



**T.C.  
ULAŖTIRMA BAKANLIĐI  
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**



# **KARAYOLLARI ESNEK ÜSTYAPILAR PROJELENDİRME REHBERİ**

**TEKNİK ARAŖTIRMA DAİRESİ BAŖKANLIĐI  
ÜSTYAPI ŖUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ  
ANKARA - 2008**

**T.C.  
ULAŖTIRMA BAKANLIĐI  
Karayolları Genel M¼d¼rl¼Đ¼**

**KARAYOLLARI  
ESNEK ÜSTYAPILAR  
PROJELENDİRME  
REHBERİ**

**HAZIRLAYANLAR**

**Ahmet SAĐLIK  
İnŖaat Yüksek M¼hendisi**

**A. Gürkan GÜNGÖR  
İnŖaat Yüksek M¼hendisi**

**TEKNİK ARAŖTIRMA DAİRESİ BAŖKANLIĐI  
ÜSTYAPI ŖUBESİ M¼D¼RL¼Đ¼  
ANKARA-2008**





## ÖNSÖZ

Karayolları Genel Müdürlüğü' nün ilk üstyapı projelendirme rehberi, 1969 yılında, o zamanki ismi ile Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü tarafından hazırlanarak "Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirmesine Ait Fenni Şartname" adı altında yayınlanmıştır. Daha sonra 1984 yılında "Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi" AASHTO 72 projelendirme kriterleri esas alınarak düzenlenmiştir. Bu rehber kapsamında esas olarak, sathi kaplamalı yollar ile asfalt betonu kaplamalı yolların projelendirilmesi birbirinden ayrılmış, üstyapı projelendirmesinde standart dingil yükü tekerrür sayısının kullanılmasına başlanmıştır. Daha sonra, 1995 yılında takviye projelendirmesindeki eksiklikler, 2001 yılında uygulamada kaynaklanan aksaklıklar giderilmiş ve 2002 yılında taşıt eşdeğerlik faktörleri revize edilmiştir.

AASHTO tarafından 1972 rehberinden sonra 1993 rehberi çıkartılmıştır, günümüzde ise yoğun olarak Mekanistik-Ampirik dizayn yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır.

TUBİTAK' ın "1007-Kamu Kurumları AR-GE Projeleri Destekleme Programı" kapsamında desteklenen ve proje yürütücülüğünü Üstyapı Şb. Md.' nin yaptığı 105G021 Nolu "Mekanistik-Ampirik Yol Üstyapı Tasarımında Esneklik Modülünün Şartnamelere Uyarlanması" konulu projeye 01.01.2006 tarihinde başlanılmış ve çalışmalar 30 ay sürmüştür. Projeye başlanmasıyla birlikte, 2006 yılı içerisinde, Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi aşağıda belirtilen düzenlemeler yapılarak yenilenmiştir.

Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberinde yapılan bu düzenlemelerde, AASHTO 93 projelendirme kriterleri esas alınmış ve Mekanistik-Ampirik dizayn yöntemine geçiş için ön hazırlıklar yapılmıştır. Üstyapı tabakalarının taşıma gücü, tekrarlı yükler altında gerilme-deformasyon ilişkisine bağlı olarak belirlenen Esneklik Modülü ( $M_R$ ) ile temsil edilmiştir.

Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri 2000-2005 yılları arasında yol ağımızda yer alan hareketli ağırlık ölçüm istasyonlarına (WIM) ait 425 000 adet dingil yükleri analiz edilerek güncelleştirilmiş olup, mevcut taşıt gruplarına orta yüklü ticari taşıt gurubu ilave edilmiştir.

Üstyapının belirlenen proje süresi boyunca trafik ve çevre koşulları altında istenilen şartları karşılama olasılığı olarak tanımlanan Güvenilirlik kavramı ile yol sınıflarının projelendirme üzerine etkisi arttırılmıştır.

Üstyapının drenaj kabiliyeti yolun performansını etkileyen faktörlerden biridir. Alttemel ve temel tabakalarının drenaj kabiliyetleri projelendirme kriterleri arasına katılmıştır.

Ülkemizde bulunan 320 adet meteorolojik istasyona ait son 20-30 yıllık sıfırın altındaki sıcaklık değerleri kullanılarak, ülkemizin "Don Penetrasyon Derinliği Haritası" hazırlanmıştır.

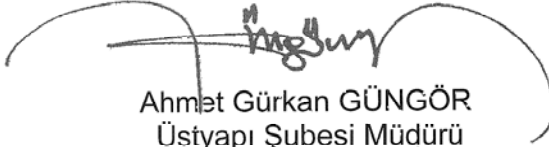


Takviye projelendirmesinde bilinen metotlara ilave olarak, ülkemiz koşulları da dikkate alınarak, performans gözlemi ve arazi çalışmaları verilerine dayanan yeni bir metot geliştirilmiş olup, üstyapıda meydana gelen deformasyonların takviye projelendirmesinde etkin olarak kullanımı sağlanmıştır. Bakım onarım metotları üzerinde detaylı olarak durulmuş olup, uygun bakım onarım metodunun seçilmesi konusunda üstyapı mühendislerine yön gösterici bilgiler sunulmuştur.

Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberinin bu yeni düzenlemesinde ise, "Üstyapı Projelendirme Raporu Yazım Kılavuzu" ile TÜBİTAK tarafından desteklenen ve başarı ile tamamlanan 105G021 Nolu "Mekanistik-Ampirik Yol Üstyapı Tasarımında Esneklik Modülünün Şartnamelere Uyarlanması" konulu projenin sonuçları yer almaktadır.

Proje kapsamında, ülkemiz üstyapı malzemelerinin trafik yükleri altında maruz kaldıkları gerilme dağılımları da dikkate alınarak, esneklik modülleri ile deneyler sonucu elde edilen fiziksel özellikleri arasında bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntının özelliği; deney numunelerinin ülkemizin farklı bölgelerinde yapılan yollardan elde edilmiş olması, deneylerin kendi laboratuvar, ekip ve ekipmanımızla yapılması nedeniyle, ülkemiz koşullarını tam anlamıyla yansıtmasıdır. Yapılan bu çalışma ile Mekanistik Ampirik Dizayn Yöntemine geçiş için bir veritabanı oluşturularak en önemli adımlardan biri atılmıştır.

Üstyapı teknolojisi sürekli değişen ve gelişen bir yapıdadır. Bundan sonraki projelendirme metotlarının ampirik yaklaşımlardan farklı olarak analitik çözümlemelere, üstyapının tekrarlı yükler altında gerilme-deformasyon ilişkisinin ön plana çıktığı, bozulma tahmin metotlarının ve ömür-döngü analizlerinin kullanılacağı tasarımlar olacağı açıktır. Ülkemiz üstyapı mühendislerinin yapacağı araştırmalar ışığında bu metotlarında kısa sürede uygulamaya geçirileceği düşüncesiyle, şimdiye kadar projelendirme çalışmalarında emeği geçen tüm üstyapı mühendislerine teşekkür ederim.

  
Ahmet Gürkan GÜNGÖR  
Üstyapı Şubesi Müdürü

## İÇİNDEKİLER

### BÖLÜM:1

### ÜSTYAPI PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

|                                                                       | <u>SAYFA<br/>NO</u> |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. GİRİŞ                                                              | 3                   |
| 2. GENEL BİLGİLER                                                     | 3                   |
| 3. TANIMLAR                                                           | 5                   |
| 4. ÜSTYAPI TİPİNİN SEÇİMİ                                             | 9                   |
| 5. ÜSTYAPI PROJE SÜRESİ (PERFORMANS PERİYODU)                         | 9                   |
| 6. ÜSTYAPI ANALİZ SÜRESİ                                              | 9                   |
| 7. TRAFİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ                                         | 10                  |
| 7.1. TRAFİK ANALİZLERİ                                                | 10                  |
| 7.2. DİNGİL EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ                                     | 12                  |
| 7.3. TAŞIT EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ                                      | 14                  |
| 7.4. HESAP ŞERİDİ FAKTÖRÜ                                             | 14                  |
| 8. GÜVENİLİRLİK                                                       | 15                  |
| 9. SERVİS KABİLİYETİ                                                  | 16                  |
| 10. YOL GÖVDESİNİN FİZİKSEL YAPISI                                    | 16                  |
| 10.1. TABAN                                                           | 16                  |
| 10.2. YOL MALZEMELERİNİN TAŞIMA GÜCÜ                                  | 17                  |
| 10.2.1. KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI (CBR)                                | 17                  |
| 10.2.2. ESNEKLİK MODÜLÜ (RESILIENT MODULUS, $M_R$ )                   | 17                  |
| 10.3. ÇEVRESEL ETKİLER                                                | 20                  |
| 10.4. DRENAJ                                                          | 21                  |
| 10.5. ALTTEMEL                                                        | 22                  |
| 10.6. TEMEL                                                           | 22                  |
| 10.7. KAPLAMA TABAKASI                                                | 22                  |
| 10.7.1. SATHİ KAPLAMALAR                                              | 23                  |
| 10.7.2. ASFALT BETONU KAPLAMALAR                                      | 23                  |
| 11. ESNEK ÜSTYAPILARIN PROJELENDİRİLMESİ                              | 23                  |
| 11.1. SATHİ KAPLAMALI ÜSTYAPILARIN PROJELENDİRİLMESİ                  | 24                  |
| 11.2. ASFALT BETONU KAPLAMALI ÜSTYAPILARIN PROJELENDİRİLMESİ          | 24                  |
| 11.2.1. ÜSTYAPI SAYISI (SN) YARDIMI İLE TABAKA KALINLIKLARININ TAYİNİ | 28                  |
| 11.2.2. TABAKA KATSAYILARI                                            | 28                  |
| 11.2.3. TABAK KALINLIKLARININ KONTROLÜ                                | 31                  |
| 12. TRAFİK KATEGORİLERİNE GÖRE ÜSTYAPI KOMPOZİSYONLARI                | 32                  |
| 13. PROJE ESNEKLİK MODÜLÜ DEĞERİNİN SEÇİMİ                            | 36                  |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 14. ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ                 | 38 |
| 14.1. DONA HASSAS TABAN ZEMİNLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ       | 38 |
| 14.1.1. TABAN ZEMİNİNİN DONA KARŞI HASSASIYETİ             | 38 |
| 14.1.2. ÜSTYAPININ TOPLAM KALINLIĞI, ( $d_t$ )             | 40 |
| 14.1.3. PROJE DONMA İNDEKSİ, ( $D_i$ )                     | 40 |
| 14.1.4. DON PENETRASYON DERİNLİĞİ, ( $X_D$ )               | 41 |
| 14.1.5. HİDROLOJİK ŞARTLAR                                 | 41 |
| 14.1.6. DON ÖNLEYİCİ TABAKA KALINLIĞININ HESABI, ( $d_s$ ) | 44 |
| 14.2. DONA KARŞI ALINACAK DİĞER ÖNLEMLER                   | 46 |
| 14.3. ÇEVRESEL FAKTÖRLERİDEN KAYNAKLANAN SERVİS KABİLİYETİ | 47 |
| KAYBININ BULUNMASI                                         |    |
| 14.3.1. ZEMİN ŞİŞMESİ                                      | 47 |
| 14.3.2. DONMA KABARMASI                                    | 50 |
| 14.3.3. İDEAL PERFORMANS PERİYODUNUN BULUNMASI             | 54 |
| 15. EFEKTİF TABAN ZEMİNİ ESNEKLİK MODÜLÜ                   | 55 |
| 16. TAŞIMA GÜCÜ DÜŞÜK TABAN ZEMİNLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ   | 59 |
| 17. ESNEK ÜSTYAPI PROJELENDİRMESİNE AİT BİR ÖRNEK          | 60 |
| 18. KADEMELİ İNŞAAT                                        | 67 |
| 19. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS)                          | 68 |
| 20. MEKANİSTİK-AMPİRİK DİZAYN                              | 71 |
| 20.1. VERİ GİRİŞİ                                          | 72 |
| 20.2. ANALİZ (MODELLEME)                                   | 73 |
| 20.3. ÇIKTILAR (STRATEJİ BELİRLEME)                        | 73 |

## BÖLÜM:2

### ÜSTYAPI TAKVİYE PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1. GİRİŞ                                                          | 77 |
| 2. GENEL BİLGİLER                                                 | 77 |
| 3. TAKVİYE PROJESİNİN HAZIRLANMASI SIRASINDA YAPILACAK ÇALIŞMALAR | 78 |
| 3.1. PERFORMANS GÖZLEMLERİ                                        | 78 |
| 3.2. ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI                             | 79 |
| 3.3. DEFLEKSİYON ETÜTLERİ                                         | 80 |
| 3.4. TRAFİK ANALİZLERİ                                            | 80 |
| 4. ÜSYAPI TAKVİYE PROJELERİNİN HAZIRLANMASI                       | 81 |
| 4.1. MEVCUT ÜSTYAPI SAYISININ ( $SN_M$ ) BULUNMASI                | 81 |
| 4.1.1. EFEKTİF KALINLIKLAR METODU                                 | 81 |
| 4.1.2. PERFORMANS GÖZLEMLERİ VE ARAZİ ÇALIŞMALARI METODU          | 84 |
| 4.1.3. DEFLEKSİYON METODU                                         | 86 |
| 4.1.4. KALAN ÖMÜR METODU                                          | 91 |
| 4.2. ÜSTYAPI TAKVİYE TABAKALARININ HESAPLANMASI                   | 92 |



|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5. ONARIM METODLARI                                                                  | 93  |
| 5.1. ASFALT KAPLAMALARIN YENİDEN KULLANIMI (RECYCLING) METODU                        | 93  |
| 5.2. SICAK KARIŞIM TAKVİYELERİNDE GEOSENTETİK MALZEMELERİN VE ÇELİK GRİDİN KULLANIMI | 91  |
| 5.3. YENİDEN YAPIM (RECONSTRUCTION) METODU                                           | 95  |
| 6. BAKIM METOTLARI                                                                   | 95  |
| 6.1. YAMALAR                                                                         | 95  |
| 6.2. ÇATLAK DOLGUSU VE YALITIMI                                                      | 96  |
| 6.3. BİTÜMLÜ KORUYUCU SATHİ KAPLAMA                                                  | 96  |
| 6.4. HARÇ TİPİ KAPLAMA                                                               | 97  |
| 6.5. İNCE YÜZEY KAPLAMASI                                                            | 97  |
| 7. BAKIM-ONARIM METOTUNUN SEÇİMİ                                                     | 98  |
| 8. ESNEK ÜSTYAPILARDAKİ YÜZEY BOZUKLARI                                              | 102 |
| 8.1. ASFALT BETONU KAPLAMALI ÜSTYAPILARDAKİ YÜZEY BOZUKLUKLARI                       | 102 |
| 8.2. SATHİ KAPLAMALI ÜSTYAPILARDAKİ YÜZEY BOZUKLUKLARI                               | 122 |

## **EK - ÜSTYAPI PROJELENDİRME RAPORU YAZIM KILAVUZU**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### BÖLÜM:1

#### ÜSTYAPI PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

|             |                                                                      | SAYFA<br>NO |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| ŞEKİL:2.1   | YOL ÜSTYAPISI TİP ENKESİTİ                                           | 4           |
| ŞEKİL:10.1  | ÜSTYAPI MALZEMELERİNİN TEKRARLI YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI           | 17          |
| ŞEKİL:10.2  | ÜSTYAPI KESİT TİPİNE GÖRE DERİNLİK DÜZETME FAKTÖRLERİ                | 19          |
| ŞEKİL:11.1  | SATHİ KAPLAMALI ESNEK ÜSTYAPILAR İÇİN PROJELENDİRME ABAĞI            | 25          |
| ŞEKİL:11.2  | ASFALT BETONU KAPLAMALI YOLLAR İÇİN PROJELENDİRME ABAĞI              | 26          |
| ŞEKİL:11.3  | BSK TABAKALARI İÇİN TABAKA KATSAYISI SEÇİM ABAĞI                     | 29          |
| ŞEKİL:11.4  | KALINLIKLARIN KONTROLÜ                                               | 31          |
| ŞEKİL:13.1  | PROJE CBR DEĞERİNİN SEÇİMİ                                           | 37          |
| ŞEKİL:14.1  | TÜRKİYE DON İNDEKSİ VE DON PENETRASYON DERİNLİĞİ HARİTASI            | 42          |
| ŞEKİL:14.2  | TÜRKİYE YILLIK ORTALAMA YAĞIŞ DAĞILIŞI HARİTASI                      | 43          |
| ŞEKİL:14.3  | ÜSTYAPIDA DONA KARŞI ÖNLEM GEREKLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ               | 45          |
| ŞEKİL:14.4  | DONA HASSAS OLMAYAN MALZEME KALINLIĞININ TAYİNİ                      | 46          |
| ŞEKİL:14.5  | ŞİŞME ORANI SABİTİNİN TAHMİNİ                                        | 47          |
| ŞEKİL:14.6  | POTANSİYEL DÜŞEY YÜKSELMEİNİN ( $V_R$ ) BULUNMASI                    | 48          |
| ŞEKİL:14.7  | ZEMİN ŞİŞMESİNDEN KAYNAKLANAN SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ BULUNMASI   | 49          |
| ŞEKİL:14.8  | DONMA KABARMASI ORANININ BULUNMASI                                   | 51          |
| ŞEKİL:14.9  | MAKSİMUM POTANSİYEL SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ BULUNMASI             | 52          |
| ŞEKİL:14.10 | DONMA KABARMASINDAN KAYNAKLANAN SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ BULUNMASI | 53          |
| ŞEKİL:14.11 | YILLARA GÖRE TOPLAM SERVİS KABİLİYETİ KAYBI GRAFİĞİNİN ÇİZİLMESİ     | 54          |
| ŞEKİL:15.1  | RÖLATİF HASAR FAKTÖRÜNÜN BULUNMASI                                   | 57          |
| ŞEKİL:19.1  | ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMA AKIŞ ŞEMASI                         | 70          |

### BÖLÜM:2

#### ÜSTYAPI TAKVİYE PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

|            |                                                    |    |
|------------|----------------------------------------------------|----|
| ŞEKİL: 1.1 | PERFORMANS EĞRİSİ                                  | 77 |
| ŞEKİL: 4.1 | $E_p / M_R$ ORANININ BULUNMASI                     | 88 |
| ŞEKİL: 4.2 | DEFLEKSİYON İÇİN ASFALT SICAKLIĞI DÜZELTME FAKTÖRÜ | 89 |
| ŞEKİL: 4.3 | MEVCUT ÜSTYAPI SAYISININ ( $SN_M$ ) BULUNMASI      | 90 |
| ŞEKİL: 4.4 | DURUM FAKTÖRÜNÜN BULUNMASI                         | 92 |
| ŞEKİL: 7.1 | ESNEK ÜSTYAPI BAKIM-ONARIM METONUN SEÇİMİ          | 99 |

## TABLolar DİZİNİ

### BÖLÜM:1

#### ÜSTYAPI PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

|             | SAYFA<br>NO                                                                                  |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLO: 6.1  | ANALİZ SÜRESİNİN SEÇİMİ                                                                      | 9  |
| TABLO: 7.1  | TRAFİK ARTIŞ KATSAYISI                                                                       | 11 |
| TABLO: 7.2  | DİNGİL EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ                                                                 | 13 |
| TABLO: 7.3  | TAŞIT EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ                                                                  | 14 |
| TABLO: 7.4  | ŞERİT DAĞITMA FAKTÖRLERİ                                                                     | 14 |
| TABLO: 8.1  | TAVSİYE EDİLEN GÜVENİLİRLİK DEĞERLERİ                                                        | 15 |
| TABLO: 8.2  | GÜVENİLİRLİĞİN STANDART NORMAL SAPMA DEĞERLERİ                                               | 15 |
| TABLO: 9.1  | SON SERVİS KABİLİYETİ ( $P_t$ )' NİN SEÇİMİ                                                  | 16 |
| TABLO: 10.1 | DRENAJ KATSAYILARI                                                                           | 21 |
| TABLO: 11.1 | TABAKA KATSAYILARI                                                                           | 30 |
| TABLO: 12.1 | R=%70 GÜVENİLİRLİK İÇİN ASFALT BETONU KAPLAMALI<br>YOLLARDA UYGULANACAK ÜSTYAPI KALINLIKLARI | 33 |
| TABLO: 12.2 | R=%85 GÜVENİLİRLİK İÇİN ASFALT BETONU KAPLAMALI<br>YOLLARDA UYGULANACAK ÜSTYAPI KALINLIKLARI | 34 |
| TABLO: 12.3 | R=%95 GÜVENİLİRLİK İÇİN ASFALT BETONU KAPLAMALI<br>YOLLARDA UYGULANACAK ÜSTYAPI KALINLIKLARI | 35 |
| TABLO: 13.1 | TABAN ZEMİNİ PROJE EMNİYET YÜZDESİNİN SEÇİMİ                                                 | 37 |
| TABLO: 14.1 | DONA HASSAS OLMAYAN MALZEME ÖZELLİKLERİ                                                      | 38 |
| TABLO: 14.2 | DONA HASSAS ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI                                                     | 39 |
| TABLO: 16.1 | SEÇME MALZEME ÖZELLİKLERİ                                                                    | 59 |
| TABLO: 16.2 | ZAYIF ZEMİNLER ÜZERİNE ÇEKİLECEK KORUYUCU TABAKA<br>KALINLIKLARI (cm)                        | 59 |

### BÖLÜM:2

#### ÜSTYAPI TAKVİYE PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

|            |                                                                                                          |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLO: 4.1 | MEVCUT ÜSTYAPI TABAKALARININ ASFALT BETONU<br>KALINLIĞINA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ İÇİN KULLANILACAK<br>KATSAYILAR | 82 |
| TABLO: 4.2 | ÜSTYAPI DURUM DEĞERLENDİRMESİ                                                                            | 84 |
| TABLO: 4.3 | ESNEK ÜSTYAPILAR İÇİN ÜSTYAPI DURUMU PUANLAMA<br>TABLOSU                                                 | 85 |
| TABLO: 7.1 | ÇATLAK BAKIM METODUNUN SEÇİMİ                                                                            | 98 |
| TABLO: 7.2 | YÜZEY BOZUKLUKLARI BAKIM METODUNUN SEÇİMİ                                                                | 98 |

## SEMBOLLER LİSTESİ

|                |                                                           |
|----------------|-----------------------------------------------------------|
| a              | : İzafi mukavemet katsayısı                               |
| C              | : Dönüştürme katsayısı                                    |
| CBR            | : Kaliforniya taşıma oranı (%)                            |
| D              | : Tabaka kalınlığı (cm)                                   |
| $d_t$          | : Toplam üstyapı kalınlığı (cm)                           |
| $d'_s$         | : Dona hassas olmayan malzeme kalınlığı (cm)              |
| $d_e$          | : Herhangi bir üstyapı tabakasının efektif kalınlığı      |
| DEF            | : Dingil eşdeğerlik faktörü                               |
| $d_g$          | : Söz konusu üstyapı tabakasının gerçek kalınlığı         |
| DI             | : Don indeksi                                             |
| $E^*$          | : Bitümlü karışımın dinamik modülü (psi)                  |
| $E_p$          | : Üstyapı efektif modülü (psi)                            |
| f              | : Trafik artış katsayısı                                  |
| $F_i$          | : Don hassasiyet sınıfı                                   |
| $G^*$          | : Bitümün kompleks modülü (kPa)                           |
| i              | : Trafik yönü sayısı                                      |
| j              | : Her trafik yönündeki şerit sayısı                       |
| m              | : Drenaj katsayısı                                        |
| $M_R$          | : Esneklik Modülü (Resilient Modulus) (psi)               |
| $P_D$          | : Donma Kabarması Olasılığı                               |
| $P_{\text{ş}}$ | : Şişme Olasılığı                                         |
| $P_t$          | : Son servis kabiliyeti                                   |
| r              | : Trafik artış yüzdesi                                    |
| R              | : Güvenilirlik (%)                                        |
| SN             | : Üstyapı sayısı (structural number)                      |
| $SN_M$         | : Mevcut üstyapı sayısı                                   |
| $S_o$          | : Toplam standart sapma                                   |
| $T_{8.2}$      | : Toplam standart dingil yükü (8.2 ton) tekerrür sayısı   |
| TEF            | : Taşıt eşdeğerlik faktörü                                |
| $T_o$          | : İlk trafik (Üstyapının trafiğe açıldığı yıldaki trafik) |
| $T_p$          | : Proje trafiği                                           |
| $T_s$          | : Son trafik (Proje süresi sonundaki trafik)              |
| $U_f$          | : Esneklik modülünün rölatif hasar faktörü                |
| ÜDS            | : Üstyapı durum sınıfı                                    |
| ÜP             | : Üstyapı puanı (%)                                       |
| ÜYP            | : Üstyapı durum Puanı (%)                                 |
| ÜYS            | : Üstyapı yönetim sistemi                                 |
| $V_R$          | : potansiyel düşey yükselme (inç)                         |
| $X_D$          | : Don derinliği (cm)                                      |
| $Z_R$          | : Standart normal sapma                                   |
| v              | : Poisson oranı                                           |
| $\Phi$         | : Donma Kabarması Oranı                                   |
| $\Theta$       | : Şişme Oranı Sabiti                                      |
| YOGT           | : Yıllık ortalama günlük trafik                           |

# **BÖLÜM : 1**

## **ÜSTYAPI PROJELERİNİN HAZIRLANMASI**





## 1- GİRİŞ

Bu projelendirme rehberi, yeni yapılacak karayolu esnek üstyapıları ile ilgili bilgileri ve tabaka kalınlıklarının nasıl bulunacağını gösterir. Mevcut yolların bozukluklarının tipleri, değerlendirilmesi, bakım-onarım metotları ve takviye tabakalarının bulunması ile ilgili bilgileri kapsar.

## 2- GENEL BİLGİLER

Yol gövdesi altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı yarma ve dolgulardan oluşur. Üstyapı ise trafik yüklerini altyapıya (taban zeminine) dağıtan tabakalı (kaplama, temel ve alttemel tabakaları) bir yapıdır.

Bir üstyapı yapılmadan önce altyapı, üstyapıya istenen bir destek sağlayacak şekilde şartnamelere uygun olarak hazırlanır. Üstyapının performansı taban zemininin fiziksel özellikleri ve durumu ile doğrudan ilintilidir.

Yol üstyapısı, trafik yüklerinin ve doğal şartların etkisi altındadır. Trafik yükleri, taşıtların hareketleri sırasında radyal çekme ve basınç gerilmeleri ile düşey basınç gerilmeleri oluşturur. Gerilmelerin şiddeti ve mertebesi, dingil yüklerinin tekerrürü ile doğrudan orantılıdır.

Bu projelendirme rehberi, AASHTO-93 rehberinde açıklanan esnek üstyapı projelendirme yöntemini esas almıştır. Servis kabiliyeti-davranış ilişkisine dayanan bu metot; zemin taşıma gücüne, trafik yüküne, bölge ve iklim koşullarına ve üstyapı tabakalarının özelliklerine bağlı olarak üstyapı tabaka kalınlıklarını verir.

Servis kabiliyeti, üstyapının belirli bir gözlem anında yeterli bir taşıma ve sürüş kalitesi sağlama kabiliyetidir. Üstyapının servis kabiliyeti ile dingil yükleri tekerrür sayıları ve üstyapıyı temsil eden üstyapı sayısı (SN) arasında kurulan bir bağıntı üstyapının boyutlandırılmasını mümkün kılar.

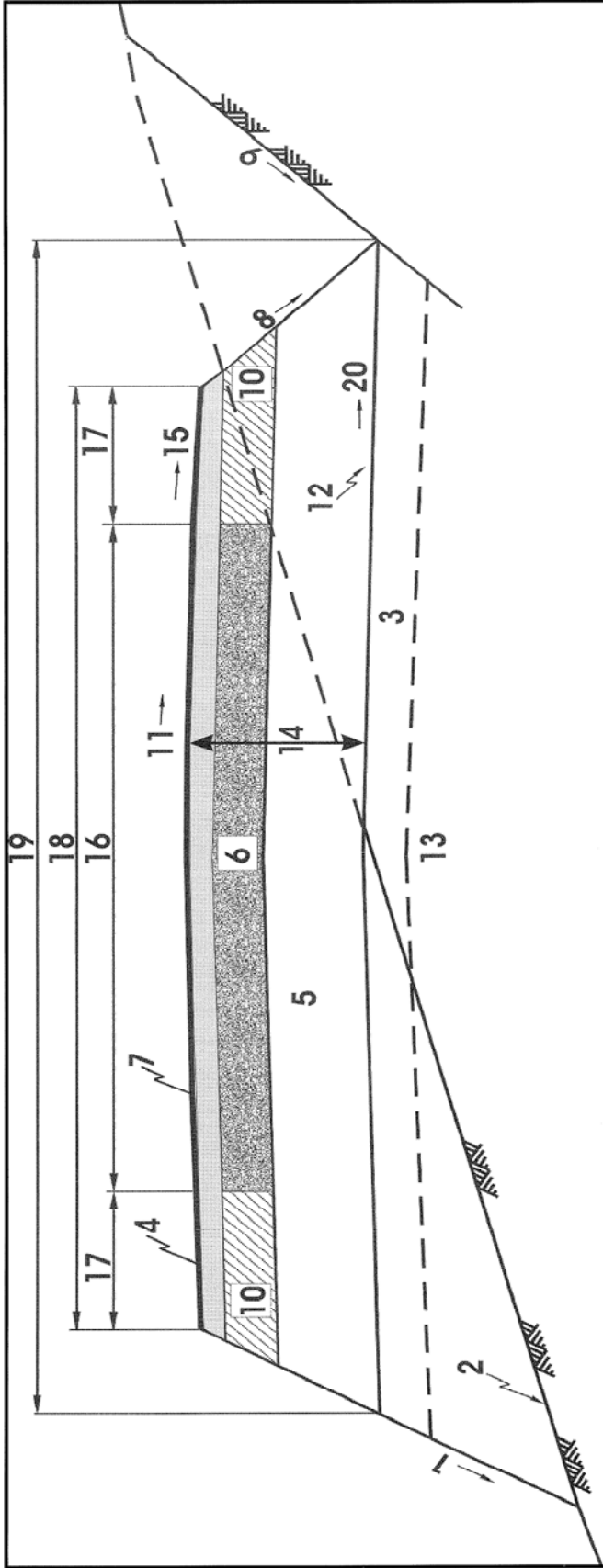
Bu rehberde üstyapının servis kabiliyetinde azalmaya neden olan trafik yüklerinin etkisi ve bunların tekerrürü, 8.2 ton standart dingil yükü cinsinden belirtilmiştir. Bu nedenle karayolu üzerinde seyreden çeşitli ağırlıktaki trafik yükleri her dingil grubu için belirlenen dingil eşdeğerlik faktörleri yardımı ile 8.2 ton standart dingil yükü sayısına çevrilir.

Taban zemininin taşıma gücü üstyapı kalınlıklarını etkileyen önemli bir faktördür. AASHTO-1993 metodunda zemin taşıma gücü, zeminin esneklik modülü ( $M_R$ ) ile belirlenmektedir. Esneklik modülü laboratuvar deneyleri ile belirlenebildiği gibi, malzemelerin diğer fiziksel özellikleri ile korelasyon yapılarak elde edilen ampirik bağıntılar yardımı ile de tahmin edilebilmektedir.

İklim ve çevre koşulları üstyapı kalınlıklarında dikkate alınan başka bir husustur. İklim ve çevre verilerinin etkisi zemin şişmesi ve donma kabarmasından kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı hesap edilerek belirlenir.

Üstyapının proje süresi sonunda ulaşması gereken hizmet kabiliyeti, son servis kabiliyeti ( $P_t$ ) ile tanımlanır. Bu değer yolun önemine göre 2.0 veya 2.5 alınır.

**ŞEKİL:2.1 YOL ÜSTYAPISI TİP ENKESİTİ**



- 1- Dolgu Şevi
- 2- Doğal Zemin
- 3- Üstyapı Tabanı
- 4- Banket Kaplaması
- 5- Alttemel Tabakası
- 6- Temel Tabakası
- 7- Kaplama Tabakası
- 8- Hendek Şevi
- 9- Yarma Şevi
- 10- Banket Temeli

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

### 3- TANIMLAR

#### **Ağır Trafik / Ağır Taşıt / Ağır Taşıt Trafiği :**

Karayolları üzerinde seyreden otobüs, kamyon ve treyler tipi taşıtların toplamı (Toplam yüklü ağırlığı 10 tondan fazla olan taşıtlar bu sınıfa girmektedir).

#### **Alttemel:**

Üstyapı temel tabakasını taşımak üzere taban zemini üzerine yerleştirilen, belirli fiziksel özelliklere sahip granüler malzemeden oluşmuş üstyapı tabakası.

#### **Analiz Süresi:**

İlk inşaat ve ileride yapılacak takviye dahil olmak üzere, değişik projelendirmelerin ekonomik karşılaştırmalarının yapıldığı zaman süresi (analiz süresi proje süresi ile karıştırılmamalıdır).

#### **Asfalt Betonu:**

Kaba agregası, ince agregası ve fillerin belirli bir gradasyonu sağlayacak şekilde bitümlü bağlayıcı ile uygun bir oranda karışımından ve yeterince sıkıştırılmasından elde edilen kaplama türü.

#### **Asfalt Yüzey Tabakası (Aşınma Tabakası):**

Asfalt betonu kaplamanın en üst yüzey tabakası.

#### **CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı)**

Temel, alttemel, ve taban zemininin taşıma gücünü belirleyen deney ve deney sonucu hesaplanan % cinsinden değer.

#### **Dingil Eşdeğerlik Faktörü:**

Belirli bir dingil yükünün bir üstyapıya yaptığı etkiye (zarar faktörü) eşit bir etki oluşturan standart dingil yükü (8.2 ton) tekrür sayısı.

#### **Drenaj Katsayısı:**

Granüler üstyapı tabakalarının suyu iletme kabiliyetine ve yıl içindeki suya doygunluk süresine bağlı olarak belirlenen katsayısı.

#### **Esneklik Modülü ( $M_R$ ):**

Üstyapı malzemelerinin tekrar eden yükler altındaki elastiklik modülü.

### **Esnek Üstyapı:**

Tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve yükleri taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi agrega kilitlemesine, dane sürtünmesine ve kohezyona bağlıdır.

### **Eşdeğer Dingil Yüğü, Standart Dingil Sayısı, (EDY):**

Değişik ağırlıkta ve sayıdaki dingil yüklerinin bir üstyapıda meydana getirdiğı toplam etkiye eşdeğer bir etki oluşturan 8.2 ton dingil yükünün tekrerrür sayısı.

### **Güvenilirlik:**

Üstyapının belirlenen proje süresi boyunca, hakim trafik ve çevre koşulları altında yoldan beklenen projelendirme şartlarını karşılama olasılığıdır.

### **Hizmet Kabiliyeti (Servis Kabiliyeti):**

Bir üstyapının belirli bir gözleme anında yüksek hız ve hacimdeki taşıt trafiğine hizmet edebilme kabiliyeti. (Hizmet Kabiliyeti derecesi AASHTO 'ya göre 5 ile 0 arasındaki bir sayı ile tanımlanır.)

### **Kaplama Tabakası:**

Üstyapının en üst tabakası olup, genellikle asfalt betonu veya sathi kaplamadan oluşur ve kaymaya, trafiğin aşındırmasına ve iklim koşullarının ayrıştırma etkisine karşı koyar.

### **Lodometre Çalışması:**

Taşıt dingillerinin tiplerini, sayılarını ve ağırlıklarını belirlemek için yapılan çalışma.

### **Orta Yüklü Ticari Taşıt:**

Yolcu taşıma kapasitesi yaklaşık 14-25 kişi olan taşıtlar ve toplam yüklü ağırlığı yaklaşık 3.5 ton ile 10 ton arasında olan kamyonlar.

### **Planlanmış Kademeli İnşaat:**

Önceden planlanarak, bazı tabakaların ilerideki belirli bir tarihte inşa edileceğı yol üstyapı inşaatı.

### **Proje EDY Değeri:**

Yolun proje süresi içinde tek yönde geçmesi beklenen toplam eşdeğer 8.2 ton standart dingil yükü tekrerrür sayısı.

### **Proje Süresi (Kabul Edilen Hizmet Süresi):**

Yolun Trafiğe açılması ile ilk takviye tabakasının uygulanması planlanan zaman (servis kabiliyetinin önceden belirlenen değere ineceğı süre) arasındaki yıl sayısıdır.

**Proje CBR Değeri:**

Proje kalınlıklarının hesaplanmasına esas olan ve proje kalınlıklarının uygulanacağı yol kesiminde bulunan zemin CBR değerlerini istenen emniyette temsil eden CBR değeri.

**Proje  $M_R$  Değeri:**

Proje kalınlıklarının hesaplanmasına esas olan ve proje kalınlıklarının uygulanacağı yol kesiminde bulunan zemin esneklik modülü değerlerini istenen emniyette temsil eden  $M_R$  değeri.

**Proje Kalınlığı:**

Bilinen proje verileri ve hesaplamalar sonunda belirlenen kaplama, temel ve alttemel tabakalarının kalınlıkları.

**Rijit Üstyapı:**

Nispeten yüksek eğilme mukavemetine sahip ve Portlant Çimentosundan yapılmış tek tabakalı plak vasıtası ile yükleri taban zeminine dağıtan üstyapı tipi.

**Seçme Malzeme:**

Genellikle üstyapı tabanındaki malzemenin kullanılması uygun olmayan bir malzeme olması durumunda, üstyapı taban zeminini teşkil etmek üzere, yol yarması veya ariyet ocaklarından elde edilen uygun nitelikte doğal malzeme.

**Son Servis Kabiliyeti ( $P_t$ ):**

Bir üstyapının proje süresi sonunda erişmesi beklenen hizmet kabiliyeti.

**Koruyucu Tabaka:**

Üstyapı tabanını oluşturmak üzere zayıf zeminler üzerinde seçme malzeme kullanmak suretiyle oluşturulan tabaka.

**Tesviye Yüzeyi (Taban Yüzeyi):**

Yol üstyapı ve banketlerin oturduğu altyapı zemininin üst yüzeyi.

**Tabaka Katsayısı ( $a_1, a_2, a_3$ ):**

Bir malzemenin üstyapı sayısı (SN) ile tabaka kalınlığı arasındaki ampirik bağıntıyı gösteren ve tabakaların mukavemetleri ile orantılı sayısal faktör.

**Tandem Dingil Yüğü:**

Merkezleri, taşıtı enlemesine kesen ve birbirinden en az 100 cm. en fazla 199 cm. uzakta bulunan iki paralel düşey düzlem arasında kalan iki veya daha fazla ardışık dingilin yola ilettiğı toplam yük.

### **Taşıt Eşdeğerlik Faktörü:**

Otomobil, orta yüklü ticari taşıt, otobüs, kamyon veya treyler cinsinden bir taşıtın her bir geçişinin üstyapıya verdiği zarara eşit bir etki yaratan standart dingil yükü tekerrür sayısı.

### **Tek Dingil Yüğü:**

Merkezleri, taşıtı enlemesine kesen ve birbirinden en fazla 100 cm. uzakta bulunan iki paralel düşey düzlem arasında kalan bütün tekerleklerin ilettiği toplam yük.

### **Temel:**

Alttemel üzerine hesaplanan bir kalınlıkta inşa edilen, belirli fiziksel özelliklere sahip tabaka veya tabakalar. Temel tabakasının kaplamayı taşımak, gerilmeleri yaymak, iyi bir drenaj temin etmek ve don etkisini azaltmak gibi fonksiyonları vardır.

### **Trafik Grubu:**

Rehber kapsamında, karayolu üzerinde seyreden taşıtlar otomobil, orta yüklü ticari taşıt, otobüs, kamyon ve treyler olmak üzere 5 trafik grubuna ayrılır. Ağır ticari araçların 2 ve 3 dingillileri kamyon, 4 veya daha fazla dingillileri treyler grubuna dahil edilirler.

### **Tridem Dingil Yüğü:**

Merkezleri arasındaki mesafe en fazla 140 cm. uzakta bulunan üç paralel düşey düzlem arasında kalan 3 veya daha fazla ardışık dingilin yola ilettiği toplam yük.

### **Üstyapı:**

Trafik yükünü taşımak üzere tesviye yüzeyine (üstyapı tabanı üzerine) yerleştirilen tabakalı yol yapısı.

### **Üstyapı Davranışı:**

Trafik yüklerinin tekerrürü sonucu üstyapının hizmet kabiliyetindeki değişim.

### **Üstyapı Sayısı (SN):**

Trafik, taban zemini koşulları, drenaj özellikleri ve son servis kabiliyetinin analizinden elde edilen ve üstyapının her bir tabakasında kullanılmakta olan malzeme tipine uygun tabaka katsayılarının kullanılması suretiyle, esnek üstyapı tabakalarının kalınlığına dönüştürülen sayı.

### **Üstyapı Tabanı:**

Tesviye yüzeyi altında kalan, yarma veya dolgularda üstyapının taşıma gücüne etkisi olabilecek bir derinliğe kadar devam eden, CBR% değeri ve esneklik modülü üstyapı projelendirmesinde esas alınan tabaka.



#### 4- ÜSTYAPI TİPİNİN SEÇİMİ

Üstyapılar, kullanılan malzemelerin niteliklerine göre esnek veya rijit olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Taban zeminine, trafiğe, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en uygun üstyapi tipi seçilir.

Üstyapının proje ömrü, tabaka tipleri ve kalınlıkları belirlenirken; minimum tabaka kalınlıkları, bölgesel kaynaklar ve diğer ekonomik faktörler göz önünde tutulmalıdır. Bu rehber esnek üstyapıların projelendirilmesi konusunda bilgiler içermektedir.

#### 5- ÜSTYAPI PROJE SÜRESİ (PERFORMANS PERİYODU)

Proje süresi (performans periyodu), yolun başlangıç servis kabiliyetinden ( $P_0$ ) son servis kabiliyetine ( $P_t$ ) düşünceye kadar geçen yıl sayısı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, yolun trafiğe açılışı ile ilk takviye tabakasının yapılacağı ana kadar geçen süredir. Ya da iki takviye tabakası arasındaki süre olarak da alınabilir.

Esnek üstyapıların proje süresi, proje mühendisi tarafından yolun kullanılış biçimi ve ekonomik olanaklar göz önünde tutularak seçilir. Kademeli inşaat uygulanması durumunda, çevre ve iklim faktörlerinden kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı da dikkate alınarak ideal proje süresi belirlenir.

Bu rehber kapsamında, Türkiye 'de edinilen tecrübelerle göre proje süresinin, yeni yapılan yollarda Asfalt Betonu Kaplamalı yollar için 20 yıl, sathi kaplamalı yollar için ise 10 yıl alınması; mevcut Asfalt Betonu Kaplamalı yolların takviye projelerinde ise 10 yıl alınması önerilmektedir.

#### 6- ÜSTYAPI ANALİZ SÜRESİ

Analiz süresi; ilk inşaat ve ileride yapılacak takviye dahil olmak üzere, değişik projelendirmelerin ekonomik karşılaştırmalarının yapıldığı zaman süresidir. Diğer bir deyişle, performans periyotlarının toplamıdır.

Analiz süresi, AASHTO 'ya uygun olarak Tablo:6.1 'den seçilmektedir. Ancak; bu rehber kapsamında analiz süresinin, proje süresine eşit alınarak BSK kaplamalı yollar için 20 yıl, sathi kaplamalı yollar için ise 10 yıl alınması önerilmektedir. Analiz süresinin daha uzun seçilmesi, planlanmış kademeli inşaat projesi uygulamasını gerektirmekte olup; bu durumda İdare'nin onayı alınacaktır.

**TABLO: 6.1 ANALİZ SÜRESİNİN SEÇİMİ**

| Yolun Sınıfı                | Analiz Süresi (Yıl) |
|-----------------------------|---------------------|
| Otoyollar ve Devlet Yolları | 20-50               |
| Sathi Kaplamalı Yollar      | 10-20               |

## 7- TRAFİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Üstyapı projelendirmesinde, üstyapı kalınlıklarını belirleyen faktörlerin en önemlilerinden biri trafik yükleridir. Projelendirme amacıyla, karayolu üzerinden geçen çeşitli dingil yükleri 8.2 ton eşdeğer standart dingil tekerrür sayısına çevrilerek trafik yükleri bulunur. Üstyapı projelendirmesinde, proje süresi boyunca hesap şeridinden geçen toplam eşdeğer standart dingil sayısı bilinmelidir. Bu nedenle, proje süresince hesap şeridinden geçecek taşıtların sayıları trafik analizleri ile bulunmalıdır. Projenin ilk senesi için tahmin edilen trafik sayıları ve yıllık trafik artış yüzdesi kullanılarak, ilgili formüllerle, proje süresi için ortalama günlük proje trafiği ( $t_p$ ) ve toplam proje trafiği ( $T_p$ ) hesaplanır.

Her bir trafik grubu için belirlenen trafik sayıları Tablo:7.2 'de verilen veya lodometre çalışması ile bulunan taşıt eşdeğerlik faktörleri ile çarpılarak eşdeğer dingil sayısına dönüştürülür.

