

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AASHTO METODUNDA RİJİT ÜSTYAPI BETON KAPLAMA KALINLIĞINA
ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Mehmet Mahmut TANYILDIZI

(99215104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Mart 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Kasım 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Necati KULOĞLU (F.Ü)

Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU (F.Ü)

KASIM-2010

ÖNSÖZ

Öncelikle bu tezin hazırlanmasında gerekli yardımı esirgemeyen danışman hocam sayın Prof.Dr. Zülfü Çınar ULUCAN'a ve yine çalışmam esnasında sürekli olarak bana destek veren sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Baha Vural KÖK'e teşekkürü bir borç bilirim.

En başından beri bana olan güveninden ötürü Prof.Dr. Necati KULOĞLU'na, ve yardımlarından ötürü Yrd.Doç.Dr. Taner ALATAŞ'a ve bana bildiğim her şeyi öğreten Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümündeki diğer hocalarıma teşekkür ederim.

Son olarak her zaman desteğini arkamda hissettiğim eşim Tuba TANYILDIZI'na, annem ve kardeşlerime ve işyerindeki çalışma arkadaşlarıma çalışmamda bana göstermiş oldukları yakın ilgiden dolayı sonsuz teşekkürler.

Mehmet Mahmut TANYILDIZI
ELAZIĞ – 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. RİJİT ÜSTYAPILARIN TARİHTEKİ GELİŞİMİ.....	3
3. RİJİT ÜSTYAPI - ESNEK ÜSTYAPI KARŞILAŞTIRILMASI.....	5
3.1. Üstyapı Tipi Seçiminde Teknik Ölçütler.....	6
3.1.1. Dıştan Gelen Yüklerin Taban Zeminine İletilmesi.....	6
3.1.2. Trafik.....	7
3.1.3. İklim Özellikleri.....	7
3.1.4. Konfor ve Güvenlik.....	8
3.1.5. Malzeme Yapısı.....	8
3.2. Ekonomik parametreler.....	9
3.3. Esnek ve Rijit Üstyapıların Üstünlükleri ve Sakıncaları.....	12
4. RİJİT ÜSTYAPIDA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ... ..	17
4.1 Çimento.....	17
4.1.1. Çimentonun Fiziksel Özellikleri.....	17
4.1.2. Çimentonun Mukavemet Özellikleri.....	18
4.1.3. Rötire Özellikleri.....	19
4.2. Agregalar.....	20
4.3. Çelik Donatılar.....	23
4.4. Beton Karma Suyu.....	24
4.5. Katkı Maddeleri.....	25
4.6. Kür Maddeleri.....	25
4.7. Derz Dolgu Malzemeleri.....	26

5. BETON YOL ÜSTYAPI İNŞA METODLARI.....	27
5.1. Derzli Donatısız Rijit Üstyapılar.....	27
5.2. Derzli Donatılı Rijit Üstyapılar.....	28
5.3. Sürekli Donatılı Rijit Üstyapılar.....	29
6. RİJİT ÜSTYAPI TASARIMINDA ÇEVRESEL ETKENLER VE TRAFİK..	31
6.1. Rijit Üstyapı Tasarımını Etkileyen Çevresel Faktörler	31
6.2. Rijit Üstyapı Tasarımını Etkileyen Trafik Faktörleri.....	32
6.3. Rijit Üstyapıların İnşasında Önem Arz Eden Kritik Noktalar.....	33
6.3.1. Banket Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Konular.....	35
7. AASHTO PROJELENDİRME DENKLEMİNDEKİ PARAMETRELERİN RİJİT ÜSTYAPI BETON KAPLAMA KALINLIĞINA ETKİSİ.....	36
7.1. Efektif Zemin Yatak Katsayısı (k).....	39
7.2. Betonun Elastisite modülü (E_c).....	40
7.3. Betonun Kopma Modülü (S'_c).....	40
7.4. Yük Transfer Katsayısı (J).....	41
7.5. Drenaj Katsayısı (C_d).....	41
7.6. Servis Yeteneği İndeksi (ΔPSI).....	42
7.7. Trafik Eşdeğer Tek Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı ($W_{8,2}$).....	42
7.8. Rijit Üstyapı Beton Plak Kalınlığı D'nin, $W_{8,2}$, k, S_0 , Z_R , E_c ile Değişimi.....	43
7.9. AASHTO Projelendirme Denklemindeki Parametreler Üzerinde Yapılan Hata Analizleri.....	48
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	56
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

Yüksek lisans Tezi

AASHTO METODUNDA RİJİT ÜSTYAPI BETON KAPLAMA KALINLIĞINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İRDELENMESİ

Mehmet Mahmut TANYILDIZI

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2010, Sayfa:63

Türkiye’de karayolları açısından ortam ve koşullara göre en uygun seçeneğin tercih edilmesi önemlidir. Özellikle yolun orta ve uzun vadedeki bakım-onarım ve işletim giderlerinin de hesaba katılarak, ülkemiz açısından en ekonomik ve verimli olan seçimin yapılması gerekli olmaktadır. Beton yol, gerek malzeme performansı ve gerekse yapım yönteminin güvenilirliği açısından, orta ve yüksek trafik hacmi taşıyan, özellikle hız yapılmasına uygun ortam sağlanmış karayollarında en verimli mühendislik hizmeti verecek standartta bir üstyapı türüdür.

Bu çalışmada; Rijit üstyapıların, teknik ve ekonomik üstünlükleri ile karayollarındaki uygulamaları incelenmiş ve yol üstyapısının projelendirilmesinde kullanılan AASHTO metodundaki parametrelerin rijit üstyapı beton kaplama kalınlığını ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır.

Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığını en çok etkileyen parametre betonun elastisite modülü (E_c), ikinci derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre, trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası (S_0), üçüncü derecede üstyapı beton

kaplama kalınlığını etkileyen parametre, eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı ($W_{8,2}$) ve dördüncü derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre, standart normal sapma (Z_R) olmaktadır. Yatak katsayısı (k) üstyapı beton kaplama kalınlığını en az etkileyen parametre olmaktadır.

Sonuçta, rijit üstyapıların projelendirilmesinde en çok dikkat edilmesi gereken parametrenin, betonun elastisite modülü E_c olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, ekonomik zararlara neden olabilecek bu parametrenin tespitinde çok hassas davranılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Beton Yol, Trafik Hacmi, AASHTO Metodu, Rijit Üstyapı Beton Kaplama Kalınlığı.

SUMMARY

Master Thesis

AASHTO METHOD PARAMETERS AFFECTING THE INVESTIGATION OF RIGID PAVEMENT CONCRETE THICKNESS OF THE COATING

Mehmet Mahmut TANYILDIZI

Fırat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

2010, Page:63

According to ambient conditions for highways in Turkey and it is important to choose the most appropriate option. In particular medium-and long-term maintenance and repair of the road and also taking into account operating costs, the most economical and efficient for our country which is required in the selection. Concrete roads, both in terms of material performance and reliability as well as construction methods, with medium and high traffic volume, speed, especially making the most efficient engineering service roads will provided a suitable environment to a standard type of superstructure.

In this study, rigid pavements, roads with the technical and economic advantages of the way applications are examined and used in the AASHTO method of projecting the superstructure parameters investigated its effects on the thickness of rigid pavement concrete pavement.

Rigid pavement thickness of concrete covering the most influential parameter of the concrete modulus of elasticity (E_c), the parameter affecting the thickness of the second degree of superstructure concrete pavement, traffic prediction and performance prediction combined standard error (S_0), the third parameter affecting the degree of superstructure concrete pavement thickness, the equivalent single-axle load number of replications ($W_{8,2}$) and fourth-

degree parameter affecting the thickness of pavement concrete pavement, the standard normal deviation (Z_R) is. Bed coefficient (k) is the parameter affecting the pavement for at least the thickness of concrete pavement.

As a result, the parameter that should be most noticeable in designing rigid pavements, modulus of elasticity E_c of concrete is emerging. Therefore, it can cause economic losses should be treated very precise determination of this parameter.

Key Words: Concrete Road, Traffic Volume, AASHTO Method, Rigid Concrete Pavement Layer Thickness.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. 1920 İle 1930'lu Yıllarda Rijit Üstyapı Uygulamaları.....	4
Şekil 3.1. Esnek Üstyapı Enkesiti.....	5
Şekil 3.2. Rijit Üstyapı Enkesiti.....	6
Şekil 3.3. Esnek ve Rijit Yol Üstyapılarında Yük Dağılımı.....	6
Şekil 5.1. Derzli Donatısız Tipteki Rijit Üstyapılar.....	28
Şekil 5.2. Derzli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar.....	29
Şekil 5.3. Sürekli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar.....	30
Şekil 7.1. Beton Kaplama Kalınlığının Tayini.....	37
Şekil 7.2. Taban Zemini Reaksiyonu Efektif Modülü (AASHTO 1986).....	39
Şekil 7.3. D'nin $W_{8,2}$ İle Değişimi.....	43
Şekil 7.4. D'nin k İle Değişimi.....	44
Şekil 7.5. D'nin S_0 İle Değişimi.....	45
Şekil 7.6. D'nin Z_R İle Değişimi.....	46
Şekil 7.7. D'nin E_c İle Değişimi.....	47
Şekil 7.8. E_D Değerlerinin % $W_{8,2}$ Hataları İle Değişimi.....	49
Şekil 7.9. E_D Değerlerinin % k Hataları İle Değişimi.....	51
Şekil 7.10. E_D Değerlerinin % S_0 Hataları İle Değişimi.....	52
Şekil 7.11. E_D Değerlerinin % Z_R Hataları İle Değişimi.....	53
Şekil 7.12. E_D Değerlerinin % E_c Hataları İle Değişimi.....	54

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Beton Yolun Tarihteki Gelişimi	3
Tablo 3.1. Teknik Parametrelere Göre Üstyapı Seçimi	9
Tablo 3.2. Ekonomik Parametrelere Göre Üstyapı Seçimi	11
Tablo 3.3. Rijit-Esnek Üstyapı Kıyaslaması	16
Tablo 7.1. Tavsiye Edilen Yük Transfer Katsayıları (AASHTO 1993)	41
Tablo 7.2. Tavsiye Edilen Drenaj Katsayıları (AASHTO 1993).....	42
Tablo 7.3. $W_{8,2}$ ile D Arasındaki İlişki.....	43
Tablo 7.4. k ile D Arasındaki İlişki	44
Tablo 7.5. S_0 ile D Arasındaki İlişk	45
Tablo 7.6. Z_R ile D Arasındaki İlişki	46
Tablo 7.7. E_c ile D Arasındaki İlişki.....	47
Tablo 7.8. $W_{8,2}$ İçin Tahmini Hata Kullanılarak Oluşturulan E_D Değerleri.....	49
Tablo 7.9. k için Tahmini Hata Kullanılarak Oluşturulan E_D Değerleri.....	51
Tablo 7.10. S_0 İçin Tahmini Hata Kullanılarak Oluşturulan E_D Değerleri.....	52
Tablo 7.11. Z_R İçin Tahmini Hata Kullanılarak Oluşturulan E_D Değerleri.....	53
Tablo 7.12. E_c İçin Tahmini Hata Kullanılarak Oluşturulan E_D Değerleri	54

SEMBOLLER LİSTESİ

C_d	: Drenaj katsayısı
D	: Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı (inç)
D_y	: Yönsel dağılım faktörü (%)
D_E	: Girdi parametrelerinde tahmini bir hata kullanılarak hesaplanan üstyapı sayısı
D_ş	: Şerit dağılım faktörü (%)
E_c	: Betonun elastisite modülü (Mpa)
E_D	: Yüzdellik hata
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç mukavemeti (N/mm ²)
J	: Yük transfer katsayısı
k	: Yatak katsayısı (Plaka yükleme testi ile) (psi)
M_R	: Esneklik modülü (üç eksenli test ile) (psi)
P₀	: Başlangıç servis kabiliyeti indeksi
P_t	: Nihai servis kabiliyeti indeksi
ΔPSI	: P ₀ -P _t (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)
R_E	: Güvenilirlik parametresi
S_c	: Beton kopma modülünün tasarım değeri, (psi)
S'_c	: Beton kopma modülü, beton eğilme modülü (emniyet gerilmesi) (psi)
S_o	: Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası
SD_s	: Beton kopma modülünün tahmini standart sapması (psi)
W_{8.2}	: 8,2 Ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı
W₁₈	: İki yöndeki toplam 18 kip (8,2 ton) eşdeğer standart dingil yükü tekerrür sayısı
Z	: Standart normal dağılım
Z_R	: Standart normal sapma

KISALTMALAR

- AASHTO** : Amerikan Derneği Devlet Yolu ve Ulaştırma
- FHWA** : Amerika Federal Otoyol İdaresi
- TS 500** : Deprem BÖlgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Esaslar,
Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Tasarımda
Kullanılacak Yüklerin Hesap Değerleri

1. GİRİŞ

Çimento betonu ile yapılan kaplamalara 'Beton Yollar' denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Tekerlek yükü bir beton plak üzerinden geçerken çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşur. Tekerlek geçtikten sonra gerilmeler yön değiştirerek kaybolur. Özellikle yoğun kamyon trafiği taşıyan bir beton yolda bu gerilme değişimleri kısa zaman aralıklarla sürekli olarak kendini gösterir. Bu durumda, beton plakta çekme ve basınç arasında değişen sürekli gerilmeler oluşur, bu da zamanla malzemenin yorulmasına neden olur. Bu tip gerilmelerin, betonun sürekli direncinin çok altında bulunması gerekir. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının özellikleri ile kaplama altına serilen alt temel ve temel tabakaları ile mevcut taban toprağının özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle, projelendirme sırasında, beton kaplamanın davranışını etkileyen, taban toprağı, temel malzemesi, betonu oluşturan kum, çakıl, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin fiziksel özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir [1,2].

Türkiye'de özellikle karayollarında, 1950 yılından itibaren büyük bir karayolu yapım etkinliği başlatılmıştır. Bu etkinlik, ulaşım hatlarının niteliğinden çok niceliğı, yani yolların uzunluğu üzerinde yoğunlaştırılmış, yenileme çalışmalarında toprak yolların ilk aşamada stabilize kaplamaya, stabilize yolların da bitümlü kaplamalara dönüştürülmesi esas alınmıştır. 1996 yılı itibarı ile Türkiye'deki karayolları ağı, toplam olarak 60.000 km. civarında uzunluğa sahip olup, yaklaşık 500 km uzunluktaki bir yol ağı da tasarım halinde bulunmaktadır. Bu yol ağının yaklaşık 50.000 km uzunluktaki bölümü asfalt kaplamalı, geri kalan kısmı ise diğer tür kaplamalı (stabilize, parke, toprak) olarak yapılmıştır [2].

Ülkemizdeki karayolu trafiğinde ise, ilginç bir özellik olarak ağır taşıt oranı, toplam trafik içinde %50 ile %70 arasında pay almaktadır. Bu oran gelişmiş ülkelerde %10-20 kadardır. 1985 yılında yürürlüğe giren 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun yönetmeliğı ile yasal tekil dingil yükü 10 tondan 13 tona, çift (tandem) dingil yükü ise 16 tondan 19 tona çıkarılmıştır. Ülkemizde yeterli düzeyde ağırlık kontrolü yapılmadığı ve genellikle de aşırı yüklemelere gidildiğı için toplam trafik içinde yer alma payı oldukça fazla olan ağır taşıtların, yola verdikleri yıpranma zararı da o oranda artmaktadır [3].

Tamamen yerli kaynakları kullanan, gelişmiş ve aynı zamanda da uzun vadede ekonomik olan, buna rağmen uygulanmasına yer verilmemiş beton yol teknolojisinin dikkate alınmaması, bu konuda ön hazırlıklar yapılmaması, büyük bir eksiklik olarak değerlendirilmekte, büyük bir bölümü ekonomik ömrünü doldurmuş olan ülkemiz karayollarının da, üstyapı çalışmalarında, yeni yol, özellikle de yeni otoyol yapımında beton yol seçeneğine yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Esnek üstyapıların servis ömrünü kısaltan, sık sık onarım ve takviyesine gereksinim gösteren, gerek hacim gerekse ağırlık olarak sürekli artış gösteren trafik, bir noktadan sonra esnek üstyapılı karayollarında büyük sorunlar olabilecek düzeye gelirken, bu trafiğin beton kaplamalı yollarda daha sorunsuz taşınabilecek olması, dikkate alınması gereken ilk parametre sayılmaktadır [1].

Üstyapı bakım ve onarım giderlerinin, esnek kaplamalı yollarda daha yüksek olması nedeniyle daha az onarım ve bakım masrafı gösteren yol yapım tekniklerine gereksinim duyulması, buna alternatif seçenek olarak da, beton yol yapımına yönelinmesi gereği ortaya çıkmaktadır [2].

Rijit yol üstyapılar 30-40 yıllık bir periyot için projelendirilir. Bu süre içerisinde yolun enine ve boyuna profilinin teorik profilden çok az fark etmesi istenir. Ancak ülkemizde inşa edilen yolların beklenen süreden daha kısa sürede bozulduğu gözlenmektedir. Bu bozulmalara; Projelendirme hatası, yapım ve işçilik hataları ile yolu kullananlar neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak ülkemiz ekonomik zarara uğramaktadır [4,5].

Bu çalışmada; Rijit üstyapıların, teknik ve ekonomik üstünlükleri ile karayollarındaki uygulamaları incelenmiş ve yol üstyapısının projelendirilmesinde kullanılan AASHTO metodundaki parametrelerin rijit üstyapı beton kaplama kalınlığını ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır [5].

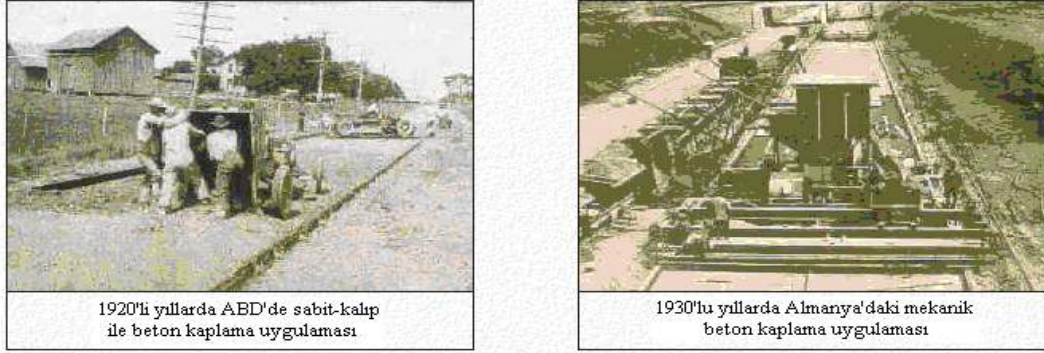
AASHTO metodunda esnek üstyapı sayısına etki eden parametreler üzerine benzer bir çalışma yapılmış, bu çalışmada esnek üstyapıların projelendirilmesinde en çok dikkat edilmesi gereken parametrenin, taban zemini esneklik modülü M_R olduğu ve ekonomik zararlara neden olabilecek bu parametrenin tespitinde çok hassas davranılması gerektiği belirlenmiştir [32].

2. RİJİT ÜSTYAPILARIN TARİHTEKİ GELİŞİMİ

Yollarda hidrolik ve puzzolonik bağlayıcılar, ilk olarak Romalılar tarafından M.Ö. birinci yüzyılda kullanılmıştır. Taşları birbirine yapıştırmak için kullanılan bağlayıcı 2 kısım doğal puzzolan ile 1 kısım kireçten oluşturulmuştur. Bu yüzyılın başlarında Fransa’da Grenoble bölgesinde, tali yolların kısa kesimlerinde rijit üstyapı uygulanmıştır. 1924 yılında, eski taş ve parke yolları betona dönüştürmek için, Daniel Boutet tarafından, program geliştirilmiş bu programın uygulanmasında yoldan çıkarılan taş parkeler kanivo veya bordür taşı yapmak için kullanılmıştır. Parke kaplamanın kumu tesviye edilip sıkıştırılmış ve üzerine çok kuru beton dökülerek silindirlenmiştir. Beton yol iki tabakadan oluşturulmuştur. Altta tabaka yuvarlak malzeme ve düşük dozlu yapılmış, üst tabaka daha ince olarak ve yüksek dozlu ve kırılmış sert agrega kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu iki tabaka birbiri ardına yapılmıştır. İri tanece zengin ve kesintili (süreksiz) granülometrilik agregaların kullanıldığı bu beton plakların kalınlığı 18 cm oluyordu. Bazen kenarlarda daha büyük kalınlıklar seçiliyordu. Aralıkları 10 ile 20 metre arasında değişen enine derzler, beton içine kavak kızılağaç gibi sıkışabilen ahşap latalar koymak suretiyle oluşturuluyordu. Tablo 2.1.’de beton yolun tarihteki gelişimi gösterilmiştir [2,3].

Tablo 2.1. Beton Yolun Tarihteki Gelişimi [3]

M.Ö. I. YY	Romalıların çimento benzeri puzolanik bağlayıcılar kullanarak yaptıkları yollar
1865	İskoçya’da ilk beton yol denemeleri
1880	Avustralya’da ilk beton yolların yapılmaya başlanması
1891	Ohio’da Amerika’nın, bugün de kullanılmakta olan ilk beton yolunun yapılması
1913	Arkansas’ta Amerika’nın ilk beton otoyolunun yapılması
1914	Amerika’da 3.500 km beton yol yapımı tamamlanması; yol yapımında “Silindirle Sıkıştırılan Beton” (Roller Compacting Concrete) kullanılmaya başlanması
1924	Fransa’da beton yol yapımı programına başlanması
1930	Almanya’da 4.000 km uzunluğunda beton otoyol yapımına başlanması ve İsviçre, Belçika başta olmak üzere, diğer Avrupa ülkelerinde de beton yol yapımına başlanması
1950	Kayar kalıp kullanımıyla beton yol yapımında hız ve kalitenin artması
1960-70	ABD ve Kanada’da beton yol yapımının yoğunlaşması; ABD’de 70.000 km beton yol yapılması
1990	Beton teknolojisindeki ilerlemelerle beton yol yapımında yeni gelişmeler kaydedilmesi: Betonda lif kullanımı, öngerme teknolojisi, akıcı-kuru kıvamlı.



