının amacı; Türkiye'deki demir çelik fabrikalarında artık ürün olarak elde edilen ve hemen hemen hiç değerlendirilmeyen cürufun beton asfalt kaplamalarda kullanılıp kullanılmayacağına araştırılması idi. Bu amaçla Ereğli demir çelik fabrikalarından cüruf getirildi. Bu cüruf teknik şartnamedeki uygunluk deneylerine tabi tutularak, kırma ve eleme işlemlerinden sonra uygun granülometriye getirilerek marshall stabilite deneyine tabi tutuldu. Bu çalışmada ayrıca karışım içerisindeki farklı cins cürufların yüzdeleri değiştirilerek uygun bir karışım formülü aranıldı.

Yapılan deneysel çalışma sırasında Yıldız Üniversitesi yapı malzemesi laboratuvarı, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği bitüm laboratuvarı ile İ.T.Ü. yapı ve metalurji laboratuvarının imkanlarından istifade edildi.

II.7.2 - DENEYLERDE KULLANILAN CÜRUFUN KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Deneylerimizde kullanılan Erdemir yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri Tablo II.2'de verilmiştir.

TABLO II.2 ERDEMİR CÜRUFUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ		
KİMYASAL BİLEŞİKLERİ	Y.F. CÜRUFU (%)	ÇELİK CÜRUFU (%)
Al ₂ O ₃	13,08	-
CaO	35,00	62,37
SiO ₂	34,49	14,16
TiO ₂	-	-
S	1,09	0,09
MnO	1,21	5,77
FeO	0,44	16,08
KgO	-	-
MgO	12,44	1,53

Cürufun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri puzzolanik bir yapıya sahip olan portland çimentosu klinke-
rine benzemekle beraber daha az CaO ihtiva eder. Cürufun
kimyasal özellikleri aşağıdaki karakteristik değerler ile
tanımlanır.

- Bazisite : CaO/SiO₂ olarak tanımlanır. Bazik cüruf-
ta CaO/SiO₂ 1,3~1,5 arası olur. Asidik cürufta ise 1,10'dan
küçüktür.

- Hidrolisite : Bu kriter cüruftaki diğer oksitlerin-
de dikkate alınmasıyla bazlık derecesinin daha genişletilmiş
şeklidir. $F = (CaO + 0,5S + 0,5MgO + Al_2O_3) / (SiO_2 + MnO)$ olarak tanımlanır. Cürufun hidrolik özellikleri hidrolisitesine bağlı olarak şu şekilde tayin edilir. (Tablo II.3)

TABLO II.3 - CÜRUFUN HİDROLİK ÖZELLİĞİ			
HİDROLİK DEĞER	ORTA	İYİ	ÇOK İYİ
F	1,5	1,5-1,9	1,9

Erdemir yüksek fırın cürufunun hidrolosite değeri ortalama olarak 1,53 olup, hidrolik özellikleri "İYİ" diye tanımlanabilir.

Deneylerimizde agrega olarak kullandığımız Erdemir cürufunun laboratuvarında tesbit edilen fiziksel özellikleri ve şartname sınır değerleri Tablo II.4 ve Tablo II.5'te verilmiştir.

TABLO II.4 ERDEMİR CÜRUFUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ			
DENEY ADI	BULUNAN DEĞERLER %		ŞARTNAME SINIRLARI (%)
	Yük.Fır.Cürufu	Çelik Cürufu	
Na ₂ SO ₄	6	4,5	(12-25)
Los Angeles aşınma	32	14	(35-40)
Soyulma mukavemeti	30-35	90-95	50
Su Adsorbsiyonu	2	0,8	2,5

TABLO II.5 ERDEMİR CÜRUFUNUN STABİLİTE DEĞERLERİ			
DENEY ADI	KARIŞIM CİNSİ	BULUNAN DEĞER	ŞART. SINIRI
CBR (%)	Yüksek fırın cürufu	120	90-100
Serbest basınç direnci (Kg/cm ²) (7 günlük silindir)	YFC- kireç YFC- Çimento	25,40~ 38,54	28
Marshall stabilitesi (kg)	Çelik cürufu Asfalt çimentosu	1000	600-750

II.7.3 - MARSHALL STABİLİTE DENEYİ ÖNCESİ YAPILAN MALZEME DENEYLERİ

II.7.3.1 - ASFALT ÇİMENTOSU DENEYLERİ

Deneylerde kullanacağımız asfalt çimentosu, İstanbul büyükşehir belediyesine ait Çağlayan'daki beton asfalt tesislerinden alındı. Aldığımız asfalt çimentosunun 75.100 penetrasyonlu AC olduğunu biliyorduk. Ancak yapacağımız stabilite değerlerinin güvenilirliği açısından şartnamedeki değerlere uygunluğunu kontrol etmek için bağlayıcı üzerinde istenen deneyler yapıldı. Bu deneyler karayollarının teknik yayınlarında ve ders notlarımızda verilen prosedürler çerçevesinde yapıldı. Ben burada deneylerin yapılışının detayına girmeyip bulunan sonuçları vermeyi daha uygun buluyorum.

a. Penetrasyon deneyi :

Penetrasyon deneyi asfalt çimentolarının kıvamliliklerini tayin etmekte kullanılan bir kriterdir. Bize asfaltın çeşitli sıcaklıktaki bağlayıcılığı konusunda fikir verir. Usulüne uygun şekilde yapılan penetrasyon deneyleri sonucu kullandığımız asfalt çimentosunun penetrasyon değerleri aşağıdaki şekilde tesbit edilmiştir. Deneyler iki nümune üzerinde yapılmış olup, her nümune de 3 okuma yapılarak yapılan okumaların ortalamaları penetrasyon değeri olarak alınmıştır. (Tablo II.6)

TABLO II.6 PENETRASYON DENEYİ SONUÇLARI			
NÜMUNELER	I. BATMA	II. BATMA	III. BATMA
I. NÜMUNE	80	83	80
II. NÜMUNE	83	86	85

Ortalama penetrasyon değeri 83 olarak alınmıştır.

b. Yumuşama noktası deneyi :

Asfaltın ısı değişmelerine karşı direncini ölçmek bu deney yapılır. Asfalt çimentosu yüksek bir yumuşama

noktasına sahip ise ısı değişimleri kıvamlılığı çok az etkiler. Yine iki nümune üzerinde yapılan yumuşama noktası deneyi sonucu; yumuşama noktası I.nümunede 45°C , 2. nümune ise 46°C olarak tesbit edilmiş ve ortalaması alınarak $45,5^{\circ}\text{C}$ bulunmuştur.

c. Parlama noktası deneyi :

Parlama noktası, bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmayı devam etmediği en düşük sıcaklık olarak tanımlanabilir. Bir asfaltın parlama noktası ısıtılma sırasındaki yangın tehlikesi önlemek için gereklidir. Cleveland açık kabı ile yapılan parlama noktası deneyi sonucu, I. nümune 236°C ve II.nümunede 241°C olarak tesbit edilmiştir. Ortalama yanma noktası $238,5^{\circ}\text{C}$ alınmıştır.

d. Özgül ağırlık deneyi :

Yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda karışımda kullanacağımız asfalt çimentosunun özgül ağırlığı $1,036\text{gr/cm}^3$ olarak tesbit edilmiştir.

Asfalt çimentosu üzerinde yapılan deneylerin toplu sonuçları ve K.G.M Yollar Fenni Şartnamesinde (1986) verilen sınır değerler Tablo II.7'de gösterilmiştir.

TABLO II.7 KARIŞIMDA KULLANILACAK ASFALT ÇİMENTOSUNUN ÖZELLİKLERİ				
SINIFLAR	T.S.NO	KULLANDIĞIMIZ AC'nin DENEY SONUCU	ŞARTNAME SINIRLARI	
			75-100	
			Min	Maks.
Penetrasyon (25°C 100gr, 5Sn)	T.S.118	83	75	100
Yumuşama noktası, $^{\circ}\text{C}$ (Halka ve bilya metodu)	T.S.120	45,5	44	49
Parlama noktası, $^{\circ}\text{C}$ (Cleveland açık kap)	T.S.123	238,5	230	-
Özgül ağırlık deneyi (gr/cm^3)		1,036	-	-

II.7.3.2 - AGREGA (CÜRUF) DENEYLERİ :

Yapacağımız karışımlarda agregalar olarak kullanacağımız Erdemir cürufu üzerinde gerekli olan deneyler yapılmıştır. Özellikle karışım için uygun şartları sağlayan çelik cürufunun kırılması ve istenilen granülometriye getirilmesinde birtakım güçlüklerle karşılaşmıştır. Malzeme çok sert olduğundan laboratuvar tipi küçük çeneli kırıcılarda istenilen boyutlarda malzeme elde etmek zor olmuştur.

Agregalar üzerinde aşağıdaki deneyler usulüne uygun olarak yapılmıştır. Ve burada sadece sonuçları verilmiştir.

a) Birim Hacim Ağırlıkları :

Kaba ve ince agregalar için cüruf cinslerine göre ayrı ayrı yapılan birim hacim ağırlığı deneyinin sonucunda aşağıdaki değerler bulunmuştur.