### 7.1. TRAFİK ANALİZLERİ

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

$$t_t = t_0(1+r)^t \dots\dots\dots(7.1) \text{ formülü ile bulunur.}$$

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

$$t_p = 0.4343 \frac{t_t - t_0}{\log \frac{t_t}{t_0}} \dots\dots\dots(7.2)$$

formülü ile bulunur. Yoldan proje süresi boyunca geçecek toplam trafik ( $T_p$ ) ise,

$$T_p = t_p \times 365 \times t \dots\dots\dots(7.3) \text{ formülü ile bulunur.}$$

Tablo:7.1'de ise, bu hesabı kısa yoldan yapabilmek için proje süresi ( $t$ ), ilk yıl toplam trafiği ( $T_0$ ) ve yıllık trafik artış yüzdesi (%  $r$ ) yardımıyla proje süresi içinde geçecek toplam proje trafiğinin ( $T_p$ ) bulunması için gerekli katsayılar ( $f$ ) verilmiştir. Bu katsayılar yardımıyla ( $T_p$ );

$$T_0 = t_0 \times 365 \dots\dots\dots(7.4)$$

$$T_p = f \times T_0 \dots\dots\dots(7.5)$$

formülleri ile bulunur

Bundan sonra taşıt eşdeğerlik faktörü (TEF), trafik yönü sayısı ( $i$ ) ve hesap şeridi faktörü ( $\eta$ ) belirlenerek proje süresi boyunca yoldan geçecek Hesap Şeridine Düşen Toplam Standart Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı ( $T_{8.2}$ );

$$T_{8.2} = T_p \times \text{TEF} \times \eta / i \dots\dots\dots(7.6) \text{ formülü ile bulunur.}$$

**TABLO:7.1 TRAFİK ARTIŞ KATSAYISI, f**  $\left( f = \frac{(1 + r)^t - 1}{r} \right)$

| Proje Süresi (Yıl) | Yıllık trafik artış yüzdesi (%) |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
|--------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | 0                               | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 1                  | 1,00                            | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00   | 1,00   | 1,00   | 1,00   | 1,00   |
| 2                  | 2,00                            | 2,01  | 2,02  | 2,03  | 2,04  | 2,05  | 2,06   | 2,07   | 2,08   | 2,09   | 2,10   |
| 3                  | 3,00                            | 3,03  | 3,06  | 3,09  | 3,12  | 3,15  | 3,18   | 3,21   | 3,25   | 3,28   | 3,31   |
| 4                  | 4,00                            | 4,06  | 4,12  | 4,18  | 4,25  | 4,31  | 4,37   | 4,44   | 4,51   | 4,57   | 4,64   |
| 5                  | 5,00                            | 5,10  | 5,20  | 5,31  | 5,42  | 5,53  | 5,64   | 5,75   | 5,87   | 5,98   | 6,11   |
| 6                  | 6,00                            | 6,15  | 6,31  | 6,47  | 6,63  | 6,80  | 6,98   | 7,15   | 7,34   | 7,52   | 7,72   |
| 7                  | 7,00                            | 7,21  | 7,43  | 7,66  | 7,90  | 8,14  | 8,39   | 8,65   | 8,92   | 9,20   | 9,49   |
| 8                  | 8,00                            | 8,29  | 8,58  | 8,89  | 9,21  | 9,55  | 9,90   | 10,26  | 10,64  | 11,03  | 11,44  |
| 9                  | 9,00                            | 9,37  | 9,75  | 10,16 | 10,58 | 11,03 | 11,49  | 11,98  | 12,49  | 13,02  | 13,58  |
| 10                 | 10,00                           | 10,46 | 10,95 | 11,46 | 12,01 | 12,58 | 13,18  | 13,82  | 14,49  | 15,19  | 15,94  |
| 11                 | 11,00                           | 11,57 | 12,17 | 12,81 | 13,49 | 14,21 | 14,97  | 15,78  | 16,65  | 17,56  | 18,53  |
| 12                 | 12,00                           | 12,68 | 13,41 | 14,19 | 15,03 | 15,92 | 16,87  | 17,89  | 18,98  | 20,14  | 21,38  |
| 13                 | 13,00                           | 13,81 | 14,68 | 15,62 | 16,63 | 17,71 | 18,88  | 20,14  | 21,50  | 22,95  | 24,52  |
| 14                 | 14,00                           | 14,95 | 15,97 | 17,09 | 18,29 | 19,60 | 21,02  | 22,55  | 24,21  | 26,02  | 27,97  |
| 15                 | 15,00                           | 16,10 | 17,29 | 18,60 | 20,02 | 21,58 | 23,28  | 25,13  | 27,15  | 29,36  | 31,77  |
| 16                 | 16,00                           | 17,26 | 18,64 | 20,16 | 21,82 | 23,66 | 25,67  | 27,89  | 30,32  | 33,00  | 35,95  |
| 17                 | 17,00                           | 18,43 | 20,01 | 21,76 | 23,70 | 25,84 | 28,21  | 30,84  | 33,75  | 36,97  | 40,54  |
| 18                 | 18,00                           | 19,61 | 21,41 | 23,41 | 25,65 | 28,13 | 30,91  | 34,00  | 37,45  | 41,30  | 45,60  |
| 19                 | 19,00                           | 20,81 | 22,84 | 25,12 | 27,67 | 30,54 | 33,76  | 37,38  | 41,45  | 46,02  | 51,16  |
| 20                 | 20,00                           | 22,02 | 24,30 | 26,87 | 29,78 | 33,07 | 36,79  | 41,00  | 45,76  | 51,16  | 57,27  |
| 21                 | 21,00                           | 23,24 | 25,78 | 28,68 | 31,97 | 35,72 | 39,99  | 44,87  | 50,42  | 56,76  | 64,00  |
| 22                 | 22,00                           | 24,47 | 27,30 | 30,54 | 34,25 | 38,51 | 43,39  | 49,01  | 55,46  | 62,87  | 71,40  |
| 23                 | 23,00                           | 25,72 | 28,84 | 32,45 | 36,62 | 41,43 | 47,00  | 53,44  | 60,89  | 69,53  | 79,54  |
| 24                 | 24,00                           | 26,97 | 30,42 | 34,43 | 39,08 | 44,50 | 50,82  | 58,18  | 66,76  | 76,79  | 88,50  |
| 25                 | 25,00                           | 28,24 | 32,03 | 36,46 | 41,65 | 47,73 | 54,86  | 63,25  | 73,11  | 84,70  | 98,35  |
| 26                 | 26,00                           | 29,53 | 33,67 | 38,55 | 44,31 | 51,11 | 59,16  | 68,68  | 79,95  | 93,32  | 109,18 |
| 27                 | 27,00                           | 30,82 | 35,34 | 40,71 | 47,08 | 54,67 | 63,71  | 74,48  | 87,35  | 102,72 | 121,10 |
| 28                 | 28,00                           | 32,13 | 37,05 | 42,93 | 49,97 | 58,40 | 68,53  | 80,70  | 95,34  | 112,97 | 134,21 |
| 29                 | 29,00                           | 33,45 | 38,79 | 45,22 | 52,97 | 62,32 | 73,64  | 87,35  | 103,97 | 124,14 | 148,63 |
| 30                 | 30,00                           | 34,78 | 40,57 | 47,58 | 56,08 | 66,44 | 79,06  | 94,46  | 113,28 | 136,31 | 164,49 |
| 31                 | 31,00                           | 36,13 | 42,38 | 50,00 | 59,33 | 70,76 | 84,80  | 102,07 | 123,35 | 149,58 | 181,94 |
| 32                 | 32,00                           | 37,49 | 44,23 | 52,50 | 62,70 | 75,30 | 90,89  | 110,22 | 134,21 | 164,04 | 201,14 |
| 33                 | 33,00                           | 38,87 | 46,11 | 55,08 | 66,21 | 80,06 | 97,34  | 118,93 | 145,95 | 179,80 | 222,25 |
| 34                 | 34,00                           | 40,26 | 48,03 | 57,73 | 69,86 | 85,07 | 104,18 | 128,26 | 158,63 | 196,98 | 245,48 |
| 35                 | 35,00                           | 41,66 | 49,99 | 60,46 | 73,65 | 90,32 | 111,43 | 138,24 | 172,32 | 215,71 | 271,02 |

## 7.2. DİNGİL EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ

Esnek üstyapılarda; tek, tandem ve tridem dingil yüklerini, standart dingil yükü (8.2 ton) sayısına dönüştürmek için AASHTO 'ya göre aşağıdaki hasar formülleri kullanılmaktadır.

$$\log \left( \frac{T_x}{T_{8.2}} \right) = 4.79 \log (18 + 1) - 4.79 \log (L_x + L_2) + 4.33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \dots (7.7)$$

Burada;

$$G_t = \log \left( \frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

$$\beta_x = 0.4 + \frac{0.81(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} + L_2^{3.23}}$$

$T_x$  : t yıl sonunda x dingil yükünün tekerrür sayısı

$T_{8.2}$  : t yıl sonunda 8.2 ton standart dingil yükü tekerrür sayısı

$L_x$  : Tek / tandem / tridem dingil üzerindeki yük, kip (1 kip=0.454 ton)

$L_2$  : Dingil kodu (tek dingil için 1, tandem dingil için 2, tridem dingil için 3)

$P_t$  : Son servis kabiliyeti

$SN$  : Üstyapı sayısı, inç

Dingil Eşdeğerlik Faktörü (DEF) 7.7 formülünden,

$$DEF = \frac{T_{8.2}}{T_x} \dots (7.8)$$

oranı belirlenerek bulunur.

Her bir dingil gurubu için Dingil Eşdeğerlik Faktörleri (DEF) SN=6 inç alınarak ayrı ayrı hesaplanmış olup Tablo:7.2 'de verilmiştir.

**TABLO: 7.2. DİNGİL EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ**

| <b>Dingil Yüğü<br/>( ton )</b> | <b>Tek Dingil<br/>Eşdeğerlik<br/>Faktörü</b> | <b>Tandem Dingil<br/>Eşdeğerlik Faktörü</b> | <b>Tridem Dingil<br/>Eşdeğerlik Faktörü</b> |
|--------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1                              | 0.0002                                       | 0.000014                                    | 0.000006                                    |
| 2                              | 0.004                                        | 0.0002                                      | 0.00009                                     |
| 3                              | 0.02                                         | 0.0012                                      | 0.0004                                      |
| 4                              | 0.06                                         | 0.004                                       | 0.0013                                      |
| 5                              | 0.14                                         | 0.01                                        | 0.003                                       |
| 6                              | 0.29                                         | 0.02                                        | 0.007                                       |
| 7                              | 0.53                                         | 0.04                                        | 0.01                                        |
| 8                              | 0.91                                         | 0.07                                        | 0.02                                        |
| 9                              | 1.45                                         | 0.11                                        | 0.03                                        |
| 10                             | 2.21                                         | 0.17                                        | 0.05                                        |
| 11                             | 3.24                                         | 0.26                                        | 0.07                                        |
| 12                             | 4.59                                         | 0.37                                        | 0.10                                        |
| 13                             | 6.32                                         | 0.51                                        | 0.13                                        |
| 14                             |                                              | 0.69                                        | 0.18                                        |
| 15                             |                                              | 0.92                                        | 0.23                                        |
| 16                             |                                              | 1.19                                        | 0.30                                        |
| 17                             |                                              | 1.53                                        | 0.38                                        |
| 18                             |                                              | 1.94                                        | 0.47                                        |
| 19                             |                                              | 2.42                                        | 0.58                                        |
| 20                             |                                              | 2.98                                        | 0.71                                        |
| 21                             |                                              |                                             | 0.86                                        |
| 22                             |                                              |                                             | 1.04                                        |
| 23                             |                                              |                                             | 1.23                                        |
| 24                             |                                              |                                             | 1.45                                        |
| 25                             |                                              |                                             | 1.70                                        |

### 7.3. TAŞIT EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ (TEF)

Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri, projesi yapılacak yolu karakterize eden lodometre çalışması, dingil yükü etütleri sonucunda çıkacak dingil yükü dağılımı ve dingil yükü eşdeğerlik faktörleri kullanılarak bulunur. Buna göre; Taşıt eşdeğerlik faktörü, herhangi bir taşıt grubu için sayımı yapılan tüm dingil ağırlıklarının ( $W_{dingil}$ ) dingil eşdeğerlik faktörleriyle çarpılıp toplamı alındıktan sonra, bu dingil ağırlığının ait olduğu taşıt sayısına bölünmesi ile,

$$TEF = \frac{\sum W_{dingil} \times DEF}{\sum Araç} \dots\dots\dots(7.9)$$

formülü ile bulunur.

Bunun için ülkemiz karayolu ağındaki hareketli ağırlık ölçüm istasyonlarına (WIM) ait değişik trafik kategorilerinde yer alan 2000-2005 yılları arasındaki dingil yükleri analiz edilerek beş çeşit taşıt grubu için taşıt eşdeğerlik faktörleri hesaplanmış ve Tablo:7.3' de verilmiştir.

**TABLO: 7.3 TAŞIT EŞDEĞERLİK FAKTÖRLERİ (TEF)**

| Taşıt Grubu             | Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri |
|-------------------------|-----------------------------|
| Treyler                 | 4.10                        |
| Kamyon                  | 2.90                        |
| Otobüs                  | 3.20                        |
| Orta Yüklü Ticari Taşıt | 0.60                        |
| Otomobil                | 0.0006                      |

### 7.4. HESAP ŞERİDİ FAKTÖRÜ ( $\eta$ )

Üstyapı projelendirmesinde ağır taşıtların kullandığı şerit trafiği esas alınmalıdır. Hesap şeridindeki trafik hesaplanırken Tablo:7.4 'deki şerit dağıtma faktörleri göz önünde tutulmalıdır. Bir yöndeki ağır trafiğin diğer yöne göre daha ağır yüklü olduğu durumlarda, daha ağır trafiğin olduğu şerit hesap şeridi olarak alınmalıdır.

**TABLO: 7.4 ŞERİT DAĞITMA FAKTÖRLERİ (  $\eta$  )**

| İki Yöndeki Şerit Sayısı | Şerit Dağıtma Faktörü ( $\eta$ ) |
|--------------------------|----------------------------------|
| 2                        | 1.0                              |
| 4                        | 0.90                             |
| 6 veya daha fazla        | 0.80                             |

## 8. GÜVENİLİRLİK

Güvenilirlik; projelendirmesi yapılan üstyapıya ait proje kriterlerinin, belirlenen proje süresi boyunca, hakim trafik ve çevre koşulları altında, yoldan beklenen projelendirme şartlarını karşılama olasılığı olup, geleceğe yönelik kabul edilen trafik tahminleri ve servis kabiliyetindeki sapmaların belirli bir sınır içerisinde tutulabilmesi için güvenilirliğin belirlenmesi gerekmektedir. Güvenilirlik seviyesi ve güvenilirliğin standart normal sapması ( $Z_R$ ) yolun sınıfına bağlı olarak Tablo:8.1 'den seçilecektir. Ancak; özel dizayn gerektirebilecek yollarda, gerekçeleri detaylı bir şekilde ortaya konulmak ve İdare'nin onayı alınmak kaydıyla uygun güvenilirlik seviyesi ve Tablo:8.2 kullanılarak bu güvenilirliğe karşılık gelen standart normal sapma ( $Z_R$ ) değeri seçilebilecektir. Trafik ve performans tahmininin bileşik Toplam Standart Sapma ( $S_o$ ) değeri ise öngörülen trafik projeksiyonunun güvenilirliğine bağlı olarak esnek üstyapılar için 0.40-0.50 arasında değişmekte olup, ortalama olarak  $S_o=0.45$  alınır.

**TABLO: 8.1**  
**TAVSİYE EDİLEN GÜVENİLİRLİK DEĞERLERİ**

| Yolun Sınıfı | Şartname<br>Güvenilirlik Değeri, R % | Standart Normal Sapma,<br>$Z_R$ |
|--------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Otoyollar    | 95                                   | -1.645                          |
| Devlet Yolu  | 85                                   | -1.037                          |
| İl Yolu      | 70                                   | -0.524                          |

**TABLO: 8.2**  
**GÜVENİLİRLİĞİN STANDART NORMAL SAPMA DEĞERLERİ ( $Z_R$ )**

| Güvenilirlik, R% | Standart Normal Sapma, $Z_R$ |
|------------------|------------------------------|
| 50               | -0.000                       |
| 60               | -0.253                       |
| 70               | -0.524                       |
| 75               | -0.674                       |
| 80               | -0.841                       |
| 85               | -1.037                       |
| 90               | -1.282                       |
| 91               | -1.340                       |
| 92               | -1.405                       |
| 93               | -1.476                       |
| 94               | -1.555                       |
| 95               | -1.645                       |
| 96               | -1.751                       |
| 97               | -1.881                       |
| 98               | -2.054                       |
| 99               | -2.327                       |
| 99.9             | -3.090                       |
| 99.99            | -3.750                       |

## 9. SERVİS KABİLİYETİ

Yolun yüksek hız ve hacimdeki trafiğe hizmet etme kabiliyeti olan servis kabiliyeti 0 ile 5 arasında değişen değerle tanımlanır. 5 en fazla hizmet kabiliyeti, 0 en düşük hizmet kabiliyeti indeksini belirler. Esnek üstyapılar trafik, zemin koşulları, iklim ve çevre faktörlerinden kaynaklanan müsaade edilebilir servis kabiliyeti kaybına bağlı olarak projelendirilmektedir. Bunun için yolun ilk trafiğe açıldığı andaki servis kabiliyeti ile proje süresi sonunda beklenen servis kabiliyetinin önceden belirlenmesi gerekmektedir.

Üstyapı yeni yapıldığında yolun ilk servis kabiliyeti ( $P_o$ ) değeri 4.2 ile 4.5 arasında değişmekte olup, esnek üstyapı projelendirmelerinde genellikle 4.2 olarak alınmaktadır. Son servis kabiliyeti ( $P_t$ ) ise yol üstyapısının onarım veya takviyeden önce müsaade edilebilecek en düşük hizmet kabiliyetine bağlı olarak seçilir. Son servis kabiliyeti ( $P_t$ ) seçilirken trafik hacmi ve yolun önemi göz önünde tutulur. Ekonomik nedenlerle proje süresi kısaltılarak  $P_t$  daha düşük alınabilir.

Son servis kabiliyeti ( $P_t$ ) trafiğe ve yolun standardına bağlı olarak Tablo:9.1'de belirtilen şekilde seçilecektir.

**TABLO: 9.1**  
**SON SERVİS KABİLİYETİNİN ( $P_t$ ) SEÇİMİ**

| Yol Sınıfı                | $P_t$ |
|---------------------------|-------|
| Otoyollar, Devlet Yolları | 2.5   |
| İl Yolları                | 2.0   |

## 10. YOL GÖVDESİNİN FİZİKSEL YAPISI

### 10.1. TABAN

Bir esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan ilgili olduğundan, taban zemininin şartnamelere uygun olarak hazırlanması üstyapı projelendirmesinde çok önemlidir.

Taban zeminleri; yarmalarda Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 204, dolgularda ise Kısım 206 'ya uygun olarak hazırlanmalıdır.



## 10.2. YOL MALZEMELERİNİN TAŞIMA GÜCÜ

### 10.2.1. KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI (CBR)

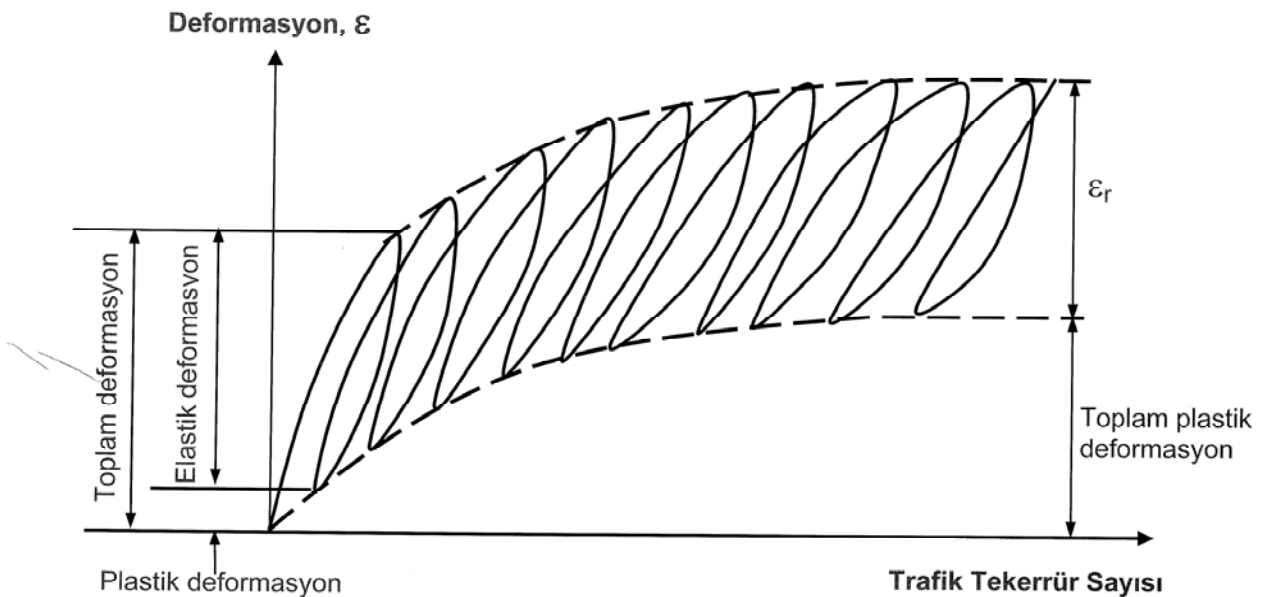
Üstyapı malzemelerinin taşıma güçlerinin değerlendirilmesinde en çok kullanılan verilerden biri olan Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), bir zeminin dikkatle kontrol edilen yoğunluk ve rutubet şartları altında daneler arası kayma direncinin bir ölçüsü olup, belli boyutları olan bir pistonun özel olarak sıkıştırılarak hazırlanmış bir numuneye belirli bir derinliğe kadar batması için gerekli basıncın, aynı pistonun düzgün bir gradasyonu olan kırmataştan hazırlanmış bir numunede aynı batmayı sağlayan basınca oranı olarak tanımlanan ve yüzde olarak ifade edilen bir sayıdır. Deney, ince daneli zeminler ve 19.0 mm elek üzerinde kalan kısmı çok az olan bazı temel ve alttemel malzemelerinin değerlendirilmelerinde daha yararlı olup, deney ilgili şartname ve standartlara uygun olarak yapılacaktır.

### 10.2.2. ESNEKLİK MODÜLÜ (RESILIENT MODULUS, $M_R$ )

Yeni üstyapı şartnamelerinde, elastik teoriyi esas alan esneklik modülü değeri dikkate alınarak üstyapılar projelendirilmektedir. Bu yöntemde malzemelerin doğrudan mukavemeti yerine tekrar eden yükler altında elastisite modülü tayin edilmektedir.

Esneklik modülü, elastik teoremin uygulaması olup, üstyapı malzemelerinin statik yükten ziyade tekerrür eden trafik yükleri altındaki elastikiyet modülünün tespiti için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Üstyapı malzemeleri normal olarak elastik değildir ve her yük tekrarından sonra bir miktar plastik (kalıcı) deformasyon gösterirler. Bununla beraber, eğer trafik yükü malzemenin mukavemetine nazaran küçük ise, belirli miktarda yük tekerrüründen sonra malzeme elastik davranış göstermeye başlar.

**ŞEKİL: 10.1**  
**ÜSTYAPI MALZEMELERİNİN TEKRARLI YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI**



Şekil:10.1 bir numunenin tekrarlı yükler altında deformasyon eğrisini göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, esneklik modülü deneyinde tekerrür eden yükler altında başlangıçta plastik deformasyonlar oldukça fazla oranda gelişirken, tekerrür eden yük sayısı arttıkça plastik deformasyonun artışı giderek azalmakta ve yaklaşık olarak 100-200 yük tekrarından sonra pratik olarak elastik davranış görülmektedir.

Üç eksenli ve tekerrürlü yük şartlarında test edilen malzemenin esneklik modülü;

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \dots\dots\dots(10.1) \text{ formülü ile bulunur.}$$

Burada;

- $M_R$  = Esneklik modülü
- $\sigma_d$  = Deviatör gerilme ( $\sigma_1 - \sigma_3$ )
- $\epsilon_r$  = Elastik deformasyon

Bitümlü sıcak karışım ve granüler üstyapı tabakaları için esneklik modülleri laboratuvar ve/veya arazi deneyleri yardımıyla bulunabilmektedir. Bununla beraber bu deneylerin oldukça karmaşık ve hassas olması, konu ile ilgili bilgi ve tecrübe gerektirmesi, deney aletlerinin pahalı ve merkezi bir laboratuvar ortamı gerektiriyor olması gibi uygulama zorlukları nedeniyle, bu malzemelerin esneklik modülleri kolay ve rutin olarak tespit edilebilen diğer fiziksel özellikleri ile ampirik korelasyonlar kurularak tahmin edilebilmektedir.

Esneklik modülü granüler malzemelerde, zemin yapısı, su içeriği ve gerilme koşullarına bağlı olduğundan, her üstyapı tabakasında farklılık göstermektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü'nde Türkiye'nin farklı bölgelerinden her cins malzemeyi temsil edecek şekilde alınan temel, alttemel ve taban zemini numunelerine esneklik modülü deneyi yapılmış olup, elde edilen deney sonuçları istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek granüler malzemelerin esneklik modülü için aşağıda verilen genel formül elde edilmiştir.

$$M_R = 1750 \cdot (D_{BSK} + k)^{0.436} \cdot CBR^{0.4} \cdot \left( \frac{1}{1 + \log(\text{No}200)} \right)^{0.35} \cdot (LL \cdot PI + 1)^{0.06} \cdot \left( \frac{\gamma_{maks}^2}{\text{No}4} \right)^{0.09} \cdot \log(\omega_{opt}) \quad (10.2)$$

Burada;

- $M_R$  : Esneklik modülü, psi
- $D_{BSK}$  : Bitümlü sıcak karışım tabakalarının toplam kalınlığı, cm
- $CBR$  : Kaliforniya taşıma oranı, %
- $\omega_{opt}$  : Optimum rutubet, %
- $\gamma_{maks}$  : Maksimum kuru birim ağırlık, g/cm<sup>3</sup>
- $LL$  : Likit limit, %
- $PI$  : Plastisite İndeksi, %
- $\text{No}200$  : 200 Nolu elekten geçen malzeme yüzdesi
- $\text{No}4$  : 4 Nolu elekten geçen malzeme yüzdesi
- $k$  : Derinlik düzeltme faktörü, cm

( $D_{BSK}+k$ ) ifadesi üstyapı tabakasının bulunduğu derinliğe bağlı olarak gerilme seviyelerinin değişimini temsil etmektedir.  $D_{BSK}$  toplam BSK kalınlığı olup, tek kat sathi kaplamalı yollarda 2 cm, çift kat sathi kaplamalı yollarda ise 4 cm alınacaktır. Derinlik düzeltme faktörü  $k$  ise tabaka cinsi ve üstyapı kesit tipine göre Şekil:10.2'den seçilecektir.

**ŞEKİL: 10.2**  
**ÜSTYAPI KESİT TİPİNE GÖRE DERİNLİK DÜZETME FAKTÖRLERİ (k)**

| Tabaka          | k (cm) | Tabaka          | k (cm) | Tabaka           | k (cm) | Tabaka           | k (cm) |
|-----------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| BSK             | -      | BSK             | -      | BSK              | -      | BSK              | -      |
| Temel           | 0 cm   | Temel           | 0 cm   | Temel            | 0 cm   | Temel            | 0 cm   |
| Alttemel        | 0 cm   | Taban<br>Zemini | 0 cm   | Alttemel         | 0 cm   | Seçme<br>Malzeme | 0 cm   |
| Taban<br>Zemini | 17 cm  |                 |        | Seçme<br>Malzeme | 17 cm  | Taban<br>Zemini  | 17 cm  |
|                 |        |                 |        | Taban<br>Zemini  | 30 cm  |                  |        |
| (1)             |        | (2)             |        | (3)              |        | (4)              |        |

| Tabaka          | k (cm) | Tabaka          | k (cm) | Tabaka           | k (cm) | Tabaka           | k (cm) |
|-----------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| Sathi Kap.      | -      | Sathi Kap.      | -      | Sathi Kap.       | -      | Sathi Kap.       | -      |
| Temel           | 15 cm  | Temel           | 15 cm  | Temel            | 15 cm  | Temel            | 15 cm  |
| Alttemel        | 15 cm  | Taban<br>Zemini | 15cm   | Alttemel         | 15 cm  | Seçme<br>Malzeme | 15 cm  |
| Taban<br>Zemini | 32 cm  |                 |        | Seçme<br>Malzeme | 32 cm  | Taban<br>Zemini  | 32 cm  |
|                 |        |                 |        | Taban<br>Zemini  | 45 cm  |                  |        |
| (5)             |        | (6)             |        | (7)              |        | (8)              |        |

Bitümlü sıcak karışım (BSK) tabakalarının esneklik modülü ise Marshall Stabilitesi ile korelasyon yapılarak Şekil:11.3 'ten veya BSK karışımların dinamik modülünün belirlenmesi için kullanılan Witzack (2002) formülünün, eşdeğer frekans (4 Hz) değeri için düzenlenmesi ile elde edilen aşağıdaki formül kullanılarak yaklaşık olarak tahmin edilebilir.

$$\log E^* = 3.75 + 0.029 \text{No}200 - 0.00177 \text{No}200^2 - 0.0028 \text{No}4 - 0.058 V_h - 0.8 \left( \frac{V_b}{V_b + V_h} \right) + \frac{3.87 - 0.0021 \text{No}4 + 0.004 \text{No}3/8 - 0.000017 \text{No}3/8^2 + 0.0055 \text{No}3/4}{1 + e^{-2.56 + 0.89 \log(\text{pen}) - 0.0015 [\log(\text{pen})]^2}} \quad (10.3)$$

Burada ;

- E\* : Dinamik modül, psi
- Vh : BSK'nın boşluk oranı, %
- Vb : BSK'nın bitüm yüzdesi, %'e
- pen : Bitümlü bağlayıcının penetrasyonu, 0.1 mm
- No200 : 200 Nolu elekten geçen malzeme yüzdesi,
- No4 : 4 Nolu elek üzerinde kalan malzeme yüzdesi,
- No3/8 : 3/8 Nolu elek üzerinde kalan malzeme yüzdesi,
- No3/4 : 3/4 Nolu elek üzerinde kalan malzeme yüzdesidir.

## 10.2. ÇEVRESEL ETKİLER

Yollar, sürekli çevresel etkilere maruz kalarak trafiğe hizmet etmektedir. Çevresel koşullar üstyapının performansını farklı şekillerde etkiler. Sıcaklıktaki ve su içeriğindeki değişimler, üstyapının ve yol tabanının dayanımı, durabilitesi ve yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli derecede etkili olabilmektedir.

Ayrıca, şişebilen ve dona hassas zeminler üstyapıya doğrudan etki ederek üstyapının performansını azaltmaktadırlar. Şişmeye karşı hassas zeminler, su içeriği değiştikçe herhangi bir dış yük olmaksızın büzülme ve kabarma şeklinde hacim değişikliği gösterebilirler.

Benzer şekilde, donma etkisi de üstyapının performansı üzerinde önemli etkisi olan çevresel faktörlerden biridir. Düşük ısılarda, zemin taneleri içerisinde merccek şeklinde donan su taban zemini içerisinde donma kabarması meydana getirir. Bahar mevsiminde ise, buzların eridiği alanlardan suyun uzaklaşması ile taban zemini daha boşluklu ve yumuşak bir yapıya ulaşarak taşıma kapasitesi ve elastisite modülü önemli ölçüde azalır. Bu nedenle üstyapı malzemelerinin donmaya karşı hassasiyeti ile drenaj koşullarının, üstyapının ömrüne ve performansına olan etkilerinin üstyapı projelendirmesinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu rehberde yolun performansı üzerindeki çevresel etkiler ihmal edilerek, sadece trafik etkilerinden kaynaklanan performans kaybı dikkate alınmıştır. Çevresel etkiler de dikkate alınmak istendiğinde veya kademeli inşaat yapılması durumunda, zemin şişmesi ve donma kabarmasından kaynaklanan performans kaybının da hesaplanması gerekmektedir.

#### 10.4. DRENAJ

Yol üstyapısının drenaj kabiliyeti de yolun performansını etkileyen faktörlerden birisidir. Bu nedenle taban zeminlerinde yeraltı su seviyesi tesviye yüzeyinin en az 150 cm. altında tutulmalıdır. Bunu sağlamak için gerekli yeraltı drenajı uygulanmalıdır.

Ayrıca uygun bir drenaj sistemi ile yüzey suyunun yol gövdesini etkilemesi önlenmelidir. Yol gövdesinin, yapım sırasında ve yolun ömrü boyunca stabil kalabilmesi için, etkili ve kalıcı drenaj sistemleri ile sudan korunması sağlanmalıdır.

Esnek üstyapıların projelendirmesinde drenaj etkisi, üstyapı sayısı hesaplanırken 11.2 formülünde görüldüğü gibi, alttemel ve temel tabakalarına ait parametrelerin drenaj katsayısı ( $m_i$ ) denilen bir sabitle çarpılmasıyla dikkate alınır.

Drenaj katsayısı ( $m_i$ ), malzeme cinsine göre aşağıdaki tablodan seçilecektir.

**TABLO:10.1**  
**DRENAJ KATSAYILARI**

| Ana Zemin Tipi | Zeminin Grup Sembolü               | 0.075 mm 'den küçük malz. %si | Drenaj Katsayısı ( $m_i$ ) |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Çakıllar       | GW, GP, GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC | <12                           | 1.0                        |
|                | GM, GC                             | 12-20                         | 0.95                       |
|                |                                    | >20                           | 0.90                       |
| Kumlar         | SW, SP, SW-SM, SW-GC, SP-SM, SP-SC | <12                           | 0.95                       |
|                | SM, SC                             | 12-20                         | 0.90                       |
|                |                                    | >20                           | 0.85                       |
| Siltler        | ML, MH                             | >50                           | 0.75                       |
| Killer         | CL, CH                             | >50                           | 0.50                       |

Bu rehberde, ülkemizin hakim iklim şartları ve yollarda kullanılan malzeme özellikleri dikkate alındığında, alttemel ve temel tabakalarına ait drenaj katsayıları  $m_i=1.0$  alınarak üstyapı kalınlıkları belirlenmiştir. Ancak; özel dizayn gerektiren ve farklı nitelikte malzeme kullanılan kesimlerde, gerekçeleri detaylı bir şekilde ortaya konulmak ve İdare'nin onayı alınmak kaydıyla uygun drenaj katsayısı seçilebilecektir.

### **10.5. ALTTEMEL**

Alttemel tabakasının kalınlığı üstyapı projelendirmesi sonunda belirlenmeli ve Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 210' a uygun olarak hazırlanmış olan tesviye yüzeyi üzerine serilip sıkıştırılmalıdır.

Alttemel tabakası, ekonomik faktörler gözönünde tutularak bölgede bulunan ve şartname kriterlerine uygun kum-çakıl veya teras malzemesi ile teşkil edilmelidir. Uygun kum-çakıl malzeme yoksa kırmataş alttemel kullanılmalıdır. Kum-çakıl alttemel tabakasının minimum kalınlığı 20cm., kırmataş alttemel tabakasının minimum kalınlığı ise 15cm. olmalıdır.

Alttemel tabakası, taban zemininin taşıma gücünü aşabilecek yüksek gerilmeleri ve tabanda oluşacak don etkisinin üstyapıya yansımaları önleyecek niteliklere sahip bulunmalıdır. Bu nedenle, alttemel malzemesi Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 401' de verilen özelliklere uygun olmalıdır.

### **10.6. TEMEL**

Temel tabakası, üstyapının ana yapısal elemanlarından biri olup, alttemel ve tabana gelen basınç gerilmelerini kabul edilebilir seviyeye düşürmek ve belirli bir esneklik sağlayarak kaplamanın kırılmasını önlemek gibi işlevleri vardır.

Bu bakımdan temel tabakası belirli özellikleri olan iyi kaliteli malzemeden teşkil edilmelidir. Temel tabakası olarak, özellikleri Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 402' de belirlenmiş olan granüler temel, plent-miks temel ve çimento bağlayıcılı granüler temel tiplerinden birisi kullanılabilir. Sıcak karışım bitümlü temel ise bu tip temel tabakaları üzerinde kullanılan bir üst temel tipidir. Minimum granüler ve plent-miks temel kalınlığı 15 cm., çimento bağlayıcılı granüler temel kalınlığı 20 cm. ve sıcak karışım bitümlü temel kalınlığı ise 8 cm. olmalıdır.

### **10.7. KAPLAMA TABAKASI**

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

Kaplama tabakasının; trafiğin aşındırma etkisine karşı koymak, temel tabakalarına iletilen basınç ve kayma gerilmelerini azaltmak, yüzey sularının temel tabakasına geçmesini önlemek, düzgün ve emniyetli bir sürüş sağlamak, yolu kalıcı deformasyonlara karşı korumak gibi işlevleri vardır.

Kaplama tabakası genellikle bitüm ve agrega karışımı ile elde edilen malzemeden oluşur. Bu tür kaplamalar üstte aşınma ve binder olmak üzere iki tabaka halinde inşa edilirler. Ancak az trafikli yollarda kaplama olarak sathi kaplama kullanılabilir. Kaplama tabakası kalınlıkları trafiğe bağlı olarak belirlenmelidir.

#### **10.7.1. SATHİ KAPLAMALAR**

Sathi kaplama, yolun kabul edilen hizmet süresi boyunca geçecek, tek yönde toplam standart dingil (8.2 ton) sayısı  $2 \times 10^6$  dan az olan yollarda uygulanmalıdır. Toplam standart dingil sayısı 500.000 den küçük ise tek kat, bunun üstündeki trafik değerleri için çift kat sathi kaplama yapılmalıdır.

Toplam standart dingil sayısı  $2 \times 10^6$ - $3 \times 10^6$  arasında olan yollarda ise sıcak karışım kaplama gerekmekte ise de, ekonomik durumlar göz önüne alınarak ve proje ömrü kısa tutularak çift kat sathi kaplama yapılabilir.

#### **10.7.2. ASFALT BETONU KAPLAMALAR**

Proje süresi içinde geçecek toplam standart dingil sayısı  $3 \times 10^6$  dan fazla olan yollarda kaplama olarak asfalt betonu kullanılmalıdır.

Asfalt betonu belirli bir gradasyona sahip kaliteli agreganın uygun bitüm ile sıcak karışımından elde edilir. Asfalt betonu stabilitesini kohezyona ve içsel sürtünmeye bağlı olarak kazanır. Kohezyon ve içsel sürtünme ise agrega gradasyonuna, karışımın sıkışma yüzdesine ve bitüm miktarına bağlıdır.

Bu nedenle asfalt betonu karışımlar titiz bir şekilde hazırlanmalı ve Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 406, 407 ve 408 'e uygun olarak yapılmalıdır.

Üstyapı kaplama tabakası olarak kullanılacak asfalt betonu kaplama kalınlıkları üstyapı projelendirmesi ile bulunacaktır.

Asfalt betonu kaplamalarda bitümlü bağlayıcı olarak iklim ve trafik koşullarına bağlı olmak üzere B40-60, B50-70, B70-100 bitümler veya modifiye bitümler kullanılmalıdır. Kullanılacak bitümlü bağlayıcı Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 412' ye uygun olmalıdır.

Kademeli inşaatta, II. Kademe asfalt betonu kaplama olmalıdır.

### **11. ESNEK ÜSTYAPILARIN PROJELENDİRİLMESİ**

Bu kısımda kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşan esnek üstyapı tabaka kalınlıklarının hesaplanması anlatılmaktadır. Hesaplanacak üstyapı toplam kalınlıkları dona hassas zeminler için Kısım 14.1 'de açıklanan yöntem sonucu bulunacak değerlerden küçük olmamalıdır. Üstyapı projelendirmesi, kaplamanın tipine göre (sathi kaplama veya asfalt betonu kaplama) iki ayrı metotla yapılmalıdır.

### 11.1. SATHİ KAPLAMALI ÜSTYAPILARIN PROJELENDİRİLMESİ

Sathi kaplamalı üstyapılar, üstyapı tabanı esneklik modülü ve yolun proje süresi boyunca geçecek toplam standart dingil sayısına göre projelendirilmelidir. Sathi kaplamalı üstyapıların tabaka kalınlıkları, Kısım 10.7.1 'deki esaslar gözönüne alınarak hazırlanmış olan Şekil:11.1 'deki abak yardımı ile bulunur.

Abakta gözönüne alınan proje süresi 10 yıl olmakla beraber projeci yolun önemi ve özelliğini gözönüne alarak, proje süresini daha az veya fazla kabul edebilir.

#### Abağın Kullanımı:

Taban esneklik modülü değeri ve  $T_{8.2}$  sayısı tespit edilen yolun üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi şu şekilde olacaktır: Yatay ekseninde  $T_{8.2}$  sayısı bulunarak eksene dikey bir doğru çizilerek, bu doğrunun taban esneklik modülü (psi) değerini gösteren eğik çizgiyi kestiği nokta bulunacaktır. Bu noktadan yatay eksene çizilen paralel doğrunun düşey eksenini kestiği noktadan gerekli alttemel kalınlığı bulunacaktır. Abağın üst kısmından ise  $T_{8.2}$  'ye karşı gelen temel kalınlığı ve sathi kaplama tipi seçilecektir.

### 11.2. ASFALT BETONU KAPLAMALI ÜSTYAPILARIN PROJELENDİRİLMESİ

Burada verilen projelendirme metodunda üstyapı tabaka kalınlıkları, servis kabiliyeti-üstyapı davranışı ilişkisine dayanan AASHTO yol testleri sonucunda geliştirilen formülün çözümü ile bulunur. AASHTO yol deneyi sonucunda (11.1) nolu formül geliştirilmiştir.

$$\log(T_{8.2}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_R - 8.07 \quad (11.1)$$

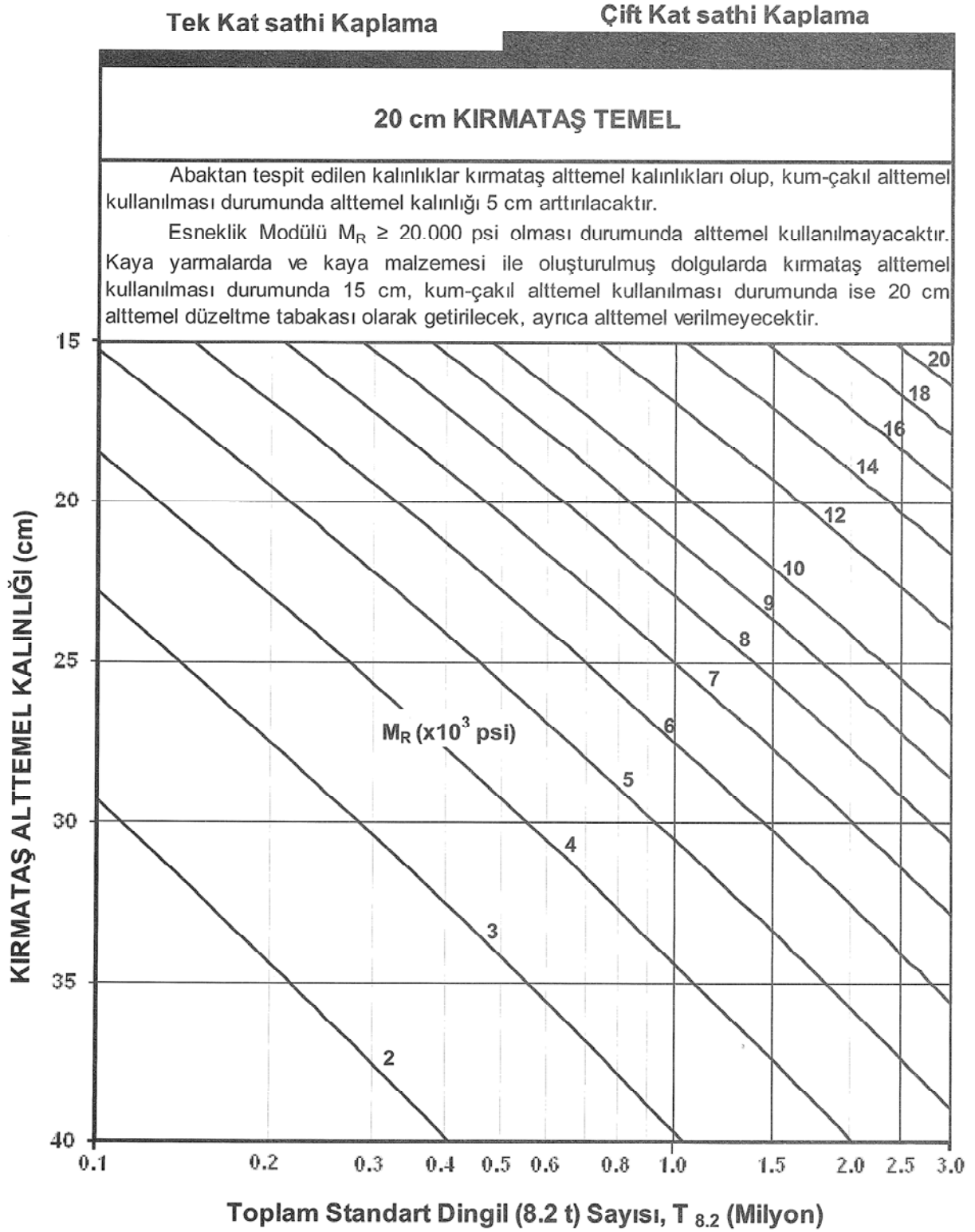
Bu formülde:

- $T_{8.2}$  :  $P_t$  'ye erişinceye kadar tekerrür edecek standart dingil (8.2 ton) sayısı
- $\Delta PSI$  : Servis kabiliyetindeki azalma miktarı ( $P_o - P_t$ )
- $Z_R$  : Standart normal sapma
- $S_o$  : Toplam standart sapma
- $SN$  : Üstyapı sayısı (inç)
- $M_R$  : Esneklik modülü (psi)

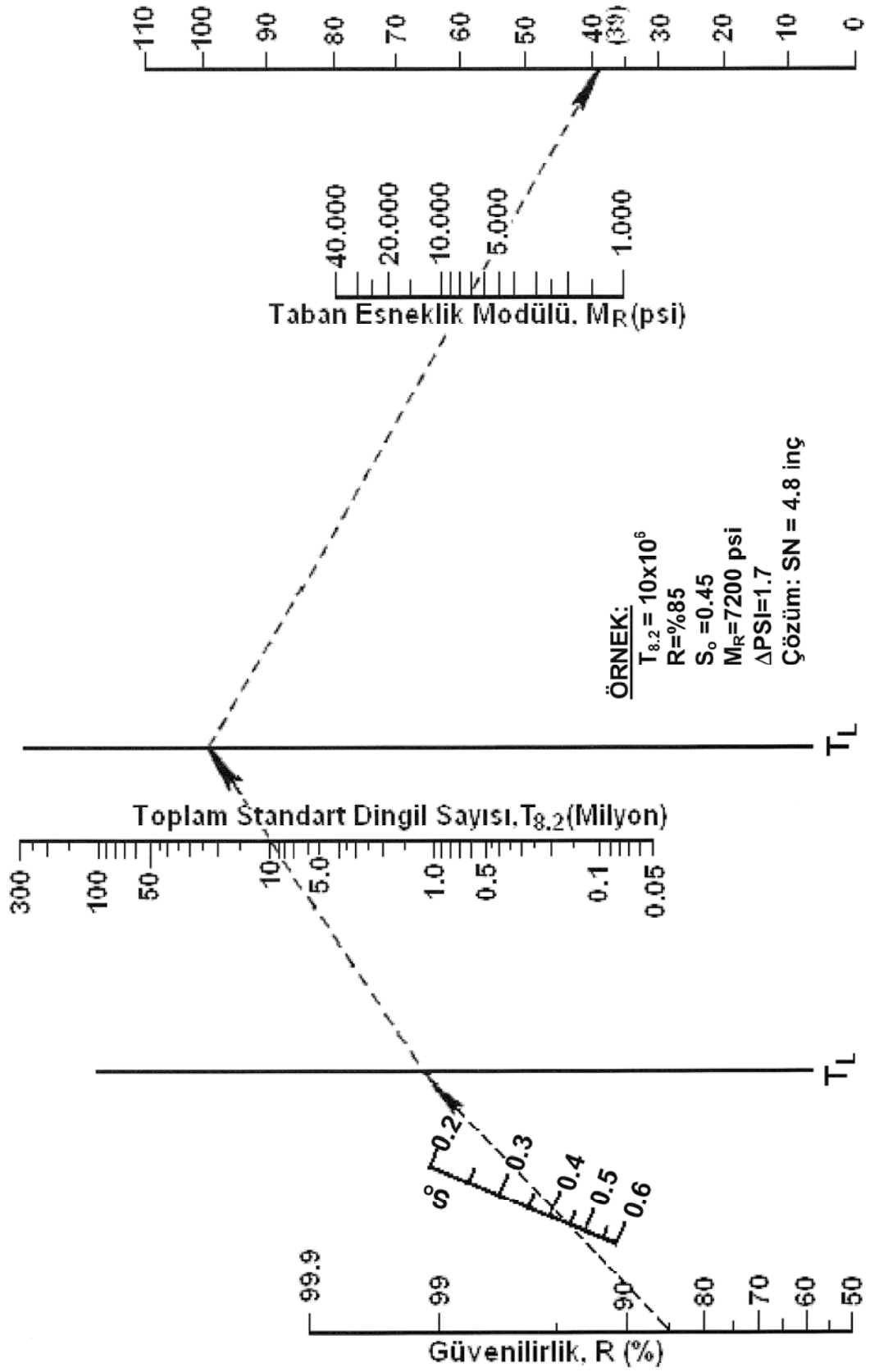
Üstyapı kalınlıklarının hesaplanması için bilinen  $T_{8.2}$ ,  $P_o$ ,  $P_t$ ,  $Z_R$ ,  $S_o$  değerleri yardımıyla 11.1 denklemini çözülerek veya Şekil:11.2 'deki abak yardımıyla  $SN$  değeri bulunur.