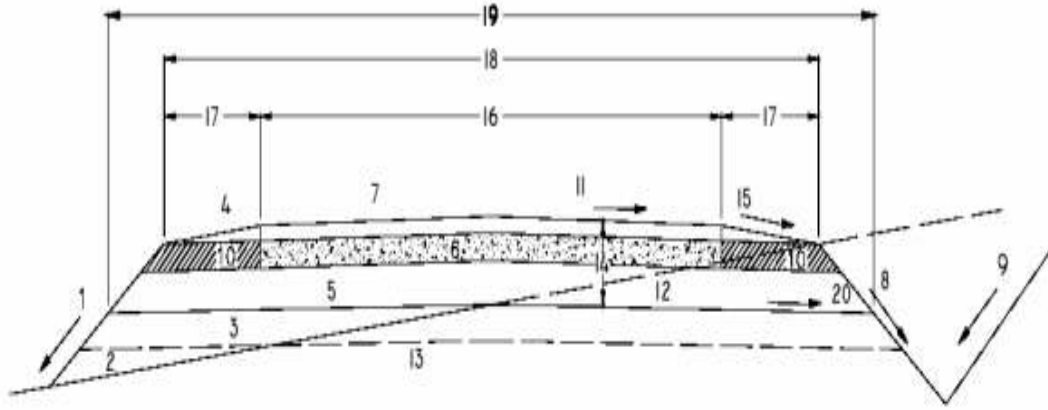
Şekil 2.1. 1920 ile 1930'lu yıllarda rijit üstyapı uygulamaları [18]

1920 ile 1930 yılları arasında rijit ve diğer tip üstyapıların taşınma, yerleştirme, sıkıştırma ve tamamlama işlemleri elle yapılan iş gücüne dayanmaktaydı. Amerika Birleşik Devletlerinde motorlu taşıt kullanımının artışı ile rijit üstyapılar için gerekli koşulların belirlenmesi sonucunda daha iyi yol yapım metotları geliştirilmiştir. Beton yolların yaygınlaşması 20. Yüzyılın ortalarına doğru hız kazanmıştır. Yüzyılın ilk yarısında A.B.D.'ye ilaveten Fransa ve Belçika'da, daha sonra Almanya'da beton yollar yapılmıştır. 1930'lu yıllarda 2. Dünya Savaşı'na hazırlanan Almanya'da beton otoyolların uzunluğu 4.000 km. bulmuştur. 1945-1975 yılları arasında İngiltere'deki rijit üstyapıların çoğu, kaplamanın her iki yanına yerleştirilmiş raylar üzerinde ilerleyen mekanik kaplayıcılar aracılığı ile yapılmaya başlanmıştır. A.B.D.'de 1957 yılında başlayan proje tamamlandığında önemli bölümü beton kaplama olarak 60.000 km' den fazla yol yapılmıştır. Son 50 yıl içerisinde Belçika, Fransa, Almanya'ya ve Avustralya'ya ilaveten Avusturya, İspanya, İngiltere, Kanada ve Güney Afrika gibi ülkelerde beton yollar yapılmıştır. Son yıllarda Hindistan ve Çin'de büyük beton yol projeleri başlatılmıştır [8,9].

Zamanla yüksek verimlilik ve uygulanabilirlik özelliğinden dolayı kayar-kalıp sistemi ile kaplama işlemi en çok kullanılan metot haline gelmiştir. Kayar-kalıp tipli kaplayıcılar, kenar kalıplarına ihtiyaç duymadan, hazırlanmış alt temel üzerinde hareket ederek gerekli sıkıştırma ve düzeyeleme işlemini aynı anda yapabilmektedir [18].

3. RİJİT ÜSTYAPI – ESNEK ÜSTYAPI KARŞILAŞTIRILMASI

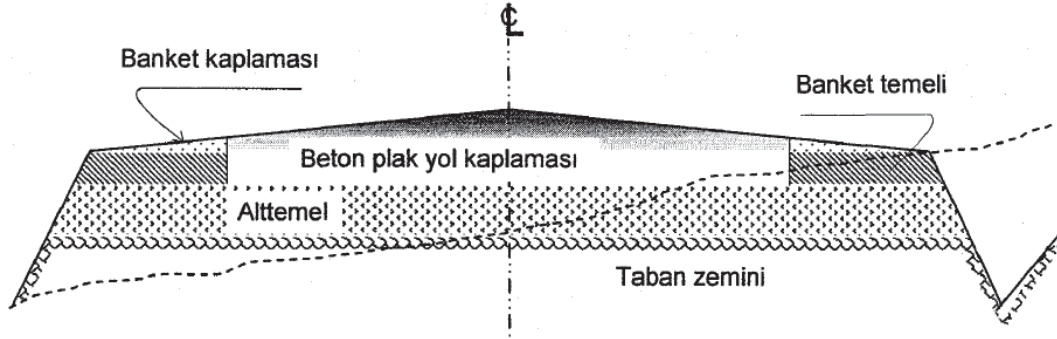
Karayolları üstyapılarının yapım harcamalarının çok fazla olmasından dolayı, karayolu bütçelerinin en verimli kullanımı için mevcut en iyi tasarım yönteminin ve seçim parametrelerinin uygulanması gerekmektedir. Yeni ya da takviye tabakası uygulanacak üst yapı bünyelerinin tasarımındaki gelişme veya yenilik, bu yapılardaki bakım masraflarını düşürmede önemli ve gözle görülür olanaklar sunmuştur. Üstyapı tipi seçimi, değişik ve çok sayıdaki ölçütlere dayandırılması gereken kapsamlı bir konu özelliği taşımaktadır. Seçim yapılırken, üstyapı tipleri teknik ve ekonomik bakımdan karşılaştırılmalı ve ülke koşulları da dikkate alınarak, karara varılmalıdır [10].



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

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

Şekil 3.1. Esnek üstyapı enkesiti [31]

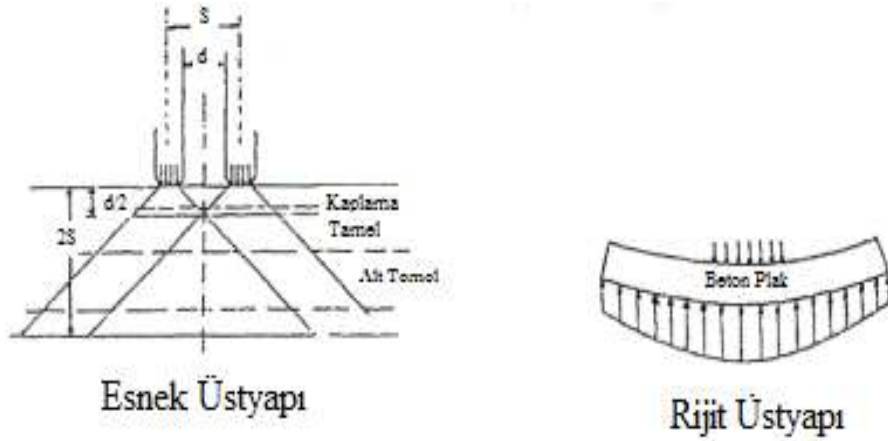


Şekil 3.2: Rijit üstyapı enkesiti [31]

3.1 Üstyapı Tipi Seçiminde Teknik Ölçütler

3.1.1 Dıştan Gelen Yüklerin Taban Zeminine İletilmesi

Yol üstyapısı, esnek ve rijit olmak üzere iki esas gruba ayrılır. Esnek ve rijit üstyapılar, trafik yükünü taban zeminine iletme yönünden farklılık gösterirler (Şekil 3.3.) [6].



Şekil 3.3. Esnek ve rijit yol üstyapılarında yük dağılımı [6]

Alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan esnek üstyapılar, altyapının deformasyonlarına kolayca uyabileceğinden, zayıf ve sıkışabilir taban zeminleri için uygun

gibi görünmektedir. Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçerek taban zeminine iletilmesi, yani, tekerlek yükleri altında esnek üstyapı deforme olmakta ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletmektedir. Böylece taban zeminine ulaşan yük kısmen büyük bir alana yayılmış olmaktadır [7].

Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri, yolun en üst tabakasından alta doğru inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleride bu gerilme dağılışına uygun olarak seçilmektedir. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plaktan oluşmaktadır. Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise, beton kaplama ile taban zemini arasında kaplama altı tabakası yapılmaktadır [11].

Beton plağın elastisite modülü, taban zemininin elastisite modülünden çok büyüktür. Bu bakımdan beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışmakta ve trafik yüklerini bu esasa göre, esnek üstyapıya nazaran daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletmektedir. Bu nedenle, rijit üstyapılar zayıf taban zeminleri üzerinde esnek üstyapılara nazaran daha iyi sonuç vermektedir [12].

3.1.2 Trafik

Trafik hacmi ve yıllık trafik artış oranı yüksek, ayrıca trafik içindeki ağır taşıt miktarı fazla olan yollar için rijit üstyapı dikkate alınmalıdır. Çelik lif takviyeli beton yollar ve sürekli betonarme yollar, normal beton yola nazaran daha pahalı olmakla birlikte, son yıllarda A.B.D.'de ve çok az sayıda Avrupa ülkesinde (Belçika'da) yoğun trafik yükleri taşıyan yolların kaplanması ve onarımında kullanılmaktadır. Beton yollar, endüstrileşme düzeyi ne olursa olsun, bütün bölgelerde uygulanabilir bir teknolojiye sahip bulunmaktadır. Düşük trafik artışları halinde ise, kademeli inşaata elverişli esnek üstyapı ile gelişen trafiğe cevap vermek mümkün olabilmektedir [14].

3.1.3 İklim Özellikleri

Mevsimler arasında büyük sıcaklık farklılıkları bulunan, kara ikliminin hakim olduğu bölgelerde, asfalt betonunun viskoelastik davranışlı bir malzeme olması nedeniyle, yazın

tekerlek izi oluşmasına direnç gösteren, kışın ise çatlamayan bir bitümlü karışımın formüle edilmesi güç olmaktadır. Bu tip bölgelerde rijit üstyapıların kullanılması daha uygun olmaktadır. Ancak bu durumda, beton plaklar arasındaki derzler kışın çok açılacaktır. Bu da pompaj olayını kolaylaştırmaktadır. Derz boşluklarını uygun malzeme ile doldurmak, kayma demiri kullanmak ve beton plak ile taban zemini arasına granüler malzemeden “kaplama altı” tabakası oluşturmak suretiyle pompaj olayı sakıncası giderilebilmektedir [6].

3.1.4 Konfor ve Güvenlik

Her iki kaplama türü, ilk yapıldığında, güvenli, konforlu ve zevkli bir seyir sağlamaktadır. Beton yollar açık renkleri nedeniyle, gece koşullarında kolay görünmekte, siyah renkli asfalt betonlu yollarda ise, durum tam tersi olmaktadır [8].

3.1.5 Malzeme Yapısı

Asfalt betonunda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan bitüm, termoplastik bir malzeme olup, sıcaklığa bağlı olarak gevrek elastik, elasto-plastik, viskoelastik ve viskoz olmak üzere değişik reolojik hallerde bulunmaktadır. Bitümün bu özelliği asfalt betonunun özelliklerini de yansıtmaktadır. Bu nedenle, asfalt betonunun plentte hazırlanması, yola serilmesi ve yolda sıkıştırılması sırasında, şartnamede belirtilen sıcaklık değerlerine titizlikle uyulması gerekmektedir [11].

Asfalt betonunun gerilme-deformasyon ilişkileri, yükleme hızının ve sıcaklığın fonksiyonu olduğundan, çimento betonu gibi sabit bir elastisite modülü ve Poisson oranı bulunmamaktadır. Üstyapı projelendirme yöntemleri genellikle elastik varsayımlara dayandığından, esnek üstyapıların projelendirilmesi, rijit üstyapıya göre daha karmaşıktır. Bu güçlük yolun takviyesi sırasında da kendini göstermektedir [15].

Bitümlü bağlayıcıların yapısı, kaplamanın yapımından birkaç yıl sonra, bağlayıcı içindeki uçucu bileşenlerin ortamdan uzaklaşması ve bağlayıcının okside olması ile bozulmaktadır. Bitümlü bağlayıcıların “yaşlanması” adlı bu olay, bağlayıcının sertleşmesi,

daha az uzaması, agregada adezyonun azalması şeklinde kendini göstermektedir [16].

Rijit üstyapılarda, sıcaklık ve nem farkı ile trafik yüklerinden ileri gelen gerilmeler altında beton plak çatlayabilmekte, bu bakımdan, çatlamayı önlemek ve çatlakların belirli yerlerde oluşmasını sağlamak amacıyla derzler yapılarak, kaplamayı serbest hareket eden plaklar halinde bölmek gerekmektedir. Ani sıcaklık değişimleri beton plağın altı ve üstü arasında sıcaklık farkı doğurmakta, plağın kamburlaşmasına ve eğilme gerilmelerinin artmasına yol açmaktadır. Nem farkı da benzer etkiler yaratmaktadır [19].

Tablo 3.1. Teknik parametrelere göre üstyapı seçimi [3]

Üstyapı Tipi Teknik Parametre	Esnek Üstyapı (Kaplama tabakası asfalt betonu)	Rijit Üstyapı (Kaplama tabakası çimento betonu)
Taban zemini taşıma değeri (CBR) 20 > CBR > 6 CBR < 6	+ -	+ +
Trafik Yıllık artış oranı (Yüksek) Yıllık artış oranı (Düşük) Ağır taşıt oranı (Yüksek)	- + -	++ - ++
Yüksek sıcaklık (ve farkı)	-	++
Onarımdan kaynaklanan gecikme	-	+

Tabloda (+ veya ++) işareti uygun olma durumunu, (-) işareti ise, elverişsiz olma durumunu göstermektedir.

3.2. Ekonomik Parametreler

Üstyapı tipi seçiminin en önemli ölçütü, uzun bir zaman dilimi, proje ömrü için hesaplanan toplam ekonomik maliyettir. Bir karayolunun gerçek ekonomik maliyeti, ilk yapım maliyeti, proje ömrü süresindeki bakım maliyeti ve bakım işlemleri nedeniyle kullanıcı açısından ortaya çıkacak gecikme maliyetlerinin toplamıdır. Beton yolların ilk yapım maliyeti genellikle asfalt yollardan yüksektir. Ancak, asfalt üretiminde kullanılan

ham petrolün çok büyük bir kısmının ithal edilmesine karşılık, Türkiye bugün çimento üretimi bakımından Dünyanın ve Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır [21].

Rijit üstyapılar, 30-40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilmektedir. Beton yollarda yüzey yenileme ve takviye işlemlerine gerek duyulmamaktadır. Projelendirme ve yapım işlemlerinin uygun şekilde gerçekleştirilmesi halinde, beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirmektedir. Beton kaplamaların zor ve pahalı onarımlara neden olabilecek projelendirme ve yapım hatalarına esnek üstyapılardan daha duyarlı olması nedeniyle, başlangıçtan itibaren yüksek projelendirme ve yapım standartlarına göre yapılması gerektiği vurgulanması zorunlu bir husus olmaktadır [21].

Beton yollarda, derzi oluşturan iki komşu beton plak arasına konmuş olan bağlantı demirleri, bu plakların birbirine kıyasla düşey yönde hareket etmesini önlemektedir. Gerek trafik yükü etkisi, gerekse ısı koşulları nedeniyle, plakların yatay yönde gözle seçilemeyecek düzeyde yer değiştirmeler yapması, dilatasyon derzinin de yapım amacını oluşturmaktadır. Derz dolgu maddesi, zaman içinde meydana gelen sürekli genleşme ve büzülme etkisiyle, istenen niteliğini kaybetmekte, ayrıca komşu plakların derze bitişik kenar ve köşeleri de zamanla aşınmakta veya kırılmaktadır. Böylece, derz bölgesi, beton yolun içine ince malzemelerin girmesine yol açan ve su geçişine izin veren zayıf bir kesit haline gelmektedir. Bu durumda, önce derz boşluğu tamamen boşaltılıp, beton kenarlar ve yüzeyleri tel fırçalarla iyice temizlenmekte ve temiz hale gelen derz boşluğu, alt dolgu malzemesi olan dilatasyon latası konduktan sonra dökülen mastik asfalt ile doldurulmaktadır. Hava kabarcıklarının çıkmasından sonra da üst yüzey kum ile örtülmektedir [22].

Genellikle 20 yıllık bir süre için projelendirilen esnek üstyapılar, rijit üstyapılardan oldukça farklı bir bakım ve onarım ömrüne sahiptir. Esnek üstyapılı yollarda görülen yerel bozuklukların her kış mevsimi sonunda bakımı dışında, ilk 5 yıldan sonra, küçük onarımlar ve yüzey kaplaması gerekebilmekte, 10. yılda, yol yüzeyinin büyük bir olasılıkla yenilenmesi ve pürüzlendirilmesi gerekmekte, bir 5 yıl daha geçtikten sonra, ilk 5. yıldaki gibi yüzey yapısını restore etmek gerekmektedir. 20. yıl sonunda ise esnek üstyapılı yol tasarım ömrünün sonuna geleceğinden, yapının yeni bir üstyapı ile takviyesi zorunlu

olmaktadır. Bunların dışında, temel ve alt temel tabakalarının onarım ve değiştirilmesi gibi çok önemli bakım çalışmaları gerekli olabilmektedir [24].

Normal durumlarda, lastik yıpranması, yağ, yakıt tüketimi gibi işletme masrafları, her iki üstyapı tipinde eşit durumda bulunmaktadır. 20-30 yıllık hizmet ömrü süresinde, yol bakım çalışmalarının yol açtığı gecikmeler esnek üstyapılarda büyük ekonomik zararlara yol açmaktadır. Beton yollarda bu sakınca yok denecek kadar az olmaktadır [25].

Mevcut bir yol üstyapısının takviyesi için beton yollar ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle, ülkedeki yolların üstyapısının esnek olması halinde, takviyenin asfalt kaplama ile yapılması uygun olmaktadır. Üstyapının temel ve kaplama tabakalarının değiştirilmesinin gerekli olduğu yenileme çalışmalarında, rijit üstyapı seçeneği de dikkate alınabilmektedir [19].

Yapım işinin finanse edilme durumu, esnek ve rijit üstyapı seçiminde etkilidir. Bu açıdan, yalnızca yapım giderlerinin finanse edildiği durumlarda rijit üstyapılar tercih edilmektedir. Bunun tersine, artan trafiğe cevap verebilmek için art arda tabakaların yapılması gibi bir kademeli inşaat stratejisi gerektiren, sınırlı yatırım kaynakları ve yüksek iskonto oranı gibi durumlarda, esnek üstyapıları kullanmak daha avantajlı olmaktadır. Ancak bu tip stratejilerde üstyapıyı sürekli olarak yeterli bir hizmet düzeyinde tutmak için yüksek bakım fonları gerekmektedir [23].

Tablo 3.2. Ekonomik parametrelere göre üstyapı seçimi [3]

Üstyapı Tipi Ekonomik Parametre	Esnek Üstyapı (Kaplama tabakası asfalt betonu)	Rijit Üstyapı (Kaplama tabakası çimento betonu)
İlk yapım maliyeti	+	-
Ömür boyu toplam maliyet (ilk yapım+bakım+gecikmeler)	-	+
Çimento, cüruf, uçucu külün bol ve kolay bulunması	-	+
Mevcut üstyapıların esnek olması	+	-
Yüksek iskonto oranı	+	-
Enerji azlığı	-	+

Tabloda (+) işareti uygun olma durumunu, (-) işareti de elverişsiz olma durumunu göstermektedir.

3.3. Esnek ve Rijit Üstyapıların Üstünlükleri ve Sakıncaları

1- Mevcut üstyapılar, beton asfalt kaplamalı olup bunlarda sadece kaplamanın değişmesi şeklinde bir onarım gerekiyorsa, bu takviye çalışması için yine beton asfalt kaplama uygulaması daha uygundur. Fakat onarım, temel ve kaplamanın değişmesi şeklinde yapılacaksa bu takdirde beton yol uygulaması seçeneğinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Nitekim kaplamanın beton asfalt ile yenilenmesi durumunda yol, yine eski durumuna getirilmiş olacak, fakat rijit plak yapımında o yolun kalitesi, belirgin bir şekilde yükselmiş olacaktır. Bu husus, teknik ve ekonomik parametrelerin kıyaslanacağı ciddi bir fizibilite çalışması gerektirmektedir [27].

2- Beton asfalt kaplamalar, serilip sıkıştırıldıktan birkaç saat sonra trafiğe açılabilir. Buna karşılık rijit üstyapıların trafiğe açılması için en az 7 gün beklenmesi ve betonun belirli bir dirence ulaşım süresinin geçmesi gerekmektedir. Ancak bu husus, beton içine yapım sırasında katılan prizi ve sertleşmeyi çabuklaştırıcı katkı maddeleri ile giderilmekte ve rijit üstyapının trafiğe açılabilme süresi azaltılabilmektedir. Esas olarak bu tarz uygulama, rijit üstyapılarda zorunlu sayılmaktadır. Çünkü gecikme sonucu rijit üstyapı uygulaması olan yerlerde trafiğe yol vermek amacı ile servis yollarına gerek duyulmakta, bu da ek masrafa yol açmaktadır [27].

3- Rijit üstyapılar demir donatı kabul eden tek üstyapı tipidir. Derzlerde, sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, çatlamalara karşı plak üst yüzeyine yakın yerlerde çelik donatı kullanılmaktadır. Maliyeti artıran bir husus olmakla beraber çelik donatının kullanılabilir olması, rijit üstyapı ömrünü arttıran bir avantaj sayılmaktadır [25].