- Çelik cürufu için : 1,795 gr/cm³

- Y.Fırın cürufu için: 1,115 "

- Granüle cüruf : 0,916 "

b) Özgül Ağırlık Deneyi :

Deneyin amacı, bitümlü karışımın teorik özgül ağırlığının karışımdaki boşluk yüzdesinin ve karışımdaki asfaltla dolu boşluk yüzdesinin hesaplanması ve agreganın hacim-ağırlık ilişkisinin teyin edilmesidir. Bu deney değişik cins cürufların farklı yüzdelerle temsil edildiği 6 grup agregalar için yapılmış olup, sonuçlar aşağıdadır.

- 1. Grup : %83 çelik cüruf +%10Gra.Cür. +%7filler

D₁ = 3,567 gr/cm³ , D₂ = 3,553 gr/cm³

D_{ort} = 3,560 gr/cm³

- 2. Grup : %78 çelik cüruf +%15Gra.cür +%7 Filler

D₁ = 3,404 gr/cm³ , D₂ = 3,424 gr/cm³

D_{ort} = 3,412 gr/cm³

- 3. Grup : %73 çelik cür +%20 Gra.cür +%7 Filler

$$D_1 = 3,295 \text{ gr/cm}^3, D_2 = 3,284 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_{\text{ort}} = 3,289 \text{ gr/cm}^3$$

- 4. Grup : %100 çelik cürüfu

$$D_1 = 3,896 \text{ gr/cm}^3, D_2 = 3,868 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_{\text{ort}} = 3,882 \text{ gr/cm}^3$$

- 5. Grup : %88 çelik cür X %5 Gra.Cür +%7 Filler

$$D_1 = 3,655 \text{ gr/cm}^3, D_2 = 3,669 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_{\text{ort}} = 3,662 \text{ gr/cm}^3$$

- 6. Grup : %83 çelik cür. +%10 Gra.cür +%7 portland çimento

$$D_{\text{ort}} = 3,576 \text{ gr/cm}^3$$

- 7. Grup :

No200'den geçen granüle cür : 1,5 gr

Portland çimentosu : 44 gr

45,5 gr.

$$D_{\text{ort}} = 3,02 \text{ gr/cm}^3$$

- c) Kaba Agreganın Su Adsorbsiyonu :

Çelik cürüfu için yapılan su adsorbsiyonu deneyinde, su adsorbsiyonunun %4,71 olduğu tesbit edilmiştir.

- d) İnce Agreganın Su Adsorbsiyonu :

Çelik cürüfu ve Yüksek fırın cürüfu için ayrı ayrı yapılan deneyler sonunda aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- Çelik cürüfu için %1,7

- Yüksek fırın cürüfu için: %6,12

- e) Nicholson Metoduyla Soyulma Deneyi :

Yapılan Nicholson soyulma deneyi sonucunda çelik cürüfu için %90-95, yüksek fırın cürüfu %30-35 olarak bulunmuştur. Yüksek fırın cürüfunün soyulma mukavemetinin düşük olmasına rağmen çelik cürüfunün çok iyi bir soyulma mukavemetine sahip olduğu görülmektedir.

f) Yassılık İndeksi Tayini :

Çelik cürufu için yapılan çalışma sonunda yassılık indeksi %11,53 olarak tayin edilmiştir.

g) Elek analizleri :

Granüle cüruf için elek analizi yapılarak granülometri eğrisi çizilmiştir. Daha sonra çelik cürufu elenip sınıflara ayrılarak Karayolları Fenni Şartnamesinde beton asfalt karışımlar için verilen gradasyon limitlerinde C tipi esas alınarak karışıma esas olan gradasyona getirilmiştir. (Tablo II.8)

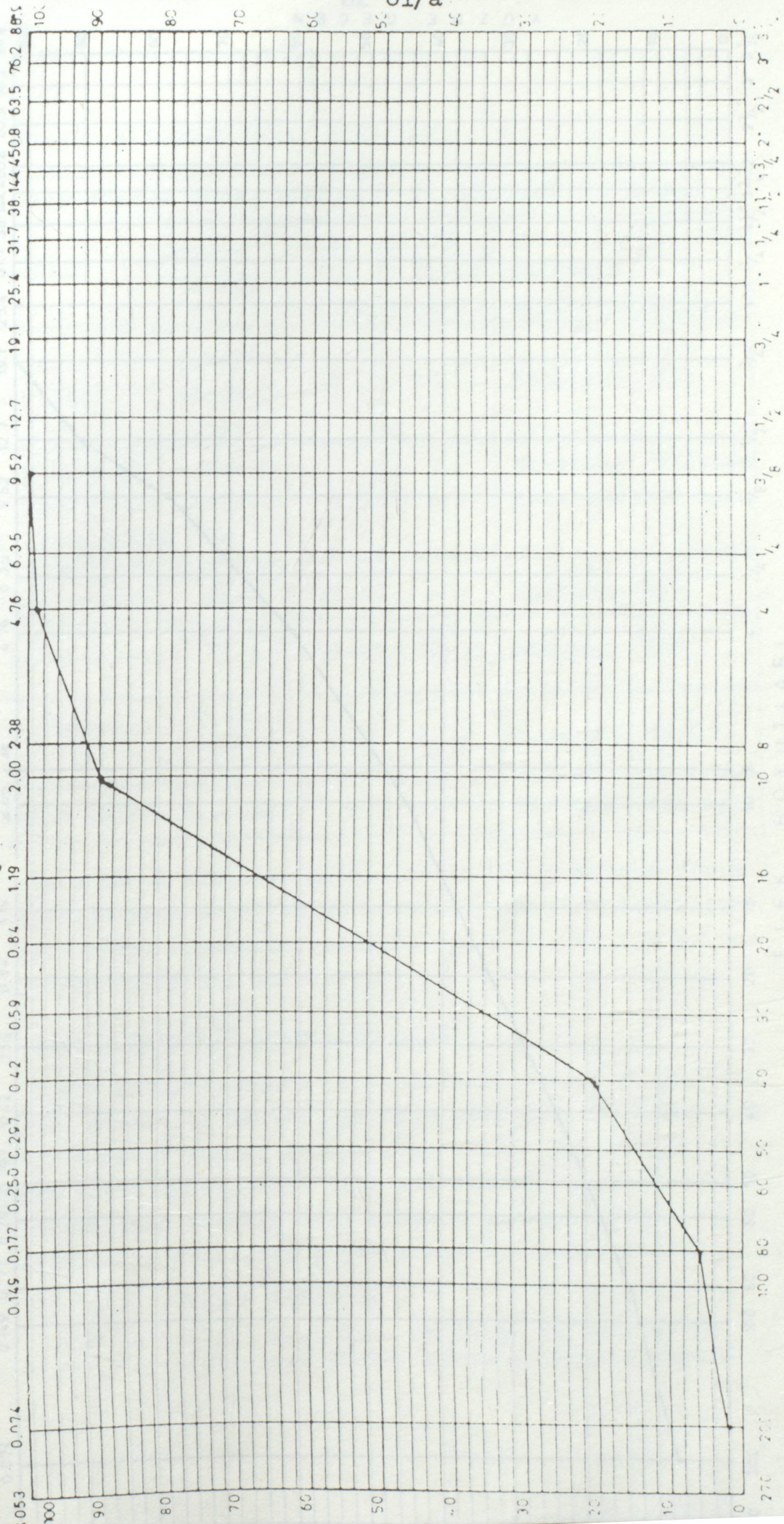
Granüle cüruf için ve karışıma giren agrega sınıfları için çizilen granülometri eğrileri (Grafik II.1 ve 2. dedir)

TABLO II.8 BETON ASFALT İÇİN "C tipi" GRADASYON		
ELEK BOYUTU	% GEÇEN	AĞIRLIK (GR)
3/4"	100	-
1/2"	91	117
3/8"	79	156
4 No	61	234
10	45	208
40	24	273
80	14	130
200	7	91
Filler	-	91
TOPLAM AGREGA MİKTAR		1300 Gr.

KARAYOLLAR GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
17. BÖLGE ... MÜDÜRLÜĞÜ

7580133 - ELEK ANALİZİ GRAFİĞİ - GRANÜLE CÜRUF
(Grafik II-1)

EFK ACIKLIĞI (mm.)