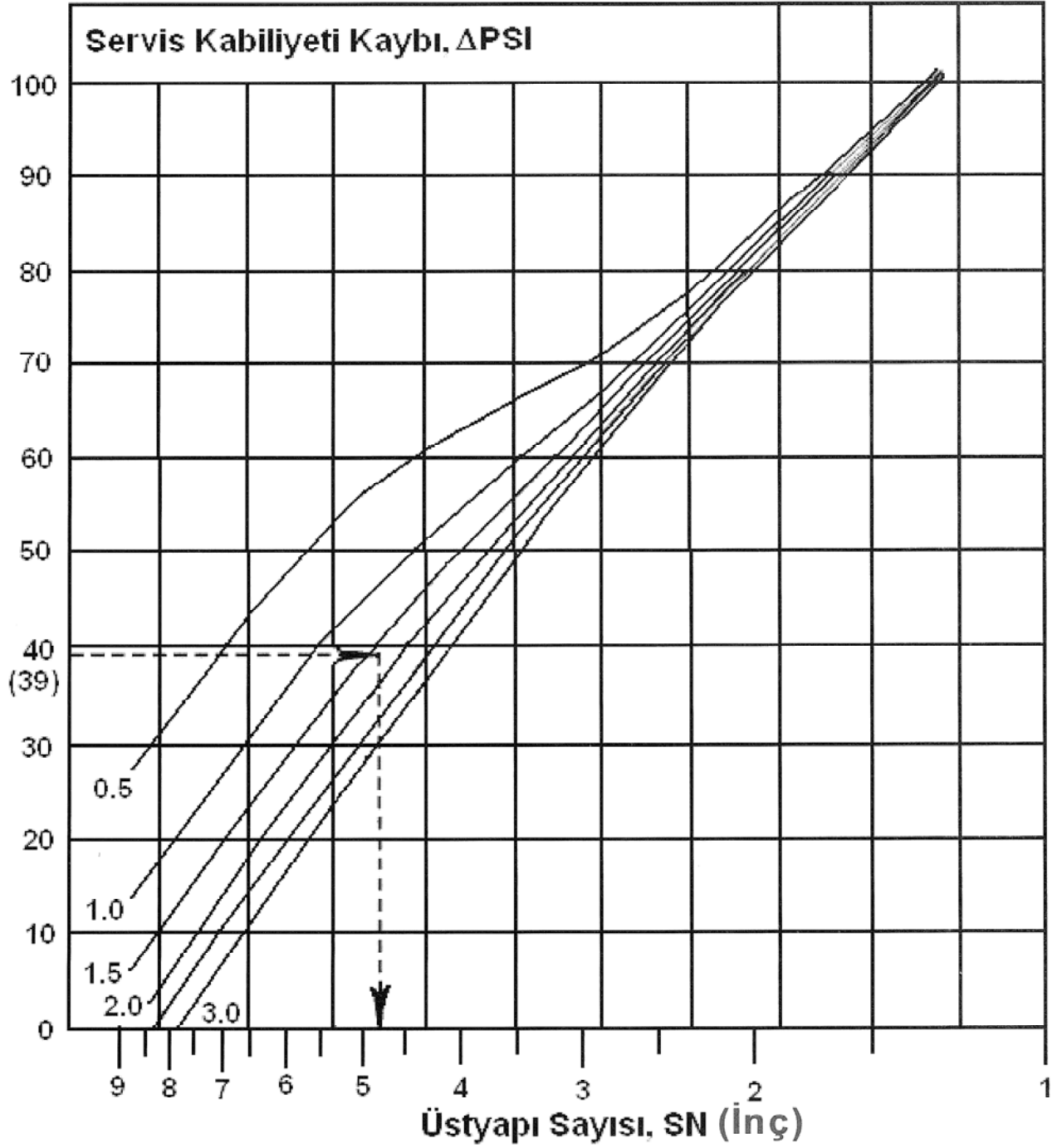
**ŞEKİL:11.1**  
**SATHİ KAPLAMALI ESNEK ÜSTYAPILAR İÇİN PROJELENDİRME ABAĞI**



SEKİL:11.2 ASFALT BETONU KAPLAMALI YOLLAR İÇİN PROJELENDİRME ABAĞI



ŞEKİL:11.2 DEVAMI



### 11.2.1. ÜSTYAPI SAYISI (SN) YARDIMI İLE TABAKA KALINLIKLARININ TAYİNİ

Hesaplanan SN, üstyapı tabakalarının izafi mukavemet sayıları ile bağlantılı olarak üstyapı kalınlıklarına dönüştürülecektir. Tabaka kalınlıklarının tayini için kullanılacak temel formül aşağıda verilmiştir.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 m_2 + a_3 \times D_3 m_3 \dots\dots\dots(11.2)$$

veya

$$SN = \sum_{i=1}^{i=k} a_i D_i + \sum_{j=1}^{j=n} a_j D_j m_j \dots\dots\dots(11.3)$$

Bu formülde:

- k = Bitümlü sıcak karışım tabakaları sayısı
- n = Granüler tabaka sayısı
- m<sub>j</sub> = Granüler tabakaların drenaj katsayısı
- a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub> = Sırasıyla kaplama, temel, alttemel tabakalarının izafi mukavemet katsayıları
- D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> = cm. cinsinden sırasıyla; kaplama, temel ve alttemel tabaka kalınlıkları

Hesaplanan SN 'e göre bu formülde belirtilen eşitlik sağlanacak şekilde her bir tabaka kalınlığı seçilir. Tabaka kalınlıklarının seçiminde minimum kalınlıklar ve ekonomiklik göz önünde bulundurulur.

### 11.2.2. TABAKA KATSAYILARI ( İzafi Mukavemet Katsayıları)

Üstyapı sayısını gerçek kalınlığa dönüştürmek için üstyapıda kullanılan her bir malzemeye bir katsayı verilmektedir. Bu tabaka katsayısı, SN ile kalınlık arasındaki ampirik bağıntıyı ifade eder ve üstyapının bir bileşimi olarak malzemenin taşıma gücünün bir ölçüsüdür.

Temel, alttemel ve taban zemini malzemelerinin izafi mukavemet katsayısı söz konusu üstyapı tabakasının esneklik modülüne bağlı olarak aşağıdaki formülden bulunabilir.

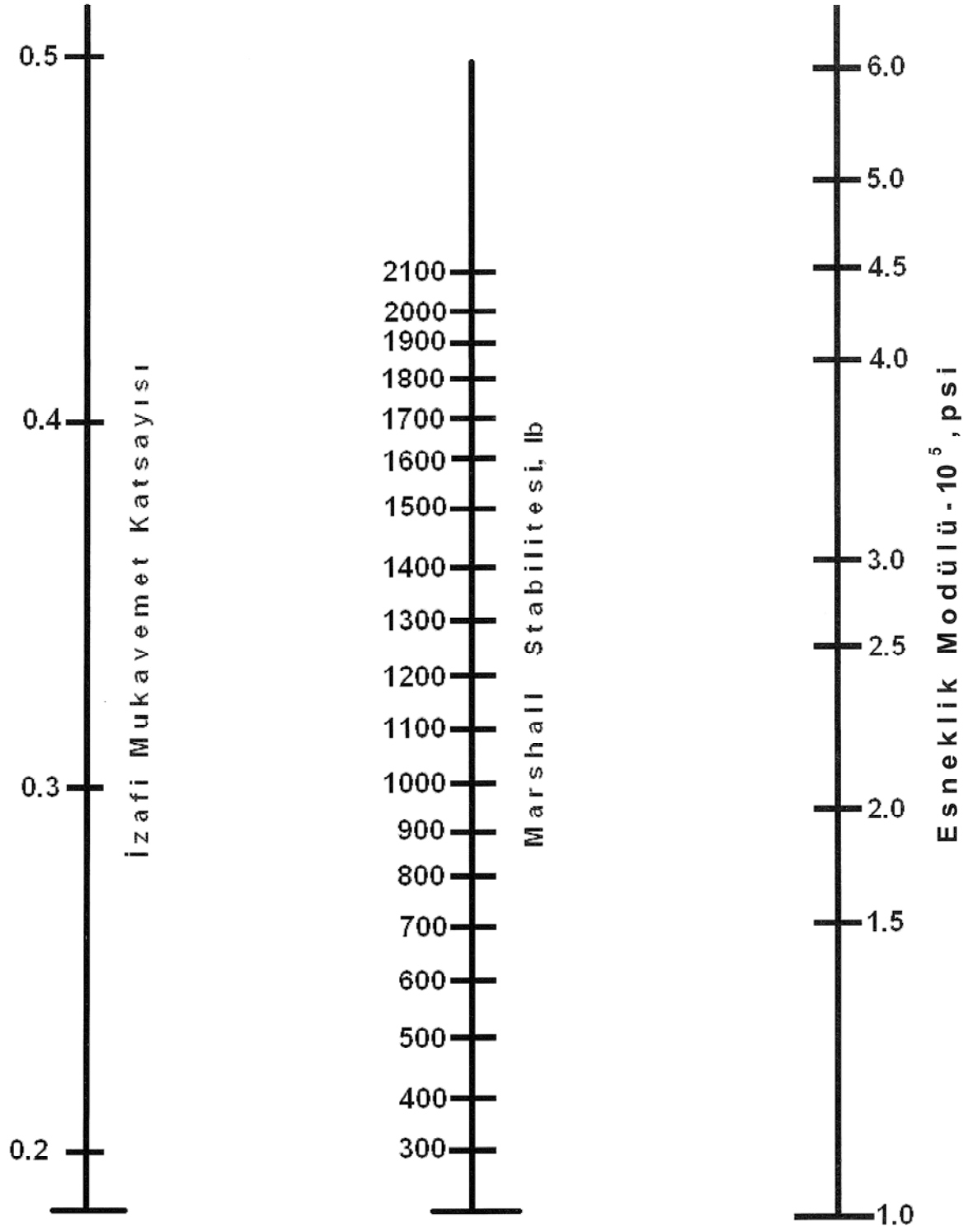
$$a_i = 0.0045 \cdot \sqrt[3]{M_{Ri}} \dots\dots\dots(11.4)$$

Burada:

- a<sub>i</sub> = Söz konusu granüler tabakanın izafi mukavemet sayısı.
- M<sub>Ri</sub> = Söz konusu granüler tabakanın esneklik modülü, psi

Bitümlü sıcak karışım tabakalarının izafi mukavemet katsayısı ise esneklik modülü veya Marshall stabilitesi değerine göre Şekil:11.3 'ten bulunabilir.

ŞEKİL:11.3 BSK TABAKALARI İÇİN TABAKA KATSAYISI SEÇİM ABAĞI



Bu rehberde, Karayolları Genel Müdürlüğünce inşa edilen yol üstyapı malzemeleri için kullanılacak olan tabaka katsayıları, Tablo:11.1 'de verilmiştir. Bu katsayılar malzemenin belirlenen fiziksel özellikleri için geçerlidir. Malzemelerin şartnamelerde ve rehberde belirtilen özellikleri değiştiğinde aynı katsayıların kullanılması uygun değildir.

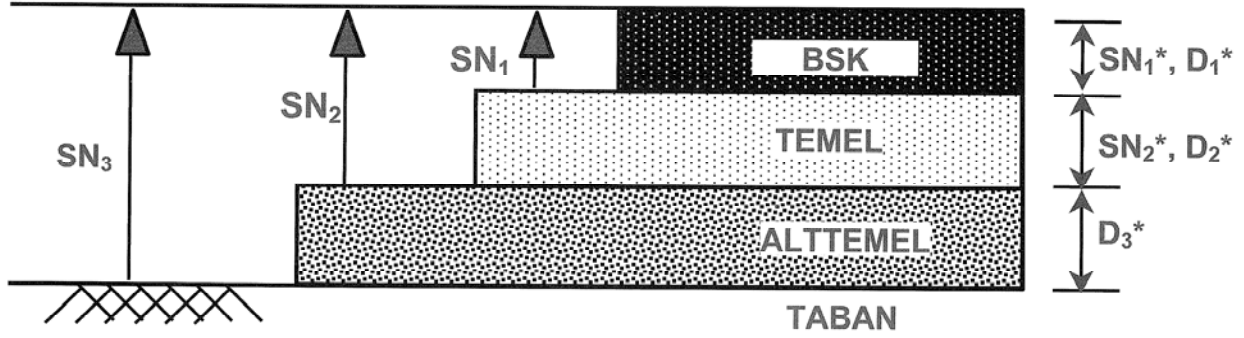
**TABLO:11.1**  
**TABAKA KATSAYILARI**

| <b>TABAKA TİPİ</b>                 | <b>M.S.<br/>(kg)</b> | <b>CBR<br/>%</b> | <b>SBD<br/>kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>a<br/>katsayısı</b> |
|------------------------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|------------------------|
| <b>a) BSK TABAKALARI</b>           |                      |                  |                                  |                        |
| Taş Mastik Asfalt (TMA)            |                      |                  |                                  | 0.44                   |
| Asfalt Betonu Aşınma               | ≥ 900                |                  |                                  | 0.42                   |
| Asfalt Betonu Binder               | ≥ 750                |                  |                                  | 0.40                   |
| Bitümlü Temel                      | ≥ 600                |                  |                                  | 0.36                   |
| <b>b) TEMEL TABAKASI</b>           |                      |                  |                                  |                        |
| Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel |                      |                  | 35-55                            | 0.23                   |
| Plent-Miks Temel                   |                      | ≥ 120            |                                  | 0.15                   |
| Granüler Temel                     |                      | ≥ 100            |                                  | 0.14                   |
| <b>c) ALTTEMEL TABAKASI</b>        |                      |                  |                                  |                        |
| Kırmataş Alttemel                  |                      | ≥ 50             |                                  | 0.13                   |
| Kum-Çakıl Alttemel                 |                      | ≥ 30             |                                  | 0.11                   |

### 11.2.3. TABAKA KALINLIKLARININ KONTROLÜ

Bulunan tabaka kalınlıkları aşağıda verilen hesaplama metoduyla kontrol edilecektir.

ŞEKİL:11.4. KALINLIKLARIN KONTROLÜ



SN<sub>1</sub>= Temel tabakası üzerine gereken SN  
SN<sub>2</sub>= Alttemel tabakası üzerine gereken SN  
SN<sub>3</sub>= Taban üzerine gereken SN

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

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

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

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

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

(\*) Üstyapıda kullanılan gerçek değer olup gerekli değere eşit veya büyük olmalıdır.

## 12- TRAFİK KATEGORİLERİNE GÖRE ÜSTYAPI KOMPOZİSYONLARI

Önceki kısımlarda belirtildiği üzere, proje süresi için hesaplanan standart dingil tekerrür sayısına ve diğer parametrelere göre bulunan üstyapı sayısını gerçek kalınlığa dönüştürmek için bulunan tabaka kalınlıklarının, granüler temel tabakası üzerine gereken SN, alttemel tabakası üzerine gereken SN ve taban üzerine gereken SN değerlerine göre kontrol edilmesi gerekmektedir.

Hesaplanan değişik trafik aralıklarına göre belirlenen üstyapı kalınlıkları, granüler temel tabakası üzerine gereken SN ve alttemel tabakası üzerine gereken SN itibariyle %95, %85 ve %70 güvenilirlik değerleri için ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo:12.1, Tablo:12.2 ve Tablo:12.3 'de verilmiştir.

Tablo:12.1, Tablo:12.2 ve Tablo:12.3 'den de görüleceği üzere üstyapı tabakaları bitümlü sıcak karışım ve plent-miks temel tabakalarını içermektedir. Alttemel tabakası kalınlıkları ise değişik esneklik modülü değerlerine göre bu tablolarda Kum-çakıl alttemel ve Kırmataş alttemel alternatifleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Kısım 11 'e göre yapılan hesaplamalara göre alttemel kullanımının gerekmemesi halinde, eğer üstyapı tabanı (taban zemini veya varsa seçme malzeme) 75 mm 'den daha büyük çapta malzeme içeriyorsa veya Tablo:14.1 'de verilen dona hassas olmayan malzeme kriterlerini sağlamıyorsa, üstyapı tabanı üzerine minimum alttemel kalınlığı olan 20 cm. kum-çakıl alttemel veya 15 cm. kırmataş alttemel getirilecektir.

CBR%' si < 8 olması durumunda, üstyapı tabanı Tablo:16.2 de verilen 'Koruyucu Tabaka Kalınlıkları' na göre seçme malzemedan teşkil edilmelidir.

Taşıma gücü düşük taban zeminleri üzerine Tablo:16.2 'de minimum kalınlıkları verilen seçme malzeme getirildiğinde, alttemel kalınlığının hesaplanmasında seçme malzemenin özellikleri esas alınacaktır. Seçme malzemenin esneklik modülü alttemel kullanımını gerektirmiyorsa, sathi kaplamalı üstyapılarda zayıf zeminin taşıma gücü esas alınarak, Şekil:11.1 'deki minimum kum-çakıl alttemel kalınlığı seçme malzeme kalınlığı olarak belirlenecektir. BSK kaplamalı yollarda ise seçme malzemenin tabaka katsayısı 11.4 formülünden, drenaj katsayısı ise Tablo:10.1 'e göre belirlendikten sonra zayıf zeminin esneklik modülü esas alınarak Kısım 11.2 'ye göre seçme malzeme kalınlığı tespit edilecektir.

Projelendirme safhasında belirlenen taban zemini esneklik modülü ile uygulama sırasında tespit edilen taban zemini esneklik modülü değerleri uyumsuzluk gösterebilmekte; bunun sonucu olarak yer yer alttemel kalınlıkları gereğinden ince veya kalın serilebilmektedir. Bu nedenle; alttemel kalınlıkları ve zayıf zemin koşulları, taban tesviye yüzeyinin hazırlanmasından sonra, **Nihai Taban Etüdü** yapılarak kontrol edilecek, gerekiyorsa nihai koşullara uygun olarak yeniden projelendirilerek 'Nihai Üstyapı Projelendirme Raporu' nda verilecektir.



**TABLO 12.1 R=%70 GÜVENİLİRLİK İÇİN ASFALT BETONU KAPLAMALI YOLLARDA UYGULANACAK ÜSTYAPI KALINLIKLARI**

| ÜSTYAPI TABAKALARI      |  | TRAFİK KATEGORİLERİ (MİLYON)                          |       |       |       |       |        |         |         |         |       |
|-------------------------|--|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|-------|
|                         |  | 3-10                                                  | 10-30 | 30-45 | 45-60 | 60-80 | 80-110 | 110-145 | 145-185 | 185-250 | >250  |
| AŞINMA**                |  | 5                                                     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5      | 5       | 5       | 5       | 5     |
| BİNDER                  |  | 10                                                    | 6     | 7     | 7     | 7     | 8      | 8       | 8       | 10      | 10    |
| BİTÜMLÜ TEMEL           |  | -                                                     | 8     | 8     | 9     | 10    | 10     | 11      | 12      | 11      | 12    |
| PMT VEYA KIRMATAŞ TEMEL |  | 15                                                    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20     | 20      | 20      | 20      | 20    |
| TOPLAM MEVCUT SN        |  | 8.35                                                  | 10.38 | 10.78 | 11.14 | 11.50 | 11.90  | 12.26   | 12.62   | 13.06   | 13.42 |
| MR (psi)                |  | ALTTEMEL KALINLIKLARI (KIRMATAŞ / KUM-ÇAKIL ALTTEMEL) |       |       |       |       |        |         |         |         |       |
| 5800                    |  | 20/25                                                 | 15/20 | 25/30 | 25/30 | 25/30 | 30/35  | 30/35   | 30/35   | 35/40   | 35/40 |
| 6750                    |  | 20/20                                                 | 15/20 | 20/20 | 20/25 | 20/25 | 25/30  | 25/30   | 25/30   | 25/30   | 30/35 |
| 7500                    |  | 15/20                                                 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 20/20 | 20/25  | 20/25   | 20/25   | 25/30   | 25/30 |
| 8300                    |  | 15/20                                                 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20  | 20/20   | 20/25   | 20/25   | 20/25 |
| 8900                    |  | 15/20                                                 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 20/20   | 20/25 |
| 9500                    |  | 15/20                                                 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 20/20   | 20/20 |
| 10000                   |  | 15/20                                                 | * /20 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20 |
| 10650                   |  | 15/20                                                 | * /20 | 15/20 | 15/20 | 15/20 | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20 |
| 11300                   |  | 15/20                                                 | * /20 | * /20 | * /20 | 15/20 | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20 |
| 12000                   |  | * /20                                                 | * /20 | * /20 | * /20 | * /20 | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20 |
| 12600                   |  | * /20                                                 | ***   | * /20 | * /20 | * /20 | * /20  | * /20   | 15/20   | 15/20   | 15/20 |
| 13300-15300             |  | ***                                                   | ***   | ***   | ***   | * /20 | * /20  | * /20   | 15/20   | 15/20   | 15/20 |
| 16000-16350             |  | ***                                                   | ***   | ***   | ***   | ***   | * /20  | * /20   | 15/20   | 15/20   | 15/20 |
| 16700-17100             |  | ***                                                   | ***   | ***   | ***   | ***   | * /20  | * /20   | * /20   | * /20   | * /20 |
| ≥17500                  |  | ***                                                   | ***   | ***   | ***   | ***   | ***    | ***     | * /20   | * /20   | * /20 |
|                         |  | GEREKMEZ                                              |       |       |       |       |        |         |         |         |       |

\* Üstyapı tabanının Tablo:14.1 'e uygun olması ve 75 mm 'den büyük çapta malzeme içermemesi kaydıyla PMT kalınlığı 5 cm arttırılacak, alttemel verilmeyecektir.  
 \*\* Taş Mastik Asfalt (TMA) kullanılması durumunda aşınma tabakasının kalınlığı 4 cm olacak, bitümlü temel kalınlığı 1 cm arttırılacaktır.  
 \*\*\* Üstyapı tabanının Tablo:14.1 'e uygun olması ve 75 mm 'den büyük çapta malzeme içermemesi kaydıyla alttemel verilmeyecektir.

**TABLO 12.2 R=%85 GÜVENİLİRLİK İÇİN ASFALT BETONU KAPLAMALI YOLLARDA UYGULANACAK ÜSTYAPI KALINLIKLARI**

| ÜSTYAPI<br>TABAKALARI      | TRAFİK KATEGORİLERİ (MİLYON)                          |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
|                            | 3-15                                                  | 15-20  | 20-25  | 25-35  | 35-45  | 45-60  | 60-75  | 75-100 | 100-125 | 125-150 | 150-200 | 200-250 | > 250  |
| AŞINMA**                   | 5                                                     | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5       | 5       | 5       | 5       | 5      |
| BİNDER                     | 6                                                     | 7      | 7      | 7      | 8      | 8      | 8      | 10     | 10      | 10      | 10      | 11      | 12     |
| BİTÜMLÜ TEMEL              | 8                                                     | 8      | 9      | 10     | 10     | 11     | 12     | 11     | 12      | 13      | 14      | 14      | 14     |
| PMT VEYA<br>KIRMATAŞ TEMEL | 15                                                    | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20      | 20      | 20      | 20      | 20     |
| TOPLAM MEVCUT SN           | 9.63                                                  | 10.78  | 11.14  | 11.50  | 11.90  | 12.26  | 12.62  | 13.06  | 13.42   | 13.78   | 14.14   | 14.54   | 14.94  |
| MR (psi)                   | ALTTEMEL KALINLIKLARI (KIRMATAŞ / KUM-ÇAKIL ALTTEMEL) |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |
| 5800                       | 30/35                                                 | 35/40  | 30/35  | 30/35  | 30/35  | 35/40  | 35/40  | 35/40  | 35/45   | 40/45   | 40/45   | 40/50   | 40/50  |
| 6750                       | 25/30                                                 | 30/35  | 25/30  | 25/30  | 25/30  | 30/35  | 30/35  | 30/35  | 30/35   | 30/40   | 35/40   | 35/40   | 35/40  |
| 7500                       | 20/25                                                 | 25/30  | 20/25  | 20/25  | 20/25  | 25/30  | 25/30  | 25/30  | 25/30   | 30/35   | 30/35   | 30/35   | 30/35  |
| 8300                       | 20/25                                                 | 20/25  | 15/20  | 20/20  | 20/25  | 20/25  | 20/25  | 20/25  | 25/30   | 25/30   | 25/30   | 25/30   | 25/30  |
| 8900                       | 15/20                                                 | 20/25  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 20/20  | 20/20  | 20/25  | 20/25   | 20/25   | 20/25   | 25/30   | 25/30  |
| 9500                       | 15/20                                                 | 20/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 20/20  | 20/20   | 20/20   | 20/25   | 20/25   | 20/25  |
| 10000                      | 15/20                                                 | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 20/20   | 20/20   | 20/20   | 20/20  |
| 10650-14000                | 15/20                                                 | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |
| 14630                      | * / 20                                                | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |
| 15300                      | * / 20                                                | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |
| 16000                      | * / 20                                                | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |
| 16350-18650                | * / 20                                                | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20 |
| 19000                      | ***                                                   | * / 20 | ***    | ***    | ***    | ***    | ***    | * / 20 | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20 |
| 19400                      | ***                                                   | ***    | ***    | ***    | ***    | ***    | ***    | * / 20 | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20 |
| ≥20000                     | ***                                                   | ***    | ***    | ***    | ***    | ***    | ***    | ***    | ***     | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20 |
| GEREKMEZ                   |                                                       |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |

- \* Üstyapı tabanının Tablo:14.1'e uygun olması ve 75 mm 'den büyük çapta malzeme içermemesi kaydıyla PMT kalınlığı 5 cm artırılacak, alttemel verilmeyecektir.  
 \*\* Taş Mastik Asfalt (TMA) kullanılması durumunda aşınma tabakasının kalınlığı 4 cm olacak, bitümlü temel kalınlığı 1 cm artırılacaktır.  
 \*\*\* Üstyapı tabanının Tablo:14.1'e uygun olması ve 75 mm 'den büyük çapta malzeme içermemesi kaydıyla alttemel verilmeyecektir.

**TABLO 12.3 R=%95 GÜVENİLİRLİK İÇİN ASFALT BETONU KAPLAMALI YOLLARDA UYGULANACAK ÜSTYAPI KALINLIKLARI**

| ÜSTYAPI TABAKALARI      | TRAFİK KATEGORİLERİ (MİLYON) |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |  |  |
|-------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--|--|
|                         | 3-10                         | 10-15  | 15-25  | 25-30  | 30-40  | 40-50  | 50-65  | 65-80  | 80-100 | 100-130 | 130-160 | 160-200 | 200-250 | > 250  |  |  |
| AŞINMA**                | 5                            | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5      | 5       | 5       | 5       | 5       | 5      |  |  |
| BİNDER                  | 6                            | 7      | 8      | 8      | 8      | 10     | 10     | 10     | 10     | 11      | 12      | 12      | 13      | 13     |  |  |
| BITÜMLÜ TEMEL           | 8                            | 10     | 10     | 11     | 12     | 11     | 12     | 13     | 14     | 14      | 14      | 15      | 15      | 16     |  |  |
| PMT VEYA KIRMATAŞ TEMEL | 20                           | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20      | 20      | 20      | 20      | 20     |  |  |
| TOPLAM MEVCUT SN        | 10.38                        | 11.50  | 11.90  | 12.26  | 12.62  | 13.06  | 13.42  | 13.78  | 14.14  | 14.54   | 14.94   | 15.30   | 15.70   | 16.06  |  |  |
| MR (psi)                |                              |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |  |  |
| 5800                    | 30/35                        | 30/35  | 30/35  | 35/40  | 35/40  | 35/40  | 35/40  | 40/45  | 40/45  | 40/50   | 40/50   | 40/50   | 45/50   | 45/50  |  |  |
| 6750                    | 25/30                        | 25/30  | 25/30  | 30/35  | 30/35  | 30/35  | 30/35  | 30/35  | 35/40  | 35/40   | 35/40   | 35/40   | 35/45   | 35/45  |  |  |
| 7500                    | 20/25                        | 20/25  | 20/25  | 25/30  | 25/30  | 25/30  | 25/30  | 25/30  | 30/35  | 30/35   | 30/35   | 30/35   | 30/40   | 35/40  |  |  |
| 8300                    | 15/20                        | 15/20  | 20/25  | 20/25  | 20/25  | 20/25  | 20/25  | 25/30  | 25/30  | 25/30   | 25/30   | 25/30   | 30/35   | 30/40  |  |  |
| 8900                    | 15/20                        | 15/20  | 15/20  | 20/20  | 20/20  | 20/20  | 20/20  | 20/25  | 20/25  | 25/30   | 25/30   | 25/30   | 30/35   | 30/40  |  |  |
| 9500                    | 15/20                        | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 20/20  | 20/20  | 20/25  | 20/25   | 20/25   | 20/25   | 25/30   | 25/30  |  |  |
| 10000                   | 15/20                        | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 20/25   | 20/25   | 20/25   | 20/25   | 25/30  |  |  |
| 10650                   | 15/20                        | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 11300                   | 15/20                        | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 12000                   | 15/20                        | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 12600                   | 15/20                        | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 13300                   | * / 20                       | * / 20 | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 14000                   | * / 20                       | * / 20 | * / 20 | * / 20 | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 14630                   | * / 20                       | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | 15/20  | 15/20  | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 15300                   | * / 20                       | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | 15/20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 16000                   | * / 20                       | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 16350                   | * / 20                       | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20  | 15/20   | 15/20   | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 16700                   | * / 20                       | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20  | * / 20  | * / 20  | 15/20   | 15/20  |  |  |
| 17100-19400             | * / 20                       | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20 | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20  | * / 20 |  |  |
| >20000                  |                              |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |         |        |  |  |

GEREKMEZ

\* Üstyapı tabanının Tablo:14.1 'e uygun olması ve 75 mm 'den büyük çapta malzeme içermemesi kaydıyla PMT kalınlığı 5 cm artırılacak, alttemel verilmeyecektir.  
 \*\* Taş Mastik Asfalt (TMA) kullanılması durumunda aşınma tabakasının kalınlığı 4 cm olacak, bitümlü temel kalınlığı 1 cm artırılacaktır.

### 13- PROJE ESNEKLİK MODÜLÜ DEĞERİNİN SEÇİMİ

Üstyapı tabanının üstyapı projelendirmesine esas olan taşıma gücü, Esneklik Modülü ( $M_R$ ) değeri ile tanımlanır. Esneklik modülü ya deneyle (AASHTO-T307) yada 10.2 formülü ile belirlenir. Eğer mevsimsel esneklik modülü değişimleri biliniyor ise Kısım 15 'e göre efektif esneklik modülü bulunur. Taban zeminlerinin esneklik modülü bulunurken tesviye yüzeyinin altında, kalınlığı genellikle 25-85 cm. arasında değişen üstyapı tabanının teşkil edileceği malzemeler dikkate alınmalı, bu malzemelerin hangi kilometreler arasına çekileceği projede açıkça belirtilmelidir.

Yol güzergahı boyunca taban zemini sistematik bir değişiklik gösteriyorsa, her değişik taban zemininin sınırları belirlenmeli ve bu kesimleri temsil eden numunelerin esneklik modülleri belirlenmelidir. Taban zeminlerinin sistematik bir değişme göstermediği veya malzeme özelliklerinin sık sık değiştiği durumlarda, üstyapı tabanının oluşturulmasında kullanılan her değişik malzemeden numuneler alınarak bulunan  $M_R$  değerlerinden aşağıda belirtilen yöntemle proje  $M_R$  değeri hesaplanacaktır.

#### Proje $M_R$ değerinin hesaplanması:

- Yol güzergahı üzerindeki her değişik taban kesimi için yeterli ve temsili sayıda esneklik modülü deneyi yapılacaktır.
- Bilinen toplam eşdeğer standart dingil tekerrür sayısı (  $T_{8.2}$  ) yardımı ile taban zemini proje emniyet yüzdesi Tablo:13.1' den seçilecektir.
- Ölçülen  $M_R$  değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanacak ve her birinden büyük veya eşit  $M_R$  sayısı yüzdesi bulunacaktır.
- Bulunan değerler ( $M_R$  değerleri ve büyük eşit % 'leri ) grafik kağıdına işaretlenerek bu noktalardan geçen eğri çizilecektir (Şekil:13.1).
- Bu eğri üzerinden Tablo:13.1 'den seçilecek uygun proje emniyet % si yardımıyla proje  $M_R$  değeri seçilecektir.

#### ÖRNEK

$M_R$ , ksi= 3, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 6, 6, 7, 8, 10  
 $T_{8.2} = 10^5, 10^7$

| $M_R$ | Eşit ve Büyük Değer sayısı | Eşit ve Büyük Değer % 'si |
|-------|----------------------------|---------------------------|
| 10    | 1                          | 1/12 = % 8                |
| 8     | 2                          | 2/12 = % 17               |
| 7     | 3                          | 3/12 = % 25               |
| 6     | 5                          | 5/12 = % 42               |
| 5     | 8                          | 8/12 = % 67               |
| 4     | 11                         | 11/12 = % 92              |
| 3     | 12                         | 12/12 = % 100             |

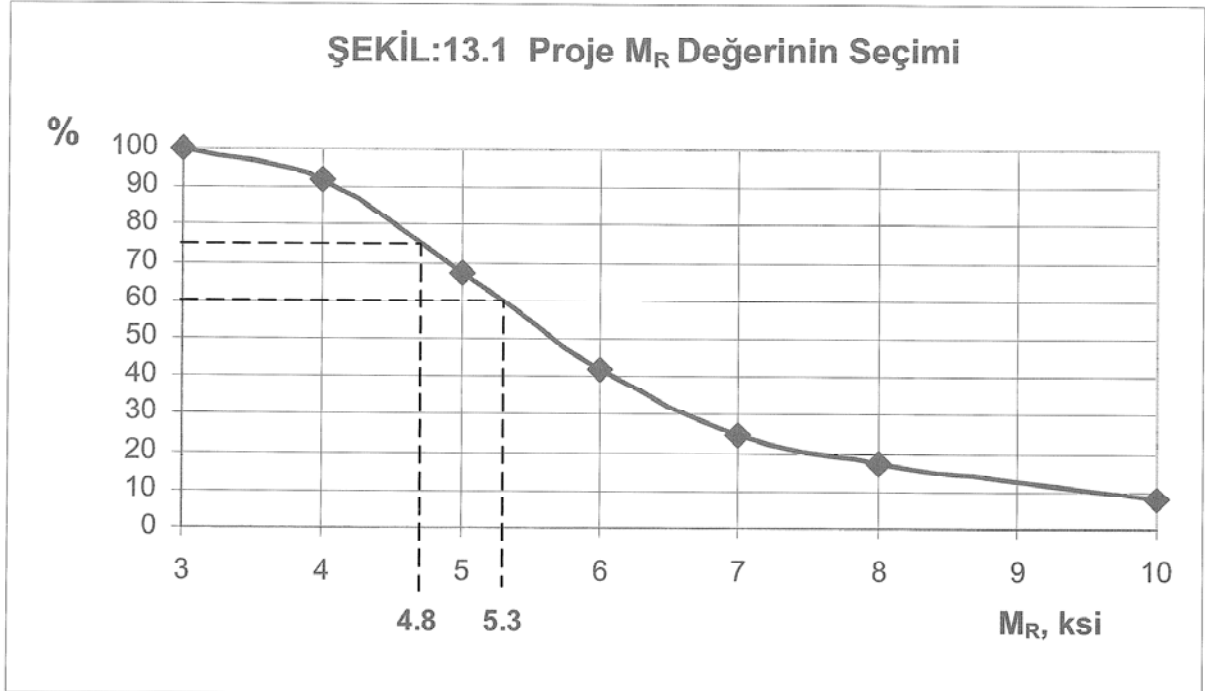
$T_{8.2}=10^5$  için % 60

$T_{8.2}=10^7$  için % 75 emniyet gereklidir (Tablo:13.1 'den).

**TABLO: 13.1**

**Toplam Standart Dingil Yüğüne (8.2 ton) Bağlı olarak Taban Zemini  
Proje Emniyet Yüzdesinin Seçimi**

| Toplam Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı<br>$T_{8.2}$ | Taban Zemini<br>Proje Emniyet Yüzdesi |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|
| $T_{8.2} < 10^6$                               | 60                                    |
| $T_{8.2} > 10^6$                               | 75                                    |



Sonuç olarak, Şekil:13.1 'den bulunan proje  $M_R$  değeri:

$T_{8.2}=10^5$  için;

Proje esneklik modülü  $M_R=5.3$  ksi = 5300 psi

$T_{8.2}=10^7$  için;

Proje esneklik modülü  $M_R=4.8$  ksi = 4800 psi olarak bulunur.

## 14- ÇEVRESEL FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yol üstyapı tabanının şişme potansiyeli yüksek ve/veya dona hassas zeminlerden oluşması durumunda, üstyapı projelendirmesinde bu faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu, başlıca iki şekilde yapılabilir:

- Şişmeye ve don etkisine karşı gerekli önlemler alınır (Drenaj, dona karşı hassas olmayan seçme malzeme getirilmesi, zemin stabilizasyonu vb.)
- Don etkisi ve zemin şişmesinden kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı hesaplanarak üstyapı projelendirmesi yapılır.

### 14.1. DONA HASSAS TABAN ZEMİNLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Hava sıcaklığının don olayına neden olacak kadar düşük oluşu, taban veya yüzey suyunun varlığı ve dona hassas zemin don etkisini oluşturan üç önemli faktördür. Bu üç olumsuz faktörün aynı anda var olması durumunda alınacak önlemleri belirlemek için, bu faktörler ile toplam üstyapı kalınlığı ( $d_t$ ), don derinliği ( $X_D$ ) ve yarma-dolgu özelliklerinin dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekir.

#### 14.1.1. TABAN ZEMİNİNİN DONA KARŞI HASSASİYETİ

Genel olarak, donma olayı için uygun olan şartlarda (düşük hava sıcaklığı, yüzey ve/veya yeraltı suyunun varlığı) içinde buz parçacıkları oluşmayan, don kabarması olmayan ve çözülme mevsimlerinde, taşıma gücünde önemli oranda azalma olmayan malzemelere dona hassas değildir denir. Bu şartlara uymayan malzemeler ise dona karşı hassastır. Dona hassas malzemelerin içerisinde, uygun don şartlarında buz parçacıkları oluşur ve büyür. Sonuç olarak, don çözülme mevsimlerinde aşırı donma kabarması meydana gelmesi sonucunda taşıma gücünde azalma gözlenir.

Üstyapı projesi hazırlanırken taban zemininin dona karşı hassas olup olmadığı, hassasiyetin derecesi çeşitli sınıflandırma değerleriyle belirlenir. Genel olarak, bu değerlerin dikkate aldığı malzeme özellikleri gradasyon ve Atterberg limitleridir. Dona hassas olmayan malzeme özellikleri Tablo:14.1 'de verilmiş olup, taban zeminlerinin dona karşı hassasiyetleri Tablo:14.2 'deki sınıflandırmayla belirlenecektir.

**TABLO:14.1 DONA HASSAS OLMAYAN MALZEME ÖZELLİKLERİ**

| DENEY                            | ŞARTNAME LİMİTİ | DENEY STANDARDI          |
|----------------------------------|-----------------|--------------------------|
| 0.075 mm elekten geçen, %        | $\leq 12$       | TS 1900<br>AASHTO T – 11 |
| Likit Limit (LL), %              | $\leq 25$       | TS 1900<br>AASHTO T – 89 |
| Plastisite İndeksi (PI), %       | $\leq 6$        | TS 1900<br>AASHTO T – 90 |
| Kaba Agregada Su Absorpsiyonu, % | $\leq 3$        | TS 3526<br>ASTM C – 127  |

**TABLO:14.2 DONA HASSAS ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI**

| DON HASSASİYET SINIFI         | ANA ZEMİN TİPİ                                          | 0.075 mm 'den küçük malz. %si | ZEMİNİN GRUP SEMBOLÜ                                        |  |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|--|
| F1 – Dona karşı çok az hassas | Çakıllar, kum-çakıl karışımlar                          | 3-12                          | GW, GP<br>GW-GM, GW-GC<br>GP-GM, GP-GC                      |  |
| F2 – Dona karşı az hassas     | a) Çakıllar, kum-çakıl karışımlar                       | 12-20                         | a) GM, GC<br>GC-GM                                          |  |
|                               | b) Kumlar                                               | 3-15                          | b) SW,SP,SM,SC<br>SW-SM<br>SW-SC<br>SP-SM<br>SP-SC<br>SC-SM |  |
| F3 – Dona karşı hassas        | a) Çakıllar, kum-çakıl karışımlar                       | >20                           | a) GM, GC<br>GM-GC                                          |  |
|                               | b) Kumlar (çok ince ve siltli kumlar hariç)             | >15                           | b) SM, SC<br>SM-SC                                          |  |
|                               | c) Killer $PI > 12$                                     | -                             | c) CL, CH                                                   |  |
| F4 – Dona karşı çok hassas    | a) Siltler                                              | -                             | a) ML, MH                                                   |  |
|                               | b) Çok ince siltli kumlar                               | >15                           | b) SM                                                       |  |
|                               | c) Killer $PI < 12$                                     | -                             | c) CL,CL-ML                                                 |  |
|                               | d) Tabakalı killer ve tabakalaşmış ince taneli zeminler | -                             | d) ML,MH,CL,CH                                              |  |

Donma ve çözünme sırasında taşıma gücü kaybı artışı

#### 14.1.2. ÜSTYAPININ TOPLAM KALINLIĞI, (d<sub>t</sub>)

Projelendirme sonunda hesaplanan alttemel, temel ve kaplamanın toplam kalınlığıdır.

#### 14.1.3. PROJE DONMA İNDEKSİ, (D<sub>i</sub>):

Projelendirmede kullanılacak olan donma indeksi derece-gün olarak ifade edilir. Don olayı sıcaklıkla yakından ilgilidir ve kolaylıkla ölçülebildiği için de hava sıcaklığıyla olan ilişkisi tespit edilebilir.

Toprağın donması düşük hava sıcaklığının (0°C 'nin altı) süresiyle yakından ilgilidir. Süre ve sıcaklık derece-gün olarak belirlenir. 1 derece-gün, ortalama hava sıcaklığı don derecesinin 1 derece altında olan, 1 günü ifade eder. Yani 10 derece-gün, -1°C 'deki 10 günü veya -10°C 'deki bir günü veya benzeri gün sayısını temsil eder. Donma indeksi aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir.

$$D_i = \sum_{i=1}^{i=n} k_i t_i \dots\dots\dots(14.1)$$

$t_i$  = i günündeki ortalama günlük hava sıcaklığı (°C,  $t_i < 0^\circ\text{C}$ ),  
 $k_i$  =  $t_i$  ortalama günlük hava sıcaklığının bir yıldaki toplam sayısı,  
 $n$  = 0°C 'nin altındaki ortalama hava sıcaklıklarının sayısı,

Proje donma indeksi bulunurken son 20 yılın en soğuk kış mevsiminin donma indeksi veya son 30 yılın kış mevsimlerinin ortalaması olan donma indeksi değeri hesaplanır.

Donma indeksinin tespit edilebilmesi için, Ülkemizde yer alan toplam 320 adet meteorolojik istasyona ait son 30 yıllık sıcaklık verileri analiz edilerek Şekil:14.1 'de verilen 'Türkiye Don İndeksi ve Don Penetrasyon Derinliği Haritası' hazırlanmıştır.

Şekil:14.1'den de görüldüğü gibi, Türkiye donma indeksi bakımından her biri farklı renkte gösterilen altı bölgeye ayrılmıştır. Bu kapsamda proje donma indeksi, ya üstyapı projesi yapılan yol kesimine en yakın meteorolojik istasyona ait sıcaklık verilerinden doğrudan hesaplanarak ya da Şekil:14.1 'den en uygun donma indeksi seçilerek belirlenecektir.

#### ÖRNEK: Donma İndeksinin Hesaplanması

| N | k <sub>i</sub> | t <sub>i</sub> |
|---|----------------|----------------|
| 1 | 20 gün         | -2 °C          |
| 2 | 15 gün         | -4 °C          |
| 3 | 12 gün         | -6 °C          |
| 4 | 10 gün         | -8 °C          |
| 5 | 5 gün          | -10 °C         |
| 6 | 3 gün          | -15 °C         |



Son 20 yılın en soğuk kış mevsimine ait yukarıdaki tabloda verilen değerler meteorolojik kaynaklardan alınmıştır. Bu sene içinde  $-2^{\circ}\text{C}$  20 gün,  $-4^{\circ}\text{C}$  15 gün,  $-6^{\circ}\text{C}$  12 gün,  $-8^{\circ}\text{C}$  10 gün,  $-10^{\circ}\text{C}$  5 gün,  $-15^{\circ}\text{C}$  3 gün ölçülmüştür. Verilen formülü kullanarak donma indeksi şöyle bulunur.

$$DI = \sum_{i=1}^{i=n} k_i t_i \quad n=6$$

$$DI = 2^{\circ}\text{C} \times 20 + 4^{\circ}\text{C} \times 15 + 6^{\circ}\text{C} \times 12 + 8^{\circ}\text{C} \times 10 + 10^{\circ}\text{C} \times 5 + 15^{\circ}\text{C} \times 3 \\ = 40 + 60 + 72 + 80 + 50 + 45 = 347^{\circ}\text{C} - \text{gün}$$

Proje donma indeksi değeri  $347^{\circ}\text{C}$  –gündür.

$$DI = 347^{\circ}\text{C} - \text{gün}$$

#### 14.1.4. DON PENETRASYON DERİNLİĞİ, ( $X_D$ )

Don etkisi olan bölgelerde yol üstyapısının davranışı, don penetrasyon derinliği ile yakından ilgilidir. Don penetrasyon derinliğinin tespiti için geniş ölçüde, çeşitli teorik formül ve abaklar ile arazi penetrasyon ve sıcaklık ölçümleri kullanılmaktadır.

Bir çok analizde don olayının incelenmesi, kolay elde edilmesinden dolayı hava sıcaklığı ile yapılmaktadır. Türkiye don penetrasyon derinliği haritası, Ülkemizde yer alan toplam 320 adet meteorolojik istasyon için bulunan donma indeksine (DI) bağlı olarak hesaplanarak Şekil:14.1 'de verilmiştir. Bununla beraber, toprak sıcaklığı ve dolayısıyla toprağın ısı iletkenlik özelliği don penetrasyon derinliğini etkilemektedir. Bu nedenle, taban zemininin bu özellikleri gözönünde bulundurularak ya doğrudan toprak sıcaklığı ölçülerek ya da Şekil:14.1 'den en uygun don penetrasyon derinliği belirlenecektir.

#### 14.1.5. HİDROLOJİK ŞARTLAR

Hidrolojik şartları, üstyapının altındaki yeraltı su seviyesinin kaplama yüzeyinden itibaren olan derinliği (N) ile yarma veya dolgunun yüksekliği karakterize eder.