4- Beton asfalt kaplamalı üstyapılarda her türlü onarım, kolay bir şekilde hatta trafik altında dahi yapılabilir. Nitekim beton asfalt kaplama çok kolay bir şekilde yama tutabilen bir malzemedir. Rijit üstyapılarda ise bu onarım çok daha zahmetli olup plağın kırılması ve yerine yeni plağın dökülmesi gerekir. Betonun demir donatının bulunması ve bunun da kesilip yeniden yapım zorunluluğu, ayrıca yeni dökülen betonun da belirli bir süre bekletilmesi gereği, bunun yaratacağı gecikme ve yolun o kısmının yine de zayıf kalabilecek olması gibi hususlar, rijit üstyapının esnek üstyapılara karşı zayıf yönleridir. Fakat rijit üstyapılar, çok daha dayanıklı bir kaplama türü olup, çok az bakım ve onarım gerektirir bu nedenle uzun vadede dikkate alındığında, onarımı çabuk ve kolay olmasına

karşılık çok sık periyotlarda onarım gerektirecek olması, esnek üstyapıların rijit üstyapılara karşı zayıf yönünü ortaya çıkarmaktadır [19,22].

5-Rijit üstyapıların kayma sürtünme katsayıları yüksektir. Kaymaya karşı dirençleri fazladır. Güven vericidir. Boyuna sürtünme katsayısı 0,70, enine sürtünme katsayısı 0,65 civarındadır. Islak oldukları zaman, sürtünme katsayısının küçülmesi esnek üstyapılara göre daha az olmaktadır [15].

6- Esnek üstyapılar, üzerlerine gelen yükleri bir alt tabakaya yayarak iletirler. Kaplamadan temele, temelden alt temele ve nihayet alt temelden taban zeminine iletilen yükler, her bir tabaka geçişinde gittikçe yayılmakta ve daha geniş bir alana dağılmaktadır. Dolayısı ile her bir tabakada kullanılan malzemenin mekanik özellikleri de, tabakalardan aşağı azalan gerilme değerlerine paralellik gösterir. Taban zemini zayıfsa ve çeşitli gerilmeler altında beton asfalt kaplamada deforme olan bu profili izlemekte ve sonuçta yolun en üst düzeyinde çeşitli ondülasyonlar veya oturmalar gözlenmektedir. Rijit üstyapı plağı ise, elastik bir zemine oturan bir kiriş gibi çalışır ve üzerine gelen yükleri çok daha geniş bir alana yayarak taban zeminine iletir. Bu sebeple, rijit üstyapılar, zayıf taban zeminleri üzerinde, esnek üstyapılara nazaran daha iyi sonuçlar vermektedir [28].

7- Rijit üstyapıların yapımı sırasında, beton prizini tamamlayıncaya kadar yol trafiğe kapalı kalacaktır. Tamir ve bakım işlemleri yapılırken de aynı sakınca ortaya çıkmaktadır. Esnek üstyapılarda böyle bir durum söz konusu olmamaktadır [20].

8- Petrol üreten veya petrol gereksinmelerinde herhangi bir sorunu bulunmayan ülkelerde esnek üstyapılar, buna karşılık çimento üretimi yönünden ileri düzeyde bulunan ülkelerde ise rijit üstyapıların, ekonomik olduğu görülmektedir [12].

9- Her iki kaplamanın sıkıştırılmasında büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Esnek üst yapıların kaplamalarının belirli bir ısıda iken dökülmesi ve sıkıştırılması gerekir. Bu ısı değerindeki düşmelerde, sıkıştırma iyi bir şekilde gerçekleşmemekte ve belirli bir ısının altındaki asfalt betonu, yumuşaklığını kaybetmekte, kaplamada boşluk yüzdesi artmaktadır. Bu da sonuç olarak, nitelik yönünden istenen düzeyin altında bir kaplama tabakası ile sonuçlanır. Rijit üstyapılar ise vibratörle sıkıştırıldığından böyle bir sorun söz konusu değildir [13].

10- Alt temel, temel ve beton asfalt kaplamadan oluşan esnek üstyapının toplam kalınlığı, rijit plak ve altında kumlu yastık tabakasından oluşan rijit üstyapının toplam kalınlığına

kıyasla çok daha fazladır. Bütün tabakalarda ana malzeme, agregadan oluşmaktadır. Bu nedenle sonuçta, eşdeğer niteliklere sahip olsalar dahi, esnek üstyapı yapımı için gerekecek agrega miktarı, rijit üstyapıya göre daha fazla olmaktadır. Agreganın kalitesi yönünden ise, esnek üstyapılar için çok kaliteli agreganın kullanılması zorunludur. Buna karşılık rijit üstyapılarda, daha düşük kalitedeki agreganın da kullanımına olanak bulunmaktadır [17].

11- Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapı dışındaki diğer rijit üstyapılarda belirli aralıklarla derz yapılması zorunludur. Gerek rijit plakta oluşabilecek çatlakların gelişi güzel yayılmasını önleyip bir kesite toplayan, gerekse rijit plağın genişlemesine ve büzülmesine olanak veren bu derzler, buna karşılık rijit kaplamanın zayıf noktalarını oluşturmakta, belirli zamanlarda kontrol ve bakım gereksinmesi göstermekte ve sonuç olarak da ek bir maliyeti beraberinde getirmektedir [6].

12- Rijit kaplamalar açık renkli olduklarından dolayı gece daha kolay görünürken gündüz parlayarak rahatsız ederler. Esnek kaplamalar koyu renkli olduklarından dolayı bu durum tam tersi olmaktadır [8].

13- Esnek üstyapılarda bağlayıcı olarak kullanılan asfalt malzemesi, bünyesinde çeşitli uçucu maddeleri içermekte ve bu uçucu maddelerin zamanla kaybolması sonunda da kaplamada yaşlanma adı verilen bir tür gevrekleşme ve eskime görülmektedir. Bu yaşlanma ile niteliklerinin ve özelliklerinin büyük bir kısmını kaybeden esnek üstyapılar ayrıca benzin, motorin, fueloil, yağ, tuz gibi maddelerin yol üzerine dökülmesi ile de kimyasal yapılarında değişimler gösterir. Kaplamanın olumsuz yönlerde değişmesine yol açan bu durum çok kere yol güvenliği açısından da büyük tehlikeler yaratabilecek boyutlara ulaşmaktadır. Rijit üstyapılarda ise kullanılan bağlayıcı çimento olup herhangi bir uçucu madde içermemektedir. Bu nedenle sözü edilen yaşlanma olgusu, rijit kaplama için söz konusu değildir. Ayrıca eritici özelliği bulunan kimyasal maddelerin beton yol üzerine dökülmesi durumunda rijit üstyapının hiçbir özelliğinde değişim görülmemektedir [15, 21].

14- Üst yüzeyi atmosfere açık olan rijit plağın alt yüzeyi ise taban zeminine oturmaktadır. Bu nedenle belirli bir kalınlığa sahip olan bu plağın alt ve üst yüzeyleri arasında belirgin ısı farkları veya ani ısı değişiklikleri olduğunda, plağın alt ve üst düzeylerinde farklı gerilmelerin oluşturacağı farklı genişlemeler görülebilir. Bu da, çekme direnci fazla olmayan rijit plağın çatlamasına yol açabilmektedir [22].

15- Beton asfalt üretimi, daha pahalı santraller (plentler) gerektirmektedir. Esnek üstyapılar rijit üstyapılara kıyasla daha fazla enerji harcanması sonunda yapılır. Enerji sorunun bulunduğu yerlerde rijit üstyapı uygulaması daha uygun ve ekonomik sayılmaktadır [27].

16- Petrol damıtan rafinerilerin sayısının az olduğu ülkelerde, esnek üstyapıların bağlayıcısı olan asfaltın, çeşitli plent veya santrallere taşınması ve nakledilmesi, yüksek bir ulaşım maliyetini de beraberinde getirmektedir. Aynı sorun çimento üreten fabrika sayısının azlığı durumunda da yaşanır. Çimento fabrika sayısının yüksek ve dağılımının da yaygın olduğu ülkelerde taşıma ve ulaşım maliyeti büyük ölçüde düşmektedir [30].

17- Esnek kaplamalarda taban zeminindeki nem oranının en çok % 2 olması istenir. Bunun üzerindeki bir değerde nem oranına sahip olan taban zeminlerinde, esnek kaplama uygulaması son derece sakıncalı olup bu durum, üstyapının özellikle de kaplamanın ömrünü büyük ölçüde azaltır. Rijit üstyapılarda ise böyle bir sorun bulunmamakta ve hatta iyi bir kenetleme için taban zemininde nemlilik, hatta ıslaklık aranmaktadır [20].

18- Malzeme olarak esnek kaplamalar, sıcaklıkla çok yakın ilişki içindedir. Plentte veya santralde yapımının belirli bir ısı değerinin üzerinde gerçekleşmesi zorunluluğu, sonra da yüksek ısıda korunup döküm yerine iletilme, dökülme ve ısı kaybı olmadan da sıkıştırma zorunluluğu, aynı zamanda iyi ve uygun iklim koşullarına gereksinme gösterir. Nitekim bir esnek kaplamanın yapımı ve uygulanması için hem kuru hem de sıcak bir hava gerekmektedir. Bu koşullar, uygulaması iklime bağlı olan esnek kaplamaların yapım zamanını ve süresini büyük ölçüde kısıtlar. Rijit üstyapılar için böyle bir sakınca söz konusu değildir. Aşırı yağışın ve aşırı derecede bir soğuk havanın olmadığı her zamanda rijit üstyapı uygulaması yapılabilmektedir. Bu nedenle rijit üstyapıların, uygulama süresi toplamı, esnek üstyapılarınkine kıyasla çok fazladır [19, 29].

19- Rijit üstyapı uygulamasında, esnek üstyapı uygulamasına kıyasla daha fazla sayıda kalifiye elemana ihtiyaç duyulur. Rijit üstyapının ekonomik yönü, gerekse yapımında daha fazla özen gerektirmesi yönü açısından rijit üstyapı aleyhine gibi görünen bu husus, aslında rijit üstyapı lehinde büyük bir kalite avantajını beraberinde getirmektedir. Daha fazla sayıdaki kalifiye eleman gereksinmesi, daha yüksek düzeydeki bir kalite anlamına gelmektedir [31].

Rijit-esnek üstyapı kıyaslaması, Tablo 3.3.'de özetlenmiştir. Tabloda her iki üstyapı türü için de avantajlı ve uygun olan durumların yanı sıra uygun olmayan ve sakıncalı olan

durumlar da sıralanmıştır. Tamamen artılardan oluşan tek bir kaplama türünün uygulanması, bu koşullarda olanak dışıdır, çünkü birçok parametre birbiri ile çelişmektedir. Bu nedenle üstyapı seçiminde, o yoldan beklenen performans ve ülkenin çeşitli koşulları (ekonomi, iklim, trafik, teknik olanaklar, kalite tercihi vs.) dikkate alınmak ve optimum sonuca ulaşmak zorunlu olmaktadır [24].

Tablo 3.3. Rijit-Esnek üstyapı kıyaslaması [24]

Parametre	Esnek	Rijit Üstyapı
- Trafığe çabuk açılabilme	++	-
- Demir donatı kullanabilme	-	+
- Onarım sıklığı	-	++
- Dayanıklılık	+	++
- Islak halde kayma sürtünme katsayısı	-	+
- Zayıf taban zemininin bulunması	--	+
- Yapım sırasında ısı kaybının yol açacağı sorunlar	--	+
- Kaliteli agrega gereksinimi	-	+
- Derz yapma zorunluluğu	+	-
- Seyir konforu	++	+
- Gece seyirde görüş olanakları	-	++
- Yaşlanma ve kimyasal maddelerden etkilenme	--	+
- Yapım sırasında çevre kirliliğini artırıcı etki	-	+
- Enerji azlığından etkilenme	-	+
- Taban zeminindeki ıslaklık	-	+
- İklim koşullarına bağımlılık	--	++
- Trafikte yüksek yıllık artış oranı	-	++
- Trafikte düşük yıllık artış oranı	+	-
- Trafikte yüksek ağır taşıt oranı	-	++
- Üstyapı kaplama takviyesi	+	-
- Üstyapı temel+kaplama değişimi	+	+
- Yüksek iskonto oranı ve sınırlı yatırım kaynakları	+	-

(++):Çok avantajlı, çok uygun; (+): Avantajlı, uygun; (-): Sakınca yaratır, uygun değil;

(--):Çok sakıncalı, hiç uygun değil

4. RİJİT ÜSTYAPIDA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Yol kaplamalarında kullanılan asfalt ve betonu etkileyen faktörler arasında sıcaklık, nem değişimleri, donma - çözülme, aşırı yükler, tekrar eden yükler ve zararlı kimyasallar sayılabilir. Bu açıdan rijit üstyapı tasarımının sağlıklı olarak gerçekleştirilebilmesi için üstyapının kaplanmasında kullanılacak betonun ve betonu meydana getiren bileşenlerinin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir [26].

4.1 Çimento

Çimentonun; Fiziksel özellikleri, mukavemet ve rötre özellikleri rijit kaplamalar için büyük önem taşımaktadır.

4.1.1 Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Çimentonun bağlayıcılık özelliğini kazanabilmesi için klinkerlerin çok ince olarak öğütülmesi gereklidir. Çimento ne kadar çok öğütülürse;

- Hidratasyon hızı artarak özellikle ilk 7 günde mukavemet artışı hızlanır,
- Hidratasyon ısısı artarak çatlama ve rötre fazlaşır,
- Aynı ağırlıktaki çimentonun tane sayısı artacağından agregayı sarma miktarı artarak daha güçlü aderans sağlanır [1].

Çimentonun hacimce genişleme miktarı, sertleşmiş çimentonun dayanıklılığının göstergesidir. Prizden sonra sertleşen çimentonun hacimce genişmesi istenmemektedir. Fazla genişleme, çimentodaki serbest kireç ve MgO miktarının fazla olduğunu göstermektedir. Bu maddeler suda çözüldüğünden betonun mukavemeti ve durabilitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Betonun genişmesine neden olan serbest oksitler, çimento hamurunun genişmesi ile ölçülür ve belirli bir değeri geçmemesi istenir [2].

Çimentonun prize başlaması ne çok erken ve prizini tamamlaması da ne çok geç olmalıdır. Aksi halde çimento normal hidratasyonunu yapamayacaktır. Her ne kadar priz başlangıç süresi klinkere katılan alçı taşı ile ayarlanabilirse de priz sonu süresi ise tamamen

çimentonun kalitesi ile ilgilidir. Priz başlangıcı, çimento kıvamının değişime başladığı anı ve priz sonu ise plastikliğini yitirdiği anı ifade etmektedir [2].

Ortam ısısı artıkça kimyasal bir reaksiyon olan hidrasyonun da artmasına neden olduğundan priz süresi kısılacaktır. Çimentoya katılan su miktarı arttıkça priz süresi de uzar. Çimento kullanılmadan önce uzun süre bekletilmişse rutubet kaparak prizin geç başlamasına neden olmaktadır. Genel olarak, priz başlangıcı 1 saatten az ve priz sonu ise 8-10 saatten fazla olmamalıdır [31].

Kızdırma kaybı miktarı her ne kadar çimentonun kimyasal özelliğini yansıtsa da çimentonun fiziksel olarak uygun olmayan bekletilme sonunda rutubet kapmış olmasının tespit edilmesinde de yararlıdır. Bunun için çimento numunesi 900°C ile 1000°C de sabit ağırlığa erişene kadar kızdırılır ve ağırlık kaybı tespit edilir. Eğer bu kayıp fazla ise çimento da rutubetlenme ve karbonatlaşma olduğunu gösterir. Kızdırma kaybı standartta belirtilen üst sınırdan fazla olmamalıdır [31].

Portland çimentolarının özgül ağırlığı genel olarak 3,15 iken katkılı çimentolarda ise 2,90'nın üzerindedir. Yoğunluk, gevşek halde 830 kg/m^3 iken vibrasyon ile konsolide edildiklerinde 1650 kg/m^3 olup hesaplamalarda 1800 kg/m^3 olarak alınmaktadır [31].

Çözünmeyen kalıntı, çimento hammaddelerinin pişme derecesi, gayri safi maddelerin miktarı, mineral katkıların oranı konularında bilgi verir. Çözünmeyen kalıntı miktarı standartta belirtilen üst sınırdan fazla olmamalıdır [31].

4.1.2 Çimentonun Mukavemet Özellikleri

Çimentoya su katılarak elde edilen plastik kıvamdaki hamur zamanla katılaştır ve daha sonra sertleşmeye yani mukavemet kazanmaya başlar. Kimyasal bir olay olan hidrasyon aşağıdaki özelliklere sahiptir [2];

- Çimentonun suyla tam olarak hidrasyon yapabilmesi için klinkerin çok ince olarak öğütülmesi gerekmektedir.
- Hidrasyon olayı zamanın bir fonksiyonu olduğundan çimentonun ana bileşiklerinin suyla yaptığı reaksiyonu çok uzun hatta senelerce sürer. Suyla temas eden betonlarda sürekli bir mukavemet artışı olmaktadır.

- Hidratasyon sırasında kimyasal reaksiyonlar ile ısı açığa çıkar. Buna hidratasyon ısıdır. Hidratasyon ısı başlangıçta daha çok iken daha sonraları azalmakta ancak yayılan toplam ısı zamana bağlı olarak artmaktadır.
- Silikatlar suyla reaksiyon yaptıktan sonra serbest kireç açığa çıkarılır daha sonra alüminantlar bu serbest kireçle reaksiyona girerek jelleri meydana getirirler. Özellikle C_3A çok hızlı hidratasyon yaptığından büyük bir ısının açığa çıkmasına ve priz çabuklaşmasına neden olur. Bu nedenle, klinkere jibs katılarak ani priz olayı geciktirilir.

Çimento hamurunun katılaşmaya başlaması ile plastikliğini kaybetmesi arasında geçen süreye priz denir. Beton priz başlangıcından önce kalıbına konup yerleştirilmeli ve priz süresince aşırı su kaybını önlemek için kür (koruma) uygulanmalıdır. Sıcaklık, su miktarı, çimentonun kullanılmadan önce bekletilmesi gibi hususlar priz süresi üzerinde önemli rol oynarlar. Alkali agrega reaktivitesine yol açan alkali oksitlerin (Na_2O ve K_2O) çimentoda fazla olması priz çabuklaşmasına neden olur [1].

Priz olayından sonra meydana gelen hidrate elemanlar çok boşluklu olup sertleşme sırasında meydana silikat hidrate kristalleri zaman içinde büyüyerek kılcal boşlukları doldurması ile çimento mukavemet kazanmaya başlar ve başlangıçta hızlı daha sonraları yavaş bir şekilde mukavemet artar. Çimentoların mekanik mukavemeti hidratasyon hızına bağlıdır. Dolayısıyla hidratasyon olayını etkileyen tüm faktörler çimentonun mukavemeti üzerinde etkili olmaktadır [31].

4.1.3 Rötire Özellikleri

Rötire hacim büzülmesi olayı olup donatı ile betonun aderansını artırması nedeni ile faydalı iken betonda çatlamalara neden olduklarında sakıncalıdır. Termik rötirede; Çimento hidratasyonu sırasında çıkan hidratasyon ısı beton kütlelerinin ısını artırmakta ve betonun hava ile temas eden yüzeyi ise soğumaktadır. Soğuyan kısım büzülmeye çalışırken sıcak olan iç kısım tarafından büzülme engellenmektedir. Bu da çekme gerilmelerini yaratarak betonun çatlamasına neden olacaktır. Bu nedenle, yüksek hava sıcaklıklarında beton dökülmemeli veya bir takım tedbirler alınmalıdır [2].

Plastik (çabuk veya erken) rötirede; Henüz taze betonun prizi sırasında meydana

gelen plastik rötre beton dökümünü takip eden günde üstteki donatılar boyunca oluşan kılcal çatlaklar ile kendini gösterir. Özellikle işlenebilirliği düşük katı betonlar ya da işlenebilirliği çok yüksek ama yeterince kohezyonu olmayan betonlar kalıba yerleştirildikten sonra vibrasyon etkisi ile terleme (imento şerbetinin dışa ve agregaların dibe çökmesi olayı) meydana gelir. Kütlenin dış kısmında (hava ile temas eden veya kalıpla temas eden yüzeylerde) terleme ile biriken su buharlaşma ile veya kalıp tarafından emilerek süratle yok olur ve hızlı bir büzülme meydana gelir. Bu da betonda çatlamalara ve donatı ile iri agrega altlarında boşluklar oluşmasına neden olarak aderansın azalması hatta yok olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, işlenebilirlik ne az ne de çok olmalı, terlemenin kontrolü için kohezyonu yüksek beton üretilmelidir [2].

Hidrolik rtreye sertleşmiş beton rtresi veya kuruma rtresi adları da verilmektedir. Hidrolik rötre beton üretiminden hemen sonra başlar ve 5-6 ay hatta 1 yıl devam eder. Çimento hamuru su kaybettikçe bzlmeye çalışacak ve rijit malzeme olan agrega bu büzülmeyi engellemeye çalışacaktır. Beton-harç-hamur'a ait tipik rötre miktarı 1-3-7 olarak alınabilir. Görüldüğü gibi, beton içindeki farklı büzülmelerin yaratacağı iç gerilmeler betonun atlmasına neden olacaktır [2].

Plastik rötre betondan ve termik rötre ile hidrolik rötre ise çimentodan kaynaklanır. Harç (ince kısım) ve özellikle agrega hacim daralmasına karşı koyar. Dolayısıyla agrega daneleri ne kadar sağlam ise çimentonun daralmasına o kadar karşı koyabilecektir [2].

4.2 Agregalar

Agrega yol kaplamasının stabilizesinden sorumlu olduğu kadar miktar olarak da önemli bir paya sahiptir. Çünkü bağlayıcısız temel ve alt temel tabakalarının tamamı, rijit styapıların ağırlıkça %70-80'i ve hacimce %60-75'i agrega tarafından sağlanır. Hem kaplamanın stabilizesine olan büyük katkısı hem de çok büyük miktarda gereksinim duyulmasından dolayı agrega çok önemli bir yol malzemesidir [31].