ELEK BOYUTLARI

Bölge ve Şantiye

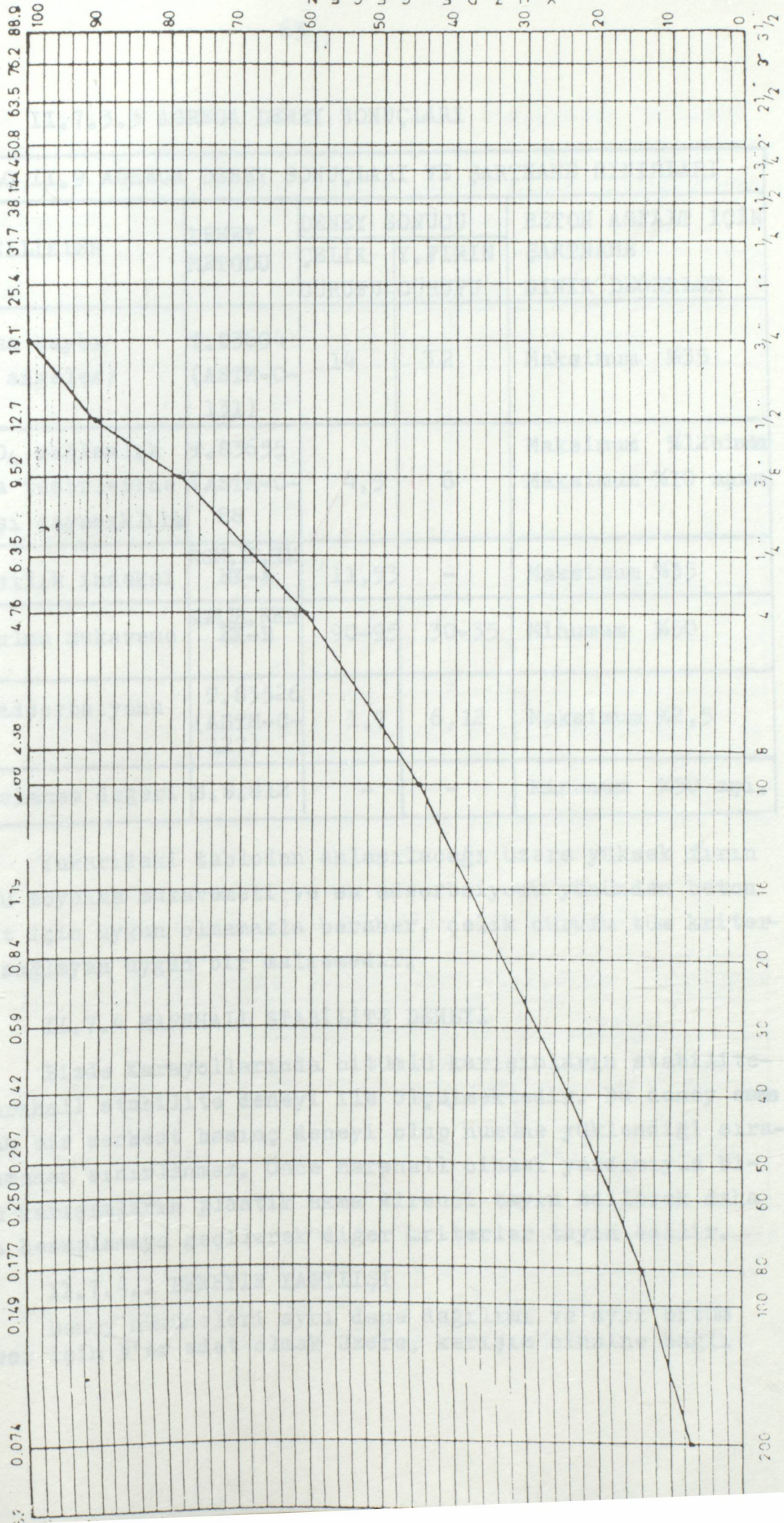
Çizim No

Lezizeler No

KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
17. BÖLGE .. Müdürlüğü

7580133 - ELEK ANALİZİ GRAFİĞİ - KARIŞIMA ESAS OLAN

ELEK AÇIKLIĞI (mm.)
(Grafik II-2)



II.7.3.3 AGREGA DENEY SONUÇLARI

TABLO II.9 AGREGA DENEY SONUÇLARI VE ŞARTNAME SINIRLARI				
ÖZELLİKLER	DENEY METODU	DENEY SONUCU		BETON ASFALT İÇİN ŞARTNAME SINIR DEĞERLER
		ÇELİK CÜRUFU	Y.FIRIN CÜRUFU	
Aşınma kaybı (los angeles)	T.S3694 (ASTM-C-131)	14	3,2	Maksimum %35
Na ₂ SO ₄ sağlamlık (Hava tesirlerine karşı dayanıklılık)	T.S3655 (ASTM-C-88)	4,5	6	Maksimum %12binder Maksimum %10 aşım
Yassılık indeksi	KGM.R.REH EK-A	11,53	-	Maksimum %35
Soyulma mukavemeti	KGM.R.REH EK-B	90-95	30-35	Minumum %50
Su adsorbsiyonu	T.S3526 (ASTM-C-127)	1,7	6,12	Maksimum %2,5
Cilalanma değeri	B.S.812	-	-	Minumum %50 aşl.

Yukarıdaki tablodan anlaşılacağı üzere yüksek fırın cürufu soyulma mukavemeti ve su adsorbsiyonu yönünden beton asfalt için uygun olmamakla beraber, çelik cürufu tüm kriterleri sağlayan uygun bir malzemedir.

II.7.4 MARSHALL STABİLİTE DENEYİ

Bizde Karayollarında bitümlü karışımların stabilitesi Marshall stabilite deneyi ile ölçülmektedir. Bu deney esas olarak bir serbest basınç deneyi olup numüne yüklendiği sırada tamamen sınırlanmaz. Önce Marshall cihazı yardımıyla bitümlü karışımların plastik akma direnci tayin edilerek daha sonra hesaplamaya geçilerek diğer kriterler tayin edilir.

II.7.4.1 DENEYİN YAPILIŞI

Deney numüneleri ayrı dane dağılımı ve ayrı bitüm yüzdesi için 3'er adet olmak üzere, karışım cinsine bağlı

olarak tesbit edilen bitüm miktarından başlayarak ve bitüm miktarını % .5 oranında artırarak 5 veya 6 ayrı bitüm yüzdesi için hazırlanır. Bizim deneylerimizde alınan bitüm yüzde ve miktarları tablo II.10'da verilmiştir.

BİTÜM (%) si	BİTÜM MİKTARI (Gr)	NUMÜNE ADEDİ
4	52	3
4,5	58,5	3
5	65	3
5,5	71,5	3
6	78	3
6,5	84,5	3

Bir numüne için gerekli agrega gradasyonuna uygun şekilde tartılarak etüvde ısıtılır. Bitümde ayrı bir kapta karıştırma sıcaklığına kadar ısıtılarak hazırlanacak numünenin bitüm yüzdesindeki miktar kadar sıcak agreganın üzerine ilave edilerek karıştırıcı makina vasıtasıyla karıştırılır. Karayolları Fenni Şartnamesinde beton asfalt için verilen karıştırma sıcaklıkları Tablo II.11'de verilmiştir.

	ASFALT ÇİMENTOSU		AGREGA	
	Min	Maks.	Min.	Maks.
75-100 pen.AC.ile hazırlanan karışımlar için	140°C	155°C	145°C	160°C

Bu sıcaklık limitlerinde karıştırılan malzeme numüne kalıplarının içerisine boşaltılarak sıkıştırma yapılır. Sıkıştırma sonunda 10 cm. çapında ve 6,35 cm. yüksekliğinde briketler elde edilir. Sıkıştırma esnasında dikkat edilecek

hususlar şunlardır. Numüne kalıpları iyice temizlenmiş ve sıkıştırma sonucu numünenin zedelenmeden çıkışını sağlamak için iç yüzeyleri yağlanmış olmalıdır. Sıkıştırma sırasında ısı kaybını önlemek için sıkıştırma kalıbı ve tokmağı 90°C ile 150°C arasında ısıtılmış olmalıdır. Önceden kalıp çapına uygun olarak kesilmiş bir filtre kağıdı veya benzeri kalıp tabanına konmalı ve malzemeyi kalıba boşaltırken segragasyon olmamasına özen gösterilmelidir. Kalıba boşaltılan malzemenin yaklaşık 15 defa yan yüzeyleri 10 defada ortası şişlenerek 457 mm'den serbest olarak düşen tokmak düzeni 50~75 darbe her iki yüzüne ayrı ayrı uygulanarak sıkıştırma yapılır. Bu sıkıştırma sonucu oluşan biriket kalıptan çıkarılarak numaralanır ve 24 saat normal oda sıcaklığında bekletilir. Bu bekleme süresi sonunda numüneler kırma öncesi havada ve 25°C suda tartılıp ve yükseklikleri ölçülerek kaydedilir. Yüksekliği 6,35 cm'den farklı olan briketlerde daha sonra düzeltme faktörleri kullanılarak işlem yapılır. Kırma öncesi numüneler sıcaklığı 60°C \pm 1°C olan bir su banyosunda 30-40 dakika bekletilir. Deney sonucunun hassasiyeti yönünden su banyosundan alınan briket 30 sn. içerisinde kırılmalıdır. Tüm biriketlerin su içerisinde kalma zamanının eşit olması için briketler kırma süresi aralığıyla su içerisine yerleştirilmelidir. Bu süreyi suda bekleyen briket alınarak marshall deney aletinin kırma kafasına yerleştirilir. Kırma kafasının üst segmanı sabit olup alt segmanın yükselme hızı 51 mm/dakikadır. Bu hızla yüklenen numünenin akma anındaki stabilometreden okunan "Marshall stabilitesi" değeri yardımıyla karışımın diğer özellikleri saptanabilir. Bizim laboratuvar deneyleri sırasında hazırladığımız briketlerin bir kısmı Karayollar 17. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği laboratuvarlarında, bir kısmı ise İ.T.Ü. Yol laboratuvarında kırılmıştır. Marshall hesaplarını bir tablo kullanarak basitçe yapmak mümkündür. Aynı bitüm yüzdesindeki üç numünenin kırmadan önce alınmış bulunan havadaki ve sudaki ağırlıkları yardımıyla pratik özgül ağırlıkları hesaplanır. Bu sonuçlardan birbirine %2 tölarañsla yolun en az iki tanesi

alınarak ortalaması bulunur. Üçüde tolerans sınırları dışındaysa deney yinelenir. Yine ayrı bitüm yüzdesindeki üç nümünün kırılma yüklerinin en küçük ve en büyük değerleri arasındaki fark 120 kg. geçmiyorsa alınır. Fark fazla ise deney yinelenir. Aynı bitüm yüzdesindeki akma değerlerindeki ortalaması hesaplanır. Bu bilgiler ışığında bitüm yüzdesine bağlı olarak pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk, stabilite, akma ve boşluk grafikleri çizilerek yoğunluk ve stabilite değerlerini maksimum yapan bitüm yüzdesi tesbit edilir. Karayolları Fenni Şartnamesinin Asfalt beton ve otoyol dizayn kriterleri Tablo II.12 ve Tablo II.13'te verilmiştir. Bundan sonraki kısımda ise laboratuvarında yaptığımız marshall deneyi hesapları gösterilmiştir. Bu hesaplamaların devamında alınan deney sonuçları ve şu ana kadar özetlemeye çalıştığım kriterler dikkate alınarak deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılacaktır.