Şartlar aşağıdaki gibi ise dona mukavemet yönünden iyi durumda denilir:

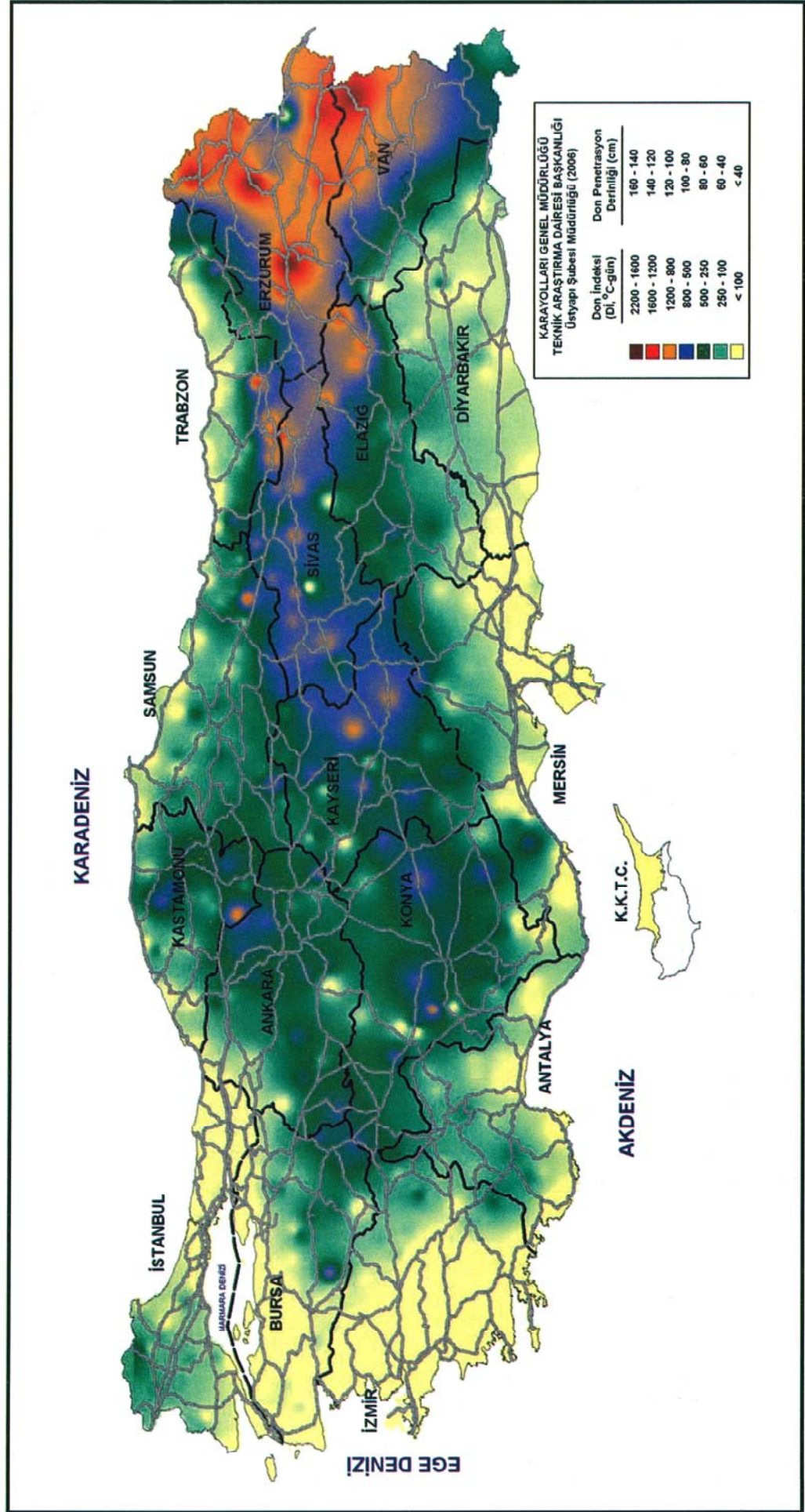
- Üstyapı 1.5 m.'den daha yüksek bir dolguda inşa edilmiş ise,
- Yeraltı su seviyesinin derinliği 1.40 m.'den daha aşağıda ( $N > 1.40$  m.), fakat daima don penetrasyon derinliğinden ( $X_D$ ) daha büyük ise,
- Serbest su akımı yok ise,

Şartlar aşağıdaki gibi ise dona mukavemet yönünden kötü durumda denir:

- Yol yarmada ise,
- Yeraltı su seviyesinin derinliği 1.40 m.'den daha az ise ( $N \leq 1.40$  m) veya don penetrasyon derinliğinden daha küçük ise ( $N \leq X_D$ ),
- Boşluk suyu basıncı var ise,

Üstyapının hidrolojik açıdan durumu ile zeminlerin don gruplarına göre, dona karşı önlem alınması şartları Şekil:14.2 'de gösterilmiştir.

ŞEKİL:14:1 TÜRKİYE DON İNDEKSİ VE DON PENETRASYON DERİNLİĞİ HARİTASI





[illegible]

#### 14.1.6. DON ÖNLEYİCİ TABAKA KALINLIĞININ HESABI, ( $d_s$ )

Yukarıda açıklanan tüm özellikler incelendikten sonra Şekil:14.2 'den üstyapının dona karşı korunmasının gerekliliği kontrol edilmelidir. Eğer üstyapının dona karşı korunması gerekiyorsa, önlem olarak dona hassas olmayan malzemeden don önleyici bir tabaka oluşturulmalıdır. Bu tabaka, don kabarması ile don çözülme mevsiminde üstyapının taşıma gücündeki kaybı önemli ölçüde azaltır.

Dona hassas olmayan tabakanın kalınlığı  $d'_s$ , hesaplanan donma indeksi ( $Dİ$ ) ve tabanın don hassasiyetine ( $F_i$ ) göre Şekil:14.3 'den hesaplanır.

$d'_s$  kalınlığının hesaplanması ve değerlendirilmesi için gerekli veriler aşağıdaki gibi tespit edilmeli ve aşağıdaki sıra izlenmelidir:

- Üstyapı taban zemininin dona karşı hassasiyetinin,  $F_i$ , tespiti: Gerekli arazi ve laboratuvar çalışmalarından sonra Kısım 14.1.1 ve Tablo:14.2 'ye göre belirlenir.
- Donma indeksinin,  $Dİ$ , tespiti: Kısım 14.1.3 'e uygun olarak donma indeksi Şekil:14.1 'den tespit edilir.
- Don penetrasyon derinliğinin,  $X_D$ , tespit : Kısım 14.1.4 'e uygun olarak don penetrasyon derinliği Şekil:14.1 'den tespit edilir.
- Tespit edilen  $F_i$ ,  $X_D$ ,  $d_t$  değerlerine ve hidrolojik bilgilere bağlı olarak Şekil:14.3 'ten alınacak önlem belirlenir.
- Şekil:14.3 'ten yapılan tespite göre dona karşı önlem gerekli ise, belirlenen  $Dİ$  ve  $F_i$  değerlerine göre Şekil:14.4 'den dona hassas olmayan malzemenin gerekli kalınlığı ( $d'_s$ ) bulunur.
- Şekil:14.4 'den bulunan gerekli  $d'_s$  kalınlığından toplam üstyapı kalınlığı ( $d_t$ ) çıkarılarak, ilave olarak konacak dona hassas olmayan malzeme kalınlığı ( $d_s$ ) hesaplanır.

$$d_s = d'_s - d_t \dots\dots\dots(14.2)$$

- Kısım 14.1.5 'te verilen hidrolojik şartlar iyi durumda ise  $d'_s$  kalınlığı %10 azaltılır, yani;

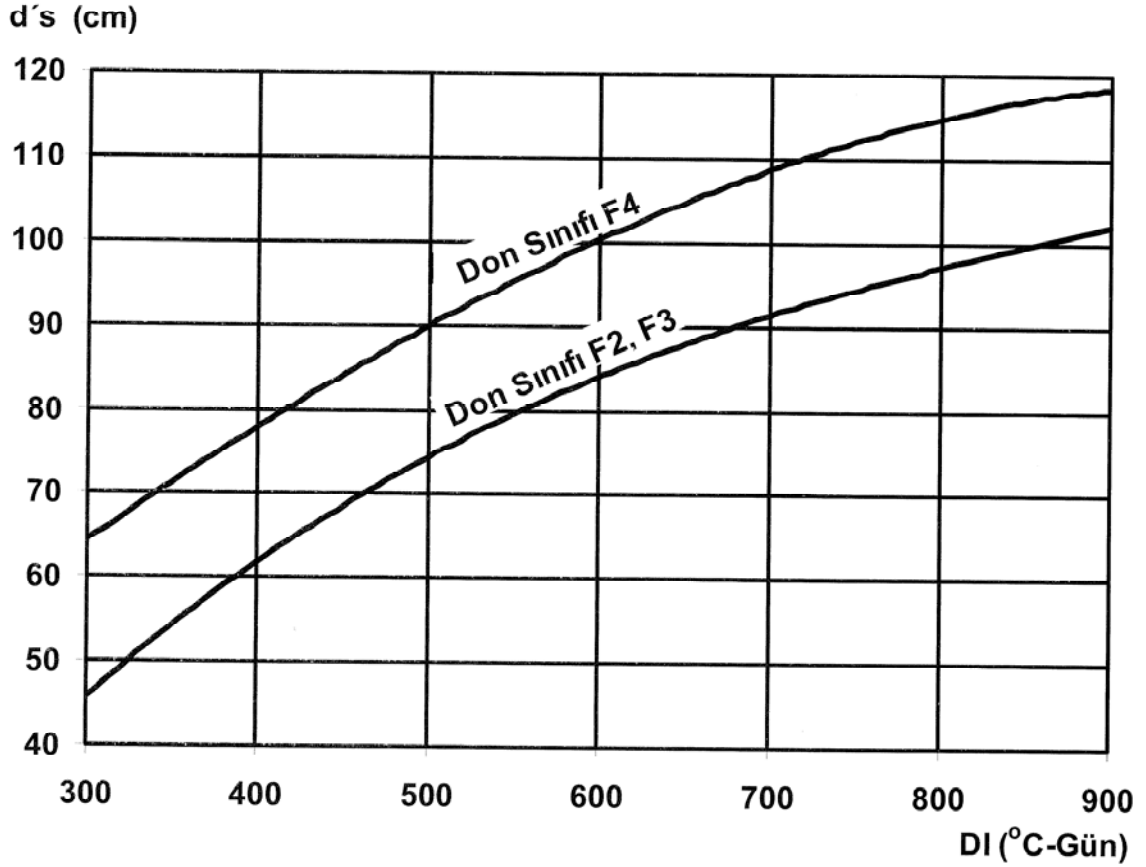
$$d_s = 0.90 d'_s - d_t \dots\dots\dots(14.3)$$

Şartlar kötü durumda ise Formül: (14.2) uygulanmalıdır.

**ŞEKİL : 14.3**  
**ÜSTYAPIDA DONA KARŞI ÖNLEM GEREKLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

| DRENAJ DURUMU                              | İYİ<br>$X_D < N, N > 1.4 \text{ m}$ |                |                |                | KÖTÜ           |     |
|--------------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
|                                            | (1)                                 | (2)            | (3)            | (4)            | (5)            | (6) |
| DURUM                                      |                                     |                |                |                |                |     |
|                                            | D O N A K A R Ş I Ö N L E M İ       |                |                |                |                |     |
|                                            | G E R E K L İ D E Ğ İ L             |                |                |                |                |     |
|                                            |                                     |                |                |                |                |     |
|                                            |                                     |                |                |                |                |     |
| TABAN ZEMİNİNİN DON HASSASİYET SINIFI (F1) |                                     | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |     |

**ŞEKİL :14.4**  
**DONMA İNDEKSİ VE DON SINIFINA BAĞLI OLARAK**  
**GEREKLİ DONA HASSAS OLMAYAN (ÜSTYAPI TABAKALARI DAHİL)**  
**MALZEME KALINLIĞININ ( $d'_s$ ) TAYİNİ**



#### 14.2 DONA KARŞI ALINACAK DİĞER ÖNLEMLER

Bu metodun dışında don etkisine karşı üstyapı taban zeminlerinde aşağıdaki diğer önlemler de alınabilir:

- Gerekli yüzey ve yeraltı suyu drenajları sağlanarak yeraltı suyu seviyesi tesviye yüzeyinden en az 150 cm. aşağıda tutulur.
- Yeraltı su seviyesi düşürülemiyorsa, tesviye kotu yükseltilir.
- Dona hassas zemin, don penetrasyon derinliği ( $X_D$ ) kadar kazılıp atılarak yerine dona hassas olmayan bir malzeme konulur.
- Taban zemini çimento, kireç vb. stabilizatörlerle stabilize edilir.

### 14.3 ÇEVRESEL FAKTÖRLERDEN KAYNAKLANAN SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ BULUNMASI

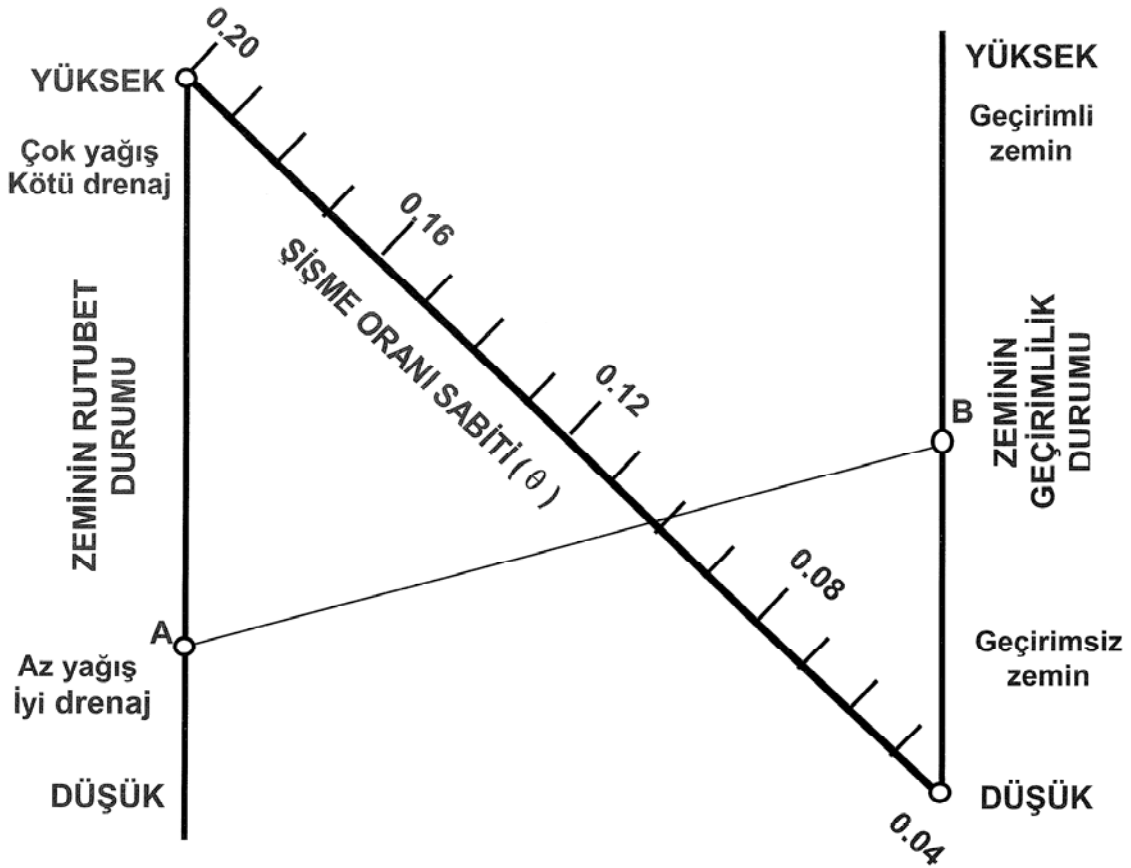
#### 14.3.1 ZEMİN ŞİŞMESİ

Şişmeye duyarlı zeminler artan su içeriği ile şişme (kabarma) göstererek üstyapıda ilave gerilmeler oluşturmaktadır. Bu ilave gerilmelerden kaynaklanan üstyapının servis kabiliyetindeki azalma miktarı; aşağıda tanımlanan şişme oranı sabiti, potansiyel düşey yükselme, şişme olasılığı değişkenlerine ve proje süresine bağlı olarak Şekil:14.7 'den bulunur.

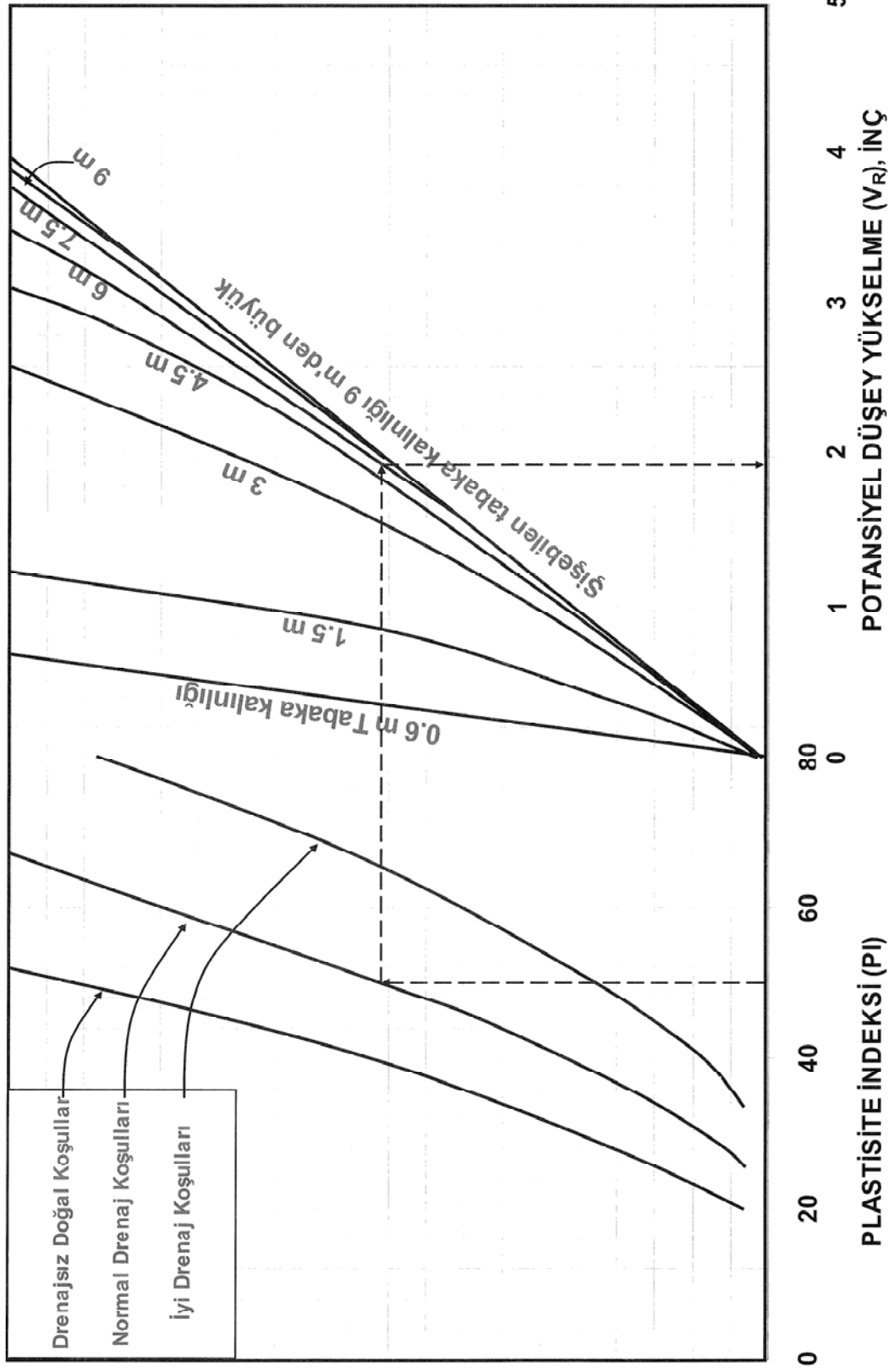
#### Şişme Oranı Sabiti ( $\theta$ )

Şişme oranı sabiti Şekil:14.5 'deki nomogram yardımıyla tahmin edilir. Eğer taban zemini suyla fazla temas halinde ise (kötü drenaj, yüksek yeraltı suyu, aşırı yağış vb.) yüksek değerler alacaktır. Taban zemininin rutubet durumu ve geçirgenlik özelliğine bağlı olarak Şekil:14.5 'te işaretlenen A ve B noktaları birleştirilerek şişme oranı sabiti tayin edilir.

ŞEKİL:14.5 ŞİŞME ORANI SABİTİNİN TAHMİNİ



ŞEKİL:14.6 POTANSİYEL DÜŞEY YÜKSELMENİN ( $V_R$ ) BULUNMASI

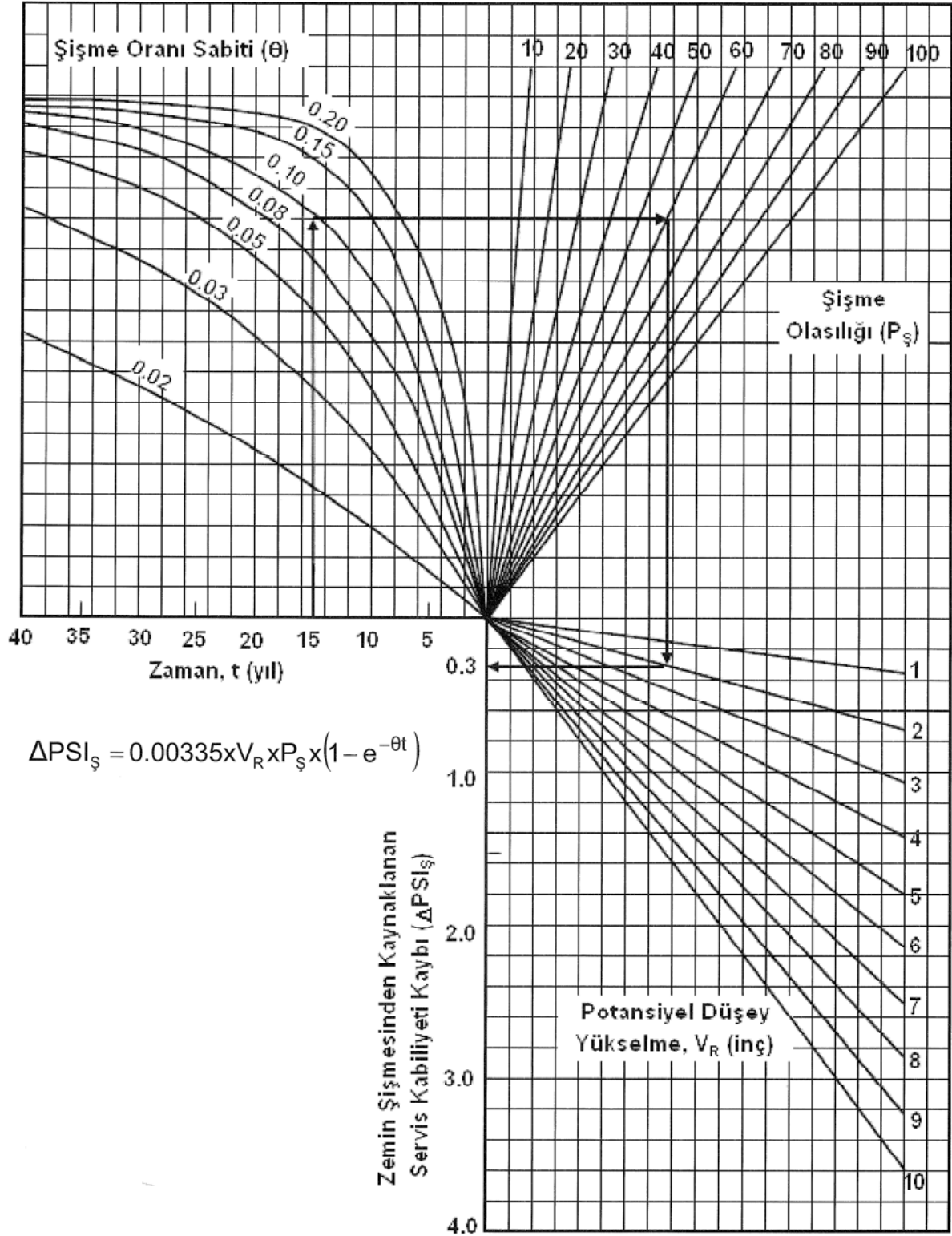


NOT: Bu şekil aşağıdaki kabullere dayanır.

- 1-) Taban zeminin tamamı No.40 elekten geçmektedir.
- 2-) Taban zemininin nem içeriği ve plastisite indeksi tüm kalınlığı boyunca değişmemektedir.
- 3-) Taban zeminini üzerinde 50 cm 'lik bir sürsarj basıncı vardır ( 25 cm aralığı içinde değişmez).



**ŞEKİL:14.7**  
**ZEMİN ŞİŞMESİNDEN KAYNAKLANAN**  
**SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ BULUNMASI**



### **Potansiyel Düşey Yükselme ( $V_R$ )**

Potansiyel düşey yükselme zeminin en kötü şişme şartlarında meydana gelebilecek düşey yükselme miktarını temsil eder. Zeminin maksimum şişme durumunda düşey yöndeki yükselme miktarı laboratuvar testleri ile belirlenebilir. Bununla beraber, potansiyel düşey yükselme zeminin plastik indeks değeri ile drenaj koşullarına bağlı olarak Şekil:14.6 'den tespit edilir.

### **Şişme Olasılığı ( $P_s$ )**

Şişme olasılığı, şişmeye duyarlı zeminlerin yol boyunca sahip oldukları uzunlukların toplam yol uzunluğuna oranının yüzde cinsinden değeridir. Eğer taban zemininin PI değeri 30 'dan büyük ve şişebilen malzeme kalınlığı 60 cm 'den büyükse (veya potansiyel düşey yükselme değeri 5 mm 'den büyükse) şişme olasılığı %100 kabul edilir.

### **14.3.2 DONMA KABARMASI**

Donma kabarmasından kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı aşağıda tanımlanan donma kabarması oranı ( $\Phi$ ), don kabarmasından kaynaklanan maksimum potansiyel servis kabiliyeti kaybı ( $\Delta PSI_{maks}$ ) ve donma kabarması olasılığına ( $P_D$ ) bağlı olarak Şekil:14.10 'dan bulunur.

#### **Donma Kabarması Oranı ( $\Phi$ )**

Don kabarması oranı milimetre cinsinden günlük hacimsel artış oranını (mm/gün) ifade eder. Bu oran zemin sınıfına ve ince malzeme yüzdesine bağlı olarak Şekil:14.8 ile tayin edilir.

#### **Maksimum Potansiyel Servis Kabiliyeti Kaybı ( $\Delta PSI_{maks}$ )**

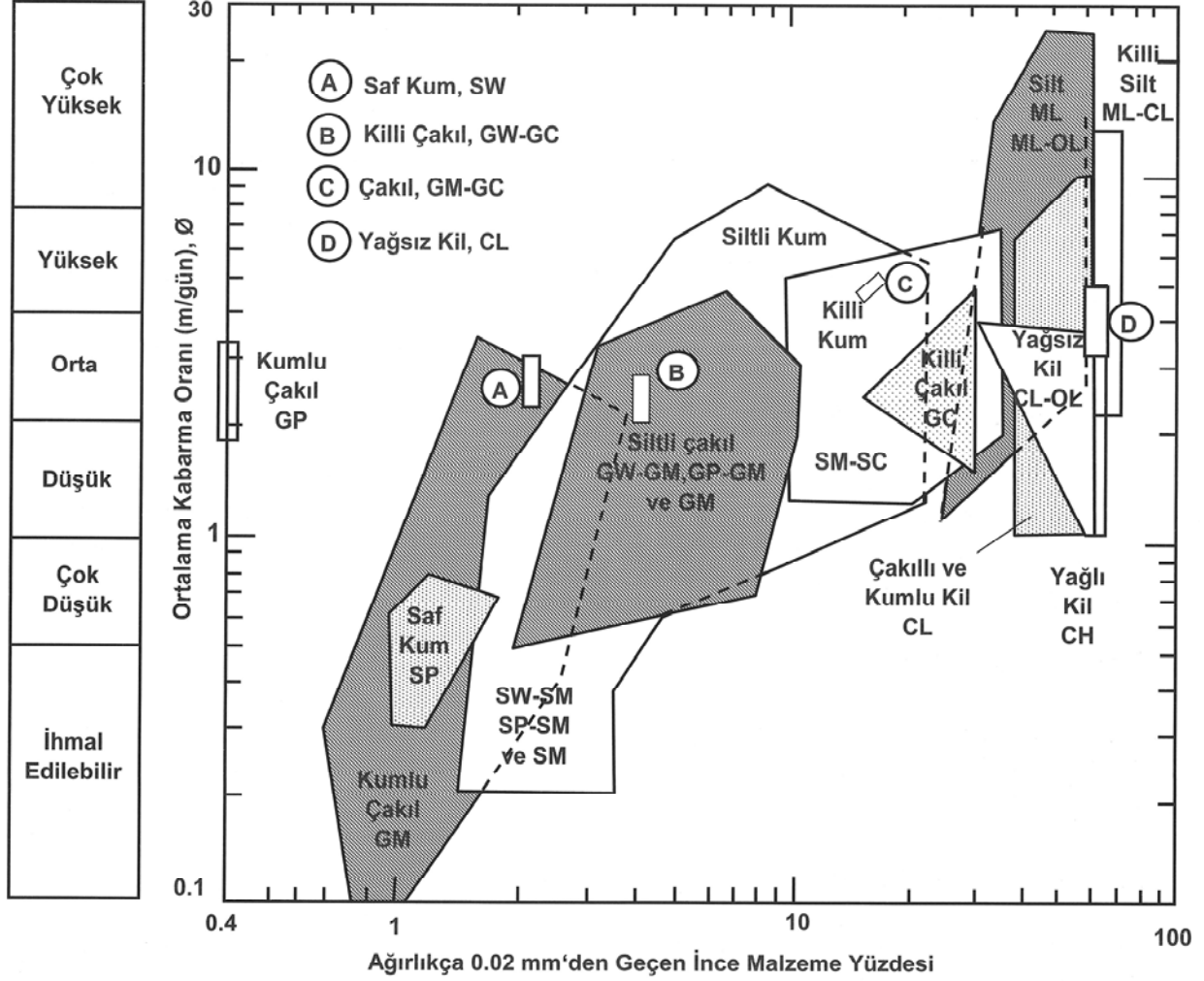
Donma kabarmasından kaynaklanan maksimum potansiyel servis kabiliyeti kaybı drenaj kabiliyeti ve don penetrasyon derinliğine bağlı olarak Şekil:14.9 'dan bulunacaktır.

#### **Donma Kabarması Olasılığı ( $P_D$ )**

Donma kabarması olasılığı, yolun toplam uzunluğunun ne kadar kısmında donma olabileceği tahminine göre bulunur. Bunun için dona duyarlı zeminlerin toplam yol uzunluğu içindeki yüzdesi, suyun mevcudiyeti, drenaj kabiliyeti, bir yıl içindeki donma-çözünme periyotlarının sayısı ve don penetrasyon derinliği gibi faktörler göz önünde bulundurulur.

**ŞEKİL : 14.8**  
**DONMA KABARMASI ORANININ BULUNMASI**

Don  
Hassasiyet  
Sınıfı



Çakıllı Zeminler

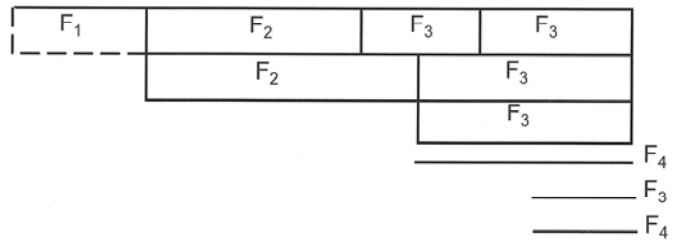
Kumlu Zeminler

Çok İnce Siltli KUMLAR

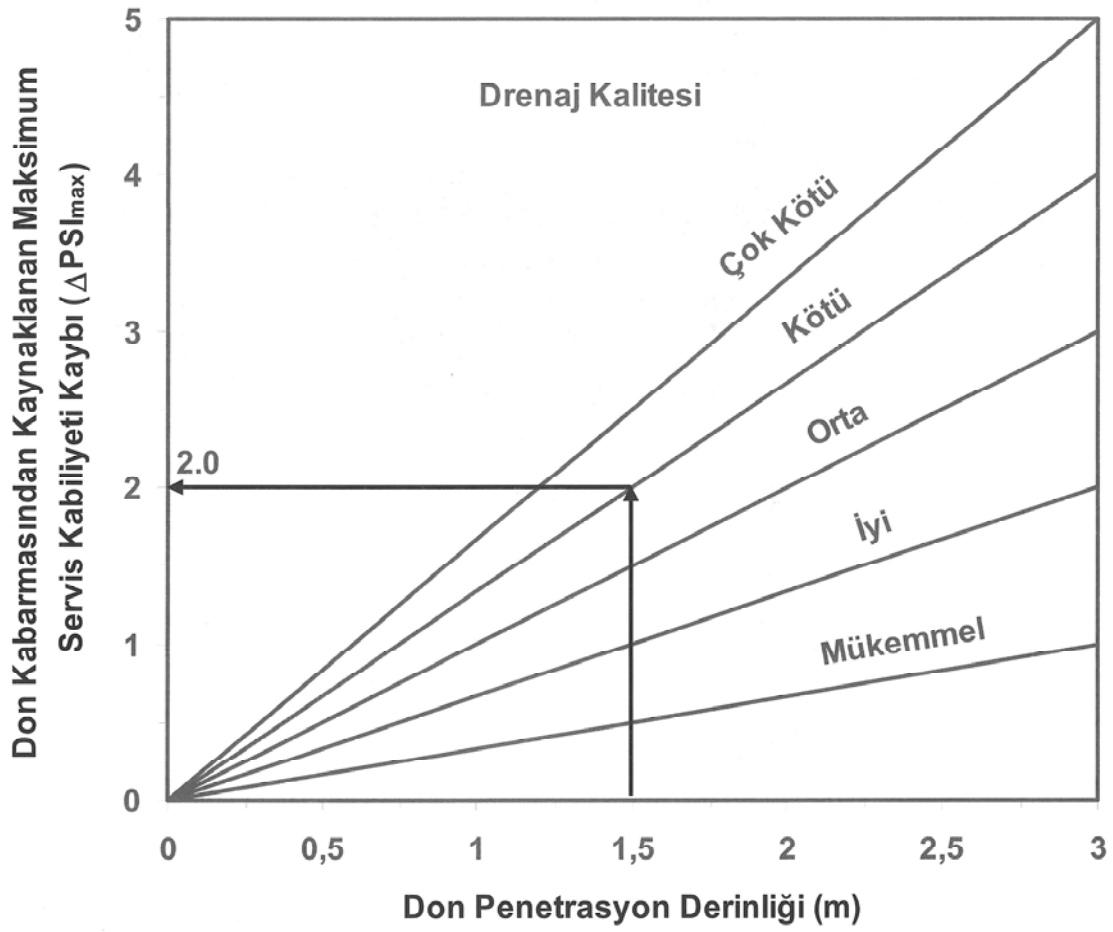
SİLT

KİL (PI>12)

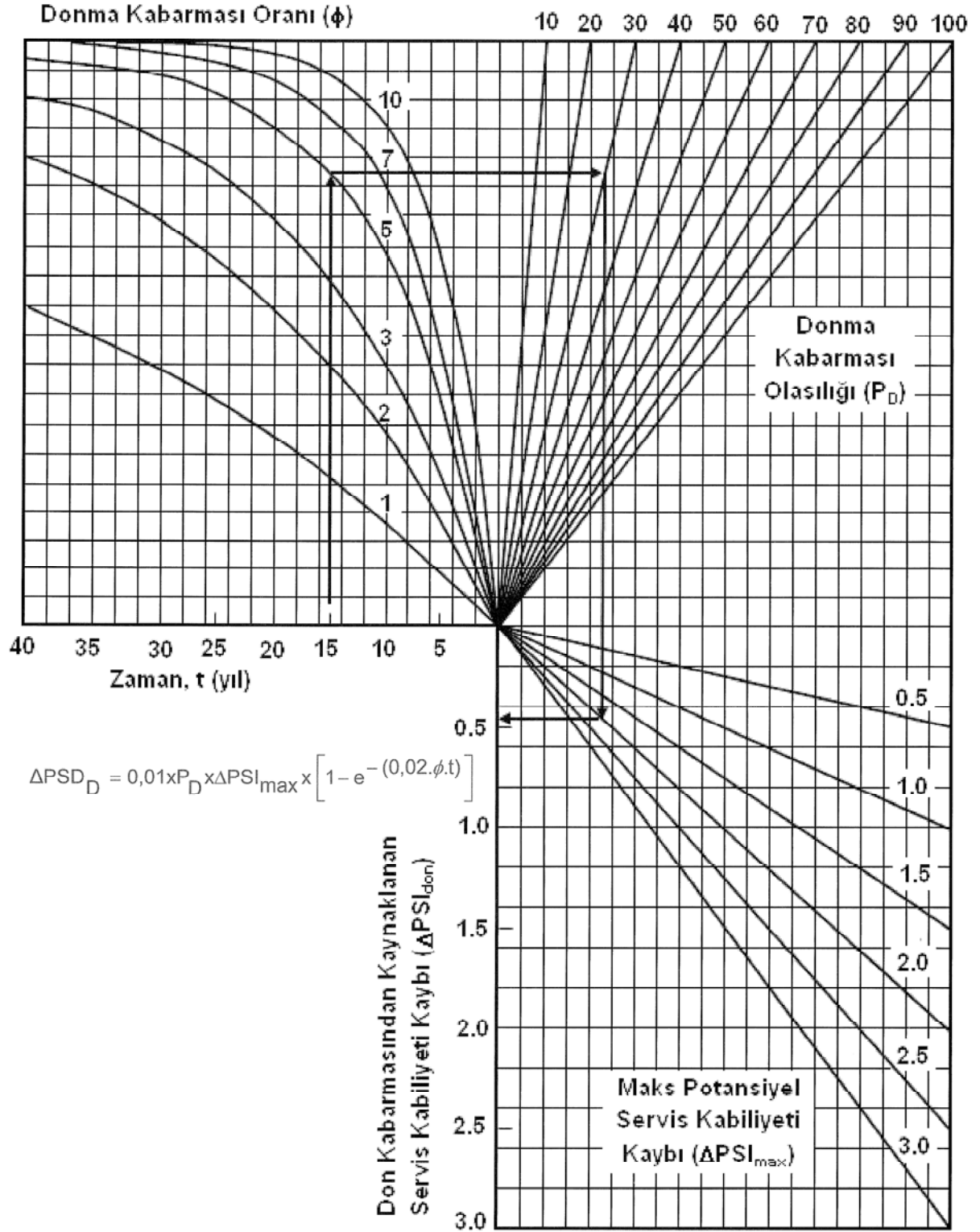
KİL (PI<12)



ŞEKİL : 14.9  
MAKSİMUM POTANSİYEL SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ BULUNMASI



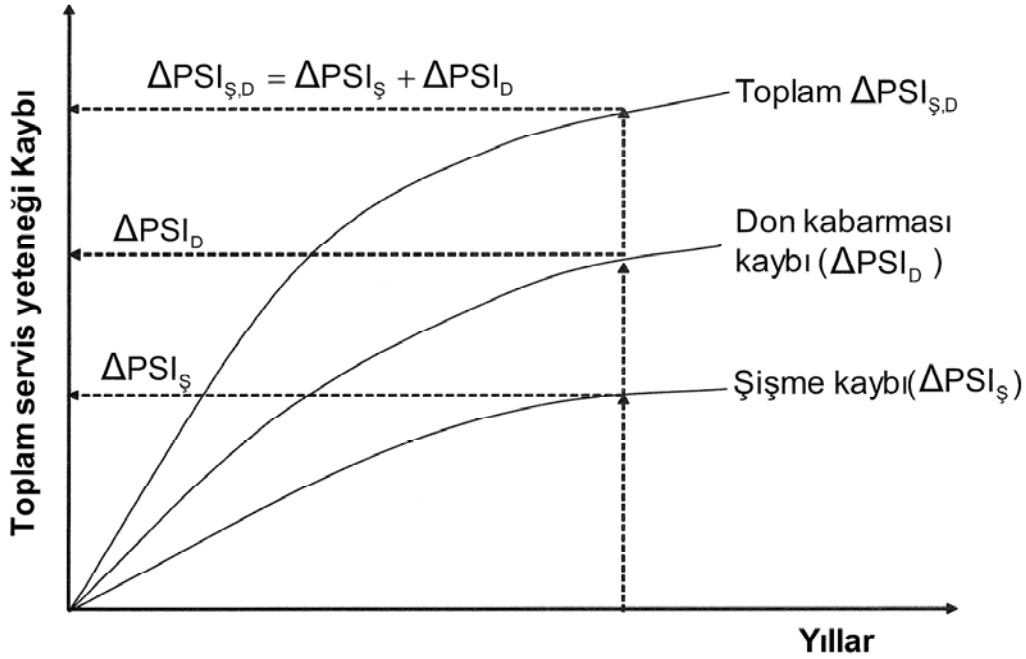
**ŞEKİL : 14.10**  
**DONMA KABARMASINDAN KAYNAKLANAN**  
**SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ BULUNMASI**



### 14.3.3. İDEAL PROJE SÜRESİNİN BULUNMASI

Bu aşamada öncelikle, çevresel faktörlerden (donma kabarması ve zemin şişmesi) kaynaklanan servis kabiliyeti kayıplarının toplamının yıllara göre dağılım grafiği Şekil:14.11 'deki gibi çizilir.

**ŞEKİL:14.11 Yıllara Göre Toplam Servis Kabiliyeti Kaybı Grafiğinin Çizilmesi**



Şekilden de görüleceği gibi donma kabarması ve zemin şişmesinden kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı başlangıçta hızlı bir şekilde meydana gelirken, artış hızı zamanla tedricen azalmakta ve uzun bir süre sonra servis kabiliyeti kayıpları çok az oranda artmaktadır. Bu nedenle donma kabarması ve zemin şişmesinden kaynaklanan servis kabiliyeti kayıpları, üstyapı projelendirmesinde, bu kayba karşılık gelen üstyapı tabakası ilave etmek yerine, servis kabiliyeti kayıplarının maksimum derecede etkili olduğu ideal proje süresine göre projelendirme yapılarak dikkate alınmaktadır.

İdeal proje süresi belirlenirken öncelikle maksimum proje süresi (20 yıl) için gereken başlangıç SN değeri sadece trafik etkilerinden kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı dikkate alınarak Şekil:11.2 yardımı ile bulunur. Daha sonra değişik proje süreleri azalan sırayla seçilerek, bu süreler için çevresel etkilerden kaynaklanan servis kabiliyeti kaybından geriye kalan müsaade edilir servis kabiliyeti kaybına neden olacak trafik ve bu trafiğe karşılık gelen yıl sayısı aynı başlangıç SN değerini elde edecek şekilde bulunur. Bu işlem, her iterasyonun başında seçilen deneme proje süresi ile bu iterasyon sonucunda bulunan yıl sayısı arasındaki fark 1 yıldan az oluncaya kadar devam ettirilir. Eğer fark 1 yıldan büyükse bu iterasyonun başında ve sonunda bulunan sürelerin aritmetik ortalaması bir sonraki iterasyonun proje süresi olarak seçilir. Eğer fark 1 yıldan küçükse ortalama süre "İdeal Proje Süresi" olarak belirlenir.

İlk PSI ( $P_o$ ) = .....

Maksimum Proje Süresi (yıl) = .....

Proje Servis Kabiliyeti Kaybı ( $\Delta PSI$ ) =  $P_o - P_t$  = .....

| (1)          | (2)                       | (3)                                                                                          | (4)                                                                        | (5)                                        | (6)                             |
|--------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|
| İterasyon No | Deneme Proje Süresi (yıl) | Donma ve zemin şişmesinden kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı ( $\Delta PSI_{\text{ş,D}}$ ) | Trafikten kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı ( $\Delta PSI_{\text{TR}}$ ) | Müsaade edilir toplam trafik ( $T_{8,2}$ ) | Tekabül eden Proje Süresi (yıl) |
| 1            |                           |                                                                                              |                                                                            |                                            |                                 |
| 2            |                           |                                                                                              |                                                                            |                                            |                                 |
| 3            |                           |                                                                                              |                                                                            |                                            |                                 |
| 4            |                           |                                                                                              |                                                                            |                                            |                                 |

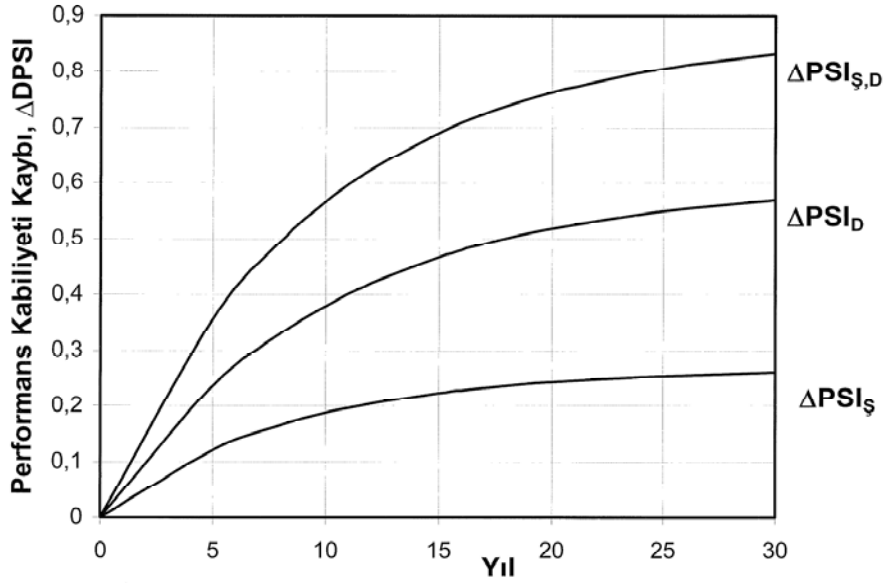
#### **Kolon No**

- 2 - İlk iterasyonda maksimum proje süresi olarak seçilir (20 yıl). Diğerlerinde ise  $Kolon2_i = (Kolon2_{i-1} - Kolon6_{i-1})/2$  formülü ile bulunur.
- 3 - Donma kabarması ve zemin şişmesinden kaynaklanan toplam servis kabiliyeti kaybı bulunur ( $\Delta PSI_{\text{ş,D}} = \Delta PSI_{\text{ş}} + \Delta PSI_{\text{D}}$  formülü ile veya çizilmişse Şekil:14.10 'dan)
- 4 - Proje servis kabiliyeti kaybından çevre faktörlerinden kaynaklanan servis kabiliyeti kaybı çıkarılarak trafiğin karşılayacağı net servis kabiliyeti bulunur ( $\Delta PSI_{\text{TR}} = \Delta PSI - Kolon3$ ).
- 5 -  $\Delta PSI_{\text{TR}}$  (Kolon4) yardımıyla diğer değerler de sabit tutularak Şekil:11.2 'den ters işlem yapılarak müsaade edilir trafik ( $T_{8,2}$ ) bulunur.
- 6 - Trafik artış katsayısı  $f = T_{8,2} / T_o$  hesaplanarak, bu trafiğin oluşacağı yıl sayısı Tablo:7.1 'den kestirilir. Kolon2-Kolon6 farkı 1 yıldan fazlaysa iterasyona devam edilir. Değilse  $(Kolon2_i - Kolon6_i)/2$  İdeal Proje Süresi olarak tayin edilir.

## ÖRNEK:

|                                                      |        |
|------------------------------------------------------|--------|
| Şişme Oranı Sabiti, ( $\theta$ )                     | = 0,12 |
| Potansiyel Düşey Yükselme, $V_R$                     | = 2,0  |
| Şişme Olasılığı, $P_\phi$                            | = 40%  |
| Donma Kabarması Oranı, ( $\Phi$ )                    | = 5,0  |
| Maks.Potansiyel Servis Kab.Kaybı, $\Delta PSI_{Max}$ | = 2,0  |
| Donma Kabarması Olasılığı, $P_D$                     | = 30%  |

### ÇEVRESEL FAKTÖRLERE BAĞLI SERVİS KABİLİYETİ KAYBININ ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ



İlk Servis Kabiliyeti ( $P_o$ ) = 4,2

Maks. Proje Süresi (Yıl) = 20

Proje Servis Kabiliyeti Kaybı ( $\Delta PSI$ ) =  $P_o - P_t = 4,2 - 2,5 = 1,7$

$T_{8.2}$  (20 yıl için) = 42.340.000

Kabul edilen taban esneklik modülü,  $M_R = 7200$  psi

Gerekli SN (20 yıl için) = 5.9 (R=%85 için)

| (1)<br>İterasyon<br>No | (2)<br>Deneme Proje<br>Süresi<br>(yıl) | (3)<br>Donma ve zemin<br>şişmesinden<br>kaynaklanan servis<br>kabiliyeti kaybı<br>( $\Delta PSI_{\phi,D}$ ) | (4)<br>Trafikten<br>kaynaklanan<br>servis kabiliyeti<br>kaybı<br>( $\Delta PSI_{TR}$ ) | (5)<br>Müsaade edilir<br>toplam trafik<br>( $T_{8.2}$ ) | (6)<br>Tekabül eden<br>Proje Süresi<br>(yıl) |
|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1                      | 20                                     | 0,76                                                                                                        | 0,94                                                                                   | 10.968.262                                              | 7,2                                          |
| 2                      | 13,6                                   | 0,66                                                                                                        | 1,04                                                                                   | 13.774.982                                              | 8,7                                          |
| 3                      | 11,2                                   | 0,60                                                                                                        | 1,1                                                                                    | 15.620.017                                              | 9,7                                          |
| 4                      | 10,4                                   | 0,58                                                                                                        | 1,12                                                                                   | 16.313.876                                              | 10                                           |

Sonuç olarak ;

İdeal Proje Süresi=10 yıl

Kademe sayısı,  $n = 2$

Her kademe için güvenilirlik,  $R_K = (0.85)^{1/2} = 0.92$  (%92) olarak bulunur.