Agregaların zgl ağırlığı sahip olduğu minerallere bağlı iken birim ağırlık değeri daha ziyade dane şekline bağlıdır. Normal beton agregalarının özgül ağırlığı 2,50 ile 2,80 genellikle 2,60 ile 2,70 arasında değişir. Agregalar su ile dolabilen ve dolamayan boşluklar

ile boşluksuz (katı) hacimlere sahip olduğundan dolayı zahiri, hacim ve doygun kuru yüzey olmak üzere üç farklı özgül ağırlık değerine sahiptir. Karışım hesapları için betonlarda doygun kuru yüzey özgül ağırlık kullanılmaktadır [31].

Doygun kuru yüzey özgül ağırlık, agregada danelerinin beton karma suyu ile doygun hale geldiği ağırlığı ifade ettiğinden beton içindeki boşluksuz hacmin tayininde kullanılır. Birim ağırlık, kuru agregada ağırlığının boşluklu hacmine oranı yani yoğunluğudur. Özgül ağırlık ve birim ağırlık ne kadar fazla olursa beton mukavemeti de o kadar yüksek olmaktadır. Ayrıca birim ağırlık fazlalaştıkça boşluk oranı fazlalaşacağından ince kum ve çimento hamuru ihtiyacı da azalacaktır. Bunlara ilaveten beton agregalarının bir kompozite değeri bulunmaktadır [31].

Absorbsiyon agreganın suyu emme kabiliyeti iken porozite ise agregada danelerinin suyu emebilecek boşluk miktarıdır. Dolayısıyla agreganın absorpsiyonu porozitesinin de bir göstergesidir. Porozitenin küçük olması agregada danelerinin yüksek mukavemetli olmasını gösterir. Bu durum ise beton mukavemetinin artmasına neden olmaktadır. [31].

Yüksek mukavemetli betonların mukavemeti, çimento hamurunun mukavemetinin yanı sıra agregada mukavemetinin de yüksek olmasını gerektirdiğinden dolayı porozitenin %5'ten fazla olmaması önerilmektedir [31].

Agreganın porozitesi ile absorbe edilen su beton karma suyunu azaltacağından betonun işlenebilirliği de azalacaktır. Beton karma suyu agregada tarafından absorbe edilecek su miktarı kadar artırılmalı ve eğer agregada rutubet (serbest su) ihtiva ediyorsa bu miktar kadar da azaltılmalıdır. Agreganın bu özellikleri arasında en önemli porozitedir. Zira porozite, agreganın mukavemeti için bir gösterge olduğu gibi donma-çözülme ve ıslanma-kuruma direnci için de önemlidir. Agreganın porozitesi ne kadar az ise durabilitesi de o kadar fazla olacaktır. Absorbsiyonun bir miktar fazla olması halinde çimento hamuru ile agreganın aderansı artacağından betonun da mukavemeti artacaktır [14,18].

Yüksek çekme ve basınç mukavemeti gerektiren betonlarda kırma taş agregada kullanılmalıdır. Yani rijit kaplamalarda (özellikle hava alanı) kullanılacak beton agregaları mutlaka kırma taş olmalıdır. Agregaların yuvarlak ve pürüzsüz yüzeyli olması halinde, işlenebilirlik artmakta ve sıkışma direnci ile içsel sürtünme açısının az olması nedeni ile daha kolay sıkışarak boşluk miktarı azalmaktadır. Kırma taş agregada yuvarlak olmadığından

dolayı köşeli ve pürüzlü bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, daneler arasında kilitlenme ve boşluk miktarında artış olmaktadır [18].

Agrega danelerinin pürüzlülüğü arttıkça işlenebilirlik özelliği azalacağından daha çok karma suyuna ihtiyaç gösterecektir. Agregada yuvarlak danelerin yüzdesi arttıkça boşluk oranı da önemli ölçüde azalmaktadır. Kumun toplam yüzey alanı çakıllara nazaran çok daha fazla olduğundan beton karma suyu ihtiyacı artacaktır. Bu nedenle, uygun bir gradasyona sahip olmak kaydı ile kum miktarı az olan agregalar daha uygundur. Kıırma taş kumdan yapılan beton kaplamaların yüzeyi ne kadar iyi perdah yapılırsa yapılsın dere malzemesi kuma nazaran daha pürüzlü olmaktadır. Bu da taşıtlar için yüksek sürtünme yaratacağından sürüş emniyeti açısından avantaj yaratmaktadır [13].

Kırma taş agregalar, yuvarlak ve cilalı yüzeyli dere malzemesi agregalara nazaran daha fazla boşluk oranı ve yüzey alanına sahip olduklarından dolayı daha fazla ıslatma suyu gerekecektir. ıslatma suyunun bir kısmı çimento ile reaksiyona girmekte ama büyük bir kısmı da beton sertleştikten sonra buharlaşıp kaybolduğundan dolayı beton içinde boşluk bırakmaktadır. Bu nedenle, ıslatma suyu mümkün olduğu kadar az, işlenebilirliği sağlayacak kadar da fazla olmalıdır. Çimento hamuru ile agrega arasındaki aderans kuvveti, özellikle çekme ve eğilme mukavemeti için önemlidir. Agregada danelerinin yüzey pürüzlülüğü arttıkça ve homojenliği azaldıkça aderansı artmaktadır [28].

Agregaların durabilitesi beton kaplamanın kalitesi hakkında önemli bir göstergedir. Özellikle yol ve havaalanı beton kaplamaları, ağır yüklere maruz otoparklar, yükleme-boşaltma sahalarındaki kaplamalar vb. yerlerde yapılacak betonlar için kullanılan agregaların aşınma direncide yüksek olmalıdır. Ayrıca aşınma direnci yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksek olmaktadır [22].

Agrega danelerinin bünyesindeki boşluklarına nüfus eden suyun donma-çözülme devirlerinde yaratacağı ilave gerilmeler agreganın yorulma mukavemetini aşarak parçalanmasına neden olacaktır. Zira agrega daneleri içindeki boşluklarda bulunan su donma sonunda genişlererek agrega üzerinde ilave gerilmeler yaratmaktadır. Özellikle beton kaplamalarında donma-çözülme devirlerinde kaplamanın altında başlayan çatlaklar zamanla yüzeye çıkmaktadırlar. Bünyesinde kir ve sülfat mineralleri içeren agregalar çevre etkilerine dayanıklı değildir. Agregada daneleri içindeki boşlukların boyutu ne kadar küçükse gerilme o kadar azalacaktır [22].

Beton içindeki agrega miktarına ve ısıl genişleme katsayısına bağlı olarak agreganın ısı ile genişmesi sonucu betonda da genişme olacaktır. Ancak agreganın ısı ile genişmesindeki esas problem, kaba agreganın ısıl genişleme katsayısı ile çimento hamurunun ısıl genişleme katsayısının birbirlerinden çok farklı oluşudur. Büyük ısı değişimleri sırasında genişleme katsayılarının birbirlerinden çok farklı olması nedeni ile farklı genişmelerden ötürü agrega ile çimento hamuru koparak ayrılabilir [29].

Granülometri, granüler danelerin boyut dağılımını ifade eder. Diğer bir deyişle dane çaplarının dağılım eğrisi yani granülometrisi agrega içindeki farklı dane boyutlarının hangi oranlarda olması gerektiğini ortaya koyar. Eğer agreganın granülometrisi şartname sınırları içindeyse mukavemetli, dayanıklı ve ekonomik bir beton elde edilir. Agreganın maksimum dane boyutu, çimento hamuru miktarı, w/c oranı ve döküm yüksekliği betonun segregasyonunu etkiler. Gerekli çimento hamuru ekonomiyi etkilerken w/c oranı ise mukavemet üzerinde etkin bir rol oynar. Betondaki boşluk (hava) miktarı ise durabiliteyi etkiler. İdeal bir beton için üç temel şart (mukavemet, durabilite, ekonomi) ve ayrıca taze beton için iki temel şart (işlenebilirlik, segregasyon) üzerinde granülometrinin önemli etkisi açıkça görülmektedir [29].

4.3 Çelik Donatılar

Betonarmede, eğilme momentleri nedeniyle yapı elemanı üzerinde oluşan çekme gerilmelerinin beton yerine donatı ile karşılanması öngörülür. Betonun kusur olarak kaydedilebilecek olan özelliği, çekme gerilmeleri altında direncinin basınç gerilmeleri altındaki direncinden çok küçük olmasıdır. Basit çekme altında betonun direnci, basit basınç altındaki direncinin 1/10-1/12'si düzeyindedir. Kırılma birim boy değişimleri de basınç altında 0,002 ve basit çekme durumunda yine bunun 1/10'u kadar yani 0,0002 mertebesindedir. Betonun bu davranışı, taşıyıcı bir yapı elemanının kesitinde meydana gelen çekme gerilmelerini alacak şekilde, taşıyıcı sisteminin çekme bölgelerini çelik çubuklarla donatmak suretiyle giderilmiş ve betonarme olarak tanımlanan cisim oluşturulmuştur. Beton ile çeliğin aralarındaki aderans nedeni ile beraber çalıştığı bu karma cisimde, çekme gerilmelerinin tamamı donatı tarafından, basınç gerilmelerinin tümü veya önemli bir kısmı beton tarafından alınmaktadır. Bu genel ilkenin yanı sıra, yol betonlarında

kullanılan diğler önemli bir işlevi de betonun rötresinden kaynaklanan şekil değıştirmelerin ve kılcal çatlakların, beton ve donatı arasındaki aderans yardımı ile uniform olarak dağıtılmasıdır. Bu durumda yüksek aderans sağlayan donatı tipleri seçilmelidir [9,14].

Beton plakların kesikliğıe uğradığı yerlerde düşey yük transferinin sağlanması için kayma demirleri kullanılır. Bu demirlerin çapları plağın kalınlığına bağılı olarak 20 mm' den fazla seçilir. Demirin yüzeyi, kaymayı sağlamak için nervürsüz olmalıdır. Sertleşmiş betonun içinde plağın genişmeden kaynaklanan şekil değıştirmesine engel olmamak için gres yağı, plastik veya bitümlü bir film tabakası oluşturulur. Derzlerin veya çatlakların zamanla açılıp genişlemelerini önlemek amacı ile kullanılan bağlantı demirleri yüksek aderanslı donatı tipinden olup genellikle 12 mm çaplı ve 60-80 cm uzunluğunda tasarlanırlar. Sürekli betonarme yol tekniğinde kullanılan plak donatıları yüksek aderanslı türden seçilirler. Beton yol tekniğinde kullanılan diğler bir donatı türü de kaynak ile çubukları bağlanmış prefabrike hazır demirlerin kullanılmasıdır [8,11].

4.4 Beton Karma Suyu

İçilebilir nitelikteki her su, beton karma suyu olarak kullanılabilir. Karma suyu için aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır [31];

- Asidik özellikte olmamalıdır. Yani $pH \geq 7$ olmalıdır.
- Madeni tuzlar, % 0,04'den fazla SO_3 ile şeker ve şekerli maddeler ihtiva etmemelidir.
- Sodyum karbonat çabuk prize ve bikarbonat (HCO_3) ise prizi hızlandırma ya da prizi yavaşlatmaya neden olduklarından dolayı kullanılmamalıdır.
- % 2'den fazla yağ içeren sular beton mukavemetini % 20'den fazla azalttığından test edilmeden kullanılmamalıdır.
- Deniz suyu yukarıdaki şartları sağlıyorsa ve içme suyu ile yapılan betona göre % 90'dan fazla mukavemet veriyorsa kullanılabilir.
- Korozyona neden olduğundan dolayı sodyum klorit ihtiva etmemelidir.
- Betonun bozulmasına neden olan sodyum sülfat (SO_4) ve alkali oksitler maksimum % 1 olmalıdır.
- Kil, silt, organik madde vb. miktarı maksimum % 0,2 olmalıdır.

4.5 Katkı Maddeleri

Çimento ağırlığının en çok %5'i kadar bir oranda betona eklenen kimyasal katkı maddeleri, betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona ek yeni özellikler kazandırmak amacıyla taşınır. Beton katkı maddeleri toz veya sıvı olarak kullanılırlar. Toz halinde elde edilen türlerinin, beton karıştırıcısına verilmeden önce sulandırılması gerekir [2].

Beton katkı maddeleri;

- Akışkanlaştırıcı katkılar
- Süper akışkanlaştırıcılar
- Prizi hızlandırıcı katkılar
- Prizi geciktirici katkılar
- Hava sürükleyici katkılar
- Geçirimsizliği azaltıcı katkılar

Olmak üzere alt gruplara ayrılırlar [31].

4.6 Kür Maddeleri

Gerçekleştirilen deney ve gözlemlerden, sertleşme sırasında betonun çok çabuk kurumaktan korunması gerektiği sonucuna varılmıştır. Betonun priz aşamasında korunmuş olması aşınma ve eğilme direnç değerlerini artırmaktadır. İlk üç gün ıslak tutulan betonun kırılma modülü %20, aşınma direnci %35 oranında artırılmış olur. Islak tutma süresi 7 güne çıkarıldığında anılan değerler sırası ile %30 ve %40 mertebesine ulaşırlar. Karşıt olarak ilk 72 saat süresince betonun kurumuş olması direnç değerlerini çok düşürmektedir. O halde dikkat edilecek husus, betonun hidrasyon suyunun ortamdan kaybolmasına engel olunmasıdır [15].

Islak saman, ot veya toprak gibi koruyucular da denenmiştir. Ancak bu tür koruyucular kuruyunca rüzgâr etkisiyle çevreyi kirletici etken olmaktadır. Suyun bol bulunduğu yörelerde ve platform eğiminin fazla olmadığı kesimlerde en iyi koruma yüzeyde su tabakası oluşturulmasıdır. Nemli iklimlerde 24 saatlik (kısa süreli) su

korunmasından sonra kalsiyum klorürlü koruma uygulanabilir. Bu tuz karışımına katılacak ise, 1 torba çimentoya 1 kg kalsiyum klorür eklenmelidir. Bu koruyucunun daha sonra yüzeye serpilmesi yöntemi tercih edilmiş ise metrekareye 1-1,5 kg pul malzeme serilir. Havası çok kuru bölgelerde bu yöntem kullanılamaz. Sodyum silikatın (su camı) eriyik halinde beton yüzeyine sürülerek buharlaşmayı kısıtlayıcı bir rol üstlenmesi istenir. Metrekareye 500 gr kadar koruyucu kullanılmaktadır. Katbek asfaltlar veya su geçirmez kraft kâğıdı da buharlaşmayı azaltıcı etkenlerdir. Yüzeye püskürtülen katbek asfaltlar koyu renkli olduklarından güneşli havalarda tercih edilmezler. Dokusu fiberle pekiştirilmiş parafinli kâğıt örtüler yüzey tesviye işlemleri biter bitmez uygulanır ve koruma süresi sonuna kadar, zaman zaman ıslatılarak yerinde bırakılır [15].

4.7 Derz Dolgu Malzemeleri

Beton plaklarda değişik nedenlerden dolayı bırakılan derzler, kaplamanın kritik bölgelerini oluşturur. En azından ortamda süreksizlik oluşturdukları için bunların dolgu maddeleri ile doldurulup tıkanmaları gerekir. Alt dolgu malzemeleri, derz imali için önceden hazırlanmış sıkışabilen malzemedan istenilen kalınlık ve derinlikte yapılıp genişleme derzlerinde beton dökülürken yerleştirilirler. Üst dolgu maddelerine destek görevi de yüklenen bu maddeler yumuşak tahtadan, su geçirmez preslenmiş plaklar, mantar veya gözenekli lastikten imal edilirler. Alt dolgu malzemelerinin; Elastik olmaları, taze betonun suyunu almamaları ve su etkisiyle bozulmamaları sağlanmalıdır [22].

Üst dolgu malzemeleri ise derz örtme malzemesi olarak, toz, toprak ve suyun derze girmesini önleyici görev yaparlar. Aranılan başlıca özellikleri, betona iyi yapışmaları, çatlamadan uzayabilmeleri, sıcak havada akmaya karşı direnç sağlamaları, toz ve toprağın girmesine karşı direnç oluşturmaları, dayanıklı ve uzun ömürlü olmalarıdır. Derz üst dolgu malzemeleri kış ve yaz aylarında kıvam özelliklerini fazla değiştirmemelidir. Lastik-bitüm karışımları, oksitlenmiş bitüm bileşikleri, damıtma ürünleri olan bitüm bileşikleri, reçineli bileşikler, örtme karışımlarının, beton yol derzlerinde yaygın olarak kullanılan ve iyi sonuç veren türlerindedir [22].

5. BETON YOL ÜSTYAPI İNŞA METODLARI

Beton yollar; Çimento betonu ile yapılan ve üzerinden geçen dingil yüklerini tabana ileten bir kaplama türü olup, üstyapı tabanı üzerine yerleştirilen alt temel tabakası, zayıf beton tabakası veya bitümlü tabaka üzerine serilmiş beton plaktan oluşmaktadır.

Rijit üstyapılar üç farklı şekilde inşa edilebilmektedir [15]:

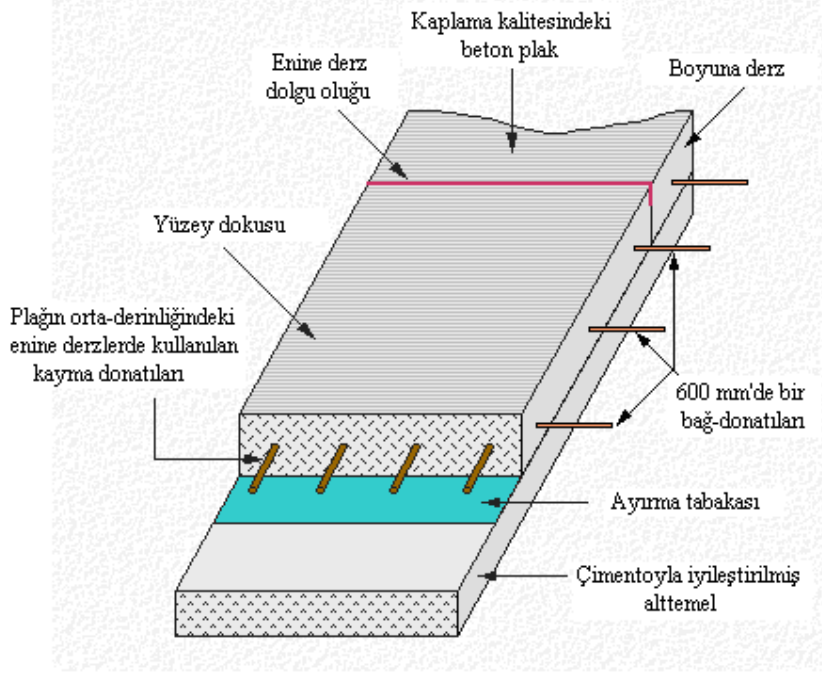
- Derzli donatısız rijit üstyapılar
- Derzli donatılı rijit üstyapılar
- Sürekli donatılı rijit üstyapılar

5.1 Derzli Donatısız Rijit Üstyapılar

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar, 3-6 m. uzunluğunda kısa anolardan oluşur. Bloklar 125–350 mm. kalınlığında olup donatı çeliği içermezler. Derzler zayıflatılmış yüzey kasılan tipte olup geçmeli veya geçmesiz olabilirler. Anolar genel olarak granüler malzeme, çimento veya bitümlü tabakalar üzerine inşa edilir. Temel tabakası kalınlıkları 100–200 mm. olabilmektedir [19].

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılarda kısa derz aralığı, ano ortası çatlamayı asgariye indirmek ve derz açıklıklarını nispeten küçük tutmak için kullanılır. Aynı sebepten dolayı bağlanmış boyuna derzler de buna dahildir. Derzlerde bağlantı yükü transferinde, malzeme kenetlenmesinden yararlanır. Ağır trafik taşıyan yollarda, özellikle nemli bölgelerde, yük transferini geliştirmek için beton demirleri veya daha ziyade stabilize temel tabakası kullanılır. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar genellikle, Amerika Birleşik Devletlerin tüm iklim alanlarında, hava alanı döşemelerinde, otoyollarda ve şehir içi caddelerde kullanılmaktadır [18].

Gerek derzli donatısız tipteki gerekse derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, plak ile alt temel arasındaki sürünmenin azaltılarak orta açıklıktaki çatlamaların engellenebilmesi için bir ayırma membranına ihtiyaç duyulur. (Şekil 5.1.)



Şekil 5.1. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar [18]

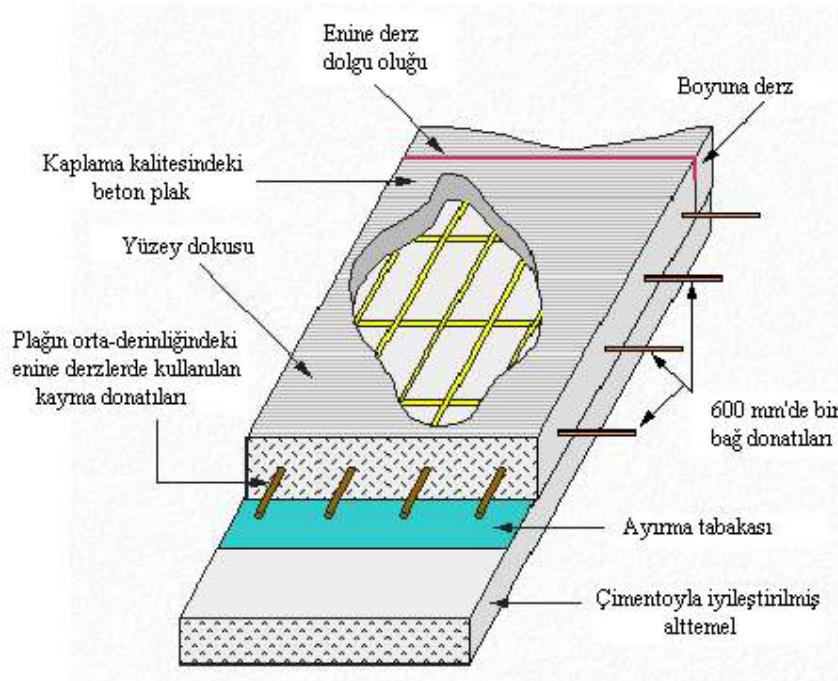
5.2 Derzli Donatılı Rijit Üstyapılar

Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar, uzunlukları 8–30 m anolardan oluşur. Blok kalınlıkları 150–350 mm olup, ortalarında donatı çelik ağı geçmektedir. Temel tabakası kalınlığı 100–200 mm dir [18].