II.7.4.2 DİZAYN KRİTERLERİ

TABLO II.12 ASFALT BETONU DİZAYN KRİTERLERİ				
ÖZELLİKLERİ	BİNDER		AŞINMA	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	50	-	50	-
Marshall stabilitesi (kg)	600	-	750	-
Boşluk (%)	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk (%)	65	75	75	85
Akma mm.	2,5 (0,10 inç)	4,6 (0,18 inç)	2,5 (0,10 inç)	4,6 (0,18 inç)
Asfalt çimentosu ağırlıkça (%)	3,5	6,5	4,0	7,0

TABLO II.13 OTOYOL DİZAYN KRİTERLERİ

ÖZELLİKLERİ	BİNDER		AŞINMA	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	75	-	75	-
Marshall stabilitesi (Kg)	750	-	900	-
Boşluk (%)	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk (%)	65	75	75	85
Akma, mm	2 (0,08inç)	4 (0,16inç)	2 (0,08inç)	4 (0,16 inç)
Filler/Bitüm oranı	-	1,4	-	1,5
(X)Suya daldırılmış numunelerin stabilitesinin orijinal stabiliteye oranı %	70	-	70	-

(X) Deney ihtiyari olup istenirse ASTM.D.1075(AASHTO T-165) e göre yapılacaktır.

Kırsal No	Arpa alanı (m)	Yulaf alanı (m)	Haradık alanı (gr)	Sudağı alanı (gr)	Haradık (cm)	Faaliyet alanı (gr)	Tezlik alanı (gr)	Ac. kırım (gr)	Arpa alanı (gr)	Boşluk alanı (cm)	Arpa alanı (gr)	Ac. alanı (gr)	Toplam alanı (gr)	Alanlar (m ²)	Düğümler	Düğümler
1	40324	606	133720	85470	4825	2771								609,9	1079	669,9
2	40324	612	133200	84810	4839	2753								542,5	1062	576,1
3	40324	609	133470	84360	4861	2746								437,5	1070	468,1
0012222							3219	1024	7541	11189	2059	4194	1435			568,37
4	45411	624	133470	86040	4930	2742								385,0	1023	35580
5	45411	617	134760	86750	4801	2807								560,0	1076	60260
6	45411	614	135200	86440	4806	2824								595,0	1056	62330
0012222							3189	1155	7556	12284	2444	4726	1289			542,23
7	50476	676	134690	84660	5003	2092								490,0	1023	50130
8	50476	608	136190	88040	4815	2828								682,5	1073	73230
9	70476	605	135730	87500	4823	2814								639,0	1082	68170
0012222							3156	1277	7515	12284	2475	5160	1198			63240
10	5550	595	135710	88416	4725	2872								770,0	1114	85780
11	5550	599	135690	88111	4758	2852								700,0	1100	7790
12	5550	595	135910	88413	4749	2862								700,0	1114	7798
0012222							3126	1390	74116	12284	2554	5422	1164			802,90
13	60514	541	136400	89115	4725	2887								767,0	1123	7889
14	60514	528	137830	90119	4764	2873								667,0	1104	73412
15	60514	607	134120	88622	4820	2855								602,0	1076	6678
0012222							3096	1522	7724	12284	2276	6819	724			723,62
16	6561	599	136720	89888	4779	2881								595,0	1100	65420
17	6561	602	137810	9031	4761	2895								602,0	1090	65620
18	6561	596	137420	89815	4763	2886								667,0	1100	73450
0012222							3068	1701	7709	12284	2291	7425	590			689,70

iri arpa güdüsü: % 39

İna arpa güdüsü: % 54

Filler güdüsü: % 7

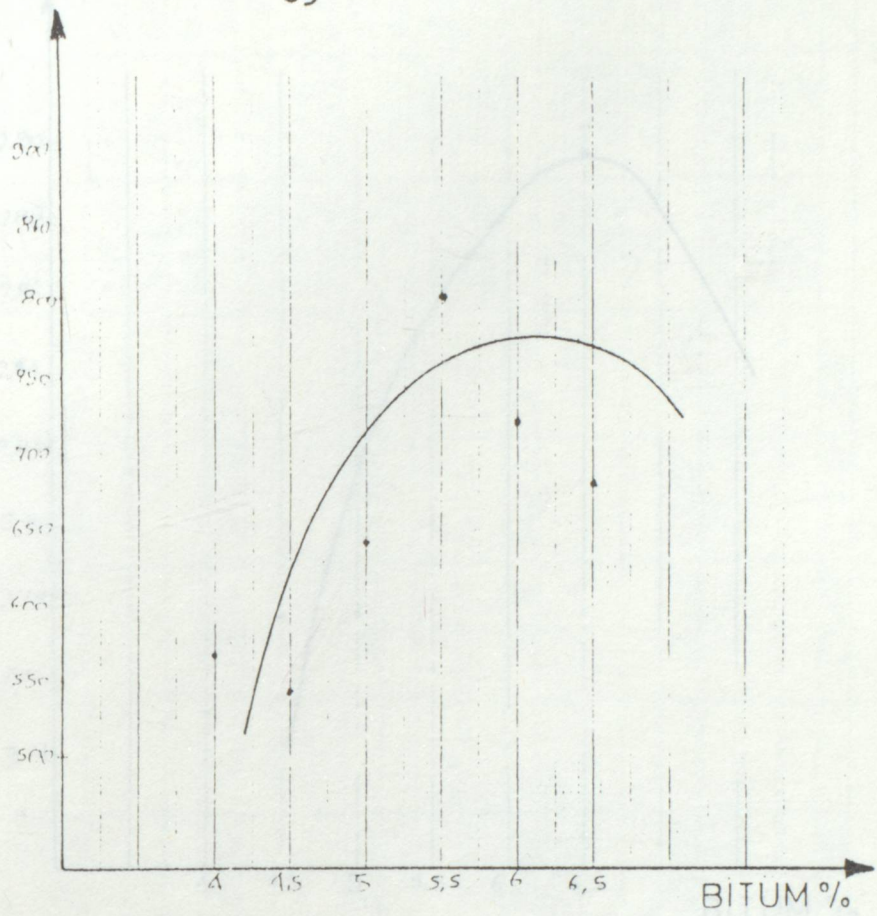
(% 78 GC. + % 15 GC. + % 7 PÇ.)