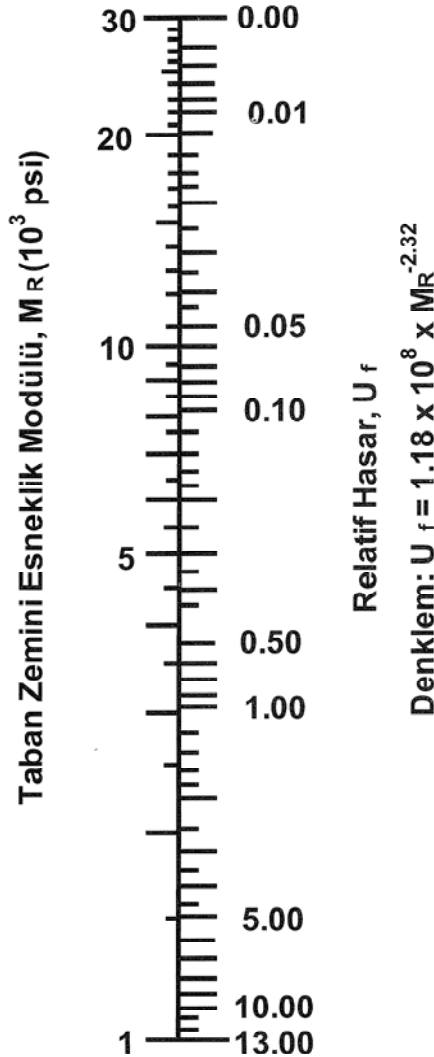
## 15- EFEKTİF TABAN ZEMİNİ ESNEKLİK MODÜLÜ

Taban zemininin esneklik modülü, don duyarlılığına bağlı olarak yıl içerisinde farklı mevsimsel koşullar altında sürekli değişiklik göstermektedir. Kış aylarında don kabarması sonucunda zemin boşlukları içinde katılaştıran buz kristalleri ile beraber taban zeminini oldukça yüksek esneklik modülüne sahip olur. Buna karşılık, ilkbaharda sıcaklığın artmasına bağlı olarak buz kristallerinin çözünerek sıvı hale geçmesi ve suların ortamdan uzaklaşmasıyla boşluklu ve gevşek bir hale gelen taban zemininin esneklik modülü büyük oranda düşüş göstermektedir. Hatta bahar mevsimlerine bu değer normal esneklik modülünün %20 ile %30 'una kadar düşebilmektedir.

Bu nedenle üstyapı projelendirmesinde kullanılacak efektif taban zemin esneklik modülünün bulunması gerekmektedir. Bunun için her ay için tespit edilen esneklik modülünün rölatif hasar faktörü ( $U_f$ ) Formül 15.1 veya Şekil:15.1 yardımıyla bulunduktan sonra rölatif hasar faktörlerinin aritmetik ortalamasına ait efektif taban zemin esneklik modülü bulunur.

$$U_f = 1.18 \times 10^8 (M_R)^{-2.32} \dots\dots\dots (15.1)$$

**ŞEKİL : 15.1 RÖLATİF HASAR FAKTÖRÜNÜN BULUNMASI**



Örneğin, herhangi bir yoldaki zeminin  $M_R$  değerleri aşağıdaki gibi ise;

| Ay      | Esneklik Modülü<br>$M_R$ (psi) | Rölatif Hasar Faktörü<br>( $U_f$ ) |
|---------|--------------------------------|------------------------------------|
| Ocak    | 20.000                         | 0.012                              |
| Şubat   | 20.000                         | 0.012                              |
| Mart    | 2.500                          | 1.544                              |
| Nisan   | 4.000                          | 0.519                              |
| Mayıs   | 4.000                          | 0.519                              |
| Haziran | 7.000                          | 0.142                              |
| Temmuz  | 7.000                          | 0.142                              |
| Ağustos | 7.000                          | 0.142                              |
| Eylül   | 7.000                          | 0.142                              |
| Ekim    | 7.000                          | 0.142                              |
| Kasım   | 4.000                          | 0.519                              |
| Aralık  | 20.000                         | 0.012                              |
|         |                                | $\sum U_f = 3.847$                 |

Ortalama Rölatif Hasar Faktörü,  $U_{fort} = \frac{\sum U_f}{12} = 0.321$

Ortalama Rölatif Hasar Faktörü  $U_f=0.321$  için Formül:15.1 ile efektif esneklik modülü,  $M_R=4920$  psi olarak bulunur.

Zeminin esneklik modülünün yıl içindeki değişiminin tayini güç olduğundan zeminin suya tam doygun haldeki ve optimum su içeriğindeki  $M_R$  değerleri laboratuarda tayin edilip ve suya tam doygun olduğu süre tahmin edilebilir. Örneğin, zeminin yıl içinde suya tam doygun olma süresi 3 ay ise ve 9 ay optimum su içeriğinde olacağı kabulü yapılırsa rölatif hasar faktörü,

$$U_f = \frac{3(1.544) + 9(0.142)}{12} = 0.49$$

olarak bulunur. Bulunan bu değere göre efektif esneklik modülü,  $M_R=4100$  psi olarak tayin edilir.

## 16- TAŞIMA GÜCÜ DÜŞÜK TABAN ZEMİNLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

CBR değeri < %8 olan malzemeler üstyapı tabanında kullanılmamalıdır. Böyle durumlarda üstyapı tabanı, seçme malzeme koruyucu tabakalar kullanılarak teşkil edilmelidir. Seçme malzeme kullanılması, zayıf üstyapı tabanının yol performansına olan olumsuz etkisini azaltacağı gibi, alttemel tabakasının serilmesine ve sıkıştırılmasına uygun bir platform sağlamak, rutubetten dolayı üstyapı tabanında oluşması muhtemel mukavemet kaybını önlemek ve üstyapının nihai mukavemetini artırmak gibi katkılar sağlayacaktır. Koruyucu tabaka yapımında kullanılacak seçme malzeme şu özellikleri sağlamalıdır:

**TABLO: 16.1 SEÇME MALZEME ÖZELLİKLERİ**

| Deney Adı                              | Limit Değer | Standart No             |
|----------------------------------------|-------------|-------------------------|
| 0.075mm.(No:200) elekten geçen malzeme | <%50 (1)    | TS 1900<br>AASHTO T-11  |
| Likit Limit (LL)                       | < 40        | TS 1900<br>AASHTO T-89  |
| Plastisite İndeksi (PI)                | < 15 (2)    | TS 1900<br>AASHTO T-90  |
| Yaş CBR                                | ≥ %10       | TS 1900<br>AASHTO T-193 |

(1) CBR şartını sağlamak koşulu ile 0.075 mm. (No:200) elekten geçen malzeme oranı < %20 ise LL ve PI şartı aranmayacaktır.

(2) CBR şartını sağlamak koşulu ile PI<10 ise 0.075 mm. (No:200) elekten geçen malzeme oranı şartı aranmayacaktır.

Eğer yukarıdaki özelliklerde seçme malzeme bulmak mümkün değilse, üstyapı projelendirilmesi koruyucu tabakasız olarak hazırlanmalıdır. Koruyucu tabakasız olarak üstyapı projesinin hazırlanması durumunda üstyapı tabanındaki malzemenin özellikleri dolgu şartnamesi kriterlerine uygun değilse ya da CBR% 'si ≤ 3 veya Şişme % 'si ≥ 3 ise, bu malzemenin üstyapı tabanında kullanılıp kullanılmayacağına Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığının yapacağı inceleme ile karar verilmelidir. Taban zeminlerinin iyileştirmesi için mekanik, kireç, çimento veya katkılar ile zemin stabilizasyonları diğer yöntemlerdir.

**TABLO: 16.2  
ZAYIF ZEMİNLER ÜZERİNE ÇEKİLECEK  
KORUYUCU TABAKA KALINLIKLARI (cm.)**

| Toplam Standart<br>Dingil Tekerrür<br>Sayısı ( T <sub>8.2</sub> ) | Taban CBR % değeri |    |    |    |    |    |       |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|----|----|----|-------|
|                                                                   | 1                  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7- 8* |
| < 40 Milyon                                                       | 75                 | 50 | 40 | 35 | 25 | 20 | 20    |
| 40-80 Milyon                                                      | 80                 | 55 | 40 | 35 | 25 | 20 | 20    |
| > 80 Milyon                                                       | 85                 | 60 | 45 | 40 | 30 | 25 | 20    |

(\*) Taban CBR değeri %7-%8 arasında ise koruyucu tabaka CBR değeri ≥ %15 olacaktır.

Seçme malzemenin esneklik modülü değeri alttemel kullanımını gerektirmiyorsa seçme malzeme kalınlığı, Kısım 12 'de belirtilen şekilde hesaplanacaktır.

## 17- ESNEK ÜSTYAPI PROJELENDİRMESİNE AİT BİR ÖRNEK

### Proje Verileri;

- a) Yol 2x2 = 4 şeritli devlet yoludur. Bu nedenle  $P_t = 2.5$  alınmıştır.  
b) Proje başlangıç yılı (2008) trafik değerleri (Y.O.G.T) olarak;

Treyler:200, Kamyon:1000, Otobüs:300, Orta Yüklü Ticari Taşıt:2000, Otomobil:10000 olarak bulunmuştur. Yıllık trafik artış yüzdeleri treyler ve kamyon için % 4; otobüs, orta yüklü ticari taşıt ve otomobil için % 5 olduğu kabul edilmiştir. 20 yıllık proje süresi içinde yoldan geçecek trafik sayısı şöyle bulunur.

$t_t = t_0 (1 + r)^t$  formülünden;

$$\text{Treyler için} : t_{2025} = 200 (1 + 0.04)^{20} = 438$$

$$\text{Kamyon için} : t_{2025} = 1000 (1 + 0.04)^{20} = 2191$$

$$\text{Otobüs için} : t_{2025} = 300 (1 + 0.05)^{20} = 796$$

$$\text{Minibüs için} : t_{2025} = 2000 (1 + 0.05)^{20} = 5307$$

$$\text{Otomobil için} : t_{2025} = 10000 (1 + 0.05)^{20} = 26533$$

$$\text{Her taşıt gurubu için Proje Trafığı ; } t_p = 0.4343 \frac{t_t - t_0}{\log \frac{t_t}{t_0}}$$

$$\text{Treyler için; } t_p = 0.4343 \frac{438 - 200}{\log \frac{438}{200}} = 304$$

$$\text{Kamyon için; } t_p = 0.4343 \frac{2191 - 1000}{\log \frac{2191}{1000}} = 1519$$

$$\text{Otobüs için; } t_p = 0.4343 \frac{796 - 300}{\log \frac{796}{300}} = 508$$

$$\text{Orta Yüklü Ticari Taşıt; } t_p = 0.4343 \frac{5307 - 2000}{5307} = 3389$$

$$\log \frac{5307}{2000}$$

$$\text{Otomobil için; } t_p = 0.4343 \frac{26533 - 10000}{26533} = 16943$$

$$\log \frac{26533}{10000}$$

Bu yolda özel olarak yapılan Iodometre çalışması var ise bulunan değerleri kullanılır, eğer yok ise TEF değerleri Tablo:7.3 'den alınır. Şerit dağıtma faktörü ise Tablo:7.4 den 0.90 olarak alınmıştır.

Hesap şeridindeki (tek yönde) ortalama günlük ve toplam standart dingil sayıları;

$$W_g = \frac{T_p}{i} \times \text{TEF} \times \eta \quad \text{formülü ile:}$$

|                       |                               |        |
|-----------------------|-------------------------------|--------|
| Treyler               | : 1/2 x 304 x 4.10 x 0.90     | = 560  |
| Kamyon                | : 1/2 x 1519 x 2.90 x 0.90    | = 1982 |
| Otobüs                | : 1/2 x 508 x 3.20 x 0.90     | = 732  |
| Orta Yüklü Tic. Taşıt | : 1/2 x 3389 x 0.60 x 0.90    | = 915  |
| Otomobil              | : 1/2 x 16943 x 0.0006 x 0.90 | = 5    |

**Günlük Toplam 4193**

**Toplam Trafik,  $T_{8.2} = 4193 \times 365 \times 20 = 30.612.036$**  standart dingil/proje süresi

c) Yol devlet yolu olduğundan ;

$$\begin{aligned} R &= \% 85 \\ Z_R &= -1.037 \\ P_t &= 2.5 \\ S_o &= 0.45 \end{aligned}$$

olarak belirlenir. Söz konusu yolda kullanılacak tabaka tipleri ve katsayıları ise Kısım 10.2.2' den aşağıdaki gibi seçilir.

|                                              |                   |
|----------------------------------------------|-------------------|
| Asfalt Betonu Aşınma .....                   | $a_1 = 0.42$      |
| Asfalt Betonu Binder .....                   | $a_1 = 0.40$      |
| Bitümlü Temel .....                          | $a_2 = 0.36$      |
| Plent-miks Temel .....                       | $a_2 = 0.15$      |
| Alttemel .....                               | $a_3 = 0.13$      |
| Alttemel ve PMT için Drenaj Katsayıları..... | $m_2 = m_3 = 1.0$ |

$T_{8.2} = 30.612.036$  için önerilen üstyapı kalınlıkları ve üstyapı sayısı: Tablo:12.2 'den  
(  $25 \times 10^6 - 35 \times 10^6$  ) kategorisi için;

|                            |   |                  |   |      |
|----------------------------|---|------------------|---|------|
| 5 cm. Asfalt Betonu Aşınma | = | $5 \times 0.42$  | = | 2.10 |
| 7 cm. Asfalt Betonu Binder | = | $7 \times 0.40$  | = | 2.80 |
| 10 cm. Bitümlü Temel       | = | $10 \times 0.36$ | = | 3.60 |
| 20 cm. Plent-miks Temel    | = | $20 \times 0.15$ | = | 3.00 |

**SN = 11.50**

Toplam BSK kalınlığı,  $D_{BSK} = 5+7+10=22$  cm

c) Örnek yol güzergahında yer alan taban zemini malzemeleri ile temel, alttemel ve seçme malzemenin özellikleri aşağıdaki tabloda verildiği gibi olsun. CBR = %5 olan malzemenin Kısım 16 'da anlatıldığı gibi üstyapı tabanında kullanılması uygun görülmediğinden belirli bir kalınlıkta kazılarak yerine seçme malzeme getirilmelidir. Buna göre gerekli üstyapı enkesit tipi ve buna karşılık gelen derinlik düzeltme faktörü 'k' Şekil:10.2'den belirlenir. Bu değerlere göre malzemelerin esneklik modülleri 10.2 formülünden hesaplanarak aşağıdaki aynı tablo üzerinde toplu olarak gösterilmiştir.

|               | Enkesit<br>Tipi | k<br>cm | CBR,<br>% | Wopt<br>% | $\gamma_{max}$<br>g/cm <sup>3</sup> | LL<br>% | PI<br>% | No4 | No200 | M <sub>R</sub><br>psi |
|---------------|-----------------|---------|-----------|-----------|-------------------------------------|---------|---------|-----|-------|-----------------------|
| 0+000-10+000  | 1               | 17      | 12        | 20        | 1.6                                 | 42      | 20      | 80  | 40    | 9455                  |
| 10+000-20+000 | 1               | 17      | 15        | 15        | 1.7                                 | 20      | 8       | 62  | 20    | 12428                 |
| 20+000-30+000 | 4               | 17      | 5         | 25        | 1.5                                 | 55      | 30      | 95  | 85    | 5715                  |
| Seçme malzeme | 3               | 17      | 20        | 13        | 1.8                                 | 0       | 0       | 63  | 12    | 16078                 |
|               | 4               | 0       | 20        | 13        | 1.8                                 | 0       | 0       | 63  | 12    | 12593                 |
| Temel         | -               | 0       | 120       | 8         | 2.2                                 | 0       | 0       | 45  | 3     | 33266                 |
| Alttemel      | -               | 0       | 50        | 11.8      | 1.96                                | 0       | 0       | 75  | 11    | 18834                 |

Kırmataş Alttemelin  $M_R$  değeri 18834 psi, Plent-Miks Temelin  $M_R$  değeri ise 33266 psi olarak hesaplanarak yukarıdaki tabloda gösterilmiştir. Buna göre bu tabakalar üzerine gereken SN' ler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} M_R &= 18834 \text{ psi} & SN_2 &= 10.41 \\ M_R &= 33266 \text{ psi} & SN_1 &= 8.42 \end{aligned}$$

|               | $M_R, \text{psi}$ | Mevcut SN | Gerekli SN | Fark $\Delta_{SN}$ | Hesaplanan $\Delta_{SN} / (m_i^* a_3)$ | Alttemel Kalınlığı (cm) |
|---------------|-------------------|-----------|------------|--------------------|----------------------------------------|-------------------------|
| 0+000-10+000  | 9455              | 11.50     | 13.20      | 1.70               | 13.08                                  | 15                      |
| 10+000-20+000 | 12428             | 11.50     | 12.05      | 0.55               | 4.23                                   | 15 *                    |
| 20+000-30+000 | 16078             | 11.50     | 11.02      | -0.48              | -3.69                                  | 5 cm<br>PMT             |
|               | 12593             | 11.50     | 11.99      | 0.49               | 3.77                                   | ilavesi                 |

\* Dona hassas olduğundan minimum alttemel kalınlığı olan 15 cm alttemel verilmiştir.

Km : 20+000-30+000 arasında Şekil:10.2'ye göre enkesit tipi (3) için seçme malzeme üzerinde alttemel çıkmamaktadır. Bu durumda enkesit tipi (4)'e dönüşeceğiinden, seçme malzemenin  $k=0$  için esneklik modülünü ve gerekli alttemel kalınlığını yeniden hesaplamak gerekecektir. Enkesit tipi (4) için seçme malzemenin esneklik modülü 12593 psi bulunur ve esneklik modülünün bu değeri için alttemel kalınlığı 3.77 cm olarak hesaplanır. Bu durumda seçme malzeme, Tablo 14.1 dona hassas olmayan malzeme kriterlerini de sağladığından alttemel verilmez, PMT kalınlığı 5 cm artırılır.

#### Bulunan Kalınlıkların Kontrolü:

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

|                       |          |                                       |
|-----------------------|----------|---------------------------------------|
| Asfalt Betonlu Aşınma | 5.0 cm.  | $5.0 \times 0.42 = 2.10$              |
| Asfalt Betonlu Binder | 7.0 cm.  | $7.0 \times 0.40 = 2.80$              |
| Bitümlü Temel         | 10.0 cm. | $10.0 \times 0.36 = \underline{3.60}$ |

$$SN_1^* = 8.50 \geq 8.42$$

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

$$D_2^* \geq \frac{10.41 - 8.50}{0.15} = 12.73 \text{ cm} < 20 \text{ cm}$$

$$D_2^* = 20 \text{ cm.} \quad SN_2^* = 20 \times 0.15 = 3.0$$

$$SN_1^* + SN_2^* = 8.50 + 3.0 = 11.50 > 10.41$$

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

$$M_R=9455 \text{ için } D_3^* = \frac{13.20 - (8.50 + 3.00)}{0.13} = 13.08 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

$$M_R=12428 \text{ için } D_3^* = \frac{12.05 - 11.50}{0.13} = 4.23 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

Km:20+000-30+000 arasındaki kesimde  $M_R$  değeri 16086 psi olan seçme malzeme üzerine alttemel getirilmemesi durumunda gerilme koşulları, dolayısıyla esneklik modülü değişeceğinden, bu kesim için temel tabakası kalınlığının kontrolü  $M_R=12593$  psi değerine göre aşağıdaki gibi yapılır.

$$M_R=12593 \text{ için } D_3^* = \frac{11.99 - 11.50}{0.15} = 3.27 \text{ cm (5 cm PMT ilave)}$$

### Seçme Malzeme Kalınlığının Bulunması

CBR=%5 olan malzeme kazılıp, yerine CBR=%20 olan malzeme getirildiğinde alttemel kullanılması gerekmediğinden bu durumda seçme malzemesinin kalınlığı şu şekilde bulunacaktır:

Taban zemini esneklik modülü,  $M_R = 5715$  psi (Formül 10.2)

Seçme malzeme esneklik modülü,  $M_R = 12593$  psi (Formül 10.2)



Buna göre seçme malzemenin izafi mukavemet katsayısı 11.4 formülünden aşağıdaki gibi bulunur.

$$a_i = 0.0045 \cdot \sqrt[3]{M_{R_i}} = 0.0045 \cdot \sqrt[3]{12593} = 0.105 \text{ bulunur.}$$

$M_R=5715$  psi için gerekli SN =15,46 cm bulunur (Şekil:11.2 'den).

Seçme malzeme Drenaj Katsayısı, No200≤%12 olan kumlu zeminler için Tablo:10.1 'den  $m=0.95$  olarak seçilir. Buna göre seçme malzeme kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Seçme Malzeme Kalınlığı, } D = \frac{15.46 - (8.5 + 25 \times 0.15)}{0.105 \times 0.95} = 32.18 \text{ cm} \cong 35 \text{ cm}$$

#### Önerilecek üstyapı kalınlıkları (20 yıllık proje süresi için)

| CBR            | $M_R$<br>(psi) | Kırmataş<br>Alttemel<br>(cm) | Plent-Miks<br>Temel<br>(cm) | Bitümlü<br>Temel<br>(cm) | Binder<br>(cm) | Aşınma<br>(cm) |
|----------------|----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|----------------|
| 0+000-10+000   | 9455           | 15                           | 20                          | 10                       | 7              | 5              |
| 10+000-20+000  | 12428          | 15                           | 20                          | 10                       | 7              | 5              |
| *20+000-30+000 | 16078          | -                            | 25                          | 10                       | 7              | 5              |

\* Bu kesimde CBR =%5 olan malzeme 35 cm derinlikte kazılarak atılacak ve yerine dona hassas olmayan  $CBR \geq \%20$  olan seçme malzeme getirilecektir.

## KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

..... Bölge Müdürlüğü

## ESNEK ÜSTYAPI PROJELENDİRME FORMU

Yolun İsmi : .....

Yolun Km : .....

Bölgesi : .....

K.K. No : .....

|                                                                                                                  |                                     |                                            |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|-------------------|
| Yol sınıfı : 1                                                                                                   |                                     | Güvenilirlik ( % ) , R : 85%               |                         | Şerit sayısı ( i * j ) = 2*2 |                  | Proje süresi                               |                                                   |               |                   |
| Son servis kabiliyeti ( P <sub>s</sub> ) : 2.5                                                                   |                                     | Stan.Normal Sapma, Z <sub>R</sub> : -1.037 |                         | i =Trafik yönü sayısı        |                  | t=20yıl                                    |                                                   |               |                   |
| Hesap şeridi faktörü ( η ) : 0.9                                                                                 |                                     | Toplam Stan.Sapma., S <sub>0</sub> : 0.45  |                         | j =Aynı yöndeki şerit sayısı |                  |                                            |                                                   |               |                   |
| TRAFİK GRUPLARI                                                                                                  |                                     | TREYLER                                    | KAMYON                  | OTOBÜS                       | OR. YÜK. TİC.TŞ. | OTOMOBİL                                   | TOPLAM                                            |               |                   |
| 2008 yılı sayımı (YOGT) :                                                                                        |                                     | 200                                        | 1000                    | 300                          | 2000             | 10000                                      |                                                   |               |                   |
| Trafik artış katsayısı, r (%) :                                                                                  |                                     | 4                                          | 4                       | 5                            | 5                | 5                                          |                                                   |               |                   |
| 2008 (İlk trafik) yılı, T <sub>i</sub> :                                                                         |                                     | 200                                        | 1000                    | 300                          | 2000             | 10000                                      |                                                   |               |                   |
| 2028 (Son trafik) yılı, T <sub>s</sub> :                                                                         |                                     | 438                                        | 2191                    | 796                          | 5307             | 26533                                      |                                                   |               |                   |
| Proje trafiği= 0.4343*(T <sub>s</sub> -T <sub>i</sub> ) / log(T <sub>s</sub> /T <sub>i</sub> ), t <sub>p</sub> : |                                     | 304                                        | 1519                    | 508                          | 3389             | 16943                                      |                                                   |               |                   |
| Taşıt eşdeğerlik faktörü, TEF :                                                                                  |                                     | 4.10                                       | 2.90                    | 3.20                         | 0.60             | 0.0006                                     |                                                   |               |                   |
| Hesap şeridine düşen günlük standart dingil yükü tekrerrür sayısı, Wg=(Tp/i)*(TEF)*η                             |                                     | 560                                        | 1982                    | 732                          | 915              | 5                                          | 4193                                              |               |                   |
| Toplam standart dingil (8.2 t) tekrerrür sayısı, (T <sub>8.2</sub> ) = Wg*365*t                                  |                                     | 30,612,036                                 |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |
| Bölgenin iklim özellikleri                                                                                       | Yıllık ortalama yağış(mm)           | 324                                        | Maks. Sıcaklık (°C)     |                              | 33               | Yeraltı suyunun taban yüzeyinden derinliği |                                                   | 2.25          |                   |
|                                                                                                                  | Yağışlı günler sayısı               | 90                                         | Minimum sıcaklık (°C)   |                              | -8               | Rakım (m)                                  |                                                   | 1125          |                   |
|                                                                                                                  | Donlu günler sayısı                 | 50                                         | Maks.Rüzgar Hızı (m/sn) |                              | 10               | Don indeksi (°C-Gün)                       |                                                   | 347           |                   |
|                                                                                                                  | Maks. kar kalınlığı (cm)            | 66                                         | Rüzgar Yönü             |                              | KD               | Maks.don derinliği (cm)                    |                                                   | 80            |                   |
| ÜSTYAPI TABAKALARI                                                                                               |                                     | İLGİLİ ŞARTNAME                            |                         |                              | a                | D(cm)                                      | a*D (cm)                                          |               |                   |
| ASFALT BETONU AŞINMA                                                                                             |                                     | KTŞ. 407 KISIM                             |                         |                              | 0.42             | 5                                          | 2.10                                              |               |                   |
| ASFALT BETONU BİNDER                                                                                             |                                     | KTŞ. 407. KISIM                            |                         |                              | 0.40             | 7                                          | 2.80                                              |               |                   |
| SICAK BÜTÜMLÜ TEMEL                                                                                              |                                     | KTŞ. 406. KISIM                            |                         |                              | 0.36             | 10                                         | 3.60                                              |               |                   |
| PLENT-MİKS KIRMATAŞ TEMEL                                                                                        |                                     | KTŞ. 402. KISIM                            |                         |                              | 0.15             | 20                                         | 3.00                                              |               |                   |
| ALTTEMEL                                                                                                         |                                     | KTŞ. 401. KISIM                            |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |
| TOPLAM                                                                                                           |                                     |                                            |                         |                              |                  | 11.50                                      |                                                   |               |                   |
| ALTTEMEL KALINLIKLARININ BULUNMASI                                                                               |                                     |                                            |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |
| Kilometre                                                                                                        | ÜSTYAPI TABANI M <sub>R</sub> (psi) | ALTTEMEL                                   |                         | ÜSTYAPI SAYISI SN (cm)       |                  |                                            | ALTTEMEL KALINLIĞI (cm)                           |               | Malzeme Türü      |
|                                                                                                                  |                                     | a <sub>3</sub>                             | m <sub>3</sub>          | Gerekli SN                   | Mevcut SN        | Fark SN                                    | Hesaplanan ΔSN/ (m <sub>3</sub> *a <sub>3</sub> ) | Önerilen (cm) |                   |
| 0+000-10+000                                                                                                     | 9455                                | 0.13                                       | 1.00                    | 13.20                        | 11.50            | 1.70                                       | 13.08                                             | 15            | Kırmataş Alttemel |
| 10+000-20+000                                                                                                    | 12428                               | 0.13                                       | 1.00                    | 12.05                        | 11.50            | 0.55                                       | 4.23                                              | 15            | Kırmataş Alttemel |
| 20+000-30+000                                                                                                    | 16078                               | 0.13                                       | 1.00                    | 11.02                        | 11.50            | -0.48                                      | -3.69                                             | GEREKMEZ      | 5 cm PMT ilave    |
| 20+000-30+000                                                                                                    | 5715                                | 0.105                                      | 0.95                    | 15.46                        | 12.25            | 3.21                                       | 32.18                                             | 35            | Seçme Malzeme     |
|                                                                                                                  |                                     |                                            |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |
|                                                                                                                  |                                     |                                            |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |
|                                                                                                                  |                                     |                                            |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |
|                                                                                                                  |                                     |                                            |                         |                              |                  |                                            |                                                   |               |                   |

Yapanın İsmi : .....

İmza:.....

Tarih :.....

Pozisyonu : .....

Proje No : .....

## 18- KADEMELİ İNŞAAT

Trafik hacmi ve buna bağlı yüklerin her geçen yıl artış göstermesi nedeniyle, başlangıçta oluşan trafik yüklerini taşıyabilecek kalınlıkta inşa edilmiş kaplama, gelecekteki trafik için yeterli olmayabilmektedir. Asfalt kaplamalarda bu problem, ilk önce gerekli olan kalınlığın inşa edilmesi ve daha sonra gerektiğinde toplam kalınlığın artırılması için asfalt tabakalarının ilave edilmesi uygulamasıyla en ekonomik şekilde çözümlenmektedir. Bu yöntem kademeli inşaat olarak adlandırılmaktadır.

Kademeli inşaat; istenilen kaplama kalınlığının bir kısmının inşa edilmesi ve ilave tabakaların önceden belirlenmiş bir zaman takvimine göre uygulanmasından oluşmaktadır. Bu sayede başlangıçta aşırı miktarda yatırım maliyetinden kaçınılmaktadır.

Kademeli inşaat; mevcut üstyapıların ana bakım ve onarım (rehabilitasyon) işlemlerinden farklı olup, ilk kademede yapılan üstyapı ciddi bozulma belirtileri göstermeden ve tüm üstyapı proje ömrünü tamamlamadan önce ikinci aşama üstyapının getirileceği kabulüne dayanmaktadır.

Kademeli inşaatın, trafik nedeniyle oluşacak lokal bozulmaların önceden görülmesi ve trafik tahminlerindeki değişikliğin üstyapı projelendirmesine etkisinin azaltılması gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır. Ancak; II. Kademe inşaatında sadece asfalt kaplama cinsinden üstyapı tabakası verilmeli, I. kademe üstyapı tabakaları ise bu durum göz önünde tutularak belirlenmelidir. Kademeli inşaat olarak inşa edilen yollarda trafik artışı ve üstyapı performansı çeşitli değerlendirmelerle (defleksiyon etütleri vb.) sürekli kontrol edilmelidir.

Kademeli inşaat yöntemi ile üstyapı projelendirmesi yapılırken Kısım 14.3.3 'te anlatıldığı gibi ideal proje süresi tespit edilerek, seçilen analiz süresi için kaç kademede üstyapının teşkil edileceği belirlenmelidir. Kademe sayısı n olmak üzere güvenilirlik ise Formül 18.1 ile belirlenecektir.

$$R_K = (R_T)^{1/n} \dots\dots\dots(18.1)$$

Burada;

$R_K$  : Her bir kademenin güvenilirliği

$R_T$  : Belirlenen bir analiz süresi için projenin toplam güvenilirliği

n : Kademe sayısı

Örneğin; bir proje için Tablo:8.1 'den toplam güvenilirlik %85 olarak seçilmiş ve üstyapının üç kademede yapılacağı belirlenmiş ise her kademenin güvenilirliği;

$$R_K = (0.85)^{1/3} = 0.95 \Rightarrow R_K = \%95 \text{ olarak bulunur.}$$

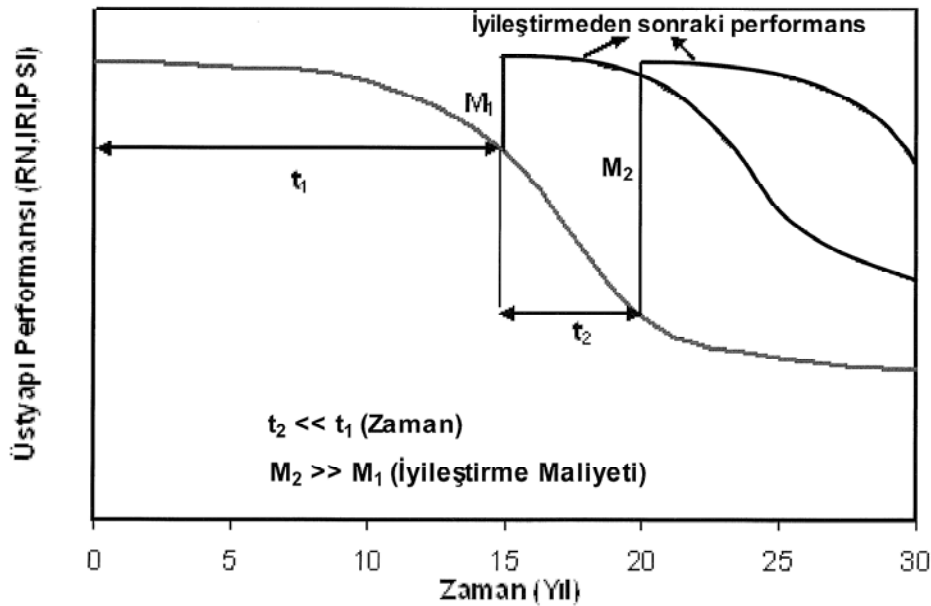
Üstyapı projelendirmesi ile diğer işlemler ise yukarıda tanımlanan genel projelendirme aşamalarına uygun olarak yapılmaktadır.

## 19- ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS)

Bir yol ağının mevcut durumunu ortaya koyup, buna göre uygulanacak bakım/onarım stratejilerinin belirlenmesi Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) ile sağlanmaktadır. Üstyapı Yönetim Sistemi, sınırlı mevcut bir bütçeye en yüksek kazanç sağlayacak optimum bakım/onarım önceliği programlarını oluşturmak için nesnel ve sistematik yaklaşım sağlayan ve bilgisayar destekli bir araç niteliği taşımaktadır.

Yollar trafik yükleri ve çevre faktörleri nedeniyle zamanla bozulurlar. Bu bozulmalar başlangıçta çok yavaş olup, yolların performansını koruyabilmek için sadece rutin bakıma ihtiyaç gösterirler. Ancak süre ilerleyip zamanında iyileştirmeler yapılmaz ise bozulmalar artarak çok pahalı iyileştirme alternatiflerine ihtiyaç gösteren sonuçlar doğurur. Üstyapı yönetim sistemi, pahalı iyileştirmelerden (rehabilitasyon) kaçınmak için zamanında yapılmış iyileştirme programlarına katkıda bulunur ve böylelikle sınırlı kamu fonlarında azami kazanç sağlar.

Aşağıdaki şekilde bir yolun tipik performans eğrisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, bozulmalar önce yavaş hızda artarken belirli bir bozulma seviyesinden sonra, onarılmadığı takdirde bozulma hızı büyük ölçüde artarak yol kısa süre sonra ömrünü tamamlamaktadır. Dolayısıyla belirli seviyede yolun nispeten çok daha az bir maliyet ile onarılması mümkün iken, onarımın birkaç sene geciktirilmesi halinde, yüksek bozulma hızı nedeniyle onarım maliyeti çok büyük oranda artmaktadır. İşte, Üstyapı Yönetim Sisteminin temel hedefi bu seviye aşılmadan en ekonomik bakım/onarım stratejisinin belirlenmesidir



Üstyapı yönetim sistemi genellikle "ağ" ve "proje" düzeyi olarak adlandırılan, yönetimle ilgili iki düzeyde uygulanabilmektedir. Ağ düzeyinde, geniş çapta bir proje grubu veya tüm karayolu üzerinde bakım/onarım ile ilgili olarak hangi yol kesimlerinin öncelikli olarak yapılacağı, ne zaman ve ne türde çalışmalar yapılacağı hakkında karar alınmakta, ömür boyu maliyet analizleri yardımı ile bakım/onarımda öncelikli yol kesimleri belirlenmekte; proje düzeyinde ise bağımsız projelere ait detaylı bakım/onarım stratejileri belirlenmektedir. Bu kapsamda ağ ve proje düzeyinde yapılması gereken başlıca çalışmalar şunlardır:

**Ağ seviyesi ÜYS kapsamında yapılması gereken işler:**

1. Yol ağının belirlenerek kesimlere ayrılması,
2. Belirlenen yol ağında; defleksiyon, kayma direnci, yüzey düzgünlüğü ve sürüş konforu etütleri ile sürekli ve düzenli olarak veri toplanması,
3. Performans tahmin modellerinin (eğrileri) oluşturulması,
4. Kabul edilebilir kriterlerin tespit edilmesi,
5. Şu anki ve gelecekteki bakım/onarım ihtiyacın tespiti; seçeneklerin belirlenmesi ve bütçe gerekleri,
6. Seçeneklerin değerlendirilmesi, önceliklerin belirlenerek yapım programının ortaya konulması.

**Proje seviyesi kapsamında yapılması gereken işler:**

1. Ağ düzeyinde programa alınmış kesim üzerinde alt kesimlendirme yapılması,
2. Detaylı arazi, laboratuvar ve diğer verilerinin toplanarak alternatif üstyapı projelerinin hazırlanması,
3. Proje alternatiflerinin değerlendirilerek bozulma tahmin modellerinin oluşturulması ve proje ömürlerinin belirlenmesi,
4. Detaylı ömür-döngü maliyet analizlerinin yapılması,
5. En uygun bakım/onarım alternatifinin seçilmesi.

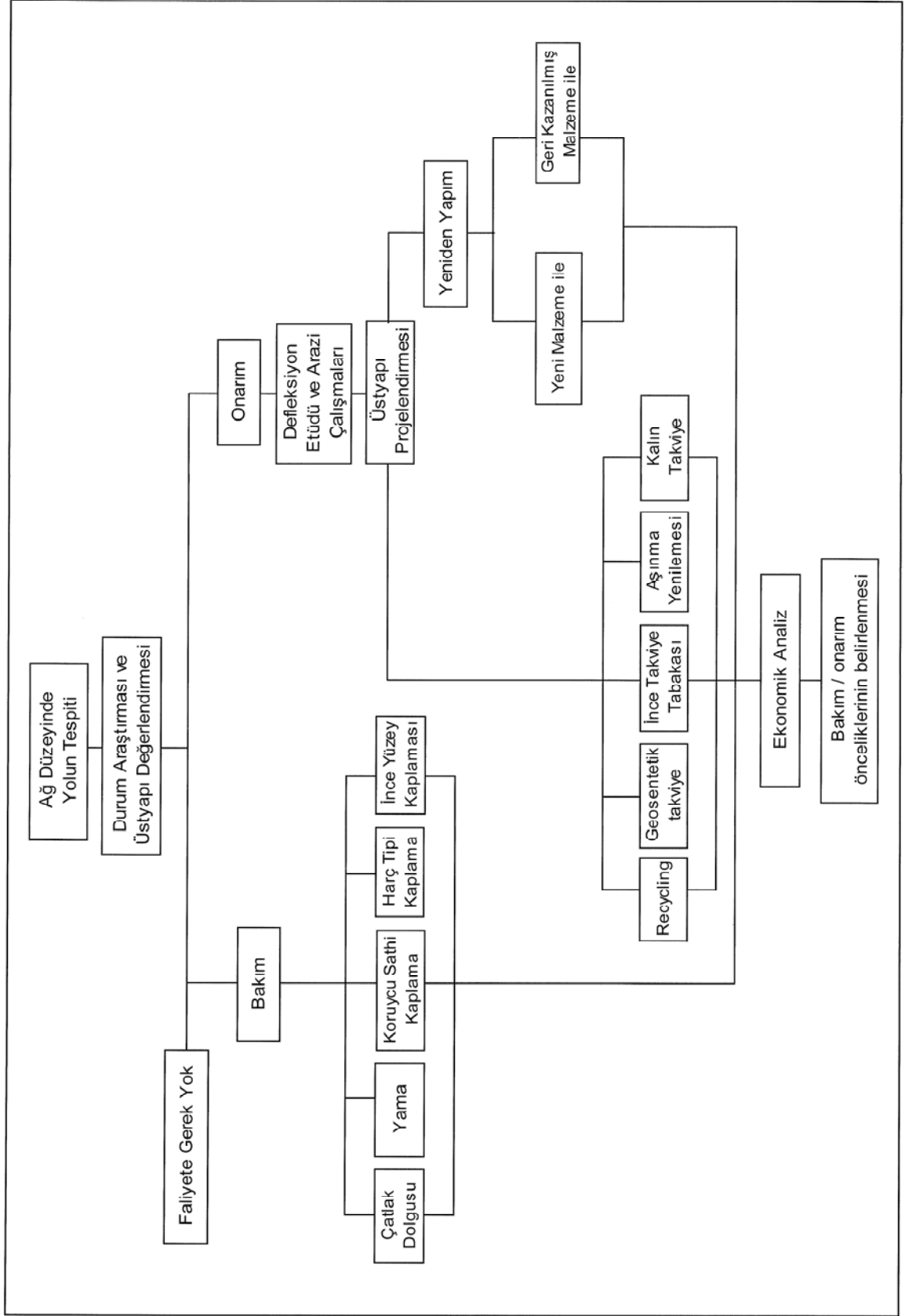
Buna göre üstyapı yönetimi, karayolu ağının sağlıklı değerlendirilmesiyle başlamaktadır. Bu amaçla, öncelikle karayolu ağını oluşturan bütün yolların kesimlere ayrılarak kaplama tipi, temel ve alttemel tipi, tabaka kalınlıkları, malzeme özellikleri, taban zemini taşıma gücü ve trafik bilgilerini içeren envanterleri çıkarılmalıdır. Ayrıca yol kesimlerine ait yapım / trafiğe açılma tarihleri, çevre ve iklim koşulları, varsa önceden yapılmış onarım çalışmaları belirlenir. Daha sonra bu yollar, sürüş konforu, yapısal direnci, yüzey bozuklukları ve kayma direnci yönünden, ekonomik olarak, doğru ve hassas veri sağlayan sistemler, detaylı performans gözlemleri ve arazi çalışmalarıyla etüt edilmelidir.

Mevcut durum ile ilgili bilgiler, yalnızca yolların kötü olanlarını değil, aynı zamanda orta ve iyi durumda olanlarını belirlemek amacıyla da kullanılabilir. Bundan sonraki adım, yolların gelecekteki performansını, yani yolların mevcut performansının zaman içindeki değişimini tahmin etmek olacaktır. Bu aşamada, hem öncelikli olarak iyileştirilmesi gereken yollar belirlenecek, hem de, gelecekte hangi yolların hangi yıllarda iyileştirmeye gereksinim göstereceği hususunda modellerle yapılacaktır.

Bakım/onarım çalışmalarına gereksinim gösteren yolların her biri için, en ekonomik ve en iyi bakım/onarım stratejilerinin seçimi amacıyla daha ayrıntılı analizler yapılmalıdır. Bu seçim ise, başlangıçtaki yol yapım maliyetleri ve gelecekteki bakım giderleri ile taşıt işletme giderlerindeki tasarruflar göz önünde bulundurularak yapılmış kapsamlı analizler ile gerçekleştirilmektedir. Ekonomik analizler, üstyapının yapım, bakım ve onarım gibi birincil maliyetleri yanında; zaman, konfor ve kaza gideri gibi yol kullanıcılarına ait gideri de içermeli ve proje alternatifleri analiz süresi boyunca yapılacak ömür boyu maliyet analizlerini dikkate alarak karşılaştırılmalıdır.

Sonuçta; hangi yollara, hangi yöntemle ve hangi yılda müdahale edilmesi gerektiğini ortaya koyan, her yıl için öncelikli en uygun iyileştirme ve bakım programı elde edilmektedir. Bu en uygun öncelikli iyileştirme veya bakım programı, değişiklikler yapılmadan uygulamaya geçirildiği takdirde, kısıtlı devlet ödeneğinin en iyi şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Bu rehberde, Üstyapı Yönetim Sisteminin uygulanmasında Şekil:19.1 'deki akış şemasının takip edilmesi önerilmektedir.

**ŞEKİL:19.1. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMA AKIŞ ŞEMASI**



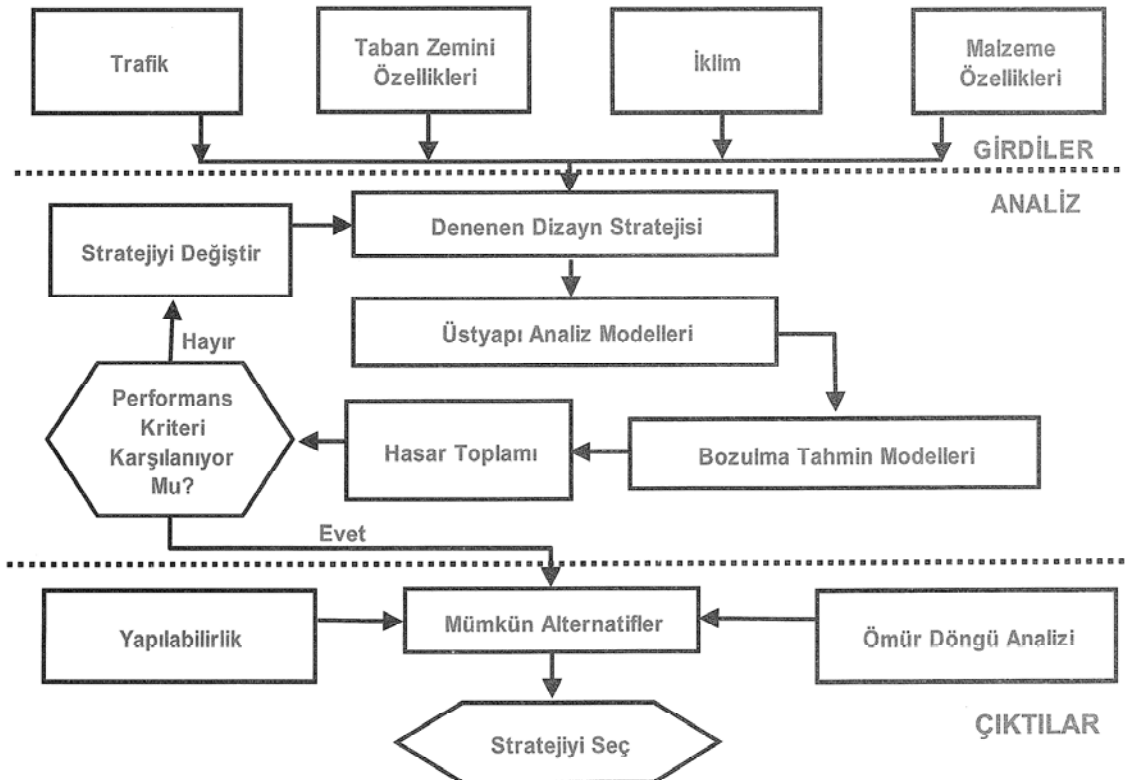
## 20. MEKANİSTİK-AMPİRİK DİZAYN

Karayolu üstyapılarının projelendirilmesinde, sıklıkla kullanılan ve yol testlerine dayanan ampirik metotlar, günümüzde yerini giderek mekanistik-ampirik dizayn yaklaşımına bırakmakta olup, gelecekte üstyapı projelendirmesinin tamamıyla mekanistik metotlara dayanması beklenmektedir. Bu kısımda, mekanistik-ampirik dizayn yaklaşımı ve bu yaklaşımın temel aşamaları hakkında genel, tanıtıcı bir bilgi verilecektir.