Daha uzun derz aralığı verildiğinde kurumadan dolayı büzölmeye ve ısıdan dolayı kıvrılmaya bağılı olarak bu tür kaplamada çatlaklar oluşur. Donatı çeliğı kullanılması amacı da bu ano ortası çatlaklarının oluşmasını engellenmesidir. Çatlakları sıkı tutarak, yük transferinin sağlanması çelik tarafından yapılır. Burada çelik, beton bloğun esneklik kapasitesini artırmak için kullanılmamaktadır [18].

Daha uzun derz aralığı kullanılması ayrıca daha büyük derz açıklıklarına neden olur. Dolayısı ile derzler arası yük transferini sağlamak için donatı çubukları kullanılır. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar, donma ısısındaki bölgelerde ve nemli bölgelerdeki şehirlerarası yollarda yoğun olarak kullanılmaktadır [19].

Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar, enine derz aralıklarının artırılmasına olanak tanıyan donatılar dışında derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar ile benzerdir. Gerek derzli donatısız tipteki gerekse derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, plak ile alt temel arasındaki sürtünmenin azaltılarak orta açıklıktaki çatlamların engellenebilmesi için bir ayırma membranına ihtiyaç duyulur [18].



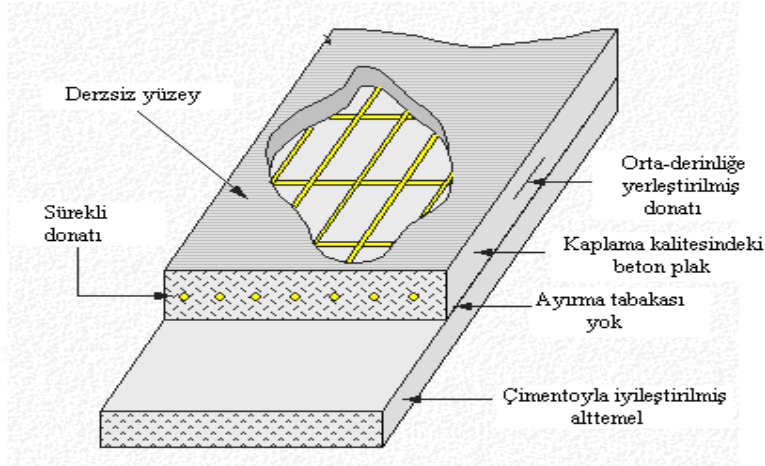
Şekil 5.2. Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar [18]

5.3 Sürekli Donatılı Rijit Üstyapılar

Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar, enine derzler olmaksızın döşenen beton bir plaktan oluşur. Yüksek donatı içeriği buna olanak tanır. Ancak diğer tüm betonarme yapılarda olduğu gibi, donatılar çatlakları önlemez sadece kontrol altında tutar. Çelik donatı plak boyunca sürekli olarak vardır ve derzler yalnızca her gün iş bitiminde konulur. Plak kalınlıkları 150–250 mm olur. Bu tür kaplamalarda derzli donatılı tipteki rijit üstyapılardan oldukça fazla çelik vardır. Genel olarak kesit alanının %5 - %7'i kadardır [18,20].

Uzun derz aralıklarının bir sonucu olarak, bu tür kaplamalarda kaplama ömrünün ilk birkaç yılı boyunca 0,6–2,4 m aralıklarla enine çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar plak içindeki donatı çeliği sağlam olduğu sürece sıkıca kapalı kalırlar. Eğer çelik, yüksek çekme gerilmelerine karşı koyamayacak durumda ise, enine çatlaklar açılarak bozulabilirler. Plak desteğini artırmak ve tekerlek yükleri altındaki ano gerilmelerini azaltmak için bu kaplama ile birlikte genellikle bir stabilize temel kullanılır. Bu kaplama türünün yaygın olarak kullanılmasına karşılık toplam beton kaplamaya oranı oldukça düşüktür [18].

Derzli donatısız ve derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda görülen ayırma membranı, beton temel ile alt-temel arasında daha yüksek bir düzeydeki sürtünmenin elde edilebilmesi için sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılarda yer almamaktadır. Alt temel ile sağlanan desteklik üstyapı sonundaki oynamaları azaltmaktadır ve istenilen çatlama modelini korur. Plaktaki süreksizliklerin, kabarıp dökülme riski ile birlikte birbirine yakın aralıklı çatlamalara olanak tanınması nedeniyle, mümkün olan her yerde önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı rögarların ve suyollarının bu tipteki rijit üstyapı plaklarının dışında bulundurulması gerekmektedir [19].



Şekil 5.3. Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar [18]

6. RİJİT ÜSTYAPI TASARIMINDA ÇEVRESEL ETKENLER VE TRAFİK

6. 1. Rijit Üstyapı Tasarımını Etkileyen Çevresel Faktörler

Bir yol üstyapısının tasarımı; En uygun yapı tipini, bunu oluşturacak tabaka kalınlıklarını ve üstyapının tüm kullanım ömrü boyunca, önceden belirlenmiş bazı minimum değerleri geçen ve fonksiyonellik değerlerini sağlayan malzeme karakteristiklerinin seçimini amaçlar. Tasarım metotları 3 kategori halinde sınıflandırılabilir: Rasyonel, ampirik ve kataloglar. Rasyonel tasarım metotları üstyapının tasarım ömrü boyunca herhangi bir trafik ve çevre koşulu altındaki davranışının modellenmesi olasılığını vermektedir [12].

Bir rijit üstyapı için tasarım verileri şunlardır: Trafik, taban zemini karakteristikleri, iklim, beton dayanımıdır. Üstyapılarının tasarımı daha çok ekonomik olanaklar bağlamında sınırlıdır ve diğer tasarım özellikleri olan fonksiyonellik, güvenilirlik ve güvenlik gereklilikleri orta ve ağır trafik taşıyan yol üstyapılarına göre daha önemsizdir. Bu bakımdan ampirik metotların ve katalogların, daha esnek ve daha kısa sürede uygulanabilirlikleri nedeni ile bu tip üstyapıların tasarımı için daha uygun oldukları düşünülmektedir [15].

Üstyapının taşıma kapasitesi; Çimento ile bağlanmış tabakalarda meydana gelen termal biçim değiştirmelere ve nem içeriğinin malzeme özellikleri üzerindeki etkisine nazaran iklim koşullarından daha fazla etkilenmektedir. Üstyapının termal modeli; Hava sıcaklığından, güneşin yaydığı radyasyondan ve rüzgârdan etkilenmektedir [16].

Katılarda ısının iletiminin genel teorisine ve deneysel sonuçlar üzerine kurulu olan, yapıda ısı ile oluşan değişikliklerin elde edilmesine ilişkin, birçok model bulunmaktadır. Bir üstyapının tasarımında göz önüne alınması gereken diğer bir iklimsel faktör ise don etkisidir. Belirli zeminlerde don süreci ile ilgili olan emme, suyun daha üstteki zemin tabakalarına yönelimine ve burada ayrılmış yatay buz tabakaları ve lenslerinin oluşumuna sebep olarak yukarıya doğru deplasman veya yüzey kabarmalarına neden olur [12].

Betona katkı maddeleri katılması ve plağın altında dona karşı dirençli alt temel tabakalarının kullanılması önerilmektedir. Nem içeriğini en fazla etkileyen faktör yağıştır. Nem oranındaki bir değişiklik ve su seviyesindeki bir artış, taban zeminindeki granüler malzemenin taşıma kapasitesinde bir azalma meydana getirebilmektedir [12].

Yüzeysel suyun üstyapıya verdiği zararın azaltılması için, suyun uzaklaştırılmasını sağlayacak bir enine eğime ihtiyaç duyulur. Genellikle enine eğimler %4 ile %6 arasında alınır. Ayrıca yol yüzeyinin yeraltı su seviyesinden yeteri kadar yüksek olması gerekir. Yüzey altı drenlerin kurulması ve drenaj hendeklerinin düzenli bakımı ile suyla ilgili problemlerin üstesinden gelinebilir. Yüzey altı drenaj; Kırma taş veya çakıl ile doldurulmuş drenaj hendeklerinin ve drenaj borularının kullanılmasıyla veya geçirimsizliği çok fazla olan bir alt temel tabakasının kullanımıyla sağlanabilir [20,22].

Geometrik olarak kırsal yollar oldukça küçük enkesitlere, yüksek eğim, profil ve düşük kurp yarıçapına sahiptir. Sınırlayıcı olan bu yol karakteristiği elemanları, genellikle kırsal yollara ayrılan ekonomik kaynakların her zaman çok kısıtlı olması ve bunun sebep olduğu toprak işlerinin (yarma-dolgu) minimum seviyede tutabilmesi talebinin sonucudur [12].

Kırsal yol üstyapıları tasarım, yapım ve bakıma bağlı olarak özel nitelikler gösterir. Düşük trafik hacmine sahipken oldukça yüksek dingil yüklerine ve sıklıkla en değişken trafik kompozisyonuna (traktörler, bisikletler, kamyonlar, at arabaları) maruz kalabilmektedirler. Bu bakımdan bu tür yollar için trafik tahminlerinin yapımı her zaman oldukça zordur. Bu tür yolların sınırlı geometrik karakteristikleri; Uygulanması kolay, yapımı-bakımı ekonomik olan ve bununla birlikte çok dik eğimli kesimlerde iyi kayma direnci gösteren üstyapıları gerektirir. Boyuna eğimin yüksek olduğu yerlerde (orman yollarında bu oran %20'yi aşabilir) yolun yoğun yağış altında yumuşamasına ve bundan kaynaklanan derin tekerlek izlerinin oluşumuyla ulaşımın elverişsiz hale gelmesindenense gürültülü bir üstyapı tercih edilir [12].

6.2 Rijit Üstyapı Tasarımını Etkileyen Trafik Faktörleri

Yollar temel anlamda modern yaşam ve ekonomik gelişim için ihtiyaç duyulan insan ve yük taşınmasına olanak verir. Yüksek trafik hacimli yollar uzunluk bakımından %20'den daha az olan bir kısmı temsil etmesine rağmen özellikle ağır kamyon ve otobüs trafiğinin %80'ini temsil etmektedir. Yüksek trafik hacimli bir yoldaki trafik akımından meydana gelen bir kesinti binlerce kara yolu kullanıcısının gecikmesine, kazaların artmasına, yakıt kullanımının ve çevre kirliliğinin artmasına sebep olur. Şeritlerdeki

tıkanma hem halkın ulaşımını hem de fabrikalara yük taşıyan, zaman duyarlılığı olan ticari taşıtların ulaşımını büyük ölçüde etkiler. Şerit tıkanmaları aynı zamanda karayolu kullanıcılarının kaza yapma olasılığını büyük ölçüde artırmaktadır [15].

Yollar genellikle gittikçe artış gösteren ve bir ülkenin ticari yaşam akımı olan kamyon ve otobüslerin büyük hacmini ve ağırlığını taşır. Bu yollardaki üstyapıların milyonlarca ağır dingil yükünü taşıması gerekir ve bundan dolayı bu yapılarıdaki malzemelerdeki herhangi bir kusur veya zayıflık şeritlerde bakıma, rehabilitasyona veya yeniden yapıma sebep olan detorasyonların, kırılmaların oluşmasına sebep olur. Bu bakımdan yüksek trafik hacimli yolların oldukça güvenli olması gerekir ve bu tip yollarda iyi malzemelerin kullanılması gerekir. Portland çimentosu betonundan oluşan rijit üstyapılar, çok ağır yüklemeleri uzun süre boyunca şeritlerde çok az bir bakıma ihtiyaç duyarak güvenle taşıyabilmeleri nedeni ile dünyanın birçok yerinde yüksek trafik hacimli yolların ve havaalanlarının yapımında kullanılmaktadır [13].

6.3 Rijit Üstyapıların İnşasında Önem Arz Eden Kritik Noktalar

Rijit üstyapıların inşa aşamalarının her biri ayrı önem taşımaktadır ve üstyapı performansına direkt etkileri söz konusudur. Üstyapının üniform ve tutarlı bir platform tarafından desteklenmesinin garantiye alınması için; Üstyapı tasarım süreci boyunca yer altı zeminindeki yatay ve düşey değişimler, nem içerikleri, yoğunlukları ve su seviyesi derinliklerinin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu elemanlar uygun saha (yer altı incelemeleri) ve laboratuvar test programları ile ölçülebilmektedir. Daha da önemlisi kaplama tabakalarının yerleştirilmesinden önceki taban zemini hazırlıklarının, şişen zeminler ve dona karşı hassas zeminler gibi özel yeraltı koşullarının belirlenmesi ve bunların üstyapı tasarımında göz önünde bulundurulması gerekmektedir [11].

Taban zeminin hazırlanmasında göz önüne alınması gereken diğer bir kritik durum don kabarmasıdır. Don kabarmasının problem olduğu yerlerde hassas zeminler dona karşı hassas olmayan malzemelerle değiştirilmelidir. Alternatif olarak doğal zemin üzerindeki eğim çizgisinin yükseltilmesini sağlayan dona karşı hassas olmayan bir ek malzeme seçimi, zemin problemi üzerinde etkili olabilmektedir [13].

Rijit üstyapılarında bazı gerekliliklerin yerine getirilmesi için bir veya daha fazla

temel ve alt temel tabakalarından faydalanılır. Temel tabakaları tamamlanmış olan taban zemini üzerine yerleştirilir. Kaplamacılara düzgün bir üstyapının oluşturulması sırasında çalışabilecekleri stabil bir platform oluşturarak beton plak inşasının daha düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanınmaları ve düzgün bir yüzey için temel tabakalarının düzgünlüğüne ihtiyaç duyulur. Rijit plağın aşınmasını ve dayanım kaybını önleyecek üniform bir desteklik sağlar. Bu bakımdan temel kısmını oluşturan spesifik maddeleri ve doğru kompaksiyonu ve/veya yüksek durabiliteye ulaşılması için gerekli dayanımı kapsayan bir sistemle, yolun eğim boyunca doğru yükseklikte inşa edilmesi gerekir [15].

Betonun yerleştirilmesinden önce eğimin kontrol edilmesi, uygun şekilde düzeltilmesi gerekir. Eğer eğimlendirme çalışmaları ve inşaat trafiği temelin yoğunluğunu bozuyorsa, bunu düzeltmek için ek kompaksiyona ihtiyaç duyulur [8].

Üstyapılar için beton yüzeyin kürü çok önemlidir. İyi kür işlemleri yüzeyin gerektiği biçimde sertleşmesini sağlar ve böylelikle milyonlarca tekerlek tarafından (özellikle tekerleklerin çelik saplamalara sahip olduğu karlı ve buzlu alanlarda) daha düşük seviyede aşınma düzeyi görülür. Aşınmaya karşı dayanıklı bir yüzeyin sağlanması için beton karışımının daha düşük bir su/çimento oranına ve yeterli çimento içeriğine sahip olması gerekir. Hüküm süren iklim koşulları altında ölçeklenmelere neden olmayacak veya donma-çözülme etkileri sonucu kabarma etkilerini hafifletecek hava içeriği yeterli seviyede olmalıdır [17].

Su kürü güneşli günler boyunca yapılan inşaatlarda köşe kırılmalarını ve bazı enine, boyuna ve diyagonal çatlakların oranını azaltır. Daha düşük derz ve çatlak açılmaları ile sonuçlanan portland çimentosu betonunun sıfır - gerilme sıcaklığı aynı zamanda daha düşük olacaktır [13].

Enine derzlerin inşası çatlak oluşumunun kontrol altında tutulabilmesi için plakta yeterli derinlikteki testere kesimini gerektirir. Bununla birlikte maksimum derz kesim hızına ulaşılabilmesi için çatlak oluşumunu kontrol edecek minimum kesme derinliği tercih edilir. Aynı zamanda kayma donatısız derzlerde, agrega kenetlenmesi ile sağlanan daha yüksek bir yük transferinin elde edilebilmesi için kesme derinliğinin sınırlandırılması önerilir. Stabilize temellerin sebep olduğu sürtünme ile ilgili probleme yönelik diğer bir yol; İşlenmiş temellerde tavsiye edilen enine derz aralıklarında çatlak oluşumunun kontrol altına alınabilmesi için, işlenmiş temel tabakası yüzeyinin çentilmesidir [12].

6.4 Banket Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Konular

Geniş kaplanmış banketler, durmak zorunda kalan araçları, işleyen trafik şeritlerinden ayırarak onlara uygun bir alan sağlarlar. Bu durumun yüksek trafik hacimli tüm karayolu tesislerinde sağlanmaları önem arz etmektedir [22].

Banketlerin karayolu yüzeyi ve trafik şeridi sınırı ile aynı düzlemde olmalıdır. Bütün banketlerin karayolundan suyu dren edebilecek şekilde yeterli eğime sahip olması gerekir. Asfalt betonu ve portland çimentosu ile kaplanmış banketlerin %2 - %6 eğimde, çakıl ve kırmataş banketlerin %4 - %6 ve çayırılık banketlerin %8'lik eğimde olması gerekir. Üstyapının dış tarafında suyu dren eden banket eğimlerinin deverli kesimlerde enkesit eğimini aşırı artırmayacak şekilde tasarlanması gerekir. Yüksek trafik hacimli karayolları için tüm genişliğince kaplanmış olan banketlerin kullanımı kesinlikle önerilmektedir [22].

Banket tasarımında banket üzerine park edeceği tahmin edilen kamyon sayısının göz önünde bulundurulması gerekir. Bu çoğunlukla, geceleri değiş tokuş ile dinlenme alanlarında ve açık-kapalı rampalarda gözlemlenen bir durumdur. Banket bu tür bir yükleme dikkate alınmadan tasarlanırsa kayda değer hasarlar meydana gelmektedir [19].

7. AASHTO PROJELENDİRME DENKLEMİNDEKİ PARAMETRELERİN RİJİT ÜSTYAPI BETON KAPLAMA KALINLIĞINA ETKİSİ

AASHTO metodu, yol testi sonuçları ile standart dingil yükü tekerrür sayısının kaplamanın performansına etkisi dikkate alınarak geliştirilmiştir. Esnek kaplamaların tasarımında olduğu gibi, kaplamanın servis yeteneğindeki azalma göz önüne alınmaktadır. Beton kaplamanın performansı için AASHTO yol testinden denklem (7.1) deki eşitlik elde edilmiştir [31].