Kaba Arpa Ürünü Ar: 3,794 gr/km²

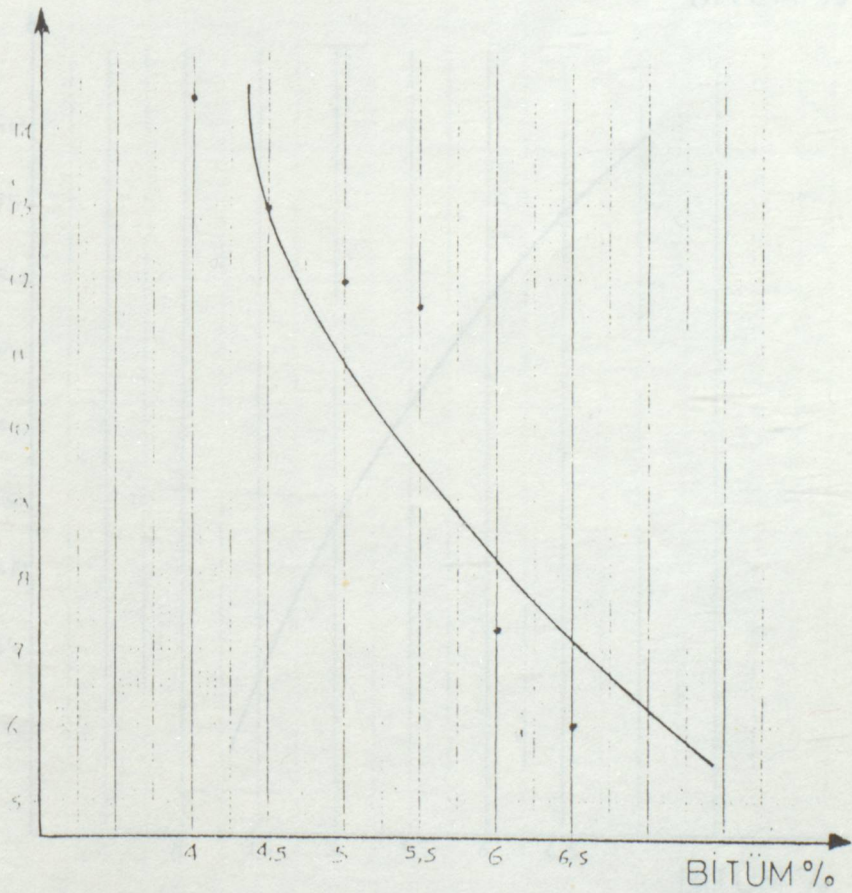
İna Arpa Ürünü Ar: 3,414 gr/km²

Filler Ürünü Ar: 2,982 gr/km²

STABILITE KG



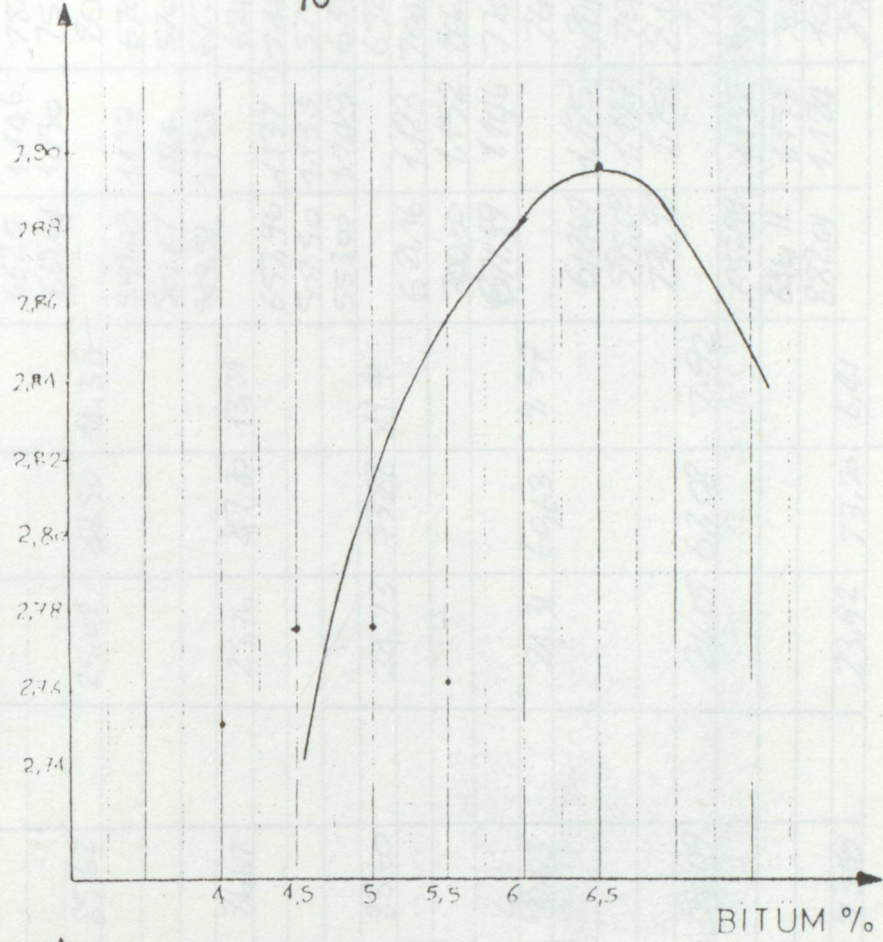
BOSLUK %



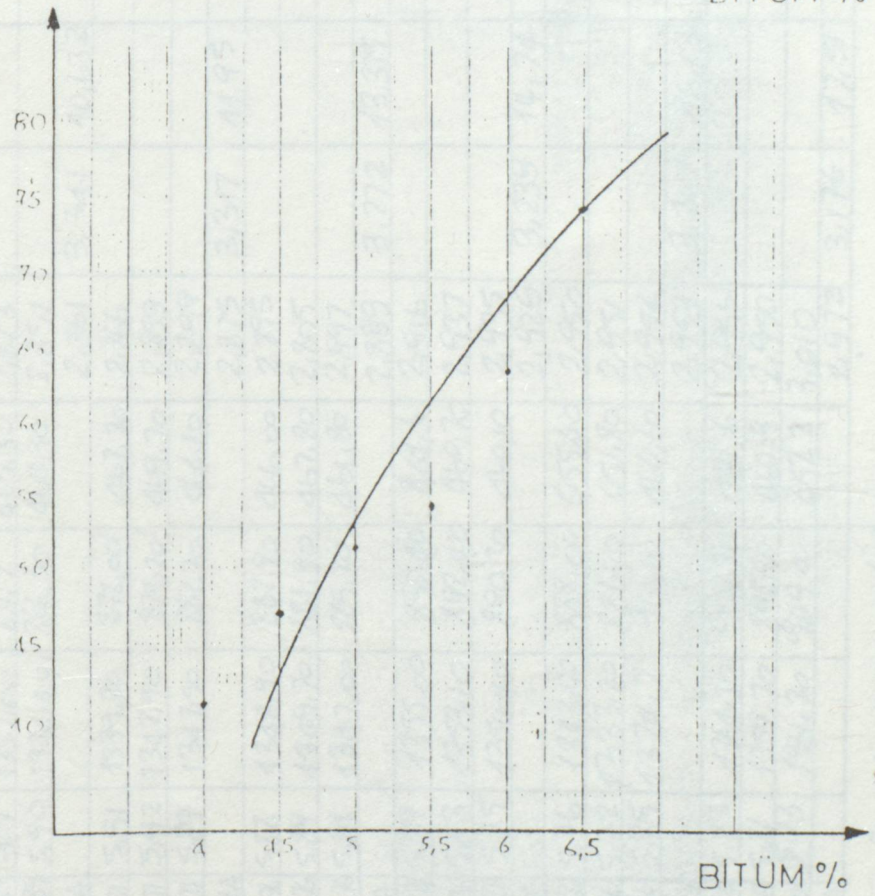
(%78Ç.C + %15 G.C + %7 P.Ç)

70

PRATİK ÖZGÜL
AĞIRLIK g/cm³



ASFALTLA DOLU
BOSLUK %



(%79 Ç.C + %15 G.C + %7 P.Ç)

Número No	Arceaga gora	Ferribatua %ak	Yulezkatil (mm)	Havardua (Agrilik (br))	Sudaki (br)	Hauim (cm ³)	Paitil Dagal Agrilik	Teonile Dagal Agrilik	Ac hauim (kg)	Agrosan hauim yuzden (ST)	Bozula hauim (L)	Agrosan bozula yuzden (kg)	Ac ile dola bozula yuzden (W)	Toplam bozula yuzden	Ölulen stabilite (kg)	Düğüne Falsen	Düğüne stabilite (kg)
1	40	38	534	1328,00	863,5	464,50	2,859								769,9	1,149	884,70
2	40	38	585	1337,00	871,7	467,30	2,873								682,5	1,146	782,10
3	40	38	590	1334,40	866,30	468,10	2,851								667,04	1,190	751,50
4	45	43	591	1339,20	872,00	467,20	2,866			85,62		25,01	42,50	14,38	598,03	1,127	806,10
5	45	43	592	1342,90	873,20	469,70	2,859								507,47	1,124	570,40
6	45	43	589	1347,50	882,70	464,80	2,899								549,51	1,133	622,60
7	50	48	588	1348,90	882,90	466,00	2,895			86,67		25,26	47,80	13,31	657,96	1,137	621,20
8	50	48	589	1349,70	881,90	467,80	2,805								587,50	1,133	575,00
9	50	48	584	1347,00	885,20	461,80	2,997								553,00	1,149	635,40
10	55	52	589	1355,00	892,40	464,6	2,899			88,60		24,73	53,88	11,4	621,36	1,123	652,83
11	55	52	583	1353,10	892,40	469,70	2,937								700,00	1,152	704,00
12	55	52	585	1350,40	899,30	469,10	2,935			0					671,99	1,146	701,10
13	60	56	576	1343,40	888,00	455,40	2,929			90,43		24,31	60,63	9,57	612,47	1,175	769,17
14	60	56	572	1333,20	881,40	451,80	2,951								595,03	1,187	801,90
15	60	56	585	1374,7	910,10	464,60	2,954								734,98	1,152	846,80
16	65	61	583	1364,50	908,90	461,6	2,953			92,09		24,05	67,08	7,92	657,99	1,152	787,30
17	65	61	581	1359,70	898,80	460,9	2,950								646,11	1,158	758,00
18	65	61	573	1361,20	909,00	452,2	3,010								882,01	1,184	798,20
19	65	61	574														194,30
20	65	61	574														259,17