Ampirik dizayn metotları genellikle yol testlerine dayanmakta iken, mekanistik dizayn yönteminde, belirli çevresel ve fiziki koşullar altında trafik yükleri nedeniyle oluşan gerilme, deformasyon ve deplasmanlar hesaplanarak üstyapı kalınlıkları belirlenmektedir. Mekanistik dizayn ile elde edilen avantajların bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hem eski hem de yeni yollarda uygulanabilir.
- Üstyapıda yeni malzemelerin kullanılmasına açıktır.
- Yeni ve daha ağır dingil yükleri ile farklı lastik türlerini projelendirmede dikkate almak mümkündür.
- Model gerçek durumu simüle eder.
- Güvenilir performans tahminleri yapılabilir.
- Evrensel olarak uygulanabilir.
- Bilgi ve tecrübelerin paylaşımı kolaydır.
- Üstyapı davranışı daha iyi anlaşılabilir.
- Çevresel etkiler ve üstyapının yaşlanması projelendirmede dikkate alınabilir.

Mekanistik-Ampirik üstyapı projelendirmesinde temel dizayn aşamaları girdiler, analiz ve çıktılar olmak üzere başlıca üç aşamadan oluşmakta olup, işlem akış şeması aşağıda verilmektedir.



## 20.1. VERİ GİRİŞİ

Mekanistik dizaynın en önemli avantajlarından birisi, projesi yapılan yola özgü bütün verilerin doğrudan doğruya analiz girdisi olarak kullanılabilir olmasıdır. Bu yöntemde başlıca üç seviyede veri girişi mümkündür.

- 1. Seviye Veriler :** Tamamıyla deneysel verilere ve ölçümlere dayanan verilerdir (esneklik modülü, trafik verileri vb.). Formülasyonlarda direkt girdi olarak kullanılırlar.
- 2. Seviye Veriler :** Deney ve ölçümlere dayanmakla beraber, genellikle korelasyon yapılarak kullanılmaktadırlar. Örneğin, esneklik modülünün CBR deney sonucundan korelasyonla bulunması.
- 3. Seviye Veriler :** Bölgesel şartlar, zemin özellikleri gibi daha ziyade kabul edilen sınıflandırmalara bağlı olarak seçilen karakteristik verilerdir.

Bu kapsamda trafik, iklim ve malzeme özelliklerine ait girdiler aşağıda genel olarak verilen ayrıntıda girilir.

### Trafik Verileri :

- Yıllık ortalama günlük ağır taşıt trafiği (YOGATT)
- Her dingil grubu için (tek, tandem, tridem) dingil ağırlığı,
- Proje süresi boyunca dingil sayıları,
- Hesap şeridi faktörü,
- Dingil açıklığı,
- Tekerlek basıncı ve özellikleri,
- Proje hızı.

### İklim Verileri :

- Proje süresi boyunca ortalama saatlik hava sıcaklığı ve mevsimsel değişimi,
- Proje süresi boyunca ortalama yağış miktarı,
- Proje süresi boyunca ortalama rüzgar hızı,
- Güneşli günler sayısı,
- Donlu günler sayısı,
- Yeraltı su seviyesi ve mevsimsel dağılımı,
- Don penetrasyon derinliği,
- Don indeksi.

### Bitümlü Sıcak Karışım Tabakalarına Ait Veriler :

- Bitümlü karışımın dinamik modülü ( $E^*$ )
- Karışımın Poisson oranı ( $\nu$ )
- Karışımın boşluk oranı,
- Karışımın agrega gradasyonu,
- Birim ağırlığı,
- Termal iletkenliği,
- Büzülme katsayısı,
- Isıl kapasitesi,
- Bitümün kompleks modülü ( $G^*$ ),
- Bitüm sınıfı,
- Bitümün penetrasyon ve viskozite değerleri,
- Diğer superpave deney sonuçları.



### **Granüler Malzemelere Ait (Alttemel, Temel, Üstyapı Tabanı) Veriler :**

- Esneklik Modülü,
- Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR),
- Hidrolik iletkenlik ve drenaj özellikleri,
- Birim ağırlığı,
- Granümetri,
- Atterberg limitleri,
- Zemin sınıfı,
- Poisson oranı.

### **20.2. ANALİZ (MODELLEME)**

Mekanistik-Ampirik Dizayn Metodunda sayısal analiz, kabul edilen başlangıç değerlerin istenilen kriterleri sağlayıp-sağlamama durumuna bağlı iteratif bir döngü şeklinde yürütülür.

Bu nedenle öncelikle Kısım 20.1 'de belirtilen verilerle beraber üstyapı kompozisyonu seçilerek, başlangıç tabaka kalınlıkları deneme verileri olarak girilir. Daha sonra proje süresi sonunda üstyapının sağlaması istenen bozulma ve performans kriterleri (Timsah sırtı çatlak, termal çatlaklar, tekerlek izinde oturma, sürüş konforu-IRI) girilir.

Bundan sonra üstyapı modellenerek gerilme, deformasyon ve deplasmanlar hesaplanır. Bu aşamada genellikle bilgisayar programları kullanılır. Mekanistik üstyapı modellerinden bazıları şunlardır;

- Çok tabakalı elastik model
- Dinamik model
- Viskoelastik model
- Sonlu elemanlar modeli

Bu şekilde üstyapı tabakalarında oluşan gerilme ve deformasyonlar hesaplandıktan sonra aşağıda verilen üstyapı bozulma modelleri oluşturulur.

- Boyuna yorulma çatlak modeli
- Timsah sırtı çatlak modeli
- Termal çatlak modeli
- Tekerlek izinde oturma (kalıcı deformasyon) modeli
- Yüzey düzgünlüğü modeli (Uluslararası Pürüzlülük İndeksi, IRI)

Model analizleri sonucunda elde edilen şartların başlangıçta kabul edilen kriterleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Sağlamıyorsa başlangıç verileri değiştirilerek işlem tekrar edilir. Eğer tüm kriterler sağlanıyorsa bir sonraki aşamaya geçilerek strateji belirlenir.

### **20.3. ÇIKTILAR (STRATEJİ BELİRLEME)**

Bu aşamada bozulma ve performans kriterleri sağlayan üstyapı kalınlıkları için ömür boyu maliyet analizleri (life-cycle-cost analysis) yapılır ve uygulamada yapılabilirlik gibi koşulları da değerlendirilerek proje üstyapı tipi ve üstyapı tabaka kalınlıkları belirlenir.



## **BÖLÜM : 2**

### **TAKVİYE PROJELERİNİN HAZIRLANMASI**



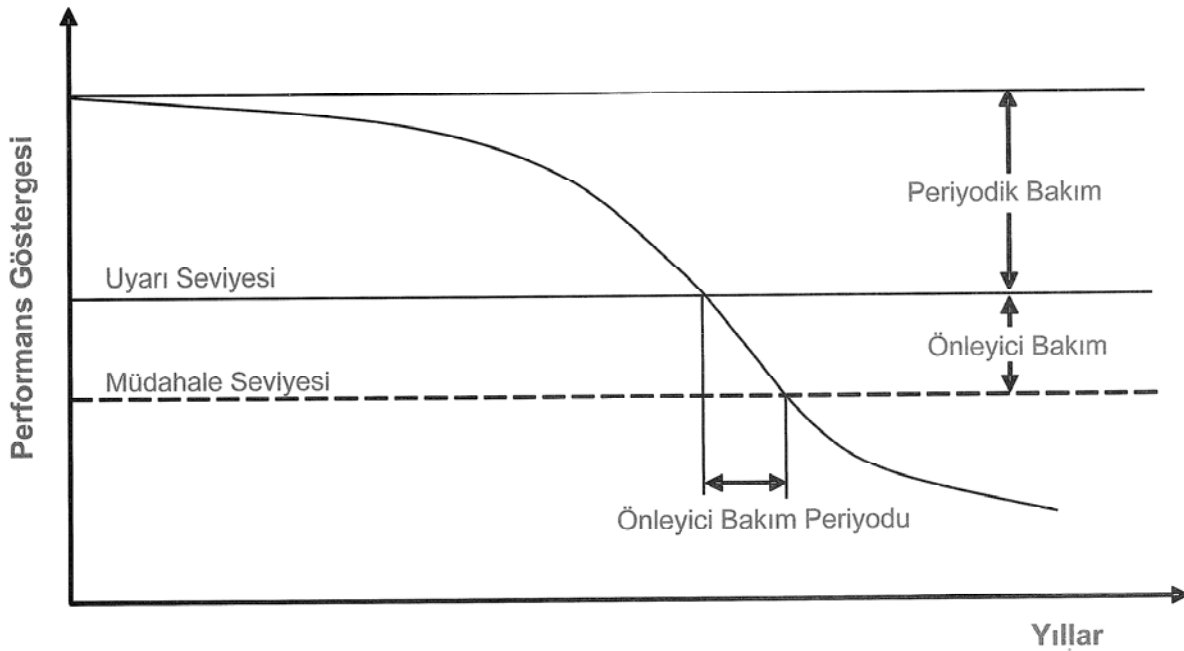
## 1- GİRİŞ

Yollar yeni inşa edildiklerinde iyi durumdadırlar, fakat trafik yükleri ve iklim koşulları nedeniyle zamanla bozulurlar. Bu bozulmalar başlangıçta çok yavaş olup yolların performansını koruyabilmek için sadece periyodik bakıma ihtiyaç gösterirler. Ancak süre ilerleyip zamanında iyileştirme yapılmazsa, bozulmalar artarak çok pahalı iyileştirme alternatiflerine ihtiyaç gösteren sonuçlar doğar. Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış iyileştirme programları, sınırlı kamu fonlarına azami kazanç sağlar.

Yapılacak iyileştirme programları karayolu üstyapısının sağlıklı değerlendirilmesi ile başlar. Bu amaçla bozulmaya yüz tutan yolların yapısal mukavemetinin, yüzey bozukluklarının ve üstyapı tabakalarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Gerekli etütler yardımı ile toplanan verilerle kesim kesim analizler yapılır ve üstyapı takviye kalınlıkları belirlenir. Mevcut durum hakkındaki bilgiler sadece kötü durumda olan yollar için değil, aynı zamanda orta ve iyi durumda olanları belirlemek için de kullanılır.

Bu rehberde sathi kaplamalı ve asfalt betonu kaplamalı yollar için takviye tabakalarının projelendirilmesine ait genel ilkeler verilmiştir.

**ŞEKİL :1.1 PERFORMANS EĞRİSİ**



## 2. GENEL BİLGİLER

Asfalt takviye tabakaları hem yüzeysel, hem de yapısal kusurların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Asfalt kaplamalardaki yüzeysel bozulmalar genellikle ince tabakalar ile düzeltilebilmektedir. Fakat yapısal bozulmalar, üstyapı özellikleri ve trafik yükleri gibi faktörlere göre ilave mukavemet sağlayacak şekilde dizayn edilmiş takviye tabakaları gerektirmektedir.

Esnek üstyapıların takviyelendirilmesi sırasında, takviye edilecek üstyapının mukavemeti, bozuklukları ve mevcut üstyapı tabakalarının nitelikleri tabaka kalınlıklarının hesaplanmasında esas alınmaktadır. Bu nedenle takviye tabaka kalınlıklarının hesaplanmasından önce mevcut üstyapının mukavemeti, bozulmaların muhtemel nedenleri ve yoldaki mevcut tabakaların özellikleri belirlenmelidir.

Esnek üstyapıdaki bozulmaların değerlendirilmesi bozulmaların nedenleri ve nasıl giderilecekleri hakkında bir fikir vermesi açısından çok önemlidir. Bozulmaların değerlendirilmesi uygulanacak yöntem için belirleyici veriler sağlar.

Proje sürelerinin sonuna yaklaşarak çeşitli bozulmalara uğrayan esnek üstyapı tabakaları, bozulmaya neden olan trafik yükleri ve çevre koşulları etkisiyle, orijinal fiziksel özelliklerinin, dolayısıyla mukavemetlerinin bir kısmını kaybederler. Mevcut malzemelerin özelliklerinin incelenmesi, tabakaların kalan mukavemetlerinin takviyelendirme sırasında göz önüne alınarak kullanılmasını amaçlar.

Takviye tabakalarının projelendirilmesi sırasında, önce mevcut üstyapının kaç yıllık bir süre için takviye edileceği belirlenmelidir. Bu rehberde takviye tabakaları için 10 yıllık bir proje süresi önerilmektedir. Takviye tabakalarının projelendirilmesinde trafik yüklerinin üstyapıya etkisi eşdeğer standart dingil yükü sayısı ile tanımlanır.

### **3. TAKVİYE PROJESİNİN HAZIRLANMASI SIRASINDA YAPILACAK ÇALIŞMALAR**

Mevcut yolların servis kabiliyetinin artırılması amacıyla hazırlanacak takviye projeleri şu çalışmaları kapsar.

- a) Performans gözlemleri
- b) Arazi ve laboratuvar çalışmaları
- c) Defleksiyon etütleri
- d) Trafik analizleri

#### **3.1 PERFORMANS GÖZLEMLERİ**

Performans gözlemleri; yol üstyapısının fiziksel durumunu incelemek ve takviye projesinin hazırlanmasına esas teşkil edecek arazi çalışmalarının yer ve sayısını tespit etmek amacıyla yapılacak bir ön etüt çalışmasıdır.

Performans gözlemlerinde temel amaç, gözlem sırasında her tür yüzey bozukluğunun tipini tanımlamak ve uygun onarım metodunu tayin etmektir. Bu yapılırken, belirlenen yüzey bozukluğunun ne kadar kötü olduğu (şiddet seviyesi) ve ne kadar yoğun olduğu belirlenmelidir. Bozulmaların hangi şiddete ulaştığını tanımlamakta genellikle üç seviye kullanılır.

- Hafif
- Orta
- Yüksek

Yoğunluk derecesi ise bozulmanın şekline göre değişik ölçüm metodu ve kriterine bağlı olmak üzere 1 ile 5 arasında derecelendirilmektedir.

Esnek üstyapıların kaplama tiplerine göre belirlenmiş, yüzey bozukluklarının tanımı, bozulma şiddeti ve bozulma yoğunluğu kriterleri, onarım şekli ve muhtemel oluşma nedenlerini içeren tablolar Kısım 8' de verilmiştir.

### **3.2. ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI**

Bu çalışmanın amacı, yol üstyapısını teşkil eden tabakaların fiziksel özelliklerinin ve kalınlıklarının tespit edilmesidir.

Performans gözlemleri yapılırken, mevcut kaplama üzerinde açılacak olan araştırma çukurları ve mevcut banket üzerinde açılacak olan gözlem çukurlarının yaklaşık olarak yer ve sayıları tespit edilir. Bu tespit sırasında en az çukur ile en fazla bilginin elde edilmesine özen gösterilmelidir. Üstyapı tabakalarının incelenmesi, çukur çalışmaları ile olabileceği gibi karot numuneleri almak suretiyle de yapılabilir.

Genel olarak "kaplamada araştırma çukuru" her iki kilometrede bir, "bankette gözlem çukuru" da araştırma çukurları ile şaşırtmalı olarak yine her iki kilometrede bir olacak şekilde belirlenmelidir.

Performans gözlemleri sonunda tespit edilen çukur yerlerinde çukurlar açılırken aşağıdaki hususlar göz önüne alınmalıdır.

#### **Kaplamada Araştırma Çukuru**

- a) Her bir çukurun yeri, yolun neresinde açıldığı ve yolun en kesit tipi (yarma, dolgu, karışık) belirlenir.
- b) Çukur, kaplama üzerinde yaklaşık 1 m eninde, 1 m boyunda ve üstyapı tabanına inecek derinliğe kadar makine veya kazma-kürek ile açılır.
- c) Mevcut yolun üstyapısını teşkil eden her bir tabakanın kalınlığı ayrı ayrı tespit edilir.
- d) Bitümün bağlayıcı olarak kullanılmadığı tabakaların (alttemel, temel) her birinden ayrı ayrı laboratuvar deneyleri için yeterli miktarlarda numune alınır. Gerekli durumlarda tabandan da numune alınır. Ayrıca üstyapı tabanı, alttemel ve temelde sıkışma kontrol deneyleri yapılır.
- e) Bitümlü tabakaların her birinin yüzeyi ayrı ayrı incelenir, varsa bozulmaların dereceleri, birbiri ile olan ilgileri, çeşitleri, sebepleri incelenerek gerekli bilgiler kaydedilir.

#### **Bankette Gözlem Çukuru**

- a) Her bir çukurun yeri ve yolun en kesit tipi belirlenir.
- b) Çukur, mevcut kaplamadaki tabaka kalınlıklarını saptamak amacıyla açılacağı için banketin kaplamaya bitişik olan kesiminde açılır.
- c) Kaplamadaki her bir tabakanın kalınlığı ayrı ayrı tespit edilerek tabana kadar inilir.
- d) Bankette ne tür malzeme kullanıldığı, kalınlıkları ile birlikte yerinde tespit edilir.

Kaplamada ve bankette açılan her araştırma ve gözlem çukuru etüt çalışmalarının tanımlanmasından sonra açık bırakılmamalı ve usulüne göre kapatılmalıdır.

### 3.3- DEFLEKSİYON ETÜTLERİ

Defleksiyon etüdünün amacı üstyapının taşıma gücünün belirlenmesi ve yolun taşıma gücü dikkate alınarak homojen kesimlere ayrılmasıdır.

Esnek bir üstyapının, üzerinden geçen tekerlek yükleri altında, düşey yöndeki geçici deformasyonuna "defleksiyon" denir. Bir üstyapının yük altında gösterdiği defleksiyon, elastik deformasyon şeklindedir. Başka bir deyişle, yükün uygulanmasıyla oluşan defleksiyon, yükün kalkmasıyla geri döner. Ancak, trafik yükünün kısa aralıklarla tekrarlanması nedeniyle, yol üstyapısı sürekli geri gelen deformasyonların etkisinde kalır ve yorulma olarak isimlendirilen bir olay oluşur. Yorulma, oluşan defleksiyonların mertebesi ve üstyapının mukavemetiyle ilişkilidir. Bir başka deyişle yüksek defleksiyonlar üstyapının zayıflığının göstergesidir ve defleksiyonlar arttıkça yol üstyapısındaki bozulmalar da artar.

Trafik yükleri ve çevre koşulları nedeni ile bozulmaya başlayan asfalt kaplamalı yollar, defleksiyon metodu ile değerlendirilebilir ve gerekli takviye tabakası kalınlıkları bulunabilir. Ayrıca bu metotla üstyapıların kalan ömürleri de hesaplanabilir.

Esnek üstyapıların defleksiyon metoduna göre değerlendirilmeleri için önce değerlendirilecek yol kesimlerinin belirlenmesi gerekir. Üstyapının durumu, taban zemininin mukavemeti ve drenaj koşulları, takviyesi düşünülen yol boyunca değişiklikler gösterir. Bu farklılıkları dikkate alarak yolun değişik kesimlerine değişik takviye kalınlıkları vermek maliyeti düşürmek açısından gereklidir. Gözlemlere ve deney verilerine bağlı olarak yol güzergahı homojen kesimlere ayrılabilir. Bazı durumlarda da yol güzergahı, defleksiyon değerleri dikkate alınarak kesimlere ayrılabilir.

Üstyapı defleksiyonlarının ölçülmesi için bir çok alet geliştirilmiştir. Bu cihazlar ile statik veya dinamik yükler altında defleksiyonların ölçülmesi mümkündür. Kuruluşumuzda kullanılan defleksiyon ölçüm cihazları şunlardır.

- Benkelman kirişi
- Düşen Ağırlıklı Deflektometre (FWD)

Ölçülen defleksiyon değerleri bazı bilgisayar programları yardımı ile değerlendirilerek takviye tabakalarının kalınlıkları belirlenir.

### 3.4- TRAFİK ANALİZLERİ

Üstyapıların taşıma gücünün artırılması amacıyla yapılacak takviye projelerinin hazırlanmasında 10 yıllık proje ömrü içinde yoldan geçecek Eşdeğer Standart Dingil Yüğü (  $T_{8.2}$  ) sayısının belirlenmesi gerekir. Daha önce " Üstyapı Projelerinin Hazırlanması " bölümünde anlatıldığı şekilde Eşdeğer Dingil Yüğü bulunur.



#### 4- ÜSTYAPI TAKVİYE PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

Üstyapıların yapısal kapasitesi zamana ve trafik yüklerine bağlı olarak azalmaktadır. Yolun başlangıçtaki yapısal kapasitesi  $SC_i$  ve buna tekabül eden üstyapı sayısı ise  $SN_i$  olmaktadır. Üstyapının taşıma kapasitesi zamanla azalarak belirli bir süre sonra mevcut taşıma kapasitesi  $SC_M$  ve mevcut üstyapı sayısı  $SN_M$  değerine düşecektir.

##### 4.1- MEVCUT ÜSTYAPI SAYISININ ( $SN_M$ ) BULUNMASI

Mevcut üstyapı sayısının bulunması yolun durumuna ve üstyapı etüdünün çeşidine göre aşağıdaki üç metottan biri ile yapılacaktır.

- Efektif Kalınlıklar Metodu
- Performans Gözlemleri ve Arazi Çalışmaları Metodu
- Defleksiyon Metodu
- Kalan Ömür Metodu

##### 4.1.1- EFEKTİF KALINLIKLAR METODU

Bu yöntemde; üzerine takviye tabakaları gelecek üstyapının Kısım 3.1 ve 3.2 'de tanımlanan şekilde mevcut üstyapı tabakalarının kalınlıkları, çeşitleri, malzeme özellikleri, yüzey bozukluklarının türü, şiddeti, yoğunluğu hakkında bilgiler toplanarak Tablo:4.1 'deki dönüştürme katsayıları (  $C$  ) tespit edilir. Üstyapı tabakalarının bozulma seviyelerine ve fiziksel özelliklerine bağlı olan bu dönüştürme katsayıları ile tabakanın gerçek kalınlığının çarpımı, üstyapı tabakasının takviyelendirmede esas alınacak asfalt betonu cinsinden efektif kalınlığını verecektir.

$$d_{ei} = d_{gi} \times C_i$$

Burada;

$d_{ei}$  = Herhangi bir üstyapı tabakasının efektif kalınlığı,  
 $d_{gi}$  = Söz konusu üstyapı tabakasının gerçek kalınlığı,  
 $C_i$  = Dönüştürme katsayısıdır.

Bulunan efektif kalınlığın asfalt betonunun izafi mukavemet katsayısı  $a = 0.40$  ile çarpımı ise mevcut üstyapı sayısını (  $SN_M$  ) verecektir.

$$SN_M = 0.40 \sum d_{ei} \dots\dots\dots(4.1)$$

Mevcut üstyapının tüm tabakaları, ayrı ayrı Tablo:4.1 de verilen dönüştürme katsayıları ile değerlendirilerek efektif kalınlıkları belirlenir. Bitümlü tabakaların ayrı ayrı değerlendirilmesi mümkün olmadığı için bitümlü üstyapı tabakaları bir tek tabaka olarak dikkate alınacaktır.

**TABLO : 4.1**  
**MEVCUT ÜSTYAPI TABAKALARININ ASFALT BETONU KALINLIĞINA**  
**DÖNÜŞTÜRÜLMESİ İÇİN KULLANILACAK KATSAYILAR**  
**(ESNEK ÜSTYAPILAR İÇİN)**

| Malzemenin Sınıflandırılması | Malzemenin Tanımlanması                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Dönüştürme Katsayısı (C <sub>i</sub> ) |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| I                            | <p>a-) Her durumdaki doğal taban zemini</p> <p>b-) İyileştirilmiş taban zemini, genellikle granüler malzeme-bir miktar silt ve kil bulunabilir, fakat <math>PI &lt; 10</math></p> <p>c-) Kireç ile stabilize edilmiş yüksek plastisiteli taban zemini <math>PI &gt; 10</math>.</p> <p>d-) Sathi kaplama</p>                                                                                                                                                                           | 0.0                                    |
| II                           | <p>Granüler alttemel veya temel kısmen iyi gradasyonlu, sağlam agregalı, bir miktar plastik ince malzeme var. <math>CBR &gt; 20</math></p> <p><math>PI &lt; 6</math> için üst limite</p> <p><math>PI &gt; 6</math> alt limite yakın değer seçilmelidir.</p>                                                                                                                                                                                                                           | 0.1-0.2                                |
| III                          | <p>Çimento veya kireç-uçucu kül ile stabilize edilmiş alttemel ve temeller. <math>PI &gt; 10</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.2-0.3                                |
| IV                           | <p>a) Bitüm Emülsiyonlu veya sıvı petrol asfaltlı kaplama ve temeller çok büyük ölçüde çatlama, agrega sökülmesi, tekerlek izlerinde belirgin bozulmalar mevcut, stabilite eksikliği var.</p> <p>b) Çimento ve kireç-uçucu kül stabilizasyonlu temeller. Yüzeyde yansıma çatlağı şeklinde görülen çatlak dizilimleri. Çatlaklar ince ise üst limite, çatlakların geniş olduğu durumda ve pompalama ve stabilite yetersizliği durumlarında alt limite yakın değerler seçilmelidir.</p> | 0.3-0.5                                |

| <b>Malzemenin Sınıflandırılması</b> | <b>Malzemenin Tanımlanması</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Dönüştürme Katsayısı (C<sub>i</sub>)</b> |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>V</b>                            | <p>a-) Asfalt betonu kaplama ve bitümlü temeller. Yüzeyde belirgin çatlaklar ve çatlak dizilimleri tekerlek izinde oturmalar.</p> <p>b) Bitüm Emülsiyonlu veya sıvı petrol asfaltlı kaplama ve temeller. İnce çatlaklar, bazı kesimlerde agrega sökülmeleri, tekerlek izlerinde az deformasyon var ancak stabilite mevcut.</p>                      | 0.5-0.7                                     |
| <b>VI</b>                           | <p>a-) Asfalt betonu kaplama ve bitümlü temeller; yüzeyde ince çatlaklar, kısa çatlak dizilimleri, tekerlek izinde az deformasyonlar var. Ancak tabaka stabil görülüyor.</p> <p>b-) Bitüm Emülsiyonlu veya sıvı petrol asfaltlı kaplama ve temeller; tabaka stabil, genellikle çatlak yok, kuma yok, tekerlek izlerinde çok az deformasyon var.</p> | 0.7-0.9                                     |
| <b>VII</b>                          | <p>a-) Asfalt betonu kaplama ve bitümlü temeller; çatlak yok, tekerlek izinde çok az deformasyon var.</p> <p>b-) Asfalt kaplama altında Çimento Bağlayıcı Granüler Temeller; stabilitesi iyi, çok ince yansıma çatlakları mevcut.</p>                                                                                                               | 0.9-1.0                                     |

#### 4.1.2- PERFORMANS GÖZLEMLERİ VE ARAZİ ÇALIŞMALARI METODU

Bu yöntemde; üzerine takviye tabakaları gelecek üstyapıda yüzey bozukluklarının türü, şiddeti hakkında bilgi edinmek için Kısım 3.1 ve 3.2 'de tanımlanan şekilde performans gözlemleri yapılır ve araştırma çukurları açılarak mevcut üstyapı tabakalarının kalınlıkları, çeşitleri, malzeme özellikleri hakkında bilgiler toplanır.

Üstyapı performans gözlemleri sırasında, üstyapı durumunun belirlenmesi için, Kısım 6 'daki bozulma şiddeti ve bozulma yoğunluğu kriterlerine uygun olarak Tablo:4.3 'de verilen tablo doldurulacaktır. Buna göre her kesim için Üstyapı Puanı (ÜP) ve Üstyapı Yapısal Puanı (ÜYP) tespit edilerek Tablo:4.2 'den üstyapı durum sınıfı (ÜDS) ve üstyapı için gereken bakım ve onarım stratejisi belirlenecektir.

**TABLO:4.2. ÜSTYAPI DURUM DEĞERLENDİRMESİ**

| Üstyapı Puanı (ÜP) | Üstyapı Durum Sınıfı | Üstyapı Bakım / Onarım Stratejisi    |
|--------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 100-90             | Çok iyi              | Bakıma gerek yok                     |
| 90-75              | İyi                  | Periyodik (rutin) bakım              |
| 75-65              | Orta                 | Koruyucu bakım veya takviye tabakası |
| 65-40              | Kötü                 | Takviye tabakası                     |
| < 40               | Çok Kötü             | Yeniden yapım                        |

Tablo:4.2 'den takviye tabakası seçilmesi halinde takviye tabakası kalınlığını bulmak için, araştırma çukurları ile tespit edilen üstyapı kalınlıklarına bağlı olarak öncelikle Bölüm 1 (11.2) formülü ile üstyapının başlangıçtaki Üstyapı Sayısı (S<sub>No</sub>) bulunur.

Daha sonra Başlangıç Üstyapı Sayısı (S<sub>No</sub>) ile Üstyapı Yapısal Puanı (ÜYP, %) çarpılarak Mevcut Üstyapı Sayısı (S<sub>M</sub>) bulunur.

$$S_{M} = S_{O} \times \text{ÜYP} \dots\dots\dots(4.2)$$

**TABLO:4.3. ESNEK ÜSTYAPILAR İÇİN ÜSTYAPI DURUMU PUANLAMA TABLOSU**

Yolun Adı :

Kilometre :

Tarih :

| ÜSTYAPI BOZULMA TİPİ             | Ağırlıklı Puan (A) | Bozulma Şiddeti (B) |            |            | Bozulma Yoğunluğu (C) |          |            |           |            | Hasar Miktarı<br>D=AxBxC |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|------------|------------|-----------------------|----------|------------|-----------|------------|--------------------------|
|                                  |                    | Hafif (0.4)         | Orta (0.7) | Yüksek (1) | Nadir (0.6)           | Az (0.7) | Orta (0.8) | Sık (0.9) | Yaygın (1) |                          |
| Timsah sırtı çatlak ✓            | 10                 |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Kenar çatlakları ✓               | 5                  |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Enine çatlaklar ✓                | 10                 |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Boyuna çatlaklar ✓               | 15                 |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Blok (harita) çatlakları         | 10                 |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Tekerlek izinde oturma ✓         | 10                 |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Ondülasyon, ötelenme ve yoğrulma | 5                  |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Lokal oturmalar                  | 5                  |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Yamalar                          | 5                  |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Çukurlar                         | 10                 |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Terleme (Kusma)                  | 5                  |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| Segregasyon, sökülme ve soyulma  | 10                 |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| TOPLAM HASAR =                   |                    |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| TOPLAM YAPISAL HASAR (✓) =       |                    |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| 100-TOPLAM YAPISAL HASAR = ÜYP = |                    |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| 100-TOPLAM HASAR = ÜP =          |                    |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |
| ÜSTYAPI DURUM SINIFI =           |                    |                     |            |            |                       |          |            |           |            |                          |

Çalışmayı Yapan :

Pozisyonu :

İmzası :

#### 4.1.3- DEFLEKSİYON METODU

Kısım 3.3 'te tanımlanan şekilde yapılan hasarsız üstyapı çalışmalarından olan defleksiyon etütleri sonucunda uygulanan yüke ve üstyapının defleksiyon miktarına bağlı olarak taban ve üstyapı hakkında bilgiler elde edilebilmekte ve mevcut üstyapı sayısı tespit edilmektedir. Bu çalışmalarda işlem sırası aşağıdaki gibi olacaktır.

##### a) Taban zemini esneklik modülü ( $M_R$ ) bulunur

Kaplamanın yüzeyinde ölçülen defleksiyonlar sadece üstyapı tabanının defleksiyonundan meydana gelmekte olup yükleme plakasının genişliğinden bağımsızdır. Bu nedenle takviye projelerinin hazırlanmasında taban zemini proje esneklik modülü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$M_R = \frac{1.126 P}{d_r r} \dots\dots\dots(4.1)$$

Burada:

- $M_R$  : Taban zemini esneklik modülü (psi)
- $P$  : Uygulanan yük (kg)
- $d_r$  : Yük merkezinden  $r$  kadar uzaktaki defleksiyon miktarı (cm)
- $r$  : Yük merkezine olan mesafe (cm)

Burada alınan defleksiyonlar, taban esneklik modülünün güvenilir bir şekilde tespit edilebilmesi için üstyapı tabakalarının etkisini yansıtmayacak derecede uzakta, defleksiyonların hassasiyetten uzak küçük sonuçlar vermeyecek kadar da yakın ölçülmüş olmalıdır. Minimum mesafe aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$r \geq 0.7 a_e$$

Burada:

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left( D \sqrt[3]{\frac{E_P}{M_R}} \right)^2} \dots\dots\dots(4.2)$$

- $a_e$  : Üstyapı ile taban zemini arayüzündeki gerilme dairesinin yarıçapı (inç)
- $a$  : Yük plakasının yarıçapı (inç)
- $D$  : Üstyapının toplam kalınlığı (inç)
- $E_P$  : Üstyapının efektif modülü (psi)

Yukarıdaki 4.1 bağıntısı taban esneklik modülünün  $C=0.33$  düzeltme faktörü ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Tespit edilen taban esneklik modülünün hesaplamalarda kullanılmadan önce Bölüm 1, Kısım 14 'te anlatıldığı gibi mevsimsel düzeltmesi yapılmalıdır. İhtiyaç duyulması halinde taban zemini esneklik modülü araştırma çukurları açılarak yapılan deneylerle de bulunabilir veya karşılaştırılabilir.

**b) Üstyapı efektif modülü ( $E_P$ ) bulunur.**

Eğer taban zemini esneklik modülü belirlenmiş ise üstyapının toplam kalınlığı belirlenerek ya da tahmin edilerek tüm üstyapıyı temsil eden üstyapı efektif modülü aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$d_0 = 1.5pa \left\{ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_P}{M_R}} \right)^2}} + \frac{\left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_P} \right\} \dots\dots\dots(4.3)$$

Burada;

- $d_0$  : Yük plakasının merkezinde standart 20 °C kaplama sıcaklığı için ölçülen defleksiyon miktarı (inç)
- $p$  : Uygulanan yük plakası basıncı (psi)
- $D$  : Üstyapı toplam kalınlığı (inç)
- $M_R$ : Taban zemini esneklik modülü
- $E_P$ : Üstyapı efektif modülü (psi)

Yükleme plakasının yarıçapının 15 cm (5.9 inç) olması durumunda, Şekil:4.1. 'deki grafik yardımıyla  $E_P/M_R$  oranı tespit edilerek bu denklem çözülebilir.

Kaplama sıcaklığının 20 °C 'den farklı olması durumunda üstyapı efektif modülü granüler ve bitümlü temelli üstyapılar için, Şekil:4.2 den tespit edilen sıcaklık düzeltme faktörleriyle çarpılarak belirlenmelidir.

**c) Mevcut üstyapı sayısı ( $SN_M$ ) tespit edilir.**

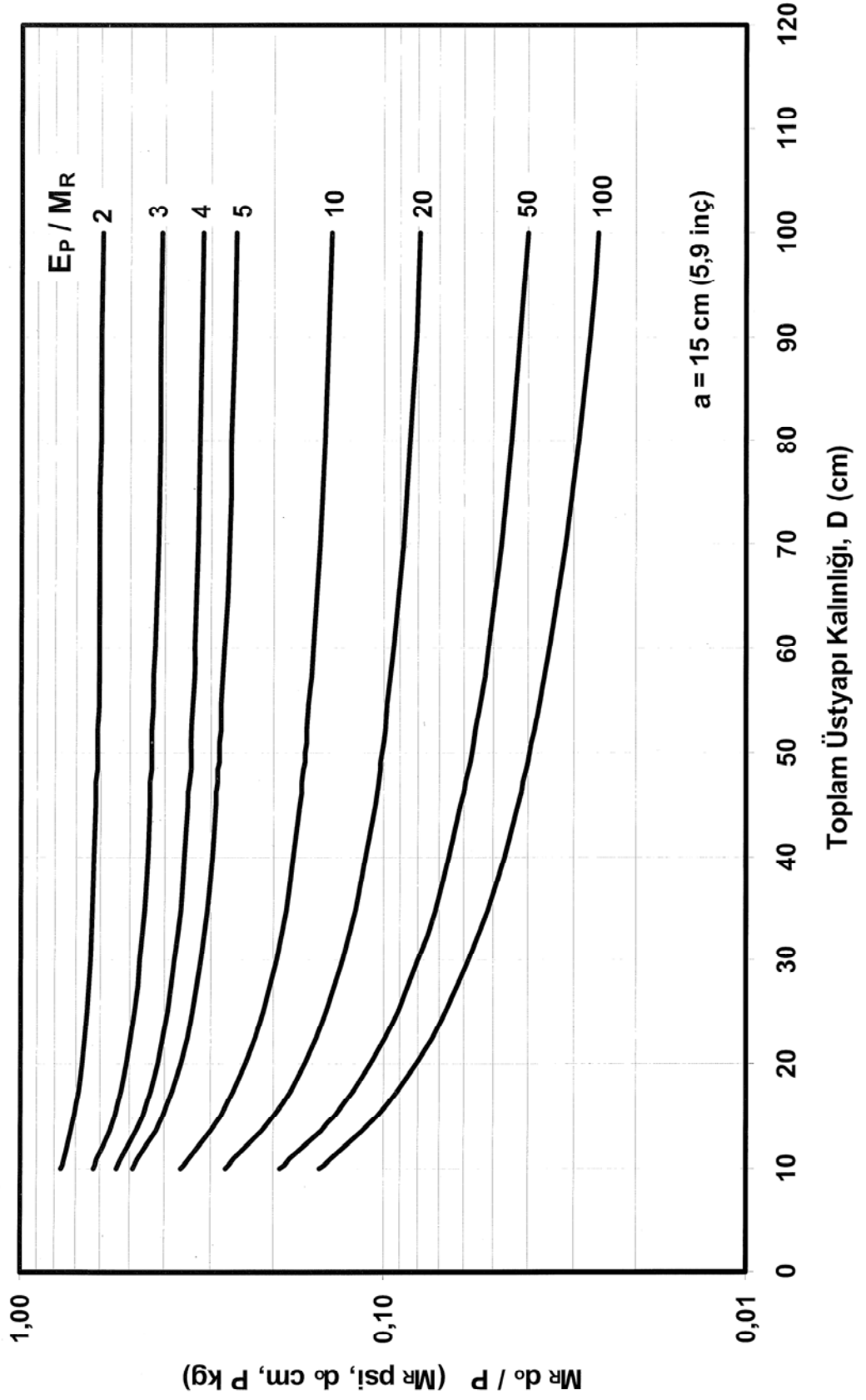
Mevcut üstyapı sayısı Formül 4.4 ya da Şekil:4.3 yardımıyla belirlenecektir.

$$SN_M = 0.0045 D \sqrt[3]{E_P} \dots\dots\dots(4.4)$$

Burada,

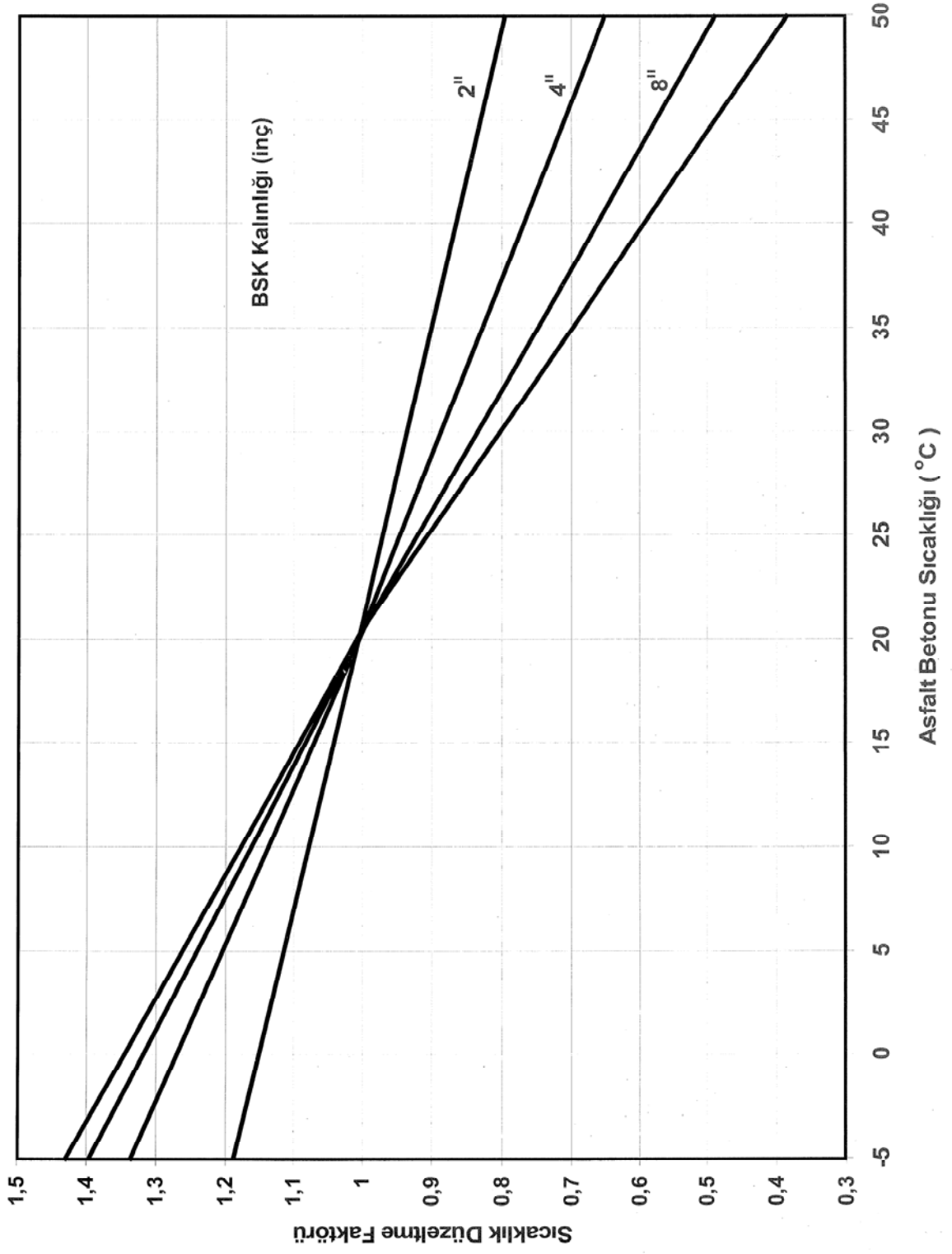
- $D$ : Üstyapının toplam kalınlığı (inç)
- $E_P$ : Üstyapı efektif modülü (psi)

ŞEKİL :4.1.  $E_P / M_R$  ORANININ BULUNMASI

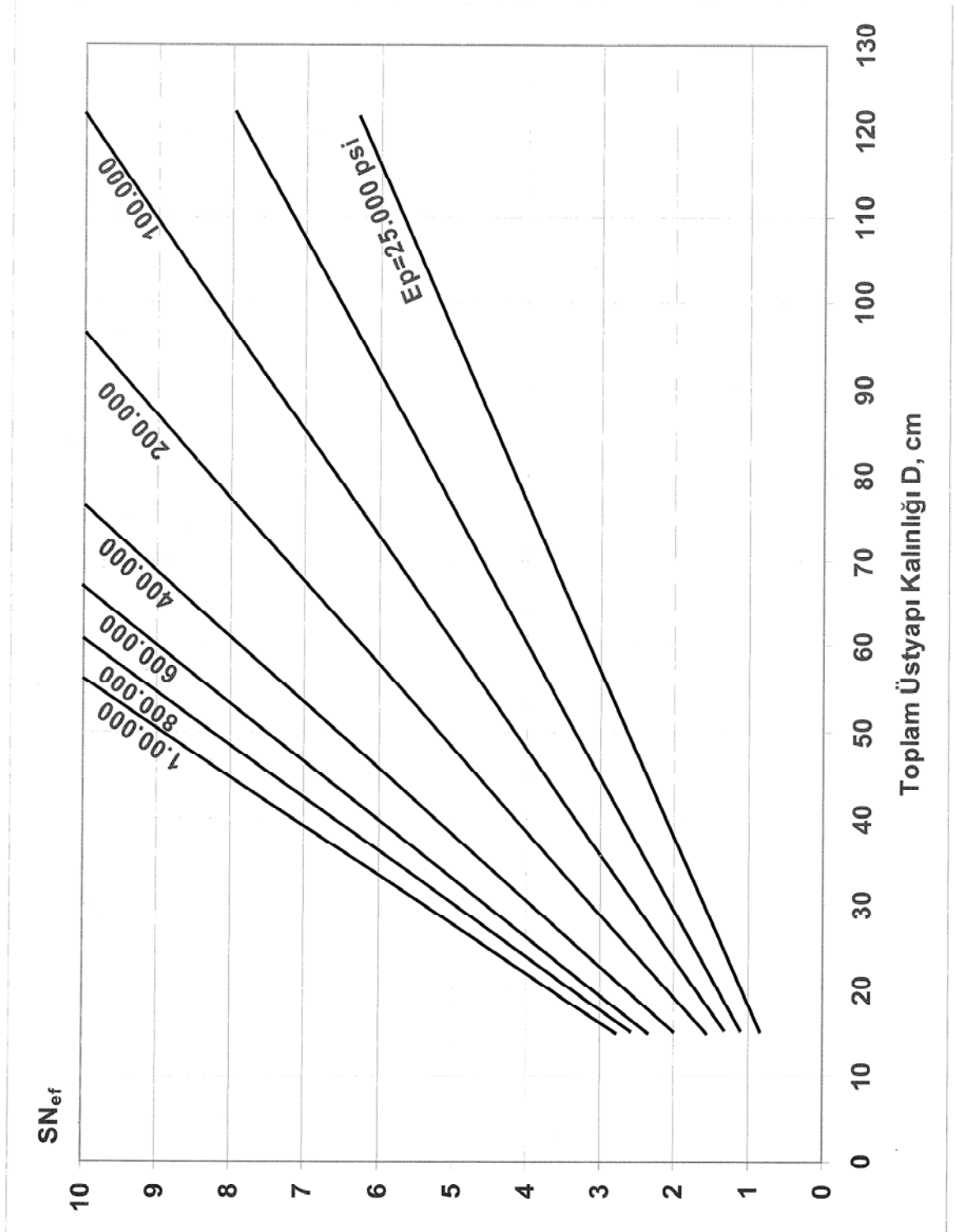




ŞEKİL :4.2 DEFLEKSİYON (do) İÇİN ASALT SICAKLIĞI DÜZELTME FAKTÖRÜ



ŞEKİL:4.3. MEVCUT ÜSTYAPI SAYISININ ( $SN_M$ ) BULUNMASI



#### 4.1.4. KALAN ÖMÜR METODU

Trafik yüklerinin tekerrürü arttıkça yol üstyapısında oluşan bozulmalar artar ve dolayısıyla yolun proje ömrünün bir kısmı kullanılmış olur. Bu projelendirme yöntemi, trafik yüklerinin tekerrürü arttıkça, yolun kalan proje ömrünün azaldığını, bir diğer anlamda üstyapının fonksiyonel olarak incelendiğini kabul etmektedir. Trafik yükleri arttıkça yolun kalan ömrü hızla azalmaktadır.