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10} W_{8,2} = & Z_R S_0 + 7,35 \log_{10} (D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} [\Delta\text{PSI} / (4,5-1,5)]}{1 + [1,624 \times 10^7 / (D+1)^{8,46}]} \\ & + (4,22 - 0,32 P_t) \text{Log}_{10} \frac{S'_c C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63J [D^{0,75} - [18,42 / (E_c / k^{0,25})]]} \end{aligned} \quad (7.1)$$

Burada;

$W_{8,2}$: 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı

Z_R : Standart normal sapma

S_0 : Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası

D : Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı (inç)

ΔPSI : $P_0 - P_t$ (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)

P_0 : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi

P_t : Nihai servis kabiliyeti indeksi

S'_c : Betonun kopma modülü (Eğilmede çekme mukavemeti) (psi)

J : Yük transfer katsayısı

C_d : Drenaj katsayısı

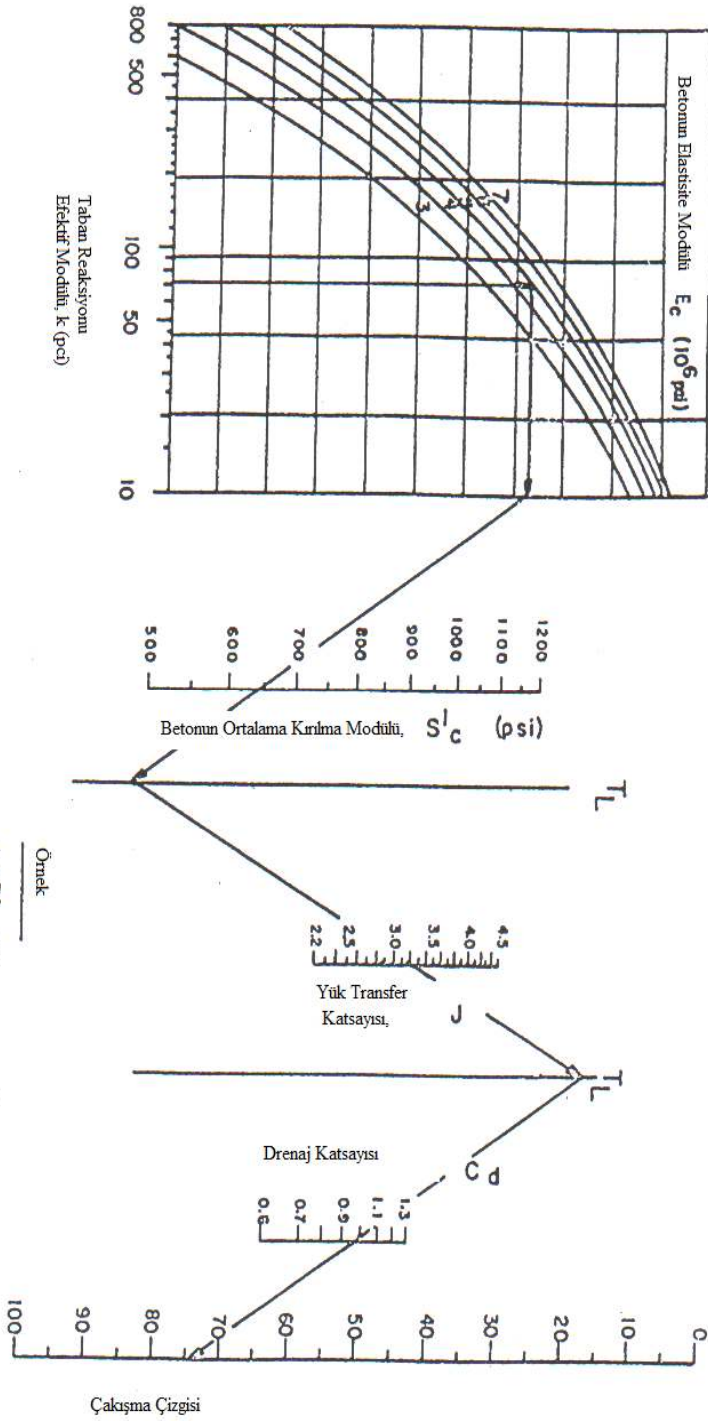
E_c : Betonun elastisite modülü (psi)

k : Yatak katsayısı (pci)

Denklem (7.1) deki eşitlikten Şekil 7.1.'deki abak geliştirilmiştir. Bu abak yardımıyla beton kaplama kalınlığı kolaylıkla tespit edilebilir [31];

Nomogramın Çözümü :

$$\log_{10} \frac{W'}{10^{13}} = \frac{R^2 C_D}{R^2 C_D + 7.35 \log_{10} (D+1)} - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{4 \text{ PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{2.624 \times 10^7}{(D+1) 8.45}} + (4.22 - 0.32 P_c) \times 10^5 \log_{10} \left[\frac{S'_c + C_d \left[D^{0.75} - 1.132 \right]}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c^{0.25})} \right]} \right]$$

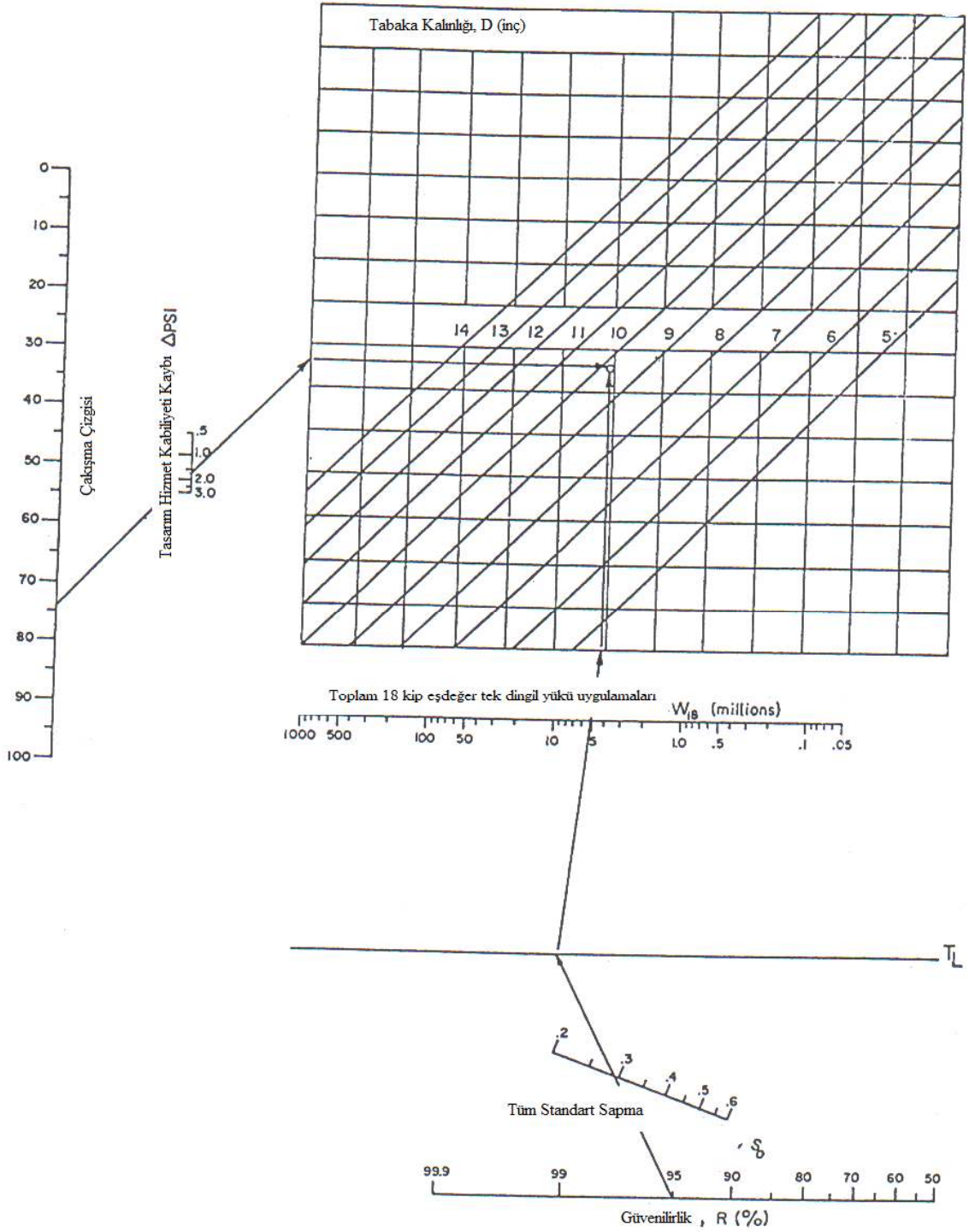


Örnek

$k = 72 \text{ pci}$
 $E_c = 5 \times 10^6 \text{ psi}$
 $S'_c = 650 \text{ psi}$
 $J = 3.2$
 $C_D = 1.0$

$S_o = 0.29$
 $R = 95\% (Z_R = -1.645)$
 $\Delta \text{PSI} = 4.2 - 2.5 = 1.7$
 $W'_B = 51 \times 10^6 \text{ (18 kip ESAL)}$
 Çözüm : $D = 10.0 \text{ inc}$

Şekil 7.1. Beton kaplama kalınlığının tayini (AASHTO 1986)



‘Şekil 7.1.’in devamı’ Beton kaplama kalınlığının tayini (AASHTO 1986)

7.1 Efektif Zemin Yatak Katsayısı

Esnek kaplamalarda zemin taşıma gücü efektif esneklik modülü (M_R) ile tanımlanırken beton kaplamalarda ise zeminin taşıma gücü efektif yatak katsayısı (zemin reaksiyon modülü ile) tanımlanmaktadır. Zemin yatak katsayısı (k) ile esneklik modülü (M_R) arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$k = M_R / 19,4 \quad (7.2)$$

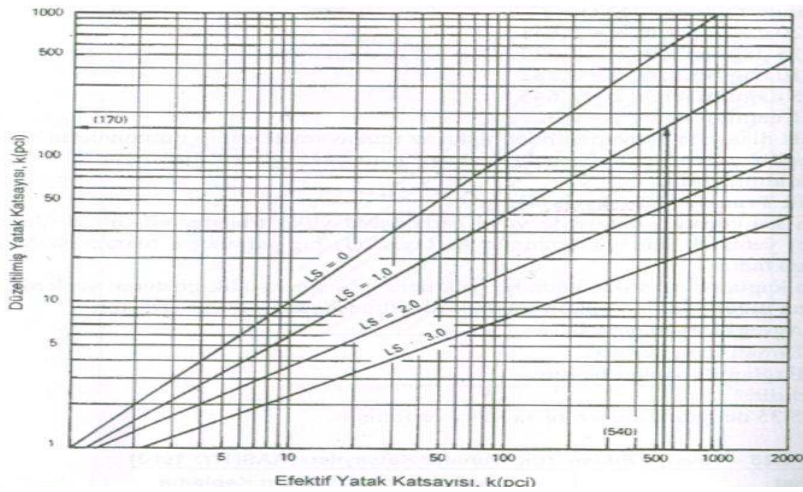
Burada;

k : Yatak katsayısı (Plaka yükleme testi ile) (psi)

M_R : Esneklik modülü (Üç eksenli test ile) (psi)

k değeri, zemine ait birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir. Özellikle zemin rutubet içeriği ile yoğunluğunun k değeri üzerinde önemli etkisi vardır.

Şekil 7.2. yardımıyla zeminin sahip olduğu yatak katsayısı düzeltilmelidir. Burada LS (zemin destek azalması) stabilize edilmiş temel tabakaları 0 ila 1, granüler temel ve çimento stabilizasyon zemin için 1 ila 3 ve tabii zemin için 2 ila 3 olarak alınmalıdır. LS faktörü, zeminin düşey hacim değiştirmesi (şişme ve don kabarması) halinde 2 ila 3 alınmalıdır. LS faktörü, zeminin erozyonu ve hacim değiştirmesinden ötürü beton plağa destek olma yeteneğinin azalmasını ifade etmektedir [31].



Şekil 7.2. Taban Zemini Reaksiyonu Efektif Modülü (AASHTO 1986)

7.2 Betonun Elastisite Modülü (E_c)

Betonun elastisite modülü, TS 500 tarafından eşitlik (7.3) ile bulunması önerilmektedir [31], Hesaplamalarda $E_c=5.000.000$ psi alınmıştır.

$$E_c = 3250 \sqrt{f_{ck}} + 14000 \quad (7.3)$$

Burada,

E_c : Betonun elastisite modülü (Mpa)

f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç mukavemeti (N/mm^2)

7.3 Betonun Kopma Modülü (Eğilmede çekme mukavemeti) (S'_c) :

Betonun Kopma modülü, 28 günlük standart beton kirişlerin üç nokta yüklemesi ile elde edilen ortalama değeridir. Kopma modülü, standart sapma ve mukavemet değerinin %'sinin normal dağılımı için eşitlik (7.4) ile bulunmalıdır. Hesaplamalarda $S'_c=650$ psi alınmıştır.

$$S'_c = S_c + Z(SD_s) \quad (7.4)$$

Burada;

S'_c : Beton kopma modülünün tahmini ortalama değeri (psi)

S_c : Beton kopma modülünün tasarım değeri (psi)

SD_s : Beton kopma modülünün tahmini standart sapması (psi)

Z: Standart normal değişim

%20 dağılım için $Z = 0,841$

%15 dağılım için $Z = 1,037$

%10 dağılım için $Z = 1,282$

%5 dağılım için $Z = 1,645$

%1 dağılım için $Z = 2,327$

Burada tasarım mukavemetinden daha az mukavemete sahip numunelerin müsaade edilir sayısı göz önüne alınacaktır. Yani %95 güvenilirlik için $Z = 1,645$ olarak alınmalıdır.

7.4 Yük Transfer Katsayısı (J)

Beton kaplamanın derzlerde veya çatlaklarda yükü transfer edebilme (dağıtabilme) yeteneği için yük transfer katsayısı (J) bir parametre olarak göz önüne alınmaktadır. Beton kaplamaya intikal eden bir yük derz gibi süreksizlik gösteren yerlerde bir plaktan diğer plaklara yükün transfer olabilmesi (yani aktarılması) için [31];

- Agreganın kenetlenmesi
- Donatı (bağ demiri)
- Bağlantılı banket betonu gereklidir.

Tablo 7.1.'de yük transfer katsayıları verilmiştir.

Tablo 7.1. Tavsiye edilen yük transfer katsayıları (AASHTO 1993)

Banket	Asfalt		Beton Kaplama	
	Var	Yok	Var	Yok
Kaplama Tipi	J	J	J	J
Donatısız Derzli	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Donatılı Derzli	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Sürekli Donatılı Derzsiz	2,9 - 3,2	-	2,3 - 2,9	-

Sürekli donatılı beton kaplamalar derzsiz olarak yapıldığından dolayı yük transferi varmış gibi düşünülmektedir. Banket kaplaması betondan yapılacak ise ve yol kaplaması ile banket kaplaması birbirlerine donatı ile bağlanmış ise veya beton banketin genişliği 90 cm den fazla ise yük transferi var demektir [31]. Hesaplamalarda $J=3,2$ alınmıştır.

7.5 Drenaj Katsayısı (C_d)

Beton kaplamalarda drenaj katsayısı (C_d) için tavsiye edilen değerler, Tablo 7.2.'de verilmiştir. Hesaplamalarda $C_d=1,0$ alınmıştır.

Tablo 7.2. Tavsiye edilen drenaj katsayıları (AASHTO 1993)

Drenaj Kalitesi	Suyun Uzaklaştırma Süresi	Kaplamanın doygunluk seviyesine yakın su içeriğine maruz kaldığı sürenin yüzdesi			
		<%1	%1-5	%5-25	>%25
Çok İyi	2 saat	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
İyi	1 gün	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00
Vasat	1 hafta	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Kötü	1 ay	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Çok Kötü	Dren yok	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

7.6 Servis Yeteneği İndeksi (ΔPSI)

Servis yeteneği kaybı, $\Delta PSI = P_o - P_t$ olarak bulunur. P_o kaplamanın başlangıç servis yeteneği indeksi ve P_t ise kaplamanın performansını kaybettiği yani rehabilitasyona gerek duyulduğu andaki servis yeteneği indeksidir. Rijit kaplamalarda $P_o = 4,5$ ve yüksek trafik hacimli yollarda $P_t = 2,5$ ve düşük hacimli yollarda $P_t = 2,0$ olarak alınması tavsiye edilmektedir [31]. Hesaplamalarda $\Delta PSI=2,0$ alınmıştır.

7.7 Eşdeğer Tek Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı ($W_{8,2}$) :

Proje şeridindeki trafik ($W_{8,2}$) eşitlik (7.5) ile bulunur [2].

$$W_{18}(W_{8,2}) = \overline{W}_{18}(W_{8,2}) \times D_y \times D_\xi \quad (7.5)$$

Burada;

D_y : Yön dağıtma faktörü olup trafiğin yönlere göre dağılımını belirlemeye yarar. Yüzde olarak ifade edilir ve genellikle %50 değerini alır.

D_ξ : Şerit dağıtma faktörü olup, trafiğin şeritlere göre dağılımını belirlemeye yarar. Yüzde olarak ifade edilir ve şerit sayısına göre değişir.

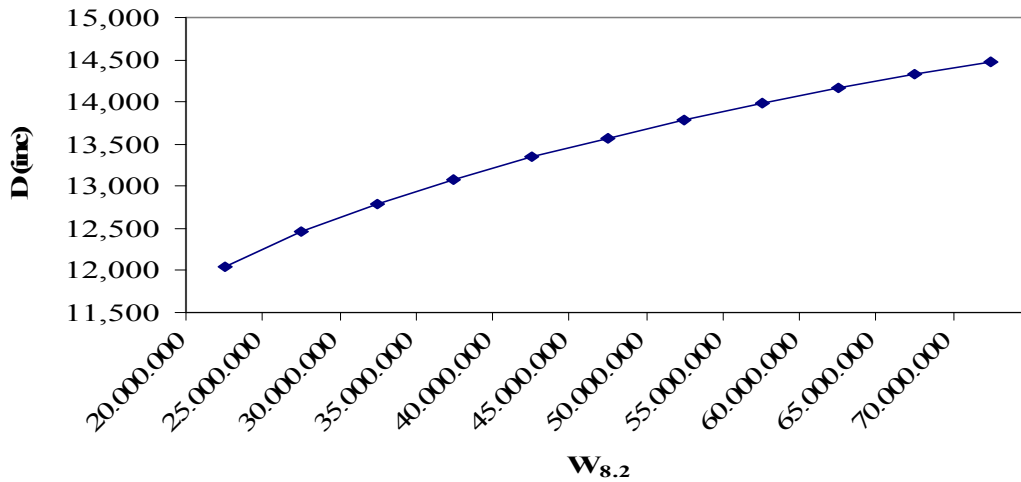
$\overline{W}_{18}(W_{8,2})$: İki yöndeki toplam 18 kip (8,2 ton) eşdeğer standart dingil yüğü tekerrür sayısı.

7.8 Rijit Üstyapı Beton Kaplama Kalınlığı D'nin, $W_{8,2}$, k, S_0 , Z_R , E_c ile Değişimi :

8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısının ($W_{8,2}$), rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına (D) etkisi Tablo 7.3.'de verilmiştir. Tablo 7.3.'deki değerler Şekil 7.3.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.3.'de görüldüğü gibi, üstyapı beton kaplama kalınlığındaki değişim, eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısına paralel olarak lineer bir şekilde değişmektedir. Eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısı arttıkça, üstyapı beton kaplama kalınlığı da aynı oranda artmaktadır. $W_{8,2} = 45.000.000$ olmasına dair örnek EK-A'da verilmiştir.

Tablo 7.3. $W_{8,2}$ ile D arasındaki ilişki

$W_{8,2}$	k (pci)	S_0	Z_R	E_c (psi)	D (inc)	D (cm)
20.000.000	72	0,35	-1,645	5.000.000	12,050	30,607
25.000.000					12,454	31,633
30.000.000					12,792	32,492
35.000.000					13,085	33,236
40.000.000					13,344	33,894
45.000.000					13,576	34,483
50.000.000					13,787	35,019
55.000.000					13,980	35,509
60.000.000					14,158	35,961
65.000.000					14,324	36,383
70.000.000					14,480	36,779

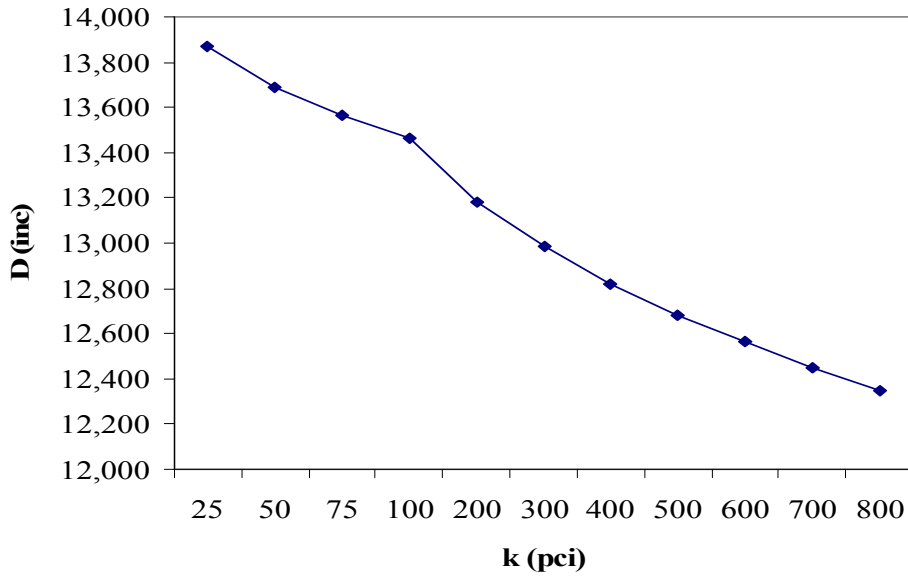


Şekil 7.3. D'nin $W_{8,2}$ ile değişimi

Yatak katsayısının (k), rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına (D) etkisi Tablo 7.4.'de verilmiştir. Tablo 7.4.'deki değerlerin değişimi Şekil 7.4.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.4.'de de görüldüğü gibi, yatak katsayısının küçük değerlerinde, üstyapı beton kaplama kalınlığı büyük değerler almaktadır. Yatak katsayısı arttıkça üstyapı beton kaplama kalınlığı küçülmektedir. k = 25 ve 800 olmasına dair örnekler EK-B'de verilmiştir.

Tablo 7.4. k ile D arasındaki ilişki

$W_{8,2}$	k (pci)	S_0	Z_R	E_c (psi)	D (inc)	D (cm)
45.000.000	25	0,35	-1,645	5.000.000	13,868	35,225
	50				13,688	34,768
	75				13,563	34,450
	100				13,463	34,196
	200				13,182	33,482
	300				12,983	32,977
	400				12,822	32,568
	500				12,684	32,217
	600				12,563	31,910
	700				12,452	31,628
	800				12,350	31,369

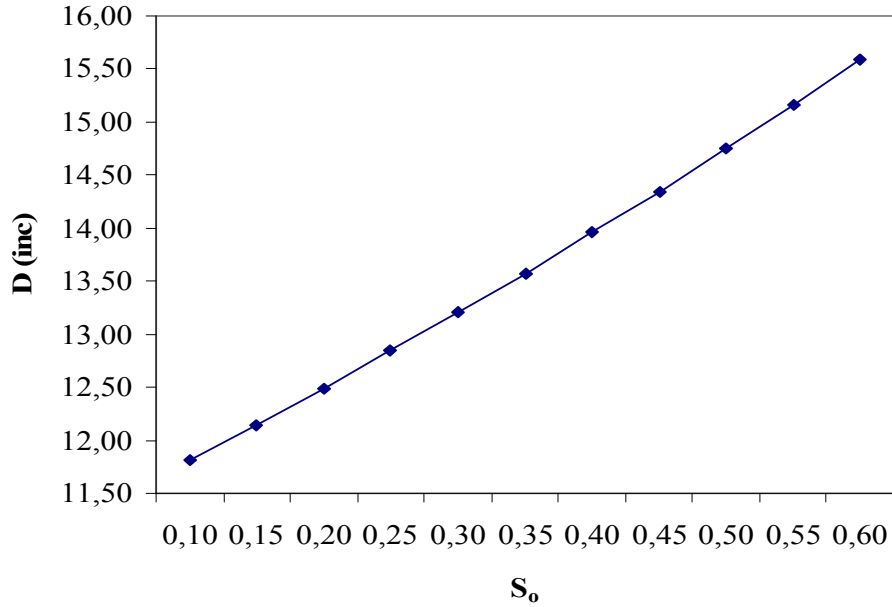


Şekil 7.4. D'nin k ile değişimi

Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatasının (S_0), rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına (D) etkisi Tablo 7.5.'de verilmiştir. Tablo 7.5.'de ki değerler Şekil 7.5.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.5.'de de görüldüğü gibi S_0 değeri arttıkça, D değeri de lineer olarak artmaktadır. $S_0 = 0,20$ olmasına dair örnek EK-C'de verilmiştir.