Kaba Arceaga Dagal Agr: 3,794 gr/cm³

İne Arceaga Dagal Agr: 3,568 gr/cm³

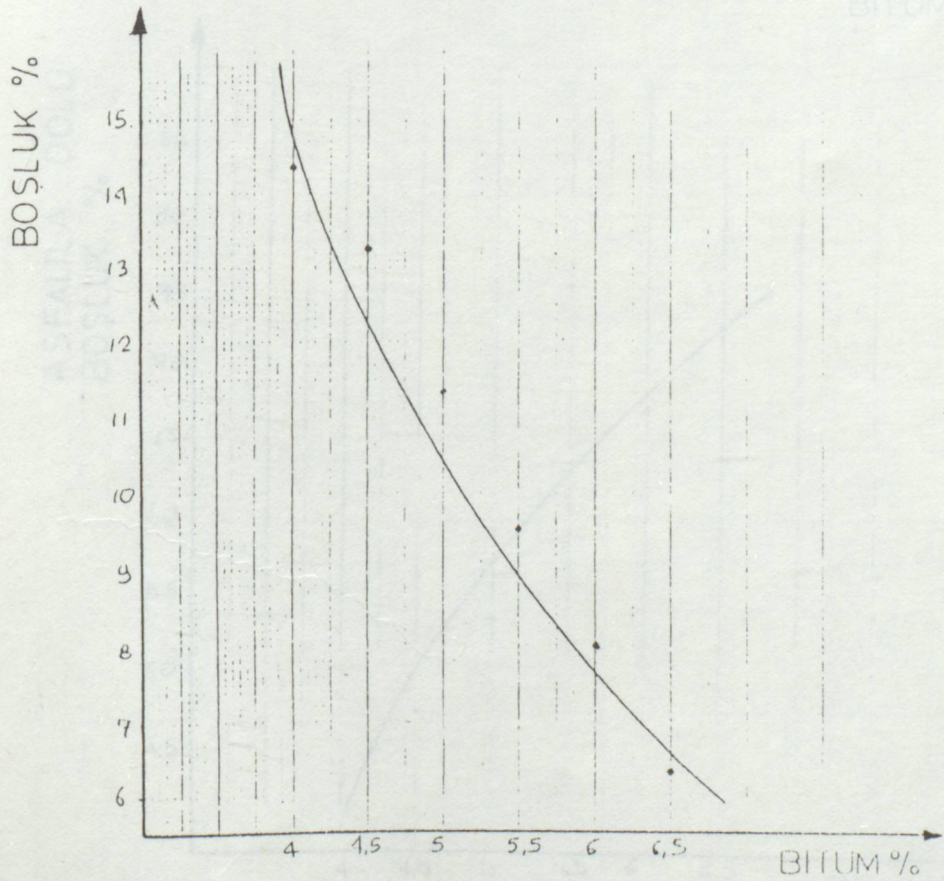
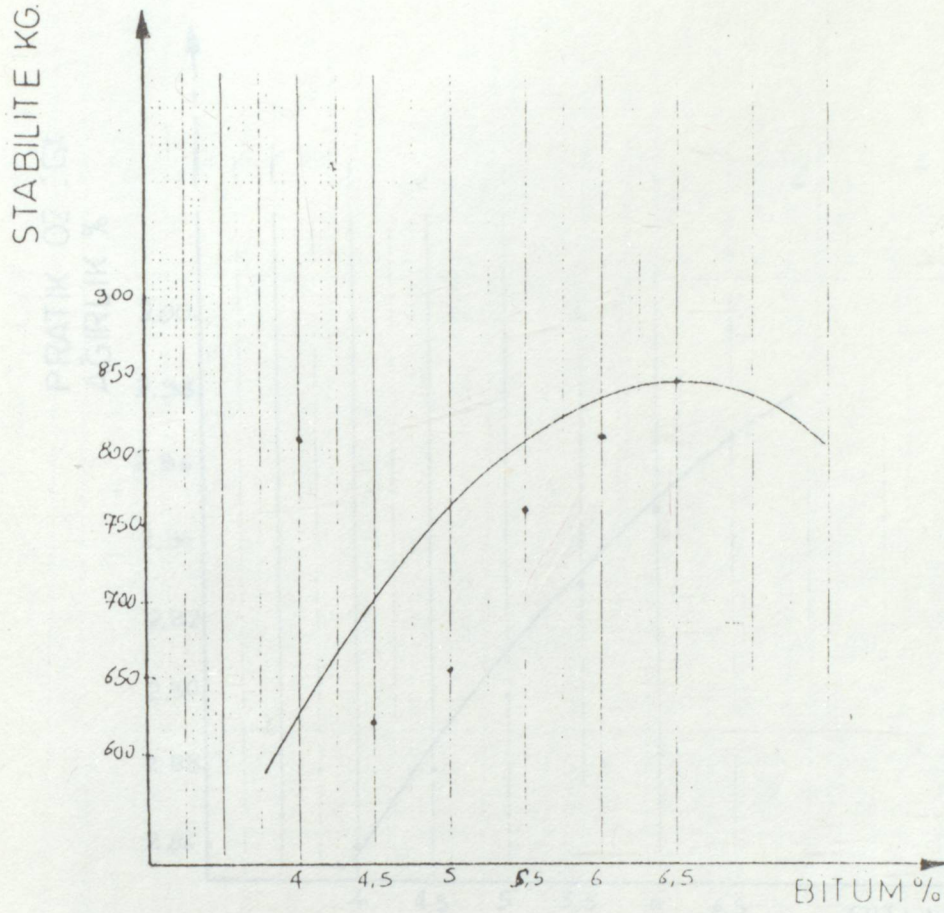
Filler Dagal Agr: 3,857 gr/cm³

iri arcega yuzdeni: %39

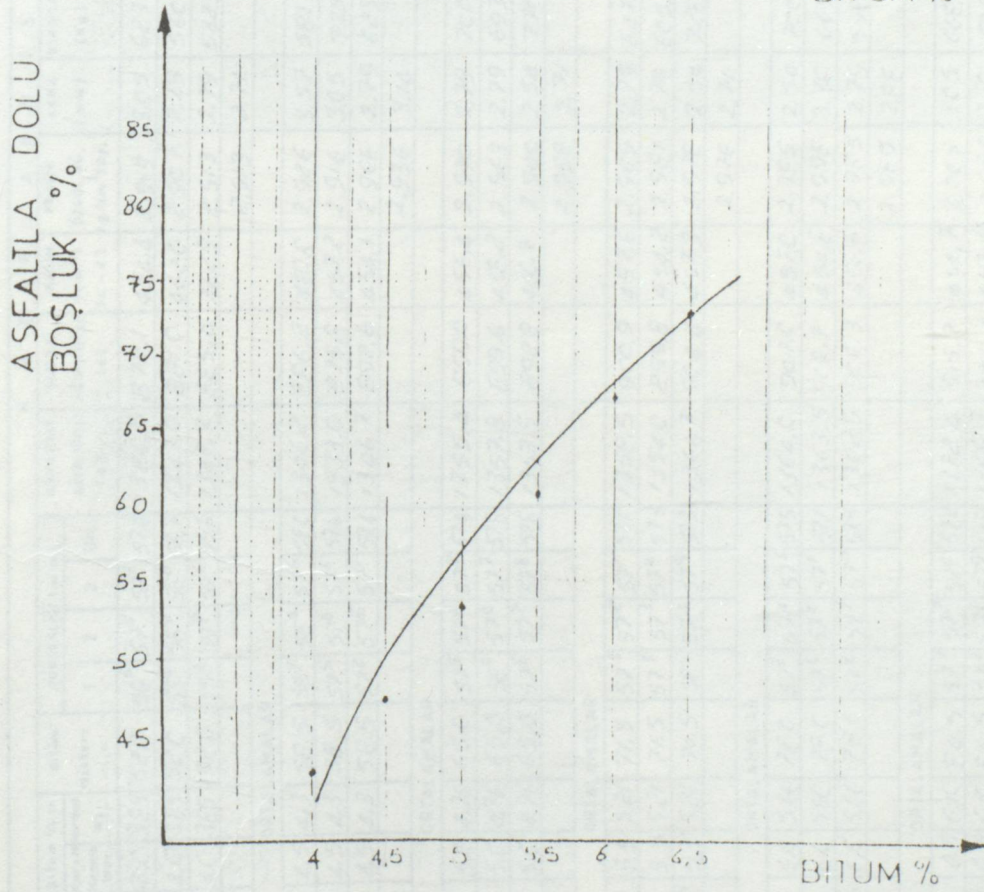
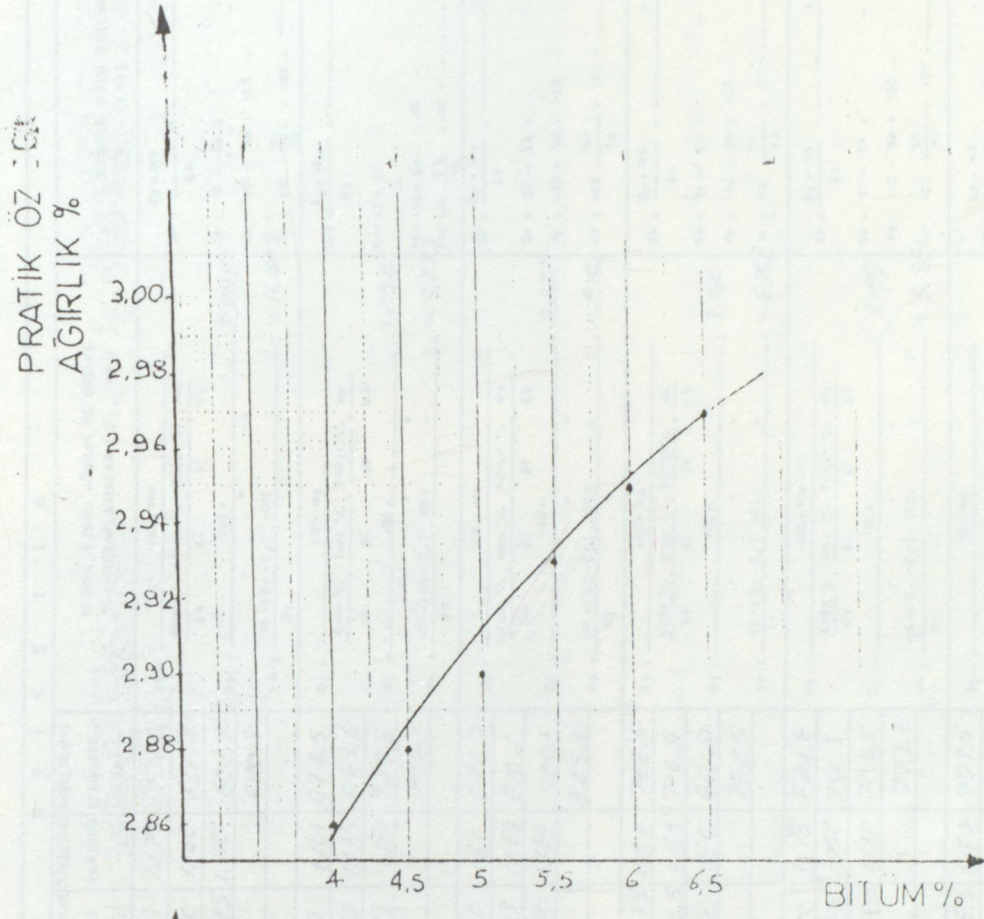
İne arcega yuzdeni: %54