Kaplamanın kalan ömrünün tayini için, üstyapının ilk yapım tarihinden takviye tabakasının yapılacağı tarihe ve son servis kabiliyetinin  $p_t=1.5$  'e ulaşacağı tarihe kadar kaplamanın maruz kalacağı toplam standart dingil yükü tekerrür sayılarının bilinmesi gerekir. Buna göre kalan ömür aşağıdaki formülle bulunur.

$$KÖ = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_P}{N_{1.5}} \right) \right] \dots\dots\dots(4.5)$$

Burada;

KÖ : Kalan ömür (%)

$N_P$  : Takviye tabakasının yapılacağı tarihe kadar geçen trafik sayısı

$N_{1.5}$ : Son servis kabiliyeti  $p_t=1.5$  oluncaya kadar geçecek toplam trafik sayısı

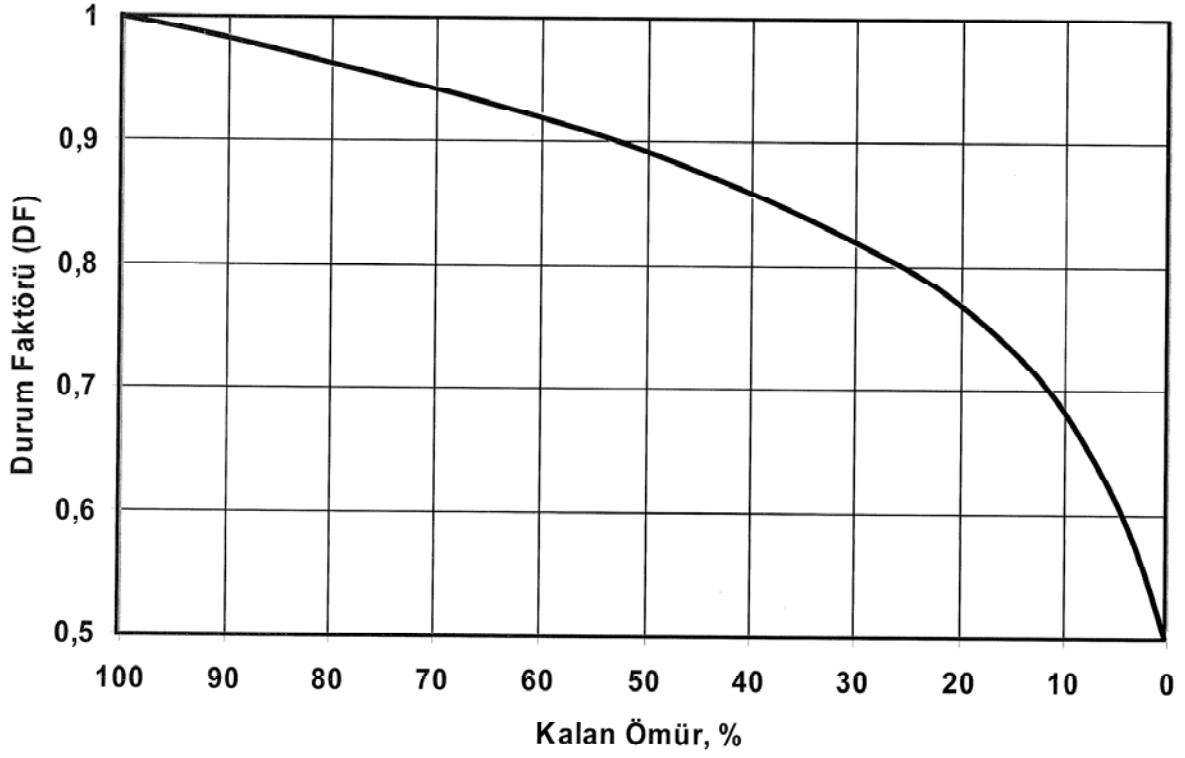
Kaplama tamamen bozulana kadar ( $p_t=1.5$ ) geçecek  $N_{1.5}$  trafiği %50 güvenilirlik için Formül 11.1 denklemini çözülerek veya Şekil:11.2 'deki nomograftan ters işlem yapılarak tespit edilebilir. Kalan ömür yardımıyla Şekil:4.4 'ten durum faktörü (DF) belirlenir. Üstyapının ilk yapıldığı andaki üstyapı sayısı ile durum faktörü çarpılarak mevcut üstyapı sayısı bulunur.

$$SN_M = DF \times SN_O \dots\dots\dots(4.6)$$

Kalan ömür metodu ile tespit edilen üstyapının yapısal kapasitesi takviye öncesi yol iyileştirme ve bakım çalışmalarını kapsamaz. Ayrıca hesaplamalar sonucunda negatif kalan ömür bulunursa, durum faktörü  $DF=0.5$  olarak alınmalı veya bu yöntem kullanılmamalıdır.

Bu rehber kapsamında verilen kalan ömür metodu; mevcut yolun takviye tabakalarının belirlenmesinde kullanılmayacak; buna karşılık, geleceğe yönelik planlama ve ekonomik analiz çalışmalarında ve kademeli inşaat yönteminde sonraki kademelerdeki takviye tabakalarının önceden belirlenmesinde kullanılabilecektir.

#### ŞEKİL :4.4 DURUM FAKTÖRÜNÜN BULUNMASI



#### 4.2 ÜSTYAPI TAKVİYE TABAKALARININ HESAPLANMASI

Uygulanması gerekli üstyapı takviye tabakası kalınlığı (  $T_G$  ); hesaplanan trafik yükünü taşıyacak üstyapı kalınlığından (  $T_H$  ) mevcut üstyapının efektif kalınlığının (  $T_M$  ) çıkarılması ile bulunacaktır.

$$T_G = T_H - T_M$$

(  $T_H$  ) Bölüm 1 Kısım 11' de anlatıldığı şekilde hesaplanacağından formül, AASHTO metodu esas alınarak üstyapı sayısı (SN) cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$SN_G = SN_H - SN_M$$

Burada;

$SN_G$  = Gerekli Üstyapı Sayısı  
 $SN_H$  = Hesaplanan Üstyapı Sayısı  
 $SN_M$  = Mevcut Üstyapı Sayısı' dır

## 5- ONARIM METODLARI

Asfalt betonu ve sathi kaplamalı yolların yüzey bozuklukları için hazırlanmış ve Kısım 8'de verilmiş olan tablolarda, bozulmaların tanımı, şiddeti, yoğunluğu ve muhtemel oluşma nedenlerinin yanısıra onarım şekilleri de önerilmiştir. Önerilerde geçici çözüm (bakım amaçlı) ve kalıcı çözüm (iyileştirme amaçlı) hususları göz önüne alınmıştır. Özellikle yüksek bozulma şiddeti seviyesine ulaşmış bozukluklarda her iki amaçlı öneriler yer almaktadır. Geçici çözüm amaçlı öneriler bakım amaçlı olup, kolay uygulanabilir önerilerdir. Kalıcı çözüm önerileri ise uzun vadeli köklü çözüm önerilerdir. Sathi kaplamalı yollar için verilen öneriler de sadece yolun sathi kaplama olarak iyileştirilmesi hususu göz önünde tutulmuştur. Sathi kaplamadan asfalt betonu kaplamaya geçiş hususları, ulaşım politikası içinde değerlendirileceğinden dikkate alınmamıştır. Kuruluşumuzun olanakları da dikkate alınarak verilen önerilerin belli başlı olanları aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

### 5.1. ASFALT KAPLAMALARIN YENİDEN KULLANIMI (RECYCLING) METODU

Trafik yükü ve çevre koşulları gibi nedenlerle ömürlerinin bir kısmını kaybetmiş, bozulmuş asfalt kaplamalar, gerekirse yeniden kullanılabilir. Bozulmuş asfalt kaplamalar sıcak karışım olarak yeniden kullanılabilceği gibi soğuk karışım olarak da yeniden kullanılabilir.

Asfalt kaplamanın sıcak karışım olarak yeniden kullanımının, ekonomik açıdan bitüm ve agreg a kaynaklarının korunması gibi avantajlarının yanısıra, mevcut üstyapı kalınlığını çok az artırmak suretiyle taşıma gücünde artış sağlar ve yüzeydeki geometrik ve yapısal bozukluklar giderilmiş olur. Ayrıca kaynakların, çevrenin korunması ve enerjik tasarrufu gibi yararlar sağlar.

Bilhassa, üstyapıda çatlak ve tekerlek izinde oturma şeklinde oluşmuş bozulmaları gidermekte kullanılabilecek bu metotta, kazıma derinliğinin, önceden, dikkatli bir çatlak etüdüyle belirlenmesi gerekir. Çatlaklı bir üstyapıda çatlakların hangi tabakaya kadar devam ettiğini belirlemek için asfalt betonu kaplamanın yukarıdan aşağıya doğru her tabakası teker teker açılarak çatlağın hangi tabakaya kadar ilerlediği incelenir ve buna bağlı olarak kazıma derinliği saptanır. Tabakaların teker teker incelenmesi, çukur çalışmaları ile olabileceği gibi karot numuneleri almak suretiyle de yapılabilir.

Tekerlek izinde oturma, ondülasyon v.s gibi bozulmalarda da deformasyonun hangi tabakaya kadar ilerlediği, yine önceden alınacak karot numuneleri ile belirlendikten sonra kazıma yapılır. Kazılan malzemelere belirlenen miktarda bitüm ve yeni agreg a ilave edilerek yeni bir karışım malzemesi elde edilir ve üstyapıda yeniden kullanılır.

Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodunun uygulanmasından sonra üstyapıya takviye olarak yeni tabakalar gelecek ise kazılan malzeme ile aynı kalınlıkta malzeme üstyapıya getirildikten sonra takviye tabakaları uygulanmalıdır.

Asfalt kaplamaların yeniden kullanımı ile ilgili çalışmalar Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 414 'e uygun olarak yapılmalıdır.

## 5.2. SICAK KARIŞIM TAKVİYELERİNDE GEOSENTETİK MALZEMELERİN VE ÇELİK GRIDİN KULLANIMI

Çatlaklı bir kaplama yüzeyi üzerine mevcut yol üstyapısının taşıma gücünü artırmak amacıyla bitümlü sıcak karışım takviye tabakası getirildiğinde, eski kaplamada yer alan çatlaklar yeni takviye tabakası yüzeyine kısa sürede yansıyabilmektedir.

Yansıma çatlağının oluşumu, özellikle beton yolların veya çimento bağlayıcı granüler temelin yer aldığı rijit veya yarı rijit üstyapılar üzerine getirilen bitümlü sıcak karışım takviyelerinde görülmektedir. Esnek üstyapı takviyelerinde ise çok çatlaklı bir yüzey üzerine nispeten ince bir takviye tabakası geldiğinde oluşmaktadır. Ayrıca enine çatlaklar, genellikle termal etkilerle oluşmaları nedeniyle tam derinlikli çatlak olduklarından, rijit üstyapılara benzer bir şekilde yansıma çatlağı oluşturabilmektedirler. Kalınlığı 5 cm ve daha küçük olan takviyeler ince takviye olarak bilinmekte olup, çatlaklı yüzey üzerine gelen takviye tabasındaki yansıma çatlağı oluşumunu azaltmak için minimum takviye kalınlığının 11 cm olması önerilmektedir.

Bununla birlikte, yansıma çatlaklarının önlenmesi yada geciktirilmesi için geosentetik malzemeler ve çelik gridlerin kullanımı mümkün olup, bu malzemelerin yansıma çatlaklarını önlemesi hususunda henüz ideal sonuçlar bulunmamış ise de yansıma çatlaklarını geciktirdikleri bilinmektedir.

Takviye tabakalarında kullanılacak geosentetik malzemeler geotekstil, geogrid veya bu ikisinin bileşiminden oluşan geokompozitler olabilmektedir. Her malzemenin kendine özgü fonksiyonu olup, geogridler mekanik bir stabilizasyon sağlayarak üstyapıda oluşan gerilmeleri alıyor iken, geotekstillerin bitümlü malzeme emdirilip sızdırmaz hale getirilerek altta yer alan tabakalara su geçişini önlemek, eski kaplama ile yeni kaplama arasındaki yapışmayı arttırmak ve gerilme azaltıcı membran olarak çalışmak gibi görevleri bulunmaktadır. Ayrıca son zamanlarda yansıma çatlaklarının önlenmesinde çelik gridlerde etkili bir yöntem olarak uygulanmaktadır.

Yansıma çatlaklarının önlenmesinde hangi tip malzemenin kullanılacağına; yolun sınıfı, trafik özellikleri, çevre ve iklim koşulları, mevcut üstyapının fiziksel durumu da göz önünde bulundurularak yapılacak detaylı ömür boyu maliyet analizleri ile karar verilecektir.

Geosentetik malzemelerin ve çelik gridlerin uygulaması Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 416' ya uygun olarak yapılacaktır.

### 5.3. YENİDEN YAPIM (RECONSTRUCTION) METODU

Yol üstyapılarında yüzey bozuklukları, zamanında müdahale edilmedikleri için bazen yüksek bozulma şiddetine ulaşabilmektedirler. Üstyapı taşıma gücünü büyük ölçüde yitirmiş olarak değerlendirebileceğimiz bu gibi durumlarda yolun bitümlü sıcak karışım tabakaları ile takviye edilmesi bozulmaların takviye tabakalarına yansıtacağı düşüncesi ile mümkün değildir. Bu nedenlerden dolayı mevcut üstyapı üzerine bir yastık tabakası gibi görev yapacak ve aynı zamanda üstyapının taşıma gücüne katkıda bulunacak granüler bir temel tabakasına ihtiyaç duyulur. Bozuk yol yüzeyine getirilen granüler tabakanın CBR ve  $M_R$  değerleri ile standart dingil tekerrür sayısı değerine bağlı olarak granüler tabaka üzerine gelecek bitümlü temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakalarının kalınlıkları belirlenerek temel tabakası üzerine getirilir. Bu tür yöntemlerde mevcut üstyapı malzemeleri yol tabanı olarak değerlendirilir ve kalınlıkları dikkate alınmaz.

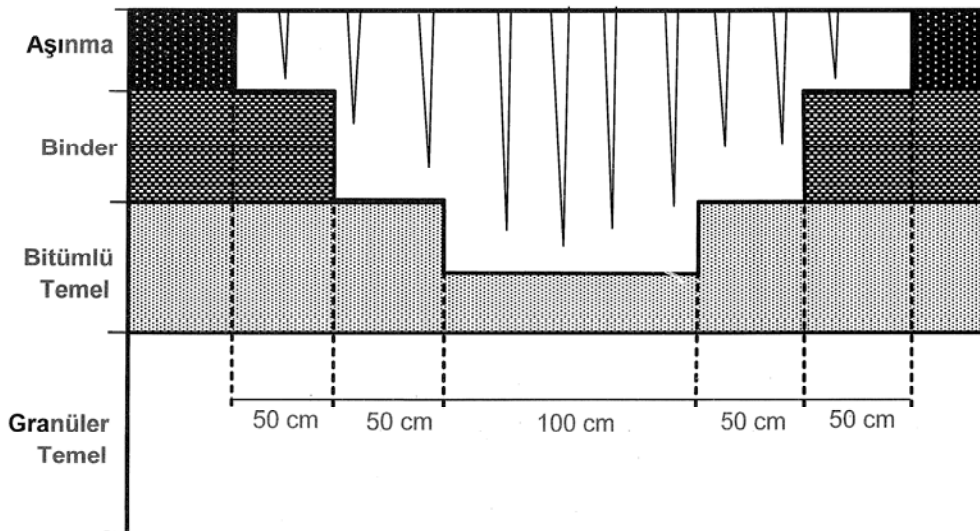
## 6- BAKIM METOTLARI

Yol kaplamalarında uygulanacak bakım metotlarından en yaygın olanları aşağıda verilmiştir.

### 6.1. YAMALAR

Yamalar en yaygın olarak kullanılan bakım metotlarından biridir. Çatlakların birleşerek poligon şeklini oluşturduğu veya poligonların yavaş yavaş ayrışmaya başladığı timsah sırtı çatlaklı kesimler ile çukur, segregasyon, lokal oturma, tekerlek izinde oturma ve ötelenmelerin olduğu kesimlerde yama uygulaması yapılacaktır.

Yama işleminde; bozulmanın olduğu kesimler düzgün bir dikdörtgen şeklinde kesilerek bozulmanın bittiği bitümlü tabakaya kadar kazılıp atılır. Kazıma işlemi, aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, en alt tabakada minimum silindirme genişliği kadar (genellikle 1 metre), üste doğru ise her bir tabakada kazıma genişliği bir alt tabakaya göre her yönde 50 cm. artırılarak basamaklı bir şekilde yapılmalıdır. Üstyapı tabakalarında açılan kazı tabanı ve kazı yüzeylerine uygun yapıştırıcı püskürtülerek aynı türden bitümlü sıcak karışım malzemeleri ile teşkil edilip, sıkıştırılarak yama işlemi tamamlanacaktır.



## 6.2. ÇATLAK DOLGUSU VE YALITIMI

Çatlaklar, asfalt betonu üzerinde görülen en yaygın bozulma türüdür. Kaplama üzerindeki çatlakların mevcudiyeti, çatlak boyunca suyun temel ve alttemele sızarak kaplamadaki bozuklukları hızlandırmakta ve üstyapının ömrünün beklenenden daha kısa olmasına neden olmaktadır. Çatlakların yalıtımı yada doldurulması, hem çatlaklar boyunca suyun geçişini engelleyerek üstyapının zamanından önce bozulmasını engellemekte, hem de çatlak kenarları boyunca meydana gelen agrega kaybının önüne geçmektedir.

Çatlak yalıtımı suyun çatlağa girişini önlemek amacıyla oluk açılıp içi uygun yalıtım malzemesi ile doldurularak, çatlak dolgusu ise suyun çatlağa girişini azaltmak için çatlağın basınçlı hava ile temizlenip uygun dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla teşkil edilmektedir.

Genel olarak çatlak yalıtımı aktif çatlaklarda ve çatlak kenarlarında aşırı sökülmeler bulunmaması durumunda uygulanıyor iken, çatlak dolgusu hareketsiz çatlaklarda ve/veya şiddetli bozulmuş çatlaklarda asıl takviye tabakasının öncesinde yolun belli bir süre hizmet vermesini sağlamak için kullanılmaktadır.

Bu rehberde, çatlak genişliğinin 3 mm' den küçük olması durumunda herhangi bir müdahaleye gerek görülmemektedir. Ancak, bu çatlakların yol yüzeyinde çok yaygın bir hal alması durumunda bitümlü koruyucu sathi kaplama, harç tipi kaplama veya ince yüzey kaplaması yapılabilecektir.

Çatlak genişliği 3-20 mm arasında olan enine çatlaklarda çatlak yalıtımı, boyuna çatlaklarda ise çatlak dolgusu yapılacaktır. Çatlak genişliğinin 20 mm.'den büyük olması durumunda ise harç tipi kaplama veya ince taneli bitümlü sıcak karışım malzemesi ile çatlaklar doldurulacaktır.

Çatlak yalıtım veya dolgu uygulaması yol yüzeyinin çok şiddetli timsah sırtı çatlaklarla aşırı derecede bozulduğu, tekerlek izinde oturmaların ve taban zemininden gelen oturmaların olduğu çatlak kesimlerinde uygulanmamalıdır. Çatlakların oluk açmaya ve istenilen şekilde doldurulmaya imkan vermeyecek derecede sık olması halinde Kısım 6.1 'de belirtilen şekilde yama uygulaması yapılacaktır.

Çatlak dolgu ve yalıtımı Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 415' e uygun olarak yapılacaktır.

## 6.3. BİTÜMLÜ KORUYUCU SATHİ KAPLAMA (SEAL COAT)

Bitümlü koruyucu sathi kaplama, aşınmış mevcut bitümlü kaplama üzerine bitümlü bağlayıcı ve agreganın birbirinin peşi sıra serilerek sıkıştırılması ile oluşturulan bir yüzey kaplamasıdır. Bitümlü kaplamanın güneş, rüzgar ve su gibi atmosferik ve çevresel etkilere maruz kalması, bitümlü bağlayıcının oksidasyona uğrayarak kaplamanın sertleşmesine ve trafik yükleri etkisi altında daha kırılgan bir yapıya sahip olmasına neden olur. Ayrıca; trafiğin aşındırıcı etkisi, yol kaplamasının zamanla sökülmesine yol açtığı gibi, kaba agregaların daha düz ve cilalı bir yapıya kavuşması ile oluşan kayma direncindeki azalma trafik güvenliğini de tehlikeye sokabilmektedir. Bitümlü koruyucu sathi kaplama uygulaması kaplamanın oksidasyonunu azaltmakta,



kaplama üzerinde geçirimsiz bir yüzey oluşturarak suyun üstyapıya girmesine engel olmakta ve yüzey pürüzlülüğünü artırarak emniyetli bir sürüş sağlamaktadır.

Bitümlü koruyucu sathi kaplamalar; Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 405' e uygun olarak yapılacaktır.

#### **6.4. HARÇ TİPİ KAPLAMA (SLURRY SEAL)**

Harç tipi karışım (slurry seal), bir kaplama yüzey işlemi olarak uygulanan iyi gradasyonlu ince agrega, mineral filler (gerekli ise) bitüm emülsiyonu, su ve/veya katkı maddeleri ile dizayn edilen bir karışım olup, asfalt kaplama yüzeylerinin hem koruyucu hem de düzeltici bakım işlemlerinde kullanılmaktadır. Lokal olarak yapısal zayıflıklar gösteren kısımlar harç tipi kaplama uygulanmadan önce onarılmalıdır. Sürüş konforunu düşürebilecek olan bütün tekerlek izleri, tümsekler, oturmalar, düşük banketler, enine eğim kusurları, ondülasyonlar ya da diğer yüzeysel düzensizlikler harç tipi kaplama uygulaması öncesinde düzeltilmelidir.

Eski bir kaplama yüzeyine doğru bir şekilde uygulandığında, harç tipi kaplama oldukça etkili sonuçlar sağlamaktadır. Bu kaplama türünün doğru zamanda uygulanması, bitümün oksidasyonu ve karışımın kırılganlaşmasından kaynaklanan yüzey bozukluklarının azaltılmasında yardımcı olmaktadır. Harç tipi kaplama yüzey çatlaklarının yalıtımını sağlayarak suya ve havaya karşı geçirimsiz bir yüzey oluşturmakta, sökölme ve agrega kaybını durdurmakta, kayma direnci ile sürüş emniyetini artırmaktadır.

Harç Tipi Kaplama nispeten düşük trafikli yollarda tercih edilmeli, yüksek şiddette çatlak, ve ondülasyon ve tekerlek izinde oturma içeren yol kesimlerinde uygulanmamalıdır.

Harç Tipi Kaplamalar; Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 410' a uygun olarak yapılacaktır.

#### **6.5. İNCE YÜZEY KAPLAMASI (MICRO-SURFACING)**

İnce yüzey kaplaması, esas olarak polimer modifiye bitüm emülsiyonu, %100 kırılmış agrega, mineral filler, su ve bazı katkı maddelerinden oluşan bir harç tipi kaplama türüdür.

İnce yüzey kaplaması, kaplamanın oksidasyonunu geciktirmek, kayma direncini artırmak, agrega sökölmesi ve cilalanmadan kaynaklanan yüzey kusurlarını gidermek ve hafif şiddetteki tekerlek izinde oturma ve profil düzgünlüklerini düzeltmek için kullanılmaktadır. Tek tabaka yapılabileceği gibi birkaç tabaka halinde yapılarak önemli yol kusurlarının iyileştirilmesinde kullanılabilir.

İnce yüzey kaplama düşük veya yüksek trafikli her yolda uygulanabilmektedir. Ancak, taban zemininin yetersizliğinden kaynaklanan oturmaların olduğu ve şiddetli çatlaklı kesimler üzerinde uygulanmamalıdır.

## 7. BAKIM-ONARIM METODUNUN SEÇİMİ

Yol esnek üstyapılarında hangi bakım-onarım yönteminin uygulanacağına genel olarak Kısım 4, Kısım 5, Kısım 6 ve Bölüm 1 Kısım 19 'da verilen Üstyapı Yönetim Sistemi ilkeleri doğrultusunda Tablo:7.1, Tablo:7.2 ve Şekil:7.1 kullanılarak karar verilecektir.

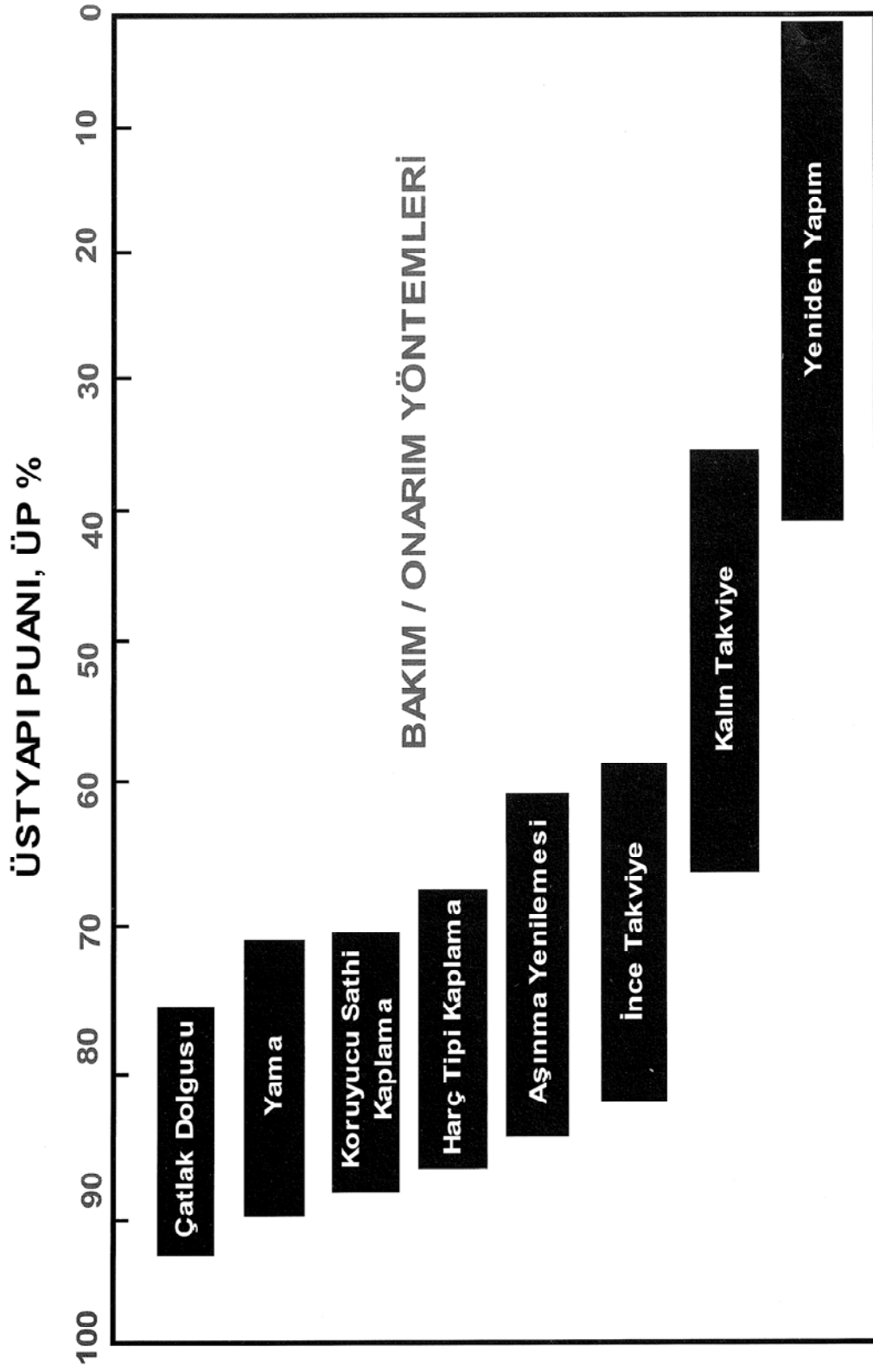
**TABLO 7.1 ÇATLAK BAKIM METODUNUN SEÇİMİ**

| Çatlak Türü         | Bozulma Şiddeti | Bakım Metodu |                |                        |                                |
|---------------------|-----------------|--------------|----------------|------------------------|--------------------------------|
|                     |                 | Yama         | Çatlak dolgusu | Koruyucu Sathi Kaplama | Harç Tipi / İnce Yüzey Kaplama |
| Timsah Sırtı Çatlak | Düşük           |              |                | X                      |                                |
|                     | Orta            | X            |                |                        |                                |
|                     | Yüksek          | X            |                |                        |                                |
| Enine Çatlak        | Düşük           |              | X              | X                      | X                              |
|                     | Orta            |              | X              | X                      |                                |
|                     | Yüksek          | X            | X              | X                      |                                |
| Boyuna Çatlak       | Düşük           |              | X              |                        | X                              |
|                     | Orta            | X            | X              |                        |                                |
|                     | Yüksek          | X            | X              |                        |                                |
| Blok Çatlak         | Düşük           |              | X              | X                      | X                              |
|                     | Orta            |              | X              | X                      |                                |
|                     | Yüksek          | X            | X              |                        |                                |
| Yansıma Çatlağı     | Düşük           |              | X              |                        |                                |
|                     | Orta            |              | X              |                        |                                |
|                     | Yüksek          | X            | X              |                        |                                |

**TABLO 7.2 YÜZEY BOZUKLUKLARI BAKIM METODUNUN SEÇİMİ**

| Bozulma Türü        | Bozulma Şiddeti | Bakım Metodu |                        |                   |                      |
|---------------------|-----------------|--------------|------------------------|-------------------|----------------------|
|                     |                 | Yama         | Koruyucu Sathi Kaplama | Harç Tipi Kaplama | İnce Yüzey Kaplaması |
| Teker İzinde Oturma | Düşük           | X            |                        | X                 | X                    |
|                     | Orta            | X            |                        | X                 | X                    |
|                     | Yüksek          | X            |                        |                   | X                    |
| Çukurlar            | Düşük           | X            |                        |                   |                      |
|                     | Orta            | X            |                        |                   |                      |
|                     | Yüksek          | X            |                        |                   |                      |
| Ötelenme            | Düşük           |              |                        |                   |                      |
|                     | Orta            | X            |                        |                   |                      |
|                     | Yüksek          | X            |                        |                   |                      |
| Cırlanmış Agrega    | Düşük           |              | X                      | X                 | X                    |
|                     | Orta            |              | X                      | X                 | X                    |
|                     | Yüksek          |              | X                      | X                 | X                    |
| Sökülme             | Düşük           |              |                        |                   |                      |
|                     | Orta            |              | X                      |                   |                      |
|                     | Yüksek          | X            | X                      | X                 | X                    |

**ŞEKİL 7.1. ESNEK ÜSTYAPI BAKIM VE ONARIM METODUNUN SEÇİMİ**





**ASFALT BETONU KAPLAMALI  
ESNEK ÜSTYAPILARDAKİ  
YÜZEY BOZUKLUKLARI**

## 8. ESNEK ÜSTYAPILARDAKİ YÜZEY BOZUKLUKLARI

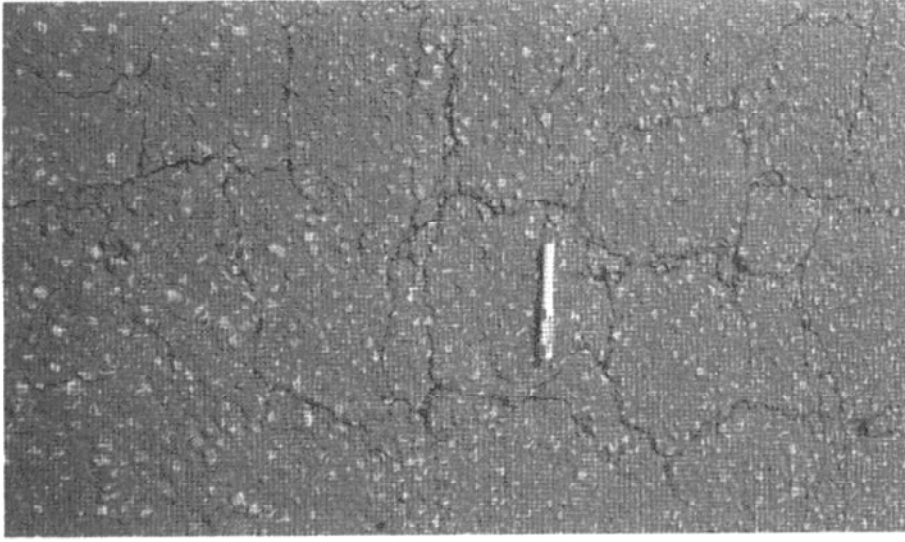
### 8.1 ASFALT BETONU KAPLAMALI ÜSTYAPILARDAKİ YÜZEY BOZUKLUKLARI

#### TİMSAH SIRTI ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                         | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>(%)<br>(50 m platformda)         | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                          | Yok                          | Yok                                            | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Timsah sırtı deseni yeni yeni oluşmaya başlamış, desen oluşumu az sayıda çatlaklarla meydana gelmiştir. Çatlaklar kılcal seviyededir.        | Hafif                        | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Timsah sırtı oluşumu iyice belirginleşmiş, poligon köşelerinde kopmalar başlamıştır. Çatlakların genişliği artmış ve daha belirginleşmiştir. | Orta                         | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                              |                              | 30-60%<br>>60 %                                | Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya sathi kaplama ile kaplanmalıdır. Kalıcı çözüm amaçlı olarak: Bozuk yüzey ya Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu ile iyileştirilmeli ya da (düzeltme tabakası+geotekstil) uygulaması ile düzeltildikten sonra defleksiyon etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmalıdır. |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Poligon blokları kopmaya başlamıştır. Bazı oyuklar ve lokal oturmalar meydana gelmiş, kopmalar ileri seviyelere ulaşmıştır.                  | Yüksek                       | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                              |                              | 30-60%<br>>60 %                                | Detaylı üstyapı etüdü yapıldıktan sonra:<br>1-Bozuk yüzey, Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu ile iyileştirilmelidir.<br>2-Yeniden Yapım Metodu uygulanmalıdır.                                                                                                                                                                                                  |

#### Timsah Sırtı Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

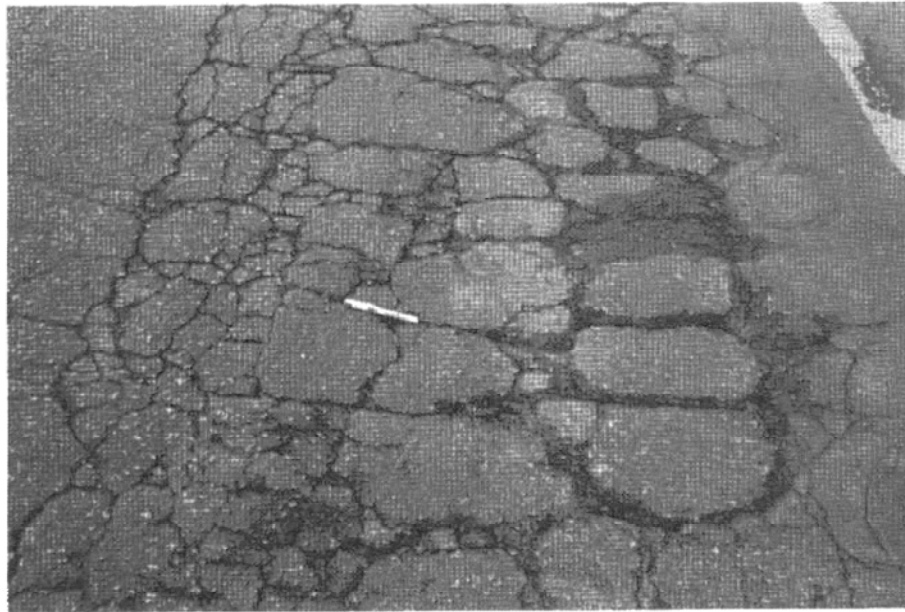
1. Taban zemini, alttemel ve/veya temel tabakalarının yetersiz sıkışması ve/veya yetersiz drenajı nedeni ile taşıma gücü yetersizliği.
2. Kaplamanın aşırı trafik yükleri altında yorulması.
3. Uygun olmayan malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri.
4. Çevre ve iklim şartları (donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.)



Hafif Şiddette Timsah Sırtı Çatlak



Orta Şiddette Timsah Sırtı Çatlak



Yüksek Şiddette Timsah Sırtı Çatlak

## KENAR ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                                                                                                  | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | UZUNLUK ORANI<br>(%)<br>(50 m platformda)      | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                        |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                                                                                                   | Yok                          | Yok                                            | Yok                                                                                                        |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar kaplama kenarına paralel olup bir veya birden çok olabilir. Çatlaklar kaplama kenarından 300 mm içeriye yayılmış olabilir.                                                                                                  | Hafif                        | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                              |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Çatlaklar dış tekerlek izine kadar ilerlemiş ve kaplama kenarlarından 600 mm kadar içeri ilerlemiştir. Çatlaklar birbirinden bağımsız boyuna çatlaklar olabileceği gibi bazen de dalga şeklinde olabilir.                             | Orta                         | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çatlaklı bölge düzgün şekilde kesilip atıldıktan sonra uygun bir karışımla yamanmalıdır.                   |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                                                                                                                       |                              | 30-60%<br>>60 %                                | Bozuk kesim sathi kaplama ile kaplanmalıdır.                                                               |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Dalga şeklinde çatlaklar görülmeye başlanmış olup bunlar timsah sırtı desenine dönüşmüş ve dış teker izinden daha da içeri ilerlemiştir. (Eğer çatlaklar timsah sırtı desenine dönmüş ise timsah sırtı çatlak olarak değerlendirilir) | Yüksek                       | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır. |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                                                                                                                       |                              | 30-60%<br>>60 %                                | Bozuk kesim sathi kaplama ile kaplanmalı ve banket drenajı gerekli bakımla iyileştirilmelidir.             |

### Kenar Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Donma etkisi.
2. Kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü ve/veya üstyapının kenarında aşırı trafik yüklemesi.
3. Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj.
4. Üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin banket kenarına yakın seyretmesi.





Orta Şiddette Kenar Çatlağı



Yüksek Şiddette Kenar Çatlağı

## ENİNE ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                                                                                                          | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ÇATLAK ARALIĞI<br>(50 m platformda)           | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                                                                                                           | Yok                          | Yok                                           | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar 6 mm'den incedir ve ayrışmamıştır. Çatlaklar kaplama genişliği boyunca değişken uzunluktadır.                                                                                                                                       | Hafif                        | >35 m<br>25-35 m<br>10-25 m<br>5-10 m<br><5 m | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar 6 ile 15 mm arası genişliğe ulaşmıştır. Çatlak boyunca hafif kopmalar oluşmuş ve kılcal çatlaklar meydana gelmiştir.                                                                                                                | Orta                         | >35 m<br>25-35 m<br>10-25 m<br>5-10 m<br><5 m | Çatlaklar, gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Tek veya birden fazla çatlaklar ayrışmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığa ulaşmıştır. Bazı kopma ve bozulmalar oluşmuştur. Çatlak oluşumu yaygınlaşmıştır. Çatlakların yanı sıra diğer bozuklukların varlığı bu mertebenin göstergesidir. | Yüksek                       | >35 m<br>25-35 m<br>10-25 m<br>5-10 m<br><5 m | Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Çatlaklar uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Kalıcı çözüm amaçlı olarak: Yol diğer bozukluklar nedeni ile iyileştirilecek ise özel bir çatlak etüdü yapılarak çatlakların oluşma sebebi belirlendikten sonra, gerekirse taban iyileştirilmeli ve Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu, veya Yeniden Yapım Metodu uygulanmalıdır. |

### Enine Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Asfalt kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme.
2. Tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği.
3. Alt tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yüzeye yansması.
4. Karışım içindeki bitümün sıcaklığa olan yüksek hassasiyeti.





Hafif Şiddette Enine Çatlak



Orta Şiddette Enine Çatlak



Yüksek Şiddette Enine Çatlak

## BOYUNA ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                              | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ÇATLAK UZUNLUĞU<br>(50 m platformda)                  | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                               | Yok                          | Yok                                                   | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar 6 mm'den incedir, ayrışma yoktur. Tek veya birden çok olabilir. Çatlak, kaplama kenarına paralel, diagonal veya kıvrımlar şeklindedir.  | Hafif                        | <50 m<br>50-100 m<br>100-200 m<br>200-250 m<br>>250 m | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar 6 ile 15 mm arası genişliğe ulaşmıştır. Bazı ayrışmalar başlamıştır. Çok yönlü kılcal çatlaklar oluşmuştur.                             | Orta                         | <50 m<br>50-100 m<br>100-200 m<br>200-250 m<br>>250 m | Çatlaklar, gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Tek veya çok yönlü çatlaklar ayrışmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığa ulaşmıştır. Ayrışmalar daha derinleşmiştir ve çatlak sayısı artmıştır. | Yüksek                       | <50 m<br>50-100 m<br>100-200 m<br>200-250 m<br>>250 m | Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Çatlaklar uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır.<br><br>Kalıcı çözüm amaçlı olarak: Yol diğer bozukluklar nedeni ile iyileştirilecek ise özel bir çatlak etüdü yapılarak çatlakların oluşma sebebi belirlendikten sonra:<br><br>1-Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu,<br>2-Yeniden Yapım Metodu<br>3-Dolgular iyileştirildikten sonra Yeniden Yapım Metodu uygulanmalıdır. |

### Boyuna Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Dolgularda yetersiz sıkıştırma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma.
2. Dolgunun yanıl hareketi.
3. Çevre ve iklim şartları (donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.)
4. Üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar.
5. Boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmeyişi.





Hafif Şiddette Boyuna Çatlak



Orta Şiddette Boyuna Çatlak



Yüksek Şiddette Boyuna Çatlak

## BLOK (HARİTA) ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                      | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>(%)<br>(50 m platformda)           | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                       | Yok                          | Yok                                              | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlakların genişliği 6 mm'den incedir. Boyuna ve enine çatlaklar birbiri ile birleşerek harita şeklinde görülürler.                      | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Çatlaklar 6 mm ile 15 mm arası genişliğe ulaşmıştır. Çatlak formasyonu birden fazla çatlak veya bir çatlağın ayrılıp kopması şeklindedir. | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %                     | Bozuk kesim düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışımla yamanmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                           |                              | 40-60 %<br>>60 %                                 | Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak:<br>Bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya sathi kaplama ile kaplanmalıdır.<br>Kalıcı çözüm (rehab.) amaçlı olarak:<br>Bozuk yüzeye ya Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu ile ya da düzeltme tabakası+geotekstil ile düzeltildikten sonra defleksiyon etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmalıdır. |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Çok yönlü çatlaklar ayrılmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığa ulaşmıştır. Timsah sırtı çatlaklar oluşmuştur.                          | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %                     | Harç tipi örtü tabakası veya sathi kaplama ile onarım yapılmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2<br>2                | 4<br>5                | (Timsah sırtı çatlaklar ayrı olarak değerlendirilecektir.)                                                                                |                              | 40-60 %<br>>60 %                                 | Detaylı üstyapı etüdü yapıldıktan sonra:<br>1-Bozuk yüzey Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Metodu ile iyileştirilmelidir.<br>2-Yeniden Yapım Metodu uygulanmalıdır.                                                                                                                                                                                          |

### Blok (Harita) Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Şişme ve büzülme etkisi.
2. Donma etkisi.
3. Asfalt kaplamanın yaşlanmasıyla dolaylı sertleşmesi ve kırılması.





Orta Şiddette Blok Çatlak



Yüksek Şiddette Blok Çatlak

## TEKERLEK İZİNDE OTURMALARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                         | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | UZUNLUK<br>ORANI<br>DEĞERİ **                  | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                          | Yok                          | Yok                                            | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Oturma derinliği 15 mm'den daha azdır. Oturmalar üzerinde hafif şiddette çatlamlar olabilir. | Hafif                        | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Oturmaların derinliği 15-30 mm arasındadır. Genellikle iz üzerinde çatlamlar vardır.         | Orta                         | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Tümseklikler freze makinası ile kesilmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Oturmaların derinliği 30 mm'den daha fazladır. Çatlaklar daha belirginleşmiştir.             | Yüksek                       | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Tekerlek izinde oturma derinliği 3-5 cm ise derinlik kadar üstyapı kalınlığı kazınmalı yerine kazınan malzeme cinsinden aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                              |                              | 30-60 %<br>>60 %                               | Oturma derinliği 5 cm'den fazla ise; Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak: Tekerlek izinde oturma derinliği kadar üstyapı kalınlığı kazınmalı yerine kazınan malzeme cinsinden aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir. (Asfalt Tabakalarının Yeniden Kullanılması Metodu ile.) Kalıcı çözüm (rehab.) amaçlı olarak: Geçici çözüm önerisine ilave olarak üstyapı etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmalıdır. |

### Tekerlek İzinde Oturmaların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

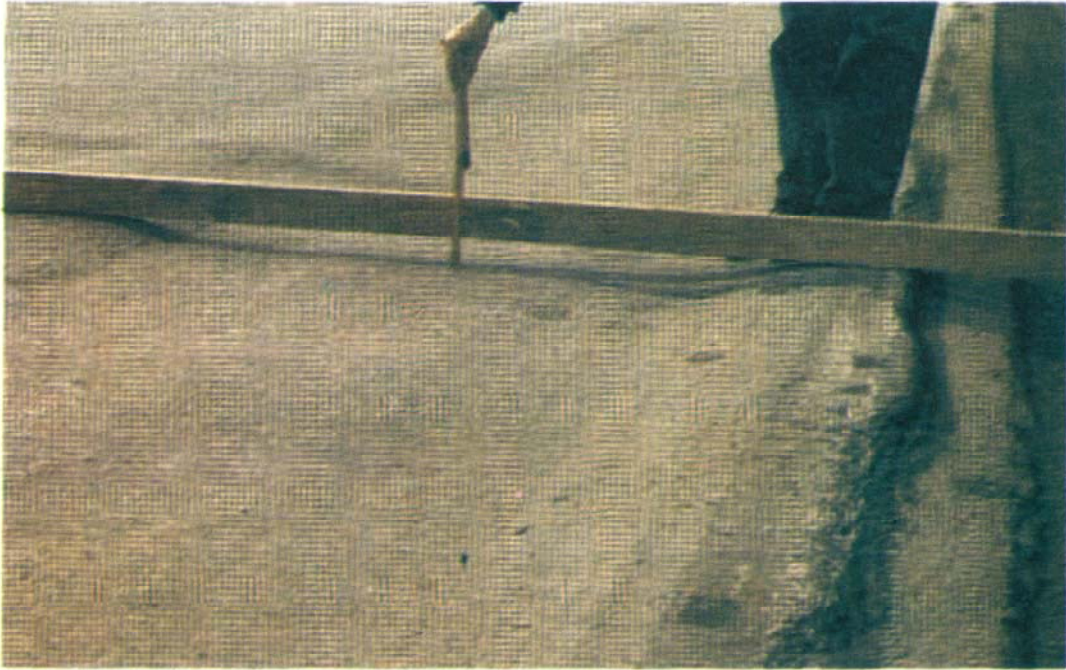
1. Yüksek ısı, düşük viskoziteli bağlayıcı ve yüksek bitüm içeriği nedenleri ile bitümlü sıcak karışım tabakalarının stabilitelerini kaybetmeleri.
2. Bitümlü sıcak karışım tabakalarının yetersiz sıkıştırılması.
3. Üstyapı tabakalarının aşırı gerilmeler altında kalıcı deformasyonlara maruz kalması.
4. Trafik yükleri altında boşluk suyu basıncı nedeniyle doygunluğa ulaşan temel ve alttemel tabakalarının stabilitelerini kaybetmeleri.
5. Drenaj yetersizliği ve/veya yetersiz sıkışma nedeni ile üstyapı tabanının stabilitesini kaybetmesi, taşıma gücünün zayıflaması.
6. Banket malzemesinin stabil olması, yeterli yanal desteği sağlayamaması.

\*\* Her şeritte ayrı ayrı oluşan en uzun tekerlek izinde oturma uzunlukları toplamının [şerit sayısı x birim uzunluk (50 m)]'ye oranıdır.





Hafif Şiddette Tekerlek İzinde Oturma



Yüksek Şiddette Tekerlek İzinde Oturma

**ONDÜLASYONLARIN, ÖTELENMELERİN VE YOĞRULMALARIN  
DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI**

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                             | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>(%)<br>(50 m platformda)           | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                           |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                              | Yok                          | Yok                                              | Yok                                                                                                                                           |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çeşitli yüksekliklerde enine ondülasyonlar ve lokal kabarmalar, yığılmalar ve ötelemeler oluşmaya başlamıştır. Sürüş konforunda düşüş hissedilmeye başlanmıştır. | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                 |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Sürüş konforu belirgin bir şekilde düşmüş, yol yüzeyi tümsekli bir görünüş almıştır.                                                                             | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuk kesimler freze makinası ile kazılmalı gerekirse yama yapılmalıdır.                                                                      |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Yol yüzeyindeki düzgünsüzlükler iyice artmış, sürüş konforu iyice azalmıştır. Güvenli sürüş için hızın azaltılması zorunluluğu vardır.                           | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuk kesimler freze makinası ile kazılmalı ve yama yapılmalı gerekirse kapsamlı üstyapı etüdü yapılarak Yeniden Yapım Metodu uygulanmalıdır. |

Ondülasyonların, Ötelenmelerin ve Yoğrulmaların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Asfalt karışım stabilitesinin yetersizliği.
2. Karışımın serilmesi sırasındaki serim ve sıkıştırma hataları.
3. Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi.
4. Üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği. (Yapıştırma tabakasının fazla veya yetersiz uygulanması).
5. Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansımaları.
6. Köprü tabliyesinde su geçirimsizliği için kalın membran kullanılması.
7. Ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı.