Tablo 7.5. S_0 ile D arasındaki ilişki

$W_{8,2}$	k (pci)	S_0	Z_R	E_c (psi)	D (inc)	D (cm)
45.000.000	72	0,10	-1,645	5.000.000	11,810	29,997
		0,15			12,146	30,851
		0,20			12,490	31,725
		0,25			12,843	32,621
		0,30			13,205	33,541
		0,35			13,576	34,483
		0,40			13,957	35,451
		0,45			14,347	36,441
		0,50			14,748	37,460
		0,55			15,160	38,506
		0,60			15,582	39,578

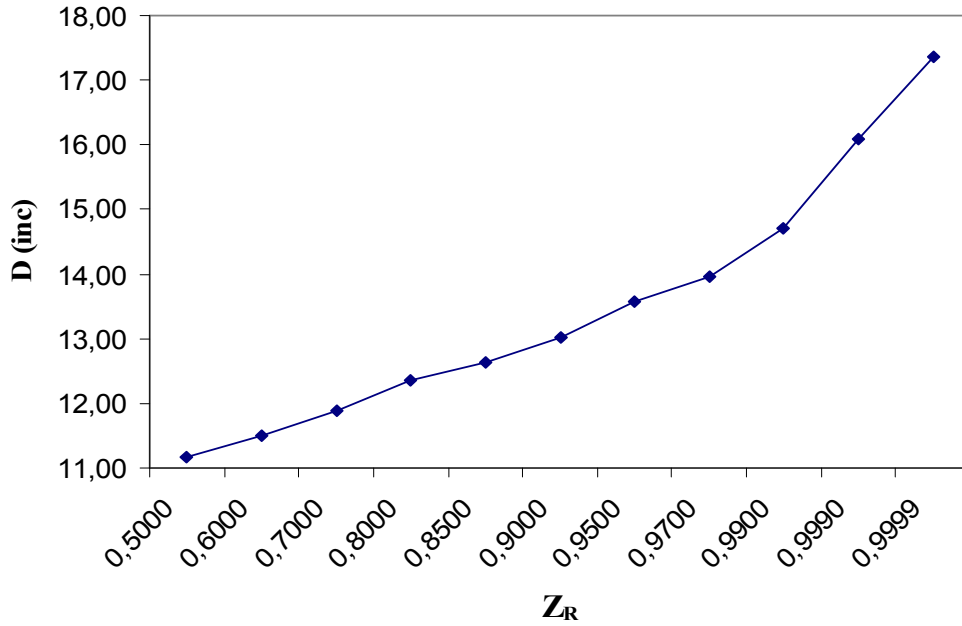


Şekil 7.5. D 'nin S_0 ile değişimi

Standart normal sapmanın (Z_R), rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına (D) etkisi Tablo 7.6.'da verilmiştir. Tablo 7.6.'da ki değerler Şekil 7.6.'da grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.6.'da da görüldüğü gibi artan Z_R değerine karşılık, Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı da artmaktadır. $R_E=85\%$ için $Z_R = -1,037$ olmasına dair örnek EK-Ç'de verilmiştir.

Tablo 7.6. Z_R ile D arasındaki ilişki

$W_{8,2}$	k (pci)	S_0	R_E	Z_R	E_c (psi)	D (inc)	D (cm)
45.000.000	72	0,35	0,5000	0,000	5.000.000	11,164	28,357
			0,6000	-0,253		11,508	29,230
			0,7000	-0,524		11,887	30,193
			0,8000	-0,841		12,344	31,354
			0,8500	-1,037		12,634	32,090
			0,9000	-1,282		13,006	33,035
			0,9500	-1,645		13,576	34,483
			0,9700	-1,881		13,958	35,453
			0,9900	-2,327		14,709	37,361
			0,9990	-3,090		16,080	40,843
			0,9999	-3,750		17,363	44,102

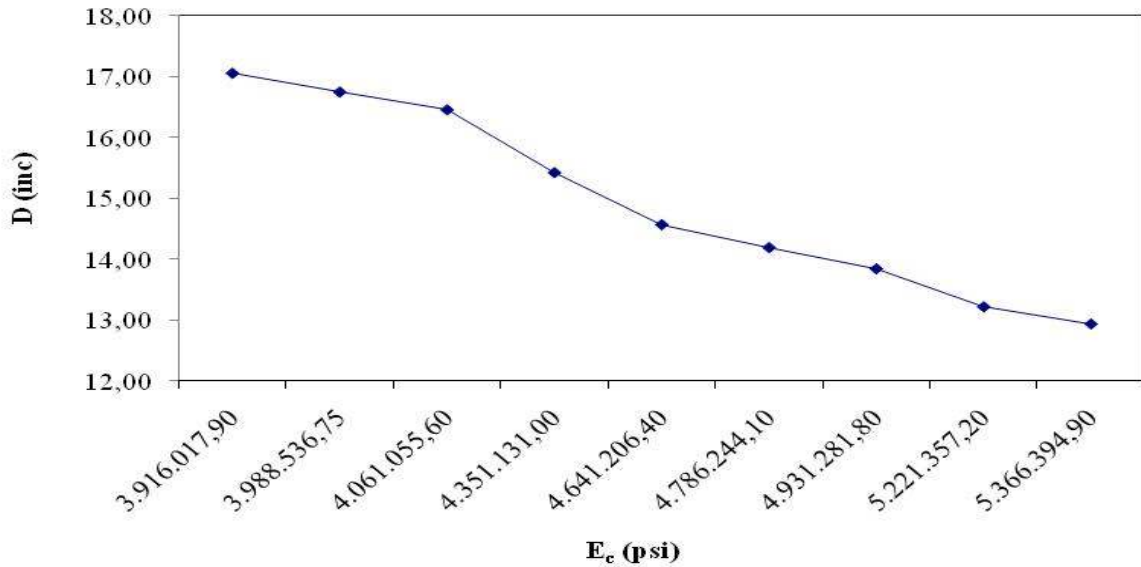


Şekil 7.6. D 'nin Z_R ile değişimi

Betonun elastisite modülünün (E_c), rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına (D) etkisi Tablo 7.7.'de verilmiştir. Tablo 7.7.'deki değerler Şekil 7.7.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.7.'de de görüldüğü gibi artan E_c değerine karşılık, beton kaplama kalınlığı (D) değeri de artmaktadır. $E_c = 3.916.017,90$ psi ve $5.366.394,90$ psi olmasına dair örnekler EK-D'de verilmiştir.

Tablo 7.7. E_c ile D arasındaki İlişki

$W_{8.2}$	k (pci)	S_0	Z_R	S'_c (psi)	E_c (MPa)	E_c (psi)	D (inc)	D (cm)	C
45.000.000	72	0,35	-1,645	406,10	27.000	3.916.017,90	17,061	43,335	C16
				421,72	27.500	3.988.536,75	16,752	42,550	C18
				437,34	28.000	4.061.055,60	16,459	41,806	C20
				499,82	30.000	4.351.131,00	15,426	39,182	C25
				562,30	32.000	4.641.206,40	14,569	37,005	C30
				593,54	33.000	4.786.244,10	14,192	36,048	C35
				624,77	34.000	4.931.281,80	13,843	35,161	C40
				687,25	36.000	5.221.357,20	13,216	33,569	C45
				718,49	37.000	5.366.394,90	12,934	32,852	C50



Şekil 7.7. D 'nin E_c ile değişimi

7.9 AASHTO Projelendirme Denklemindeki Parametreler Üzerinde Yapılan Hata Analizleri:

Hata analizi yaparak, Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen, Eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı ($W_{8,2}$), yatak katsayısı (k), trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası (S_0), standart normal sapma (Z_R) ve betonun elastisite modülü (E_c)'nin seçiminde yapılacak hataların, üstyapı beton kaplama kalınlığı üzerinde oluşturacağı hata miktarlarını görmek mümkündür. Hata analizlerinin yapılmasında bölüm 7'de ki Tablo (7.3.), (7.4.), (7.5.), (7.6.), (7.7.) numaralı tablolar esas alınmıştır.

Yüzdellik hata değerleri (7.6) denklemi ile bulunmuştur.

$$E_D = ((D - D_E) * 100) / D \quad (7.6)$$

E_D : Yüzdellik hata

D : Gerçek girdi parametreleri kullanılarak hesaplanan üstyapı sayısı

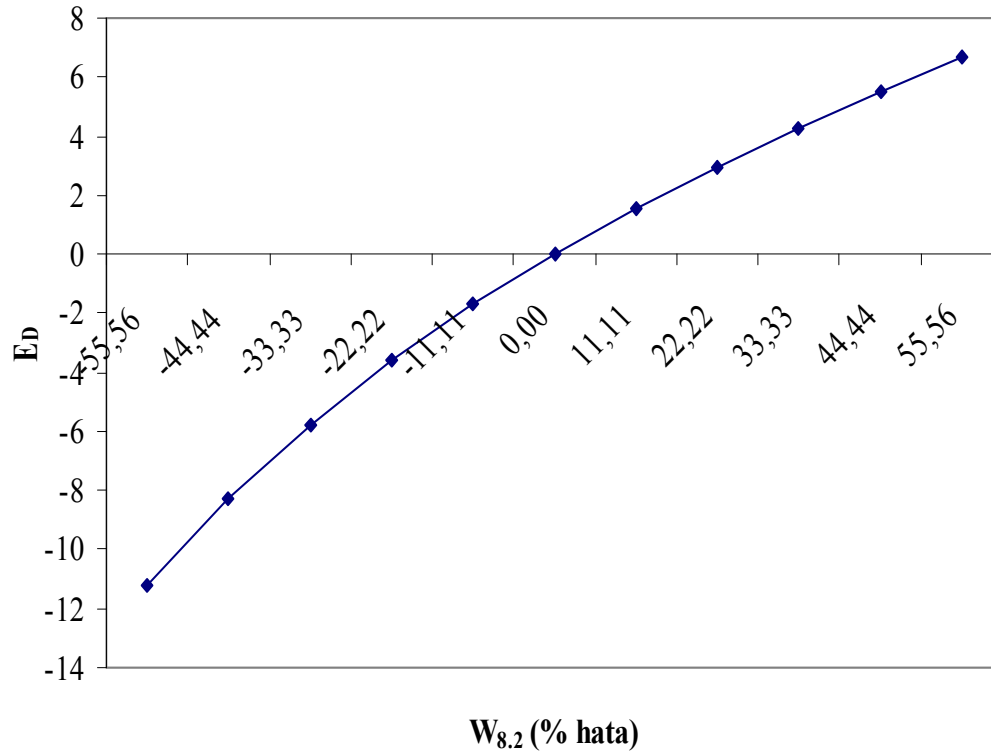
D_E : Girdi parametrelerinde tahmini bir hata kullanılarak hesaplanan üstyapı sayısı

Trafiğe ait hata analizinde $W_{8,2} = 45.000.000$ eşdeğer dingil yükü baz alınmış ve bu değerden +5000 ve -5000 lik değişimlerin üstyapı sayısında %'de kaç hata oluşturduğu Tablo 7.8.'de verilmiştir. Tablo 7.8.'de ki değerler Şekil 7.8.'de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 7.8.'den bir örnek verilirse; $W_{8,2}$ değerinin gerçekte 45.000.000 olduğunu düşünelim. Herhangi bir nedenle hata yapılarak 30.000.000 alınması durumunda D değerinde %'delik hata;

$$E_D = ((D - D_E) * 100) / D = ((12,792 - 13,576) * 100) / 13,576 = \% -5,775 \text{ olmaktadır.}$$

Tablo 7.8. $W_{8,2}$ için tahmini hata kullanılarak oluşturulan E_D değerleri

$W_{8,2}$	$W_{8,2}$ (% hata)	D (inc)	E_D (%)
20.000.000	-55,56	12,050	-11,240
25.000.000	-44,44	12,454	-8,265
30.000.000	-33,33	12,792	-5,775
35.000.000	-22,22	13,085	-3,617
40.000.000	-11,11	13,344	-1,709
45.000.000	0,00	13,576	0,000
50.000.000	11,11	13,787	1,554
55.000.000	22,22	13,980	2,976
60.000.000	33,33	14,158	4,287
65.000.000	44,44	14,324	5,510
70.000.000	55,56	14,480	6,659



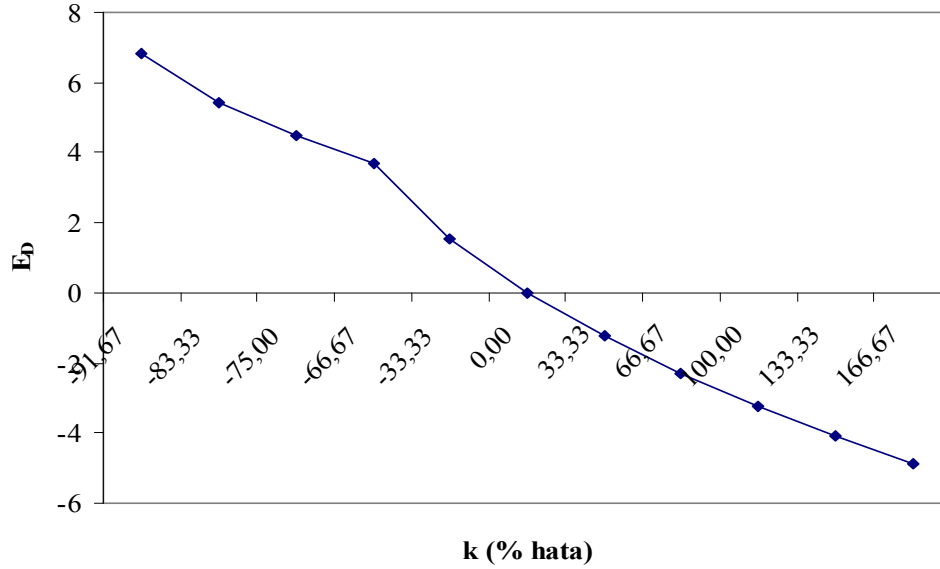
Şekil 7.8. E_D değerlerinin % $W_{8,2}$ hataları ile değişimi

Görüldüğü gibi eşdeğer dingil yükünün 45.000.000 yerine, 30.000.000 alınmasıyla üstyapı beton kaplama kalınlığında % -5,775'lik eksik değer elde edilmiş olmaktadır. Yani eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısında yapılmış %33,33'lük hata, üstyapı beton kaplama kalınlığında % -5,775'lik hataya neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak, gerçek trafik değerinin altındaki bir değerde tasarlanan üstyapının, gerçek trafik karşısında hizmet ömrü kısalacak ve yol daha kısa sürede bozulacaktır. Aynı şekilde, trafik değerinin, gerçek trafik değerinden fazla alınması durumunda üstyapı beton kaplama kalınlığı, gerçek değerinden büyük olacaktır. Bu durumda da rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı gereğinden kalın inşa edilmiş olduğundan, ekonomik zarar söz konusu olacaktır.

Yatak katsayısı (k) hata analizinde Tablo 7.4.'deki değerler esas alınarak, Tablo 7.9.'daki değerler oluşturulmuştur. Burada k = 300 değeri gerçek değer olarak kabul edilmiş ve bu değerden büyük ve küçük değerlerin alınmış olması durumunda, yapılmış olacak %'delik E_D hata değerleri bulunmuştur. Tablo 7.9.'daki değerler esas alınarak Şekil 7.9.'da grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.9.'da da görüldüğü gibi, k değerinin gerçek değerinden büyük alınması durumunda, üstyapı beton kaplama kalınlığı gerçek değerinden küçük çıkmaktadır. k değerinin gerçek değerinden küçük alınması durumunda ise üstyapı beton kaplama kalınlığı gerçek değerinden büyük olmaktadır. Birinci durumda, tasarlanan üstyapı yolun hizmet ömründen daha kısa sürede bozulacaktır. İkinci durumda ise, yatırım giderleri gereksiz yere artırılmış ve böylece ekonomik zarar söz konusu olacaktır.

Tablo 7.9. k için tahmini hata kullanılarak oluşturulan E_D değerleri

k (pci)	k (% hata)	D (inc)	E_D (%)
25	-91,67	13,868	6,817
50	-83,33	13,688	5,430
75	-75,00	13,563	4,467
100	-66,67	13,463	3,697
200	-33,33	13,182	1,533
300	0,00	12,983	0,000
400	33,33	12,822	-1,240
500	66,67	12,684	-2,303
600	100,00	12,563	-3,235
700	133,33	12,452	-4,090
800	166,67	12,350	-4,876



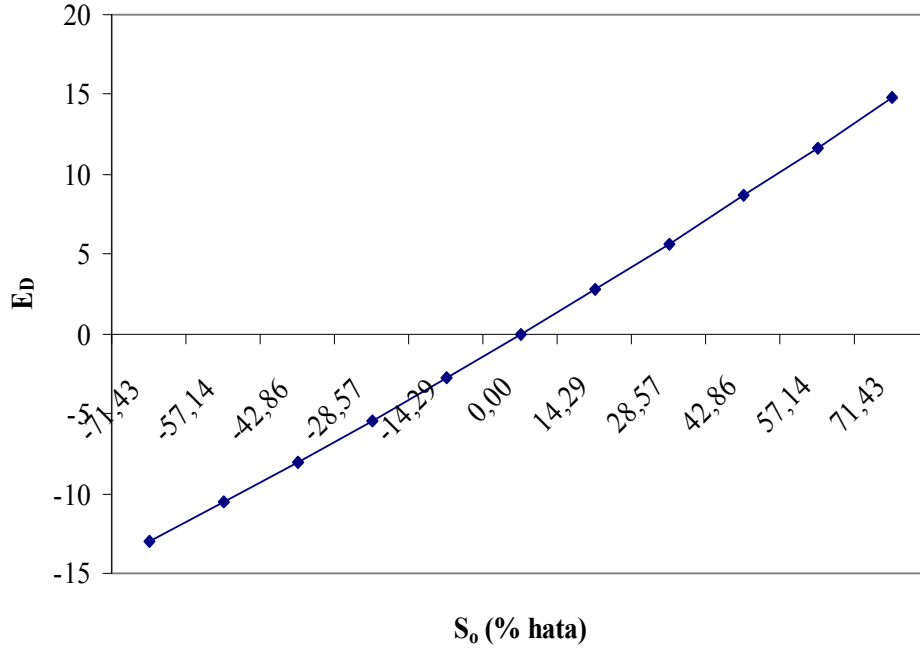
Şekil 7.9. E_D değerlerinin % k hataları ile değişimi

Üstyapı beton kaplama kalınlığının Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası S_0 hata analizinde Tablo 7.5.'deki değerler esas alınarak Tablo 7.10. oluşturulmuştur. Burada $S_0=0.35$ değeri gerçek değer kabul edilmiş, bu değerden büyük ve küçük değerlerin kullanılmış olması durumunda, standart sapmadaki %'delik hataların üstyapı beton kaplama kalınlığında %'de kaç hata oluşturduğu bulunmuştur. Tablo 7.10.'daki

değerler Şekil 7.10.'da grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.10.'da görüldüğü gibi standart sapma değerinde yapılan hatalar, Üstyapı beton kaplama kalınlığına küçülerek yansımaktadır. Örnek olarak, standart sapma değerinde yapılan %71,43 lük hata üstyapı beton kaplama kalınlığına % -13,008 olarak yansımaktadır.

Tablo 7.10. S_0 için tahmini hata kullanılarak oluşturulan E_D değerleri

S_0	S_0 (% hata)	D (inc)	E_D (%)
0,10	-71,43	11,810	-13,008
0,15	-57,14	12,146	-10,533
0,20	-42,86	12,490	-7,999
0,25	-28,57	12,843	-5,399
0,30	-14,29	13,205	-2,733
0,35	0,00	13,576	0,000
0,40	14,29	13,957	2,806
0,45	28,57	14,347	5,679
0,50	42,86	14,748	8,633
0,55	57,14	15,160	11,668
0,60	71,43	15,582	14,776

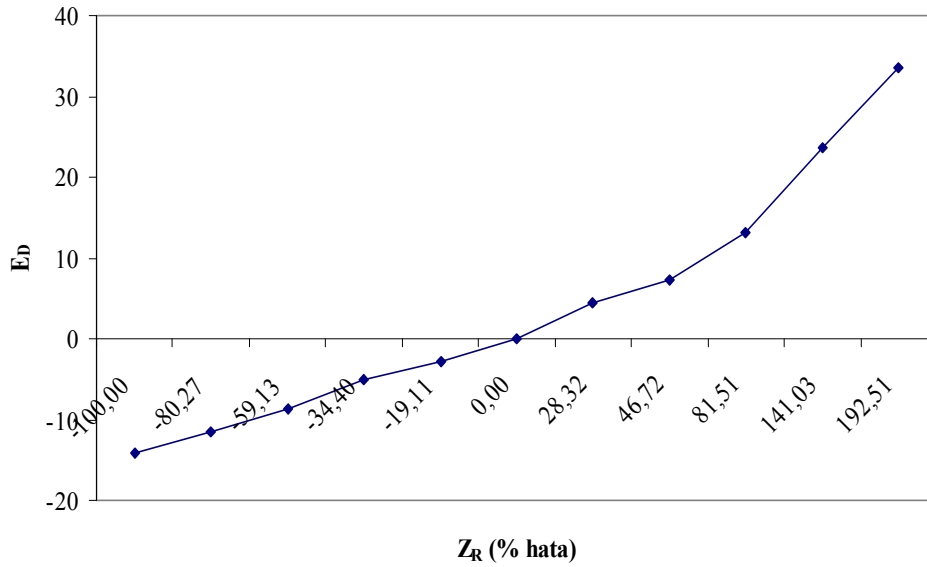


Şekil 7.10. E_D değerlerinin % S_0 hataları ile değişimi

Standart normal sapmanın hata analizinde, Tablo 7.6.'daki değerler esas alınarak, Tablo 7.11.'deki değerler bulunmuştur. Tablo 7.11.'deki değerler, Şekil 7.11.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.11.'de de görüldüğü gibi (0,000 – (-3,750)) arasında değişen standart normal sapmanın, $R_E = 0,90$ değerine karşılık gelen $Z_R = -1,282$ değeri baz alınmış, bu değer altında alınan değerler üstyapı beton kaplama kalınlığına azalarak yansırken, bu değer üstünde alınan değerler beton kaplama kalınlığına artarak yansımaktadır.