Filler yuzdeni: %7

(%83 Ca.C. + %100 G.C + %67 CEMF)



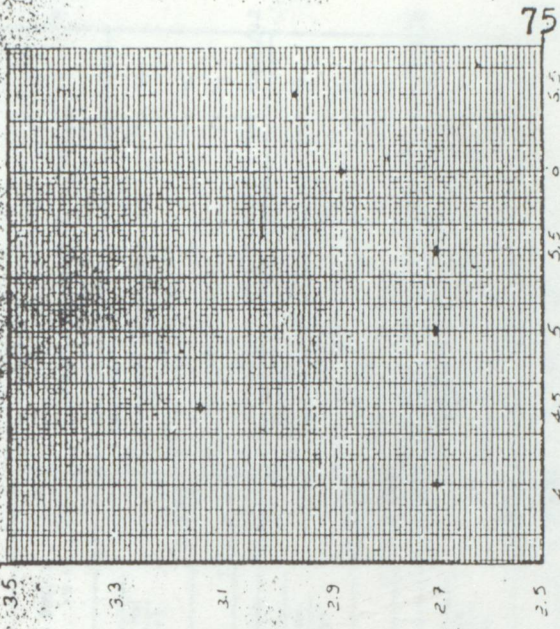
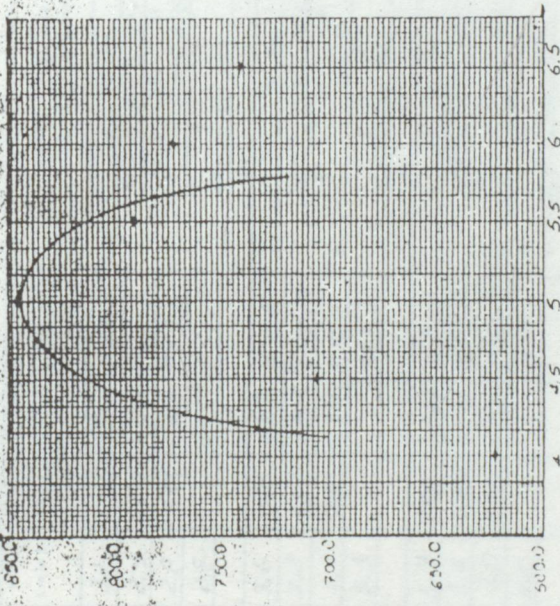
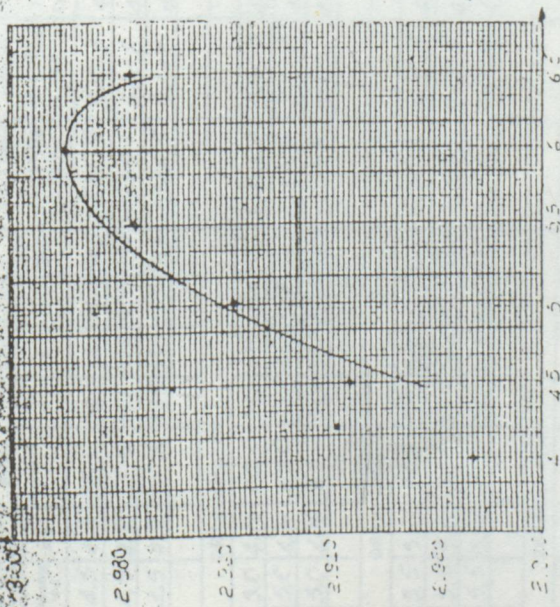
(%83 Ç.C + %10 G.C + %7 CÜRUF)



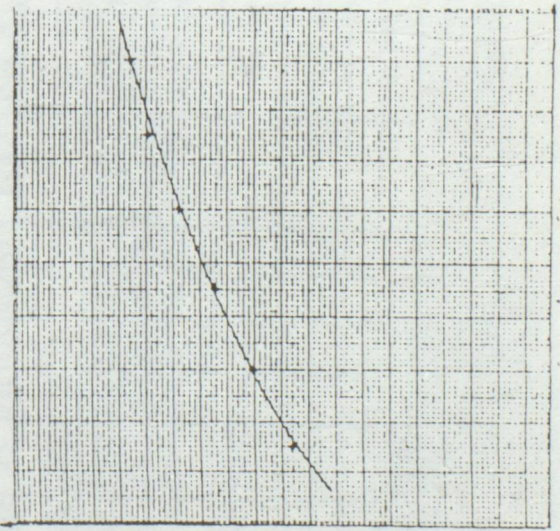
(%83 Ç.C X%10 G.C +%7 CÜRUF)

(%83 BOF, +%10 GS. +%7 PÇ.)

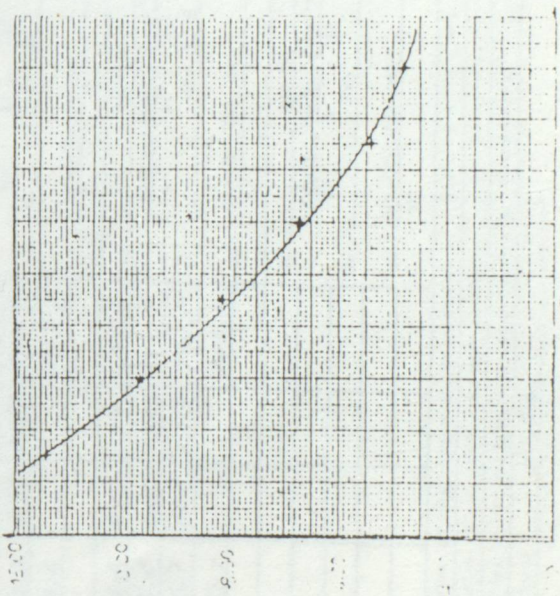
PRATİK
ÖZSUL
ASIRLIK
9/15m



ASFALTLA DOLU
BOŞLUK %



BOŞLUK %



BITÜM %

ASFALT BETONU KAPLAMA İÇİN SARTNAME DEĞERLERİ =

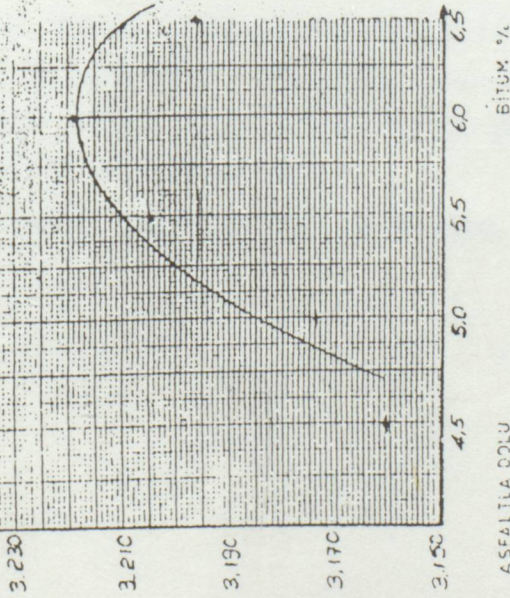
BİNDER T.	ASINMA T.
STABİLİTE (kg)	min 600
BOŞLUK (% s)	4 - 6
AKMA (mm)	2.54 - 4.57
BITÜMLE DOLU BOŞLUK (% s)	65 - 75
	75 - 85

DENEY SONUÇLARI =

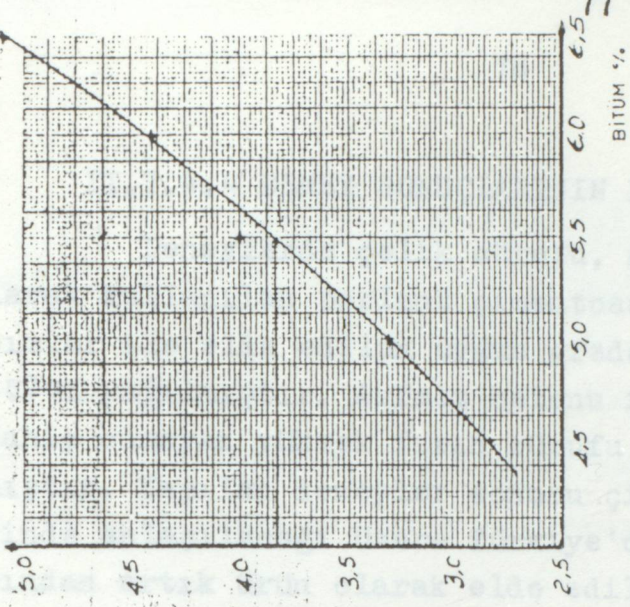
OPTİM. BITÜM (% s) = %
 STABİLİTE (OPT. BITÜMDE) = kg
 PRATİK ÖZS. AG () = %
 BOŞLUK (% s) () = %

(%93 BOF. + %7 FÇ.)