Tablo 7.11. Z_R için tahmini hata kullanılarak oluşturulan E_D değerleri

R_E	Z_R	Z_R (% hata)	D (inc)	E_D (%)
0,5000	0,000	-100,00	11,164	-14,163
0,6000	-0,253	-80,27	11,508	-11,518
0,7000	-0,524	-59,13	11,887	-8,604
0,8000	-0,841	-34,40	12,344	-5,090
0,8500	-1,037	-19,11	12,634	-2,860
0,9000	-1,282	0,00	13,006	0,000
0,9500	-1,645	28,32	13,576	4,383
0,9700	-1,881	46,72	13,958	7,320
0,9900	-2,327	81,51	14,709	13,094
0,9990	-3,090	141,03	16,080	23,635
0,9999	-3,750	192,51	17,363	33,500

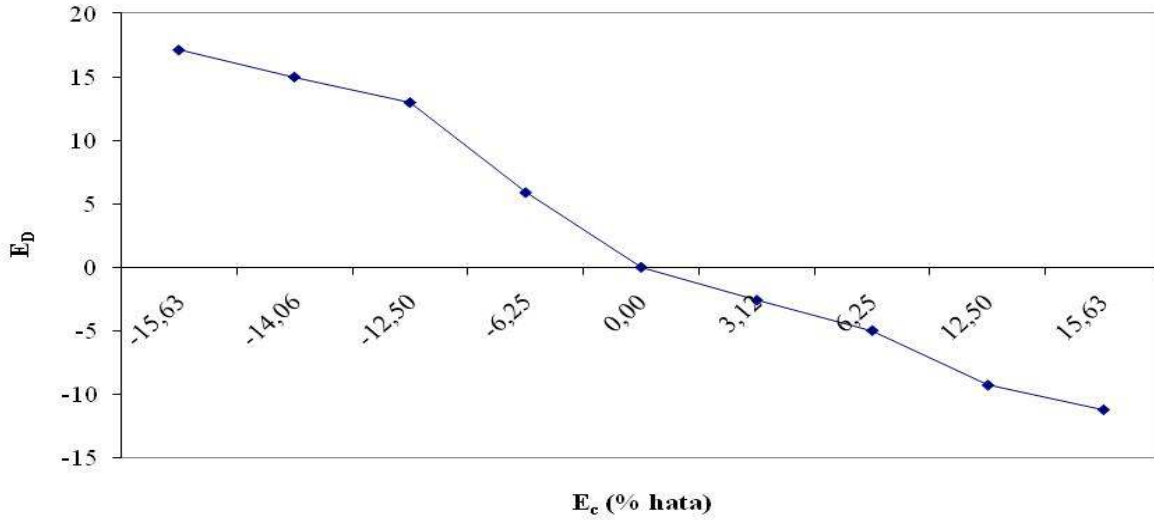


Şekil 7.11. E_D değerlerinin % Z_R hataları ile değişimi

Betonun elastisite modülünün hata analizinde, Tablo 7.7.'deki değerler esas alınarak, Tablo 7.12.'deki değerler bulunmuştur. Tablo 7.12.'deki değerler, Şekil 7.12.'de grafik olarak gösterilmiştir. Burada $E_c=4.641.206,40$ psi değeri gerçek değer kabul edilmiş, bu değerden büyük ve küçük değerlerin kullanılmış olması durumunda, betonun elastisite modülündeki %'delik hataların üstyapı beton kaplama kalınlığında %'de kaç hata oluşturduğu bulunmuştur. Şekil 7.12.'de görüldüğü gibi betonun elastisite modülünde yapılan hatalar, üstyapı beton kaplama kalınlığına küçülerek yansımaktadır.

Tablo 7.12. E_c için tahmini hata kullanılarak oluşturulan E_D değerleri

S'_c (psi)	E_c (Mpa)	E_c (psi)	E_c (% hata)	D (inc)	E_D (%)	C
406,10	27.000	3.916.017,90	-15,63	17,061	17,105	C16
421,72	27.500	3.988.536,75	-14,06	16,752	14,984	C18
437,34	28.000	4.061.055,60	-12,50	16,459	12,973	C20
499,82	30.000	4.351.131,00	-6,25	15,426	5,882	C25
562,30	32.000	4.641.206,40	0,00	14,569	0,000	C30
593,54	33.000	4.786.244,10	3,12	14,192	-2,588	C35
624,77	34.000	4.931.281,80	6,25	13,843	-4,983	C40
687,25	36.000	5.221.357,20	12,50	13,216	-9,287	C45
718,49	37.000	5.366.394,90	15,63	12,934	-11,222	C50



Şekil 7.12. E_D değerlerinin % E_c hataları ile değişimi

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, AASHTO metodundaki parametrelerin, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına etkisi ve bu parametrelerin hatalı alınmış olmaları halinde bu hataların beton kaplama kalınlığına hangi oranlarda yansıdığı incelenmiştir.

Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığını en çok etkileyen parametre betonun elastisite modülü E_c olmaktadır. (Betonun elastisite modülü değerinde yapılan %-15,63 lük hata üstyapı beton kaplama kalınlığına %17,105 ve %15,63 lük hata ise % -11,222 olarak yansımaktadır.)

İkinci derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre, trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası S_0 olmaktadır. (Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası değerinde yapılan % -50,00 lik hata üstyapı beton kaplama kalınlığına %-9,274 ve %50,00 lik hata ise %10,143 olarak yansımaktadır.)

Üçüncü derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre, eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı $W_{8,2}$ olmaktadır. (Eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı değerinde yapılan %-50,00 lik hata üstyapı beton kaplama kalınlığına %-9,679 ve %50,00 lik hata ise % 6,092 olarak yansımaktadır.)

Dördüncü derecede üstyapı beton kaplama kalınlığını etkileyen parametre, standart normal sapma Z_R olmaktadır. (Standart normal sapma değerinde yapılan %-50,00 lik hata üstyapı beton kaplama kalınlığına %-7,320 ve %50,00 lik hata ise %7,858 olarak yansımaktadır.)

Yatak katsayısı k üstyapı beton kaplama kalınlığını en az etkileyen parametre olmaktadır. (Yatak katsayısı değerinde yapılan %-50,00 lik hata üstyapı beton kaplama kalınlığına %2,495 ve % 50,00 lik hata ise % -1,787 olarak yansımaktadır.)

Sonuç olarak, rijit üstyapıların projelendirilmesinde en çok dikkat edilmesi gereken parametrenin, betonun elastisite modülü E_c olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, ekonomik zararlara neden olabilecek bu parametrenin tespitinde çok hassas davranılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.thbb.gov>, Türkiye Hazır Beton Birliği. 2009
- [2] **Ağar, E., Sütas, İ. ve Öztaş, G.**, 1998. Beton Yollar, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [3] **İyınam, Ş. ve Ağar, E.**, 2006. Karayollarında Hazır Beton, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [4] **Our Nation's Highways.**, 2000. Publication No. FHWA-PL-01-1012, Office of Highway Policy Information, Federal Highway Administration.
- [5] **AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures.**, 1972. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [6] **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.**, 1986. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [7] **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.**, 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [8] **Peterson, D. E.**, 1987, Pavement Management Practices, *NCHRP Synthesis 135*, Transportation Research Board.
- [9] **Darter, M. I. ve Wilson, T. P.**, 2001. Assessment of Selected Economic Benefits Associated with the Long Term Pavement Performance Program, Draft Final Report, Federal Highway Administration.
- [10] **Yoder, E. J., ve Witzak, M. W.**, 1975. *Principles of Pavement Design*, Wiley, New York.
- [11] **Larson G. ve Dempsey, B. J.**, 1997. *Enhanced Integrated Climatic Model* (Version 2.0), Report No. DTFA MN/DOT 72114, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- [12] **Darter, M. I., H, L. Von Quintus, Y., J. Jiang., E, B. Owusu-Antwi., ve B, M. Killingsworth.**, 1997. *Catalog of Recommended Design Features* (CDROM). NCHRP Project 1-32. TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- [13] **Guidelines for Skid Resistant Pavement Design.**, 1976. SRPD-1 AASHTO, Washington, D.C.
- [14] **Carey, W. ve Irick, P.**, 1962. *The Pavement Serviceability-Performance Concept*, Highway Research Board Special Report 61E, AASHO Road Test.

- [15] **Desai, C. S.**, 2001. *User's Manual for the DSC-2D Code for the 2002 Design Guide*, Arizona State University.
- [16] **Khazanowich, L., Yu, H. T., Rao, S., Galasova, K., Shats, E., ve Jones, R.**, 2000. *ISLAB2000 - Finite Element Analysis Program for Rigid and Composite Pavements*, User's Guide, ERES Division of ARA, Inc., Champaign, IL.
- [17] **Benefits of Concrete Highways.**, 2001. Cement Association of Canada.
- [18] **Zaniewski, J. P.**, 1989. Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption, SR289.01P, Portland Cement Association, Skokie, Illinois.
- [19] **OECD.**, 1984. Road Surface Characteristics, Road Transport Report, Paris, France.
- [20] **Krieger, B., ve Sulten, P.**, 1999. Stand der Entwicklung von lärmarmen Betondecken, Heft 9 Current state of development of low-noise concrete pavement, Road and Highway.
- [21] **Sulten, P.**, 2001. Kayma Dirençli Gürültü Azaltıcı Betonlar, Federal Otoyol Araştırma Enstitüsü, Almanya.
- [22] **Pfeifer, L.**, 2001. Beton kaplamanın asıl şartnamesi ve taşıma gücü tasarımı için bir sistem, Almanya.
- [23] **Jasienski, A.**, 1999. Exposed aggregate concrete for public spaces, FEBELCEM Cement Information, Belgium.
- [24] **Vqyeux, K.**, 2001. Renovation of two places at Dinant, 19th Belgian Road Congress, Belgium.
- [25] **Van De Craen, H.**, 2001. A decorative concrete pavement for the Saint-Jans square in Antwerp, 19th Belgian Road Congress, Belgium.
- [26] **Blond, S.**, 2001. The redevelopment of the Fays Square in Saint-Hubert, 19th Belgian Road Congress, Belgium.
- [27] **Fachtechnisches Handbuch.**, 2002. (Technical Handbook, Edition 04-2002) "Betondecken für Straßenverkehrsflächen" ("Concrete Pavement for Road Traffic Areas") Bundesanstalt für Straßenwesen (German Federal Highway Research Institute)
- [28] **Van Hartskamp, S. B.**, 2000. Betonwegen, Kei-goed; Ervaringen van de provincie Noord-Brabant met het onderhoud aan cementbetonverhardingen, CROW, Wegbouwkundige Werkdagen..
- [29] **Raadgevende Ingenieurs Hertogenbosch.**, 2000. SPB-metingen aan geoptimaliseerd uitgewassen beton en de bepaling van de voorlopige *Cwegdek*, M+P.CROW, M+P.

- [30] **Van Leest, A. J., ve Keulen, W.,** 2003. The Structural Properties Of Optimised Exposed Aggregate Concrete In The Netherland, Proceedings of the 9th International Symposium on Concrete Roads.
- [31] **Tunç, A.,** 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Yayınevi, Ankara.
- [32] **Kuloğlu, N., Erkmen, R.,** 1996. AASHTO Metodunda Esnek Üstyapı Sayısına Etki Eden Parametreler, TÜBİTAK, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, C: 20 S: 2, 79 – 85.

$$\log W_{8,2} = Z_R \cdot S_0 + 7.35 \cdot \log(D + 1) - 0.06 + \log \left[\frac{\Delta PSI}{(4.5 - 1.5)^7} \right] + (4.22 - 0.32 \cdot P_t) \cdot \log \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot |D|^{0.75}}{215.63 \cdot J \cdot |D|^{0.75} - 18.42 / (E_c / k)} \right]$$

$W_{8,2} = 45,000,000$

$D = 13.576$ inç $D = 34.483$ cm

$Z_R = -1.645$ $R = \%95$ DENKLEM =

$$S_0 = 0.35 \quad (-1,645)^{(0,35)+(7,35 \cdot \text{LOG}(D+1))-0,06+(\text{LOG}10((2)/(4,5-1,5)) \cdot (1+((1,624 \cdot 10^7)/(D+1)^{8,48}))))+(4,22-0,32 \cdot 2,5) \cdot \text{LOG}10(\frac{215,63 \cdot 3,20 \cdot (D^{0,75}-1,132)}{(500000/72)^{0,25}})))-\text{LOG}10(45000000)=0$$

$P_0 = 4.50$ psi

$P_t = 2.50$ psi

$\Delta PSI = P_0 - P_t = 2.00$ psi

$S'_c = 650.00$ psi

$C_d = 1.00$

$J = 3.20$

$E_c = 5,000,000.00$ psi

$k = 72.00$ pci (psi/inç)

$$\log W_{8,2} = Z_R \cdot S_0 + 7.35 \cdot \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log|\Delta\text{PSI}| / (4.5 - 1.5)}{1 + |1.624 \cdot 10^{-7}| / (D + 1)} + (4.22 - 0.32 \cdot P_t) \cdot \log \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot |D|^{0.75} - 1.132}{215.63 \cdot |D|^{0.75} - 18.42 / (E_c/k)} \right]$$

$W_{8,2} = 45,000,000.00$

$Z_R = -1.645$ $R = \%95$ DENKLEM =

$S_0 = 0.35$ $k = 25.00$ $D = 13.868$ inç $D = 35.225$ cm

$P_0 = 4.50$ psi $(-1,645) \cdot (0,35) + (7,35 \cdot \text{LOG}(D+1)) - 0,06 + (\text{LOG}10((2)/(4,5-1,5))) / (1 + ((1,624 \cdot 10^7) / ((D+1)^{8,48}))) + (4,22 - 0,32 \cdot 2,5) \cdot \text{LOG}10(((650 \cdot 1,00) \cdot (D^{0,75} - 1,132)) / ((215,63 \cdot 3,20) \cdot ((D^{0,75}) - (18,42) / (5000000 / 25)^{0,25})))) - \text{LOG}10(45000000) = 0$

$P_t = 2.50$ psi

$\Delta\text{PSI} = P_0 - P_t = 2.00$ $k = 800.00$ $D = 12.350$ inç $D = 31.369$ cm

$S'_c = 650.00$ psi $(-1,645) \cdot (0,35) + (7,35 \cdot \text{LOG}(D+1)) - 0,06 + (\text{LOG}10((2)/(4,5-1,5))) / (1 + ((1,624 \cdot 10^7) / ((D+1)^{8,48}))) + (4,22 - 0,32 \cdot 2,5) \cdot \text{LOG}10(((650 \cdot 1,00) \cdot (D^{0,75} - 1,132)) / ((215,63 \cdot 3,20) \cdot ((D^{0,75}) - (18,42) / (5000000 / 800)^{0,25})))) - \text{LOG}10(45000000) = 0$

$C_d = 1.00$

$J = 3.20$

$E_c = 5,000,000.00$ psi

$k = 25.00$ pci (psi/inç)

$$\log W_{8,2} = Z_R \cdot S_0 + 7.35 \cdot \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log |\Delta \text{PSI}| / (4.5 - 1.5)}{7} + (4.22 - 0.32 \cdot P_t) \cdot \log \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot |D|^{0.75} - 1.132}{215.63 \cdot J \cdot |D|^{0.75} - 18.42 / (E_c/k)} \right]$$

$$W_{8,2} = 45,000,000.00 \quad D = 12.490 \quad \text{inç} \quad D = 31.725 \quad \text{cm}$$

$$Z_R = -1.645 \quad R = \%95 \quad \text{DENKLEM} =$$

$$S_0 = 0.20 \quad (-1,645) \cdot (0,20) + (7,35 \cdot \text{LOG}(D+1)) - 0,06 + (\text{LOG}10(2) / (4,5 - 1,5)) \cdot (1 + ((1,624 \cdot 10^7) / ((D+1)^{8,48}))) + (4,22 - 0,32 \cdot 2,5) \cdot \text{LOG}10 \left(\frac{((650 \cdot 1,00) \cdot (D^{0,75} - 1,132)) / ((215,63 \cdot 3,20) \cdot (D^{0,75} - ((18,42) / (5000000 / 72)^{0,25})))}{\text{LOG}10(45000000)} \right) = 0$$

$$P_0 = 4.50 \quad \text{psi}$$

$$P_t = 2.50 \quad \text{psi}$$

$$\Delta \text{PSI} = P_0 - P_t = 2.00 \quad \text{psi}$$

$$S'_c = 650.00 \quad \text{psi}$$

$$C_d = 1.00$$

$$J = 3.20$$

$$E_c = 5,000,000.00 \quad \text{psi}$$

$$k = 72.00 \quad \text{pci (psi/inç)}$$

$$\log W_{8,2} = Z_R \cdot S_0 + 7,35 \cdot \log(D + 1) - 0,06 + \frac{\log |\Delta \text{PSI}| / (4,5 - 1,5)}{1 + |1,624 \cdot 10^7 / (D + 1)|} + (4,22 - 0,32 \cdot P_t) \cdot \log \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot |D|^{0,75} - 1,132}{215,63 \cdot J \cdot |D|^{0,75} - 18,42 / (E_c/k)} \right]$$

$$W_{8,2} = 45,000,000.00$$

$$D = 12.634 \text{ inç} \quad D = 32.090 \text{ cm}$$

$$Z_R = -1.037$$

$$R = \%85$$

$$\text{DENKLEM} =$$

$$S_0 = 0.35 \quad (-1,037) \cdot (0,35) + (7,35 \text{LOG}(D+1)) - 0,06 + (\text{LOG}10(2)/(4,5-1,5)) / (1 + ((1,624 \cdot 10^7) / ((D+1)^{8,48}))) + (4,22 - 0,32 \cdot 2,5) \cdot \text{LOG}10(\frac{((650 \cdot 1,00) \cdot (D^{0,75} - 1,132)) / ((215,63 \cdot 3,20) \cdot ((D^{0,75} - ((18,42) / (5000000/72)^{0,25}))))}{\text{LOG}10(45000000)})) = 0$$

$$P_0 = 4.50 \text{ psi}$$

$$P_t = 2.50 \text{ psi}$$

$$\Delta \text{PSI} = P_0 - P_t = 2.00 \text{ psi}$$

$$S'_c = 650.00 \text{ psi}$$

$$C_d = 1.00$$

$$J = 3.20$$

$$E_c = 5,000,000.00 \text{ psi}$$

$$k = 72.00 \text{ pci (psi/inç)}$$

$$\log W_{8,2} = Z_R \cdot S_0 + 7.35 \cdot \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log |\Delta PSI / (4.5 - 1.5)|}{1 + |1.624 \cdot 10^7 / (D + 1)|^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \cdot P_t) \cdot \log \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot |D|^{0.75} - 1.132}{215.63 \cdot J \cdot |D - 1|^{18.42} / (E_c/k)} \right]$$

$W_{8,2} = 45,000,000$

$Z_R = -1.645$

$R = \%95$ DENKLEM =

$E_c = 3,916,017.90$ psi $D = 17,061$ inç $D = 43.335$ cm

$S_0 = 0.35$

$$(-1,645)^{(0,35)} + (7,35 \cdot \text{LOG}(D+1)) - 0,06 + (\text{LOG}10(2)/(4,5-1,5)) \cdot (1 + ((1,624 \cdot 10^7) / ((D+1)^{8,48}))) + (4,22 - 0,32 \cdot 2,5) \cdot \text{LOG}10(\frac{((406,10 \cdot 1,00) \cdot (D^{0,75} - 1,132)) / ((215,63 \cdot 3,20) \cdot ((D^{0,75} - (18,42) / (3916017,90 / 72)^{0,25})))}{215,63 \cdot J \cdot (D - 1)^{18,42} / (E_c/k)}) = 0$$

$P_0 = 4.50$ psi

$P_t = 2.50$ psi

$\Delta PSI = P_0 - P_t = 2.00$

$S'_c = 406.10$ psi

$S'_c = 718.49$ psi

$C_d = 1.00$

$E_c = 5,366,394.90$ psi

$D = 12.934$ inç $D = 32.852$ cm

$$(-1,645)^{(0,35)} + (7,35 \cdot \text{LOG}(D+1)) - 0,06 + (\text{LOG}10(2)/(4,5-1,5)) \cdot (1 + ((1,624 \cdot 10^7) / ((D+1)^{8,48}))) + (4,22 - 0,32 \cdot 2,5) \cdot \text{LOG}10(\frac{((718,49 \cdot 1,00) \cdot (D^{0,75} - 1,132)) / ((215,63 \cdot 3,20) \cdot ((D^{0,75} - (18,42) / (5366394,90 / 72)^{0,25})))}{215,63 \cdot J \cdot (D - 1)^{18,42} / (E_c/k)}) = 0$$

$J = 3.20$

$E_c = 3,916,017.90$ psi

$E_c = 5,366,394.90$ psi

$k = 72.00$ pci (psi/inç)

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Mahmut TANYILDIZI, 1976 yılında Elazığ'da doğdu. 1993 yılında Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesinden mezun oldu. 1993-1997 yılları arasında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimi aldı ve bu bölümden 67,58/100 not ortalaması ile mezun oldu. 2003 yılında Kara Kuvvetleri Komutanlığı İstihkâm Sınıfında Teğmen olarak göreve başladı. Halen Kıdemli Üsteğmen olarak Ankara GATA Teknik Hizmetler Şube Müdürlüğünde görev yapmaktadır.