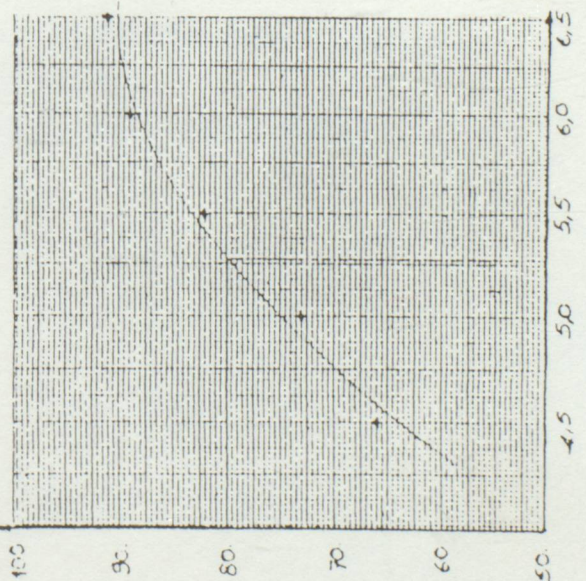
PRATİK
CİTEL
AĞIRLIK
g / cm³



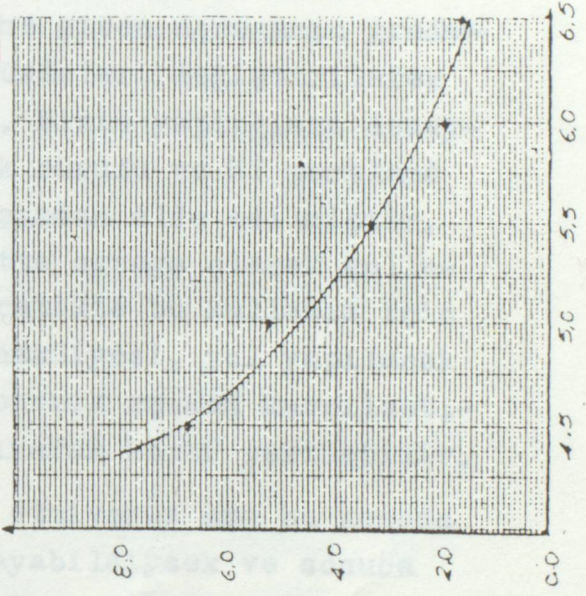
AKMA
mm



ASFALTA DOLU
BOŞLUK %



BOŞLUK %



BITUM %

ASFALT BETONU KAPLAMA İÇİN ŞARTNAME DEĞERLERİ =

BİNDER T.	ASINMA T.
STABİLİTE (kg)	min 500
BOŞLUK (% s)	4 - 6
AKMA (mm)	2,54 - 4,57
BITÜMLE DOLU BOŞLUK (% s)	65 - 75
	75 - 85

DENEY SONUÇLARI =

OPTİMUM BITUM (% s)	=	6,0	
STABİLİTE (CPT BITÜNDE)	=	1000	kg
PRATİK CİTEL AĞ ()	=	3,210	g / cm ³
BOŞLUK (% s)	=	3,4	
AKMA ()	=	3,625	mm
ASFALTA DOLU BOŞLUK (% s)	=	63	

II.7.4.4 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneylerde çelik cürufu, granüle cüruf ve filler olarak kullanılan portland çimentosu ile değişik yüzdeli karışımlar ile elde edilen uygun gradasyonlu agrega grupları ile işlem yapılmıştır. Asfalt betonu için yeterli özelliklere sahip olmayan yüksek fırın cürufu karışımlarda kullanılmamıştır. Yapılan deneyler sonucu çizilen grafikler incelendiğinde anlaşılacağı üzere Türkiye'deki demir çelik fabrikalarından artık ürün olarak elde edilen cüruf asfalt betonu karışımlarında (binder ve aşınma tabakaları için) agrega olarak kullanılabilir. Karışım bünyesine giren agreganın gradasyonu sabit kalmak koşuluyla cüruf yüzdeleri değiştirilerek değişik kombinasyonlar üretilebilir. Bizim yaptığımız deneylerde en mükemmel sonuçlar %93 çelik cürufu ve %7 portland çimentosu kullanılarak yapılan karışımdan elde edilmiştir. Deneysel olarak cürufun beton asfaltta agrega olarak kullanılabileceği gösterilmiştir, ancak pratikte bu kullanım için cürufun elde edilebilme kolaylığı, nakliyesi, yol yapılacak çevredeki doğal taş ocakları ile ekonomik açıdan karşılaştırılması v.s. kriterler göz önüne alınarak karar verilebilir.

Tam sonuca gittiğimizi iddia etmiyoruz ama bu konuda bir adım olsun ileriye gitmeyi sağlayabildiysek ve sonuca giden araştırmalar zincirinde bir halkayı teşkil edebilirsek mutluluğumuz sonsuz olacaktır.

- Doç. Dr. Ayhan KARAKÖK, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Beton Enstitüsü, İstanbul
- "BİTÜMLÜ MALZEMELERİN KULLANIMI VE KALİTESİNİN İZLENİMİ" K.G.N. 1985
 - "YOLLAR FENNİ ŞARTNAMESİ VE KALİTESİNİN İZLENİMİ" K.G.N. 1985
 - "BİTÜMLÜ SİGAK KARIŞIM KALİTESİNİN İZLENİMİ" K.G.N. 1985
 - "ÖZEL FENNİ ŞARTNAME" K.G.N. 1985

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- "YOL ÜST YAPISI" Prof. Faruk UMAR
Doç. Dr. Emine AĞAR, İ.T.Ü. 1985
- "YOL İNŞAATI" Doç. Bekir YILDIRIM, F.Ü. 1982
- "YOL MÜHENDİSLERİ İÇİN ZEMİN MEKANIĞI", İ.T.Ü. 1970
D.S.I.R Road Research Laboratory Y.KUMBASAR
F.KUMBASAR Tercüme
A.ÖNALP
- "KARAYOLLARI ESNEK ÜSTYAPILAR PROJELENDİRME REHBERİ"
K.G.M. 1984
- "BİTÜMLÜ MALZEMELER LABORATUVAR EL KİTABI", K.G.M. 1979
- "YENİ YAPILACAK YOLLARDA ÜSTYAPININ PROJELENDİRİLMESİ
İÇİN BİR REHBER" K.G.M. 1980
- "AASHTO INTERIM GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES"
AASHTO, 1972, Washington
- "ASPHALT PAVEMENT ENGINEERING" Hugh. A. Wallace
J. Rogers Martin, U.S.A. 1967
- "PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN" E.J. Yoder
M.W. Witczak, CANADA, 1975
- "BİTÜMLÜ KAPLAMALAR FENNİ ŞARTNAMESİ", K.G.M. 1983
- "ULAŞTIRMA YAPILARINDA ALT VE ÜST YAPI HESABI" Ders notları
Doç. Dr. Aydın EREL, Y.Ü. 1985-86 ders yılı.
- "BİTÜMLÜ MALZEMELER TERİMLERİ SÖZLÜĞÜ" K.G.M. 1968
- "YOLLAR FENNİ ŞARTNAMESİ VE BİTÜMLÜ KAPLAMALAR FENNİ ŞARTNAMESİ" K.G.M. 1986, Üstyapı Şube Müdürlüğü
- "BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM KAPLAMA İŞLERİ İÇİN ÖZEL FENNİ
ŞARTNAME" K.G.M. 1985
- "ÖZEL FENNİ ŞARTNAME" K.G.M. 1986

ÖZGEÇMİŞİM

1963 yılında Sivas'ın Gürün ilçesinde doğdum.

İlk, orta ve lise öğrenimimi Gürün'de yaptım.

1980 yılında Gürün Lisesinden mezun oldum. Aynı yıl Üniversite seçme sınavları sonucu Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde okumaya hak kazandım. 1980-1984 yılları arasında lisans öğrenimimi yaptım ve 1984 yılı Haziran döneminde mezun oldum. Temmuz 1984 ile Şubat-1985 tarihleri arasında özel bir firmada Şantiye Mühendisi olarak görev yaptım. Şubat-1985'te Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce açılan sınavı kazanarak İnşaat Mühendisliği bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladım.