Hafif Şiddette Ondülasyon



Orta Şiddette Ondülasyon



Yüksek Şiddette Yoğrulma

## LOKAL OTURMALARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                               | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>(%)<br>(50 m platformda)           | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                | Yok                          | Yok                                              | Yok                                                                                                                                                                                           |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Düşey yönlü deplasman 50 mm'den azdır. Sürüş konforundaki azalma çok az olup hafif sarsıntı yaratabilir.                                           | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                 |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Düşey deplasman 50-100 mm arasında. Hissedilir seviyede yükselme ve alçalmalar oluşmuştur.                                                         | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Drenaj sistemleri gözden geçirilmeli, bozuk kesim gerekirse kazılıp atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır.                                                          |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Düşey deplasman 100 mm'nin üzerindedir. Sürekli hale gelen yükselip alçalmalar rahatsızlık verici seviyededir. Hız azaltma zorunluluğu hissedilir. | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Drenaj sistemleri gözden geçirilmeli, bozuk kesim gerekirse kazılıp atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır. Gerekirse üstyapı tabanı ve dolgular iyileştirilmelidir. |

### Lokal Oturmaların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Taban, alttemel ve/veya temel tabakalarında yetersiz sıkışma nedeni ile oluşan oturmalar.
2. Üstyapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması.
3. Sanat yapılarının yaklaşım imlalarındaki yetersiz sıkıştırma ve drenaj yetersizliği nedeni ile oturmalar.
4. Kaplamanın bankete yakın kesimlerinde, menfezlerde, eksende, çatlak kesimlerde, rögar kenarlarında, yetersiz drenaja sahip yarmalarda gözlenen donma-kabarma.
5. Dolgu şevinde hatalar.
6. Uygun olmayan bakım teknikleri.





Hafif Şiddette Lokal Oturma



Orta Şiddette Lokal Oturma



Yüksek Şiddette Lokal Oturma

## YAMALARIN VE ÇUKURLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                                                    | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | OYUK ORANI<br>(50 m platformda)                  | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                                                     | Yok                          | Yok                                              | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çukurun derinliği 5 cm'den<br>çapı 10 cm'den azdır.<br>Yamalar iyi durumdadır.                                                                                                          | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Çukur uygun bir şekilde düzeltilip<br>soğuk veya sıcak karışım ile<br>yamanmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Yama üzerinde bozulmalar<br>başlamıştır. Çukurların<br>derinliği 5<H<10 cm çapı<br>10<R<30 cm'dir.                                                                                      | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %                     | Çukur uygun bir şekilde düzeltilip<br>soğuk veya sıcak karışım ile yama<br>yapılmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                                                                         |                              | 40-60 %<br>>60 %                                 | Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak:<br>Bozuk kesim bozukluk derinliğince<br>kazılmalı, kazılan malzeme cinsinden<br>aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir.<br>(Asfalt Kaplamaların Yeniden<br>Kullanımı Metodu ile)<br>Kalıcı çözüm amaçlı olarak:<br>1-Geçici çözüm önerisine ilave olarak<br>üstyapı etüdü sonucu belirlenen<br>takviye kalınlıkları uygulanmalıdır.<br>2-Yeniden Yapım Metodu<br>uygulanmalıdır. |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Yama üzerinde herhangi<br>bir bozukluk oluşmuşsa bu<br>yama bozuk kabul edilip<br>üzerindeki bozulma ayrıca<br>değerlendirilir. Çukurların<br>derinliği H>10 cm ve çapı<br>R>30 cm'dir. | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %                     | İki tabaka halinde bitümlü karışım ile<br>yama yapılmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                                                                         |                              | 40-60 %<br>>60 %                                 | Geçici çözüm (bakım) amaçlı olarak:<br>Bozuk kesim bozukluk derinliğince<br>kazılmalı, kazılan malzeme cinsinden<br>aynı kalınlıkta malzeme getirilmelidir.<br>Kalıcı çözüm amaçlı olarak:<br>1-Geçici çözüm önerisine ilave olarak<br>üstyapı etüdü sonucu belirlenen<br>takviye kalınlıkları uygulanmalıdır.<br>2-Yeniden Yapım Metodu<br>uygulanmalıdır.                                                          |

### Çukurların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Diğer bozuklukların etkileri. (soyulma, segregasyon, çatlaklar vs.)
2. Yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü.
3. Kaplamada düşük kaliteli agrega kullanımı.
4. Üstyapı kalınlıklarının yetersiz oluşu.





Hafif Şiddette Çukur



Orta Şiddette Çukur



Yüksek Şiddette Çukur

## SEGREGASYON, SÖKÜLME VE SOYULMALARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                       | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>DEĞERİ (%)<br>(50 m platformda)  | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                        | Yok                          | Yok                                            | Yok                                                                                                                                |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Yüzeyde agrega kaybı başlamıştır. Kaplama karışımının dokusal görüntüsünde hafif bir artış meydana gelmiştir.                                              | Hafif                        | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                      |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Yol yüzeyindeki agrega eksilmesi artmıştır. Yüzeyde sıg bir ayrışma gözlenir. Hızlanan agrega kaybı kaplamada açık görünümlü bir doku meydana getirmiştir. | Orta                         | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Harç tipi örtme tabakası veya sathi kaplama uygulanır.                                                                             |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Agrega kaybının devamında yüzeydeki açık görünümlü doku iyice belirginleşmiştir. Bazı lokal çukurlar ve kopmalar oluşmuştur.                               | Yüksek                       | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çukurlar sıcak karışım yama ile yamanır ve harç tipi örtme tabakası uygulanır.                                                     |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                                            |                              | 30-60 %<br>>60 %                               | Çukurlar sıcak karışım yama ile yamanır, yüzey tek tabaka asfalt betonu, sathi kaplama veya harç tipi örtme tabakası ile kaplanır. |

### Segregasyon ve Soyulmaların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Su ve trafik etkisi altında soyulma.
2. Bitümlü sıcak karışım içinde kil toprakları veya kille kaplı agregataneceklerinin bulunması.
3. Zayıf sıkıştırma ve yüksek boşluk yüzdesi. (Özellikle soğuk hava koşullarında yapılan kaplamalarda su ve tuzlar tabakalar arasında sızar, donma ve erime olayları sırasında asfaltın bozulmasına neden olur.)
4. Yetersiz bitüm yüzdesi.
5. Yaşlanma nedeni ile oluşan asfalt sertleşmesi.
6. Uygun olmayan yapım teknikleri ve ekipman kullanımı.
7. Donma çözünme olaylarının tekrarlanması ile absorpsiyonu ve kırılabilirliği yüksek agregaların kullanıldığı karışımlarda, ayrışma meydana gelmesi.



**SATHİ KAPLAMALI  
ESNEK ÜSTYAPILARDAKİ  
YÜZEY BOZUKLUKLARI**

## 8.2. SATHİ KAPLAMALI ÜSTYAPILARDAKİ YÜZEY BOZUKLUKLARI

### TİMSAH SIRTI ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                    | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI (%)<br>(50 m platformda)            | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                     | Yok                          | Yok                                            | Yok                                                                                                                                                                                                                |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Timsah sırtı deseni yeni yeni oluşmaya başlamış, desen oluşumu az sayıda çatlaklarla meydana gelmiştir. Çatlarlar kılcal seviyededir.                   | Hafif                        | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                      |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Timsah sırtı oluşumu iyice belirginleşmiş, poligon köşelerindeki kopmalar gözlenebilmektedir. Çatlakların genişliği artmış, hafif oturmalar oluşmuştur. | Orta                         | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Kaplama kalınlığına bağlı olarak çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır veya lokal sathi kaplama yapılmalıdır.                                  |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                                         |                              | 30-60%<br>>60 %                                | Çatlaklı yüzey sathi kaplama ile kaplanmalıdır.                                                                                                                                                                    |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Poligon blokları kopmaya başlamıştır. Bazı oyuklar ve lokal oturmalar oluşmuş, kopmalar ileri seviyelere ulaşmıştır.                                    | Yüksek                       | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır.                                                                                                         |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                                         |                              | 30-60%<br>>60 %                                | 1-Sathi kaplama yenilenmelidir.<br>2-Bozuk kesimler kazılmalı gerekirse temel onarımı ve/veya temel takviyesi ile sathi kaplama yapılmalıdır.<br>3-Temel takviyesi yapıldıktan sonra sathi kaplama yenilenmelidir. |

#### Timsah Sırtı Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Taban zemini, alttemel ve/veya temel tabakalarının yetersiz sıkışması ve/veya yetersiz drenajı nedeni ile taşıma gücü yetersizliği.
2. Kaplamanın aşırı trafik yükleri altında yorulması.
3. Uygun olmayan malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri.
4. Çevre ve iklim şartları (donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.)

## KENAR ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | UZUNLUK ORANI<br>(%)<br>(50 m platformda)      | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                              |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Yok                          | Yok                                            | Yok                                                                                                                                                                              |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar kaplama kenarına paralel olup bir veya birden çok olabilir. Çatlaklar kaplama kenarından 300 mm içeriye yayılmış olabilir.                                                                                                                                                                                                      | Hafif                        | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozulukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                     |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Çatlaklar dış tekerlek izine kadar ilerlemiştir. Çatlaklar birbirinden bağımsız boyuna çatlaklar şeklinde olabileceği gibi bazen de dalga veya timsah sırtı çatlak başlangıcı şeklinde olabilir.                                                                                                                                          | Orta                         | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çatlaklı bölge düzgün şekilde kesilip atıldıktan sonra uygun bir karışımla yamanmalıdır.                                                                                         |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                              | 30-60%<br>>60 %                                | Bozuk kesimler sathi kaplama ile kaplanmalıdır.                                                                                                                                  |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Dalga şeklinde çatlaklar görülmeye başlanmış olup bunlar timsah sırtı desenine yaklaşmış ve kenardan 900 mm'den daha içeri ilerlemiştir. Çatlak timsah sırtı çatlak şekline dönüşmüş ve dış tekerlek izini aşarak eksene yaklaşmıştır. (Eğer çatlaklar timsah sırtı desenine dönmüş ise timsah sırtı çatlak olarak değerlendirilecektir.) | Yüksek                       | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilmeli ve uygun bir karışımla yama yapılmalıdır. Buna ilaveten banket drenajı gerekli bakımla iyileştirilmelidir.                           |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                              | 30-60%<br>>60 %                                | 1-Sathi kaplama yenilenmelidir.<br>2-Bozuk kesimler kazılmalı gerekirse temel takviyesi yapıldıktan sonra sathi kaplama yenilenmelidir. Drenaj sistemleri gözden geçirilmelidir. |

### Kenar Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Donma etkisi.
2. Üstyapının yetersiz taşıma gücü ve/veya üstyapının kenarında aşırı trafik yüklemesi.
3. Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenajın oluşumu.
4. Üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin banket kenarına yakın seyretmesi.

## ENİNE ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                                                                                                         | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ÇATLAK ARALIĞI<br>(50 m platformda)           | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                                                                                                          | Yok                          | Yok                                           | Yok                                                                                |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar 6 mm'den incedir ve ayrılmamıştır. Çatlaklar kaplama genişliği boyunca değişken uzunluktadır.                                                                                                                                      | Hafif                        | >35 m<br>25-35 m<br>10-25 m<br>5-10 m<br><5 m | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                      |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Çatlaklar 6 ile 15 mm arası genişliğe ulaşmıştır. Çatlak boyunca hafif kopmalar oluşmuş ve kılcal çatlaklar meydana gelmiştir.                                                                                                               | Orta                         | >35 m<br>25-35 m<br>10-25 m                   | Çatlaklar, gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                                                                                                                              |                              | 5-10 m<br><5 m                                | Sathi kaplama yenilenmelidir.                                                      |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Tek veya birden fazla çatlaklar ayrılmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığa ulaşmıştır. Bazı kopma ve bozulmalar oluşmuştur. Çatlak oluşumu yaygınlaşmıştır. Çatlakların yanısıra diğer bozuklukların varlığı bu mertebenin göstergesidir. | Yüksek                       | >35 m<br>25-35 m<br>10-25 m                   | Çatlaklar, uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır.                          |
|                       |                       |                                                                                                                                                                                                                                              |                              | 5-10 m<br><5 m                                | Sathi kaplama yenilenmelidir.                                                      |

### Enine Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Asfalt kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme.
2. Tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği.
3. Tabanda rutubet, oturma, yapım hatasından kaynaklanan çatlakların yansması.

## BOYUNA ÇATLAKLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                              | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ÇATLAK UZUNLUĞU<br>(50 m platformda)                  | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                               | Yok                          | Yok                                                   | Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar 6 mm'den incedir, ayrışma yoktur. Tek veya birden çok olabilir. Çatlak, kaplama kenarına paralel, diagonal veya kıvrımlar şeklindedir.  | Hafif                        | <50 m<br>50-100 m<br>100-200 m<br>200-250 m<br>>250 m | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çatlaklar 6 ile 15 mm arası genişliğe ulaşmıştır. Bazı ayrışmalar başlamıştır. Çok yönlü kılcal çatlaklar oluşmuştur.                             | Orta                         | <50 m<br>50-100 m<br>100-200 m<br>200-250 m<br>>250 m | Çatlaklar, gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır veya çatlaklı kesimde sathi kaplama yenilenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Tek veya çok yönlü çatlaklar ayrışmaya devam edip 15 mm'den fazla açıklığa ulaşmıştır. Ayrışmalar daha derinleşmiştir ve çatlak sayısı artmıştır. | Yüksek                       | <50 m<br>50-100 m<br>100-200 m                        | Çatlaklar gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır veya çatlaklı kesimde sathi kaplama yenilenmelidir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                                   |                              | 200-250 m<br>>250 m                                   | Kapsamlı üstyapı etüdü yapılarak bozuklukların sebebi araştırılmalı ve aşağıda belirtilen 1 ve 3 no'lu oluşma sebebinden kaynaklanıyor ise bozuk kesim kazılıp atılmalı gerekirse temel onarımı ve/veya temel takviyesi yapıldıktan sonra sathi kaplama yenilenmelidir. Eğer 2 no'lu oluşma sebebinden kaynaklanıyor ise dolgu stabilitesi sağlanmalı, drenaj sistemi iyileştirilmeli, gerekirse temel takviyesi yapıldıktan sonra sathi kaplama yenilenmelidir. |

### Boyuna Çatlakların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

- Üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar.
- Dolgunun yanal hareketi ve oturması.
- Uygun olmayan malzeme kullanımı, yapım tekniklerinin ve ekipmanlarının yetersizliği.
- Çevre ve iklim şartları (Donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.)

## TEKERLEK İZİNDE OTURMALARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                         | BOZULMA<br>ŞİDDETİ TANIMI | UZUNLUK ORANI<br>DEĞERİ (%) **                 | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                    |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                          | Yok                       | Yok                                            | Yok                                                                                                                                                                    |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Oturma derinliği 15 mm'den daha azdır. Oturmalar üzerinde hafif şiddette çatlamlar olabilir. | Hafif                     | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                          |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Oturmaların derinliği 15-30 mm arasındadır. Genellikle iz üzerinde çatlamlar vardır.         | Orta                      | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                          |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Oturmaların derinliği 30 mm'den daha fazladır. Çatlaklar daha belirginleşmiştir.             | Yüksek                    | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %                     | Tekerlek izinde oturma gözlenen kesim sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır.                                                                             |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                              |                           | 30-60 %<br>>60 %                               | Oturma derinliği 5 cm'den fazla ise; oturma derinliği kadar kazılıp mevcut temel iyileştirilmeli gerekiyor ise temel takviyesi yapılarak sathi kaplama yenilenmelidir. |

### Tekerlek İzinde Oturmaların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Üstyapı tabakalarının yetersiz sıkıştırılması.
2. Trafik yükleri altında boşluk suyu basıncı nedeniyle doygunluğa ulaşan temel ve alttemel tabakalarının stabilitelerini kaybetmeleri.
3. Drenaj yetersizliği ve/veya yetersiz sıkışma nedeni ile üstyapı tabanının stabilitesini kaybetmesi, taşıma gücünün zayıflaması.
4. Banket malzemesinin stabil olması, yeterli yanal desteği sağlayamaması.
5. Üstyapı tabanının aşırı gerilmeler nedeni ile kalıcı deformasyona uğraması.

\*\*Her şeritte ayrı ayrı oluşan en uzun tekerlek izinde oturma uzunlukları toplamının [şerit sayısı x birim uzunluk (50 m)]'ye oranıdır.

## ONDÜLASYONLARIN VE ÖTELENMELERİN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                         | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI DEĞERİ<br>(%)<br>(50 m platformda)    | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                      |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                          | Yok                          | Yok                                              | Yok                                                                                                                      |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çeşitli yüksekliklerde enine hafif ondülasyonlar ve lokal şekil değiştirmeleri oluşmuştur. Sürüş konforunda düşüş hissedilmeye başlanmıştır. | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                            |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Sürüş konforu belirgin bir şekilde düşmüş, yol yüzeyi tümsekli bir görünüş almıştır.                                                         | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuk kesimlerdeki kaplama kazılmalı gerekirse temel havalandırılıp yeniden sıkıştırılarak sathi kaplama yenilenmelidir. |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Yol yüzeyindeki düzgünsüzlükler iyice artmış, sürüş konforu iyice azalmıştır. Güvenli sürüş için hızın azaltılması zorunluluğu vardır.       | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuk kesimlerdeki kaplama kazılmalı gerekirse temel havalandırılıp yeniden sıkıştırılarak sathi kaplama yenilenmelidir. |

### Ondülasyonların ve Ötelenmelerin Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Temel tabakasındaki stabilite yetersizliği.
2. Sathi kaplamada yüksek bitüm yüzdesi.
3. Kötü işçilik ve yapım hataları.
4. Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi.



## LOKAL OTURMALARIN VE KABARMALARIN DERCELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                               | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>DEĞERİ (%)<br>(50 m platformda)    | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                | Yok                          | Yok                                              | Yok                                                                                                                                                                                                                  |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Düşey yönlü deplasman 50 mm'den azdır. Sürüş konforundaki azalma çok az olup hafif sarsıntı yaratabilir.                                           | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                                                                                                                                        |
| 1<br>1<br>1           | 1<br>2<br>3           | Düşey deplasman 50-100 mm arasındadır. Hissedilir seviyede yükselme ve alçalmalar oluşmuştur.                                                      | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %                     | Oturmalar; sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yama yapılmalıdır.<br>Kabarmalarda; bozuk yüzey kazılarak temel onarımı ve/veya temel takviyesi yapıldıktan sonra sathi kaplama yenilenmelidir.                    |
| 1<br>1                | 4<br>5                |                                                                                                                                                    |                              | 40-60 %<br>>60 %                                 | Oturmalar; bozuk kesime temel takviyesi yapıldıktan sonra sathi kaplama yenilenmelidir.<br>Kabarmalarda; bozuk yüzey kazılarak temel onarımı ve/veya temel takviyesi yapıldıktan sonra sathi kaplama yenilenmelidir. |
| 2<br>2<br>2           | 1<br>2<br>3           | Düşey deplasman 100 mm'nin üzerindedir. Sürekli hale gelen yükselip alçalmalar rahatsızlık verici seviyededir. Hız azaltma zorunluluğu hissedilir. | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %                     | Orta şiddetteki bozulmalara önerilen onarım çalışmaları bu şiddetteki bozulmalar için de geçerlidir.                                                                                                                 |
| 2<br>2                | 4<br>5                |                                                                                                                                                    |                              | 40-60 %<br>>60 %                                 | Orta şiddetteki bozulmalara önerilen onarım çalışmaları bu şiddetteki bozulmalar için de geçerlidir.                                                                                                                 |

### Lokal Oturmaların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Taban, alttemel ve/veya temel tabakalarında yetersiz sıkışma nedeni ile oluşan oturmalar.
2. Üstyapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması.
3. Sanat yapılarının yaklaşım imlalarındaki yetersiz sıkıştırma ve drenaj yetersizliği nedeni ile oluşan oturmalar.
4. Kaplamanın bankete yakın kesimlerinde, menfezlerde, eksende, çatlak kesimlerde, rögar kenarlarında, yetersiz drenaja sahip yarmalarda gözlenen donma-kabarma.
5. Dolgu şevinde hatalar.
6. Uygun olmayan bakım teknikleri.

## ÇUKURLARIN DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ        | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU      | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                            | BOZULMA<br>ŞİDDETİ TANIMI | OYUK SAYISI<br>(50 m platformda)                     | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                                                           |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                         | 0                         | Yok                                                             | Yok                       | Yok                                                  | Yok                                                                                                                                           |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0     | 1<br>2<br>3<br>4<br>5     | Çukurun derinliği 5 cm'den çapı 10 cm'den azdır.                | Hafif                     | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 %     | Çukur uygun bir şekilde düzeltilip soğuk veya sıcak karışım ile yamanmalıdır.                                                                 |
| 1<br>1<br>1<br><br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br><br>4<br>5 | Çukurların derinliği $5 < H < 10$ cm çapı $10 < R < 30$ cm'dir. | Orta                      | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br><br>40-60 %<br>>60 % | Çukur uygun bir şekilde düzeltilip soğuk veya sıcak karışım ile yama yapılmalıdır.<br><br>Temel takviyesi yapıp sathi kaplama yenilenmelidir. |
| 2<br>2<br>2<br><br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br><br>4<br>5 | Çukurların derinliği $H > 10$ cm ve çapı $R > 30$ cm'dir.       | Yüksek                    | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br><br>40-60 %<br>>60 % | Çukur uygun bir şekilde düzeltilip soğuk veya sıcak karışım ile yama yapılmalıdır.<br><br>Temel takviyesi yapıp sathi kaplama yenilenmelidir. |

### Çukurların Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü.
2. Kaplamada düşük kaliteli agrega kullanımı.
3. Diğer bozuklukların etkileri (soyulma, çatlak vs.)
4. Yetersiz üstyapı kalınlıkları.

## KAPLAMA AGREGASI KAYBININ DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                                                                                                       | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>DEĞERİ (%)<br>(50 m platformda)    | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                              |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                                                                                                        | Yok                          | Yok                                              | Yok                                              |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Az oranda agregas kaybı söz konusudur.                                                                                                                                                                     | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.    |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Agrega kaybı artmıştır. Kaplama yüzeyinde sığ bir ayrışma görülür ve yüzeyde bitüm lekeleri açığa çıkmıştır.                                                                                               | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuk kesimler sathi kaplama ile yenilenmelidir. |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Agrega kaybının daha da artması sonucunda, yüzeyde derin olmayan çukurlar, agregasız alanlar oluşmuştur. Yüzeyin görüntüsü agreganın soyulması nedeni ile siyahlaşmıştır. Yüzeyde serbest malzeme görülür. | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuk kesimler sathi kaplama ile yenilenmelidir. |

### Agrega Kayıplarının Oluşma Sebepleri:

1. Agreganın bitümlü bağlayıcı ısısı düştükten sonra serilmesi.
2. Yola serilen agreganın ıslak veya tozlu olması.
3. Agreganın geç sıkıştırılması.
4. Sıkıştırırmada kullanılan ekipmanın uygun olmaması.
5. Hava koşullarının sathi kaplama uygulaması için uygun olmaması.
6. Kaplamanın yapımdan hemen sonra hızlı trafik geçmesi.
7. Uygulanan bitümlü bağlayıcının yetersiz kalması.
8. Hatalı silindir seçimi ve yüzeyin düzgün olmaması nedeni ile yüzeyde sıkışmamış kesimlerin kalması.



Hafif Şiddette Soyulma / Sökölme



Orta Şiddette Soyulma / Sökölme



Yüksek Şiddette Soyulma / Sökölme

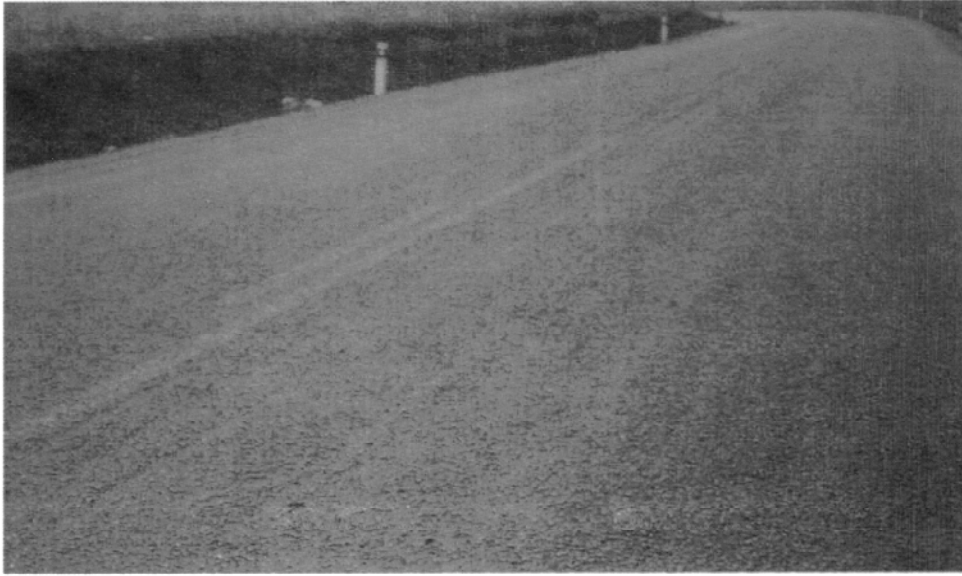
## ÇİZGİSEL AGREGA KAYBININ DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                                                   | BOZULMA<br>ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>DEĞERİ (%)<br>(50 m platformda)    | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                                                    | Yok                          | Yok                                              | Yok                                                |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Az oranda agregaya kaybı söz konusudur. Bu kayıp doğrusal bir formasyondadır. Düşük seviyede doku artışı gözlenir.     | Hafif                        | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.      |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Çizgi halindeki agregaya kaybı belirginleşmiştir. Bu kayıplar sığ bir ayrışma gösterir.                                | Orta                         | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Soyulmuş kesimler sathi kaplama ile kaplanmalıdır. |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Agrega kaybının devamı açık dokulu bir kaplama yüzeyi oluşturur. Fakat çizgi halinde agregaya kaybı hala gözlenebilir. | Yüksek                       | 0-10 %<br>10-20 %<br>20-40 %<br>40-60 %<br>>60 % | Soyulmuş kesimler sathi kaplama ile kaplanmalıdır. |

### Çizgisel Agregaya Kaybının Oluşma Sebepleri:

1. Püskürtme çubuğunun uygun olmayan yükseklikte bulunması durumunda püskürtmenin istenen şekilde olmaması.
2. Püskürtme çubuğunun yanlış açıda tutulması, püskürtme çubuğu üzerindeki memelerin tıkalı olması, püskürtme çubuğunun bakım eksikliği.
3. Bitümlü bağlayıcının uygun olmayan hızla ve düşük basınçla yola dökülmesi.
4. Bitümlü bağlayıcı sıcaklığının düşük olması.
5. Genellikle distribütör yükünün azalması nedeniyle bitümlü bağlayıcının dökülme yüksekliğinin değişmesi.
6. Kötü işçilik.





Hafif Şiddette Çizgisel Agregaya Kaybı



Orta Şiddette Çizgisel Agregaya Kaybı



Yüksek Şiddette Çizgisel Agregaya Kaybı

## ASFALT KUSMASININ DERECELENDİRİLMESİ VE ONARIMI

| BOZULMA<br>ŞİDDETİ    | BOZULMA<br>YOĞUNLUĞU  | BOZUKLUĞUN<br>TANIMI                                                                 | BOZULMA ŞİDDETİ<br>TANIMI | ALAN ORANI<br>DEĞERİ (%)<br>(50 m platformda)  | ONARIM<br>ÇALIŞMASI                                                                                        |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 0                     | Yok                                                                                  | Yok                       | Yok                                            | Yok                                                                                                        |
| 0<br>0<br>0<br>0<br>0 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Kaplama üzerinde, özellikle tekerlek izlerinde, çok hafif siyahlaşmalar görülebilir. | Hafif                     | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir.                                                              |
| 1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Siyahlaşmanın tonu koyulaşmıştır. Yüzeyde fazla bitüm görüntüsü hissedilmektedir.    | Orta                      | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Çok sıcak havalarda kuma görülen yerlere uygun boyutta agrega serilmeli ve gerekli ise silindirlenmelidir. |
| 2<br>2<br>2<br>2<br>2 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | Yüzeyde çok fazla bitüm görülmektedir. Yer yer lastik desenleri oluşmuştur.          | Yüksek                    | 0-4 %<br>4-10 %<br>10-30 %<br>30-60 %<br>>60 % | Çok sıcak havalarda kuma görülen yerlere uygun boyutta agrega serilmeli ve gerekli ise silindirlenmelidir. |

### Bitüm Kusmasının Muhtemel Oluşma Sebepleri:

1. Yapım sırasında çok fazla bitüm kullanılması ve özellikle sıcak havalarda trafik etkisi ile bitümün agrega üzerine çıkması.
2. Kusmuş yüzey üzerine herhangi bir tedbir almadan yeniden sathi kaplama yapımı.
3. Çok fazla astar malzemesinin kullanılması.
4. Çok fazla agrega soyulması.
5. Çok ince temel malzemesi kullanılması.





Hafif Şiddette Kuma



Orta Şiddette Kuma



Yüksek Şiddette Kuma



**EK**

**ÜSTYAPI PROJELENDİRME RAPORU  
YAZIM KILAVUZU**



# ÜSTYAPI PROJELENDİRME RAPORU YAZIM KILAVUZU

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Bu bölümde yapılan üstyapı projelendirme çalışmalarının amacı genel olarak anlatılacaktır. Üstyapı projelendirmesine yeni yol yapımı, yol genişletme çalışmaları yada takviye proje gerekleri nedeniyle mi ihtiyaç duyulduğu belirtilecektir.

### 1.2. Projenin Yeri ve Özellikleri

Yolun kontrol kesim ve dilim numarası verilecek; ilgili yol kesiminin başlangıç ve bitiş kesimleri, hangi güzergahı takip ettiği hakkında genel, tanıtıcı bilgi sunulacaktır. Ayrıca yer gösterim haritası ve güzergah gösterim haritası bu bölümde verilecektir.

### 1.3. Çalışmanın Yöntemi ve Süresi

Yapılan çalışmalarda hangi yöntemlerin (üstyapı performans gözlemleri, araştırma/gözlem çukuru açılması, yol üstyapısı karot çalışmaları vb.) takip edildiği, çalışmaların hangi aşamada olduğu ve süresi hakkında bilgi verilecektir.

## 2. ÜSTYAPI PROJE VERİLERİ

### 2.1. Yolun Geometrik Özellikleri

Yolun enine ve boyuna geometrik özellikleri, yolun platform genişliği, taşıt yolu ve banket genişlikleri, refüj tip ve genişliği, boyuna ve enine eğim bilgileri kesim-kesim verilecek ve bir enine tip kesit üzerinde gösterilecektir. Geometrik standartlar yönünden kritik olan sınırlayıcı koşullar ve kesimler belirtilecektir.

### 2.2. İklim Koşulları

Bölgede hüküm süren iklim koşulları, maksimum ve minimum ve ortalama sıcaklıklar, donlu günler sayısı, don penetrasyon derinliği, don indeksi ve yağış miktarı, karlı ve güneşli gün sayısı, kar örtüsü kalınlığı, nem miktarı, rüzgar hızı ve yönü bilgileri kesim-kesim verilecektir.

### 2.4. Topografik Özellikler ve Bitki Örtüsü

Bölgenin topografik yapısı (düz, dalgalı, apik), maksimum ve minimum yükseklikler ve bölgenin tipik bitki örtüsü hakkında bilgiler verilecektir.

### 2.5. Hidrolojik Koşullar

Yol güzergahının yeraltı suyu durumu, birimlerin hidrolik özellikleri, yeraltı ve yerüstü drenaj ihtiyaçları hakkında bilgi verilecek, tip kesitler üzerinde gösterilecektir. Üstyapı malzemelerinin zemin sınıfı ve drenaj katsayıları tespit edilecektir.

## 2.6. Malzeme Özellikleri

### 2.6.1. Üstyapı Tabanı

Bu bölümde üstyapı tabanının özellikleri ayrıntılı bir şekil verilecek ve Tablo:2.1 ve Tablo:2.2 hazırlanacaktır.

Tablo:2.1. Laboratuvar sonuçlarını gösterir özet tablo

| AÇ No | Km | Türü (Yarma/Dolgu Tabanı/Ariyet) | Elek Analizi |                | Atterberg Limitleri |      | $W_{opt}$ % | $\gamma_{max}$ g/cm <sup>3</sup> | CBR Deneyi |       | Zemin Sınıflaması |        | $M_R$ psi |
|-------|----|----------------------------------|--------------|----------------|---------------------|------|-------------|----------------------------------|------------|-------|-------------------|--------|-----------|
|       |    |                                  | No.4 Kalan % | No.200 Geçen % | LL %                | PI % |             |                                  | Şişme %    | CBR % | BZS               | AASHTO |           |
|       |    |                                  |              |                |                     |      |             |                                  |            |       |                   |        |           |

Tablo:2.2. Üstyapı tabanına ait zemin durumunu gösterir özet tablo

| Kilometre Aralığı Km - Km | Enkesit Türü | Yarma/Dolgu Yüksekliği (m) | Üstyapı Tabanı Malzemesi   | Üstyapı Tabanı Zemin Tanımlaması |
|---------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
|                           | Yarma/Dolgu  |                            | Yarma/Ariyet/Seçme Malzeme |                                  |
|                           |              |                            |                            |                                  |

### 2.6.2 Yarma Malzemelerinin Dolgularda Kullanılabilirliği

Yarma Malzemelerinin dolgularda kullanılabilirliği Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi ile bu kılavuzun EK-1 'inde verilen bilgilere göre değerlendirilecek, dolgularda kullanılmaya elverişli olmayan kesimler bir tablo halinde gösterilecektir. Bu kesimlerle ilgili olarak ekonomik olması halinde stabilizasyon teknikleri irdelenecek ve değerlendirmeler sunulacaktır.

### 2.6.3. Üstyapı Malzemeleri

Bu bölümde, üstyapıyı oluşturan kaplama, temel, alttemel tabakalarına ait malzeme özellikleri ve türleri belirtilecek, kaplama tabakasında kullanılacak bitüm sınıfı verilecektir. Ayrıca yol yapımında kullanılacak bu üstyapı malzemelerinin yaklaşık miktarları hesaplanarak bir tablo halinde bu bölümde verilecektir.

## 3. ÜSTYAPI PROJELENDİRMESİ

### 3.1. Trafik Özellikleri

Bu bölümde yolun kontrol kesim numarasına göre, trafik analizleri ve en son trafik sayımlarına ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) bilgileri verilecek, gelişme trafiği, kayan trafik gibi trafiğin gelecek yıllardaki değişimi ile ilgili değerlendirmeler bu bölümde anlatılacaktır. Trafik artış katsayısı ve proje yılı belirlenerek, proje süresi boyunca yoldan geçecek toplam eşdeğer standart dingil (8.2 t) tekerrür sayısı ( $T_{8.2}$ ) hesaplanacaktır.

### 3.2. Taban Zemininin Değerlendirilmesi

Yol güzergahı boyunca üstyapı tabanını teşkil edecek zeminler, homojen kesimlere ayrılarak her kesim için proje  $M_R$  değerleri hesaplanarak ve yapılan hesaplamalar bu bölümde verilecektir. Proje  $M_R$  değerinin hesaplanmasında, dolguda geçilen yerlerde, dolgu tabanı yerine ariyet malzemesinin  $M_R$  değeri, seçme malzeme getirilen kesimlerde ise yine taban yerine seçme malzemenin  $M_R$  değeri dikkate alınacaktır. Ayrıca mevsimsel koşullara bağlı olarak üstyapı taban zemininin taşıma gücünde gerçekleşmesi beklenen değişiklikler de dikkate alınacak, gerekli hasar faktörleriyle beraber efektif taşıma gücü tespit dillecektir. Bu bölümün sonunda Tablo:3.1 hazırlanacaktır.

Tablo:3.1. Üstyapı taban zemininin Proje  $M_R$  değerlerini gösterir özet tablo

| Kilometre Aralığı<br>Km - Km | Üstyapı Tabanı<br>Malzemesi   | $M_R$<br>Değerleri<br>(psi) | Proje $M_R$ Değeri<br>(psi) |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                              | Yarma/Ariyet/Seçme<br>Malzeme |                             |                             |
|                              |                               |                             |                             |

### 3.3. Üstyapı Kalınlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde üstyapı tipi (sathi kaplama yada asfalt betonu) belirtilecek ve üstyapı tabaka kalınlıkları bu rehberde uygun olarak ayrıntılı bir şekilde hesaplanacaktır. Esnek Üstyapı Projelendirme Formu ve Üstyapı Kalınlık İtinereri verilecektir.

### 3.4. Üstyapı Açısından Kritik Kesimler

#### 3.4.1. Taşıma Gücü Düşük Taban Zeminlerinin İyileştirilmesi

Taşıma gücü bakımından zayıf yarma tabanları ve dolgularda üstyapı tabanı Rehberde belirtilen kalınlıkta Koruyucu Tabaka ile teşkil edilecek ve yarma tabanları sıyrılarak yerine seçme malzeme getirilecektir. Yapılan değerlendirmelerle beraber Tablo:3.2 hazırlanacaktır.

Tablo:3.2. Zayıf zemin iyileştirmelerini gösterir özet tablo

| Kilometre<br>Aralığı<br>Km – Km | Taban<br>CBR<br>Değeri | Taban<br>$M_R$<br>Değeri | Sıyırma<br>(Seçme<br>Malzeme)<br>Kalınlığı (cm) | Seçme<br>Malzeme<br>Ocağı | Seçme<br>Malzeme<br>CBR<br>Değeri | Seçme<br>Malzeme<br>$M_R$ Değeri |
|---------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                                 |                        |                          |                                                 |                           |                                   |                                  |



### 3.4.2. Dona Hassas Taban Zeminlerinin İyileştirilmesi

Taban zemini özellikleri, iklim koşulları, yeraltı suyu ve drenaj şartlarına bağlı olarak zeminlerin dona hassasiyet sınıfı belirlenecek, dona hassas olan kesimlerde bu Rehberde belirtildiği şekilde önlemler alınacaktır. Bu bölümde yapılan hesaplamalarla beraber Tablo:3.3 düzenlenerek özet tabloda verilecektir.

Tablo:3.3. Üstyapı taban zemininin don hassasiyet değerlendirme özet tablosu

| Kilometre Aralığı<br>Km – Km | Enkesit tipi<br>(Yarma /Dolgu) | Taban Zemin Sınıfı | 0,075 mm' den küçük Malzeme %'si | Don Penetrasyon Derinliği (cm) | Don İndeksi (DI) | Yeraltı Su Seviyesi YSS (cm) | Don Hassasiyet Sınıfı (Fi) | Don Tabakası Kalınlığı (cm) |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                              |                                |                    |                                  |                                |                  |                              |                            |                             |

### 3.5. Mevcut Yol Üstyapısının Değerlendirilmesi

Projenin mevcut yola oturması durumunda proje kırmızı kotu ile mevcut yol kotu arasındaki mesafeye bağlı olarak mevcut yolun kullanımı ile ilgili değerlendirmeler yapılacaktır. Yolun mevcut hali ile kullanılması durumunda aşağıda belirtildiği gibi performans gözlemleri yapılacak ve gerekli takviye projeleri hazırlanacaktır.

#### 3.5.1 Performans Gözlemleri

Bu Rehberde belirtilen şekilde mevcut yolun performans gözlemleri yapılarak bozulma türü, şiddeti ve yoğunlukları belirlenecek, benzer özellik gösteren kesimler ayrılacak ve bu kesimler için Üstyapı Durumu Puanlama Tablosu hazırlanarak Üstyapı Puanı ve Üstyapı Yapısal Puanı belirlenecektir.

#### 3.5.2. Üstyapı Takviye Projesi

Yapılan performans gözlemleri, arazi çalışmaları (karot, araştırma çukuru vb.) verilerine göre üstyapı takviye projeleri hazırlanacak ve takviye projeleri için üstyapı projelendirme formu ve takviye tabakası kalınlık itenereri verilecektir. Ayrıca mevcut yol üzerinden alınan karot ve araştırma çukurlarına ait alındıkları yer, yöntem, tabaka kalınlıkları, malzeme özellikleri vb. gösterir detay tablolar hazırlanacaktır. Üstyapı Durumu Puanlama Tablosu düzenlenecek, varsa defleksiyon etütleri sonuçları yorumlanarak kesim-kesim takviye projelendirilmesi yapılacaktır.

Tablo:3.4. Üstyapı durumu değerlendirme özet tablosu

| Kilometre Aralığı<br>Km – Km | Bozulma Türü | Üstyapı Puanı | Üstyapı Yapısal Puanı | Üstyapı Durum Sınıfı | Bakım/Onarım Metodu |
|------------------------------|--------------|---------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
|                              |              |               |                       |                      |                     |

## 4. SONUÇLAR

## 5. KAYNAKÇA



## **EK-2 MALZEME OCAKLARI**

Bu kesimde, yol üstyapısı yapımında ihtiyaç duyulan malzeme miktarları yaklaşık olarak belirtilecek ve malzeme ocakları özet tablosu verilecektir. Özet tabloda ocakların malzeme cinsi, rezervi, yola mesafesi, yapılan deneyler ve sonuçları, işletme koşulları ve malzemenin kullanılacağı yerler hakkında kısa bir bilgi verilecektir.

### **EK.2.1. Ariyet Ocakları**

Ariyet ocaklarının mevkii, malzeme cinsi, rezervi, servis yolu durumu, yola mesafesi verilecek ve ocağın mülkiyet ve ruhsat durumu, işletme koşulları ve ocak malzemesinin kullanılacağı yerler, deney sonuçları vb. hakkında kısa bir bilgi verilecektir.

### **EK.2.2. Kum-Çakıl Ocakları**

EK 2.1 'de belirtilen hususlar kum-çakıl ocakları için verilecektir.

### **EK.2.3. Taş Ocakları**

EK2.1 'de belirtilen hususlar taş ocakları için verilecektir.

## **EK-3. MALZEME OCAKLARI İTİNERERİ**

## **EK-4. ARAŞTIRMA ÇUKURU, KAROT VE MALZEME OCAĞI DENEY RAPORLARI**

## **EK-5. MEVCUT YOL ÜSTYAPI İTİNERERİ**

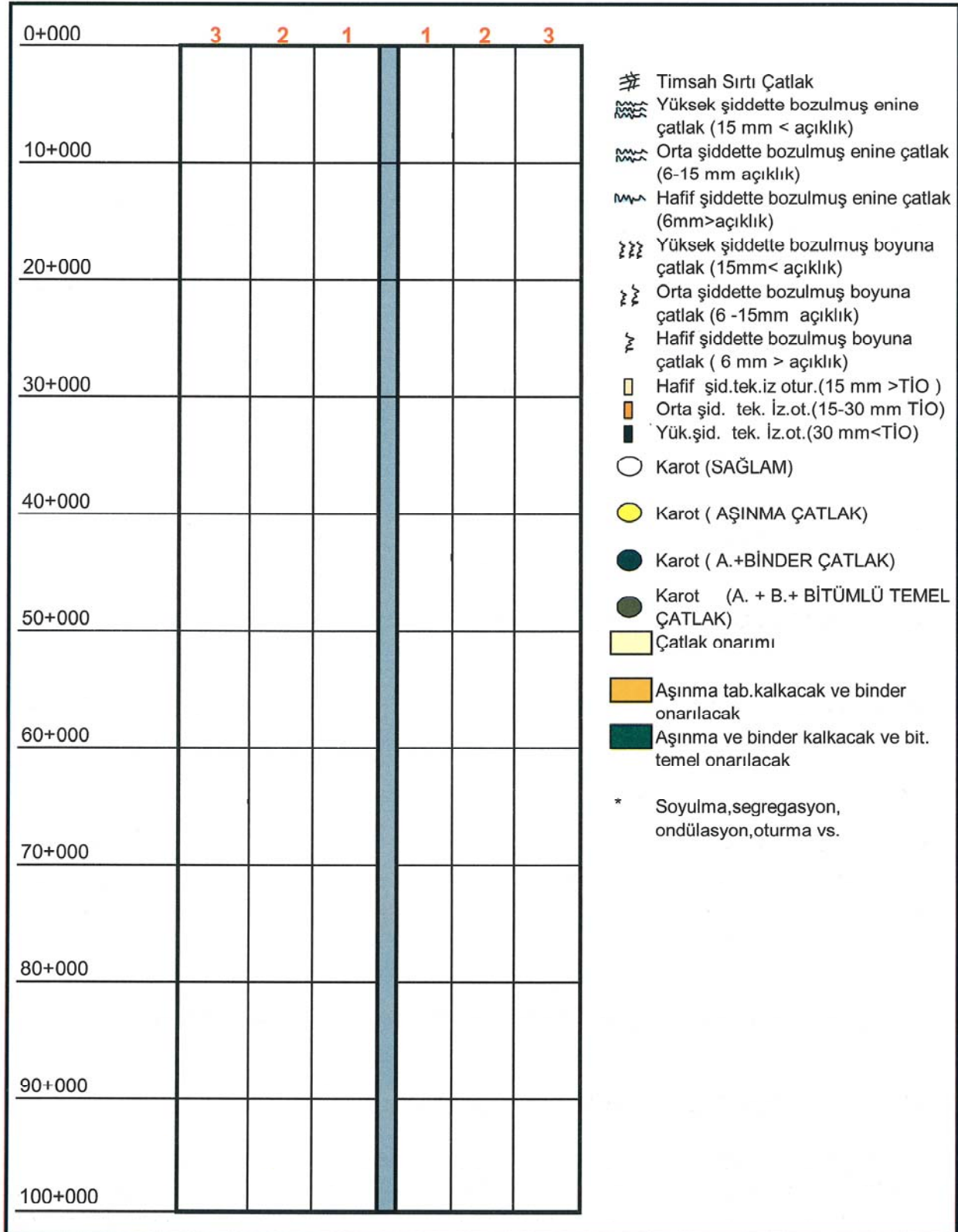
Mevcut yol üzerinde yapılan araştırma çalışmaları verilerine göre detaylı bilgiler içerecek şekilde hazırlanacaktır. Üstyapı tabaka kalınlıkları; üstyapı bozulma tür, şiddet ve yoğunlukları; malzeme cinsleri, özellikleri, karot, AÇ çalışmaları bu itinerer üzerinde gösterilecektir.

## **EK-6. MEVCUT YOL ÜSTYAPI DURUMU PUANLAMA TABLOLARI**

## **EK-7. ÜSTYAPI TABAN İTİNERERİ (İDEALİZE PROFİL)**

Üstyapı tabanı idealize zemin profili en az aşağıda verilen ayrıntıları içerecek şekilde ölçekli olarak hazırlanacaktır. Profilin ölçeği güzergah taban zemininin değişkenliğine bağlı olarak, yeter derecede gerekli bilgiyi gösterecek şekilde 1/1000 veya 1/2000 veya 1/5000 olarak alınabilecektir.

## EK-5: MEVCUT YOL ÜSTYAPI İTİNERERİ



# **EK- 6: ESNEK ÜSTYAPILAR İÇİN ÜSTYAPI DURUMU PUANLAMA TABLOSU**

Yolun Adı :

Kilometre :

Tarih :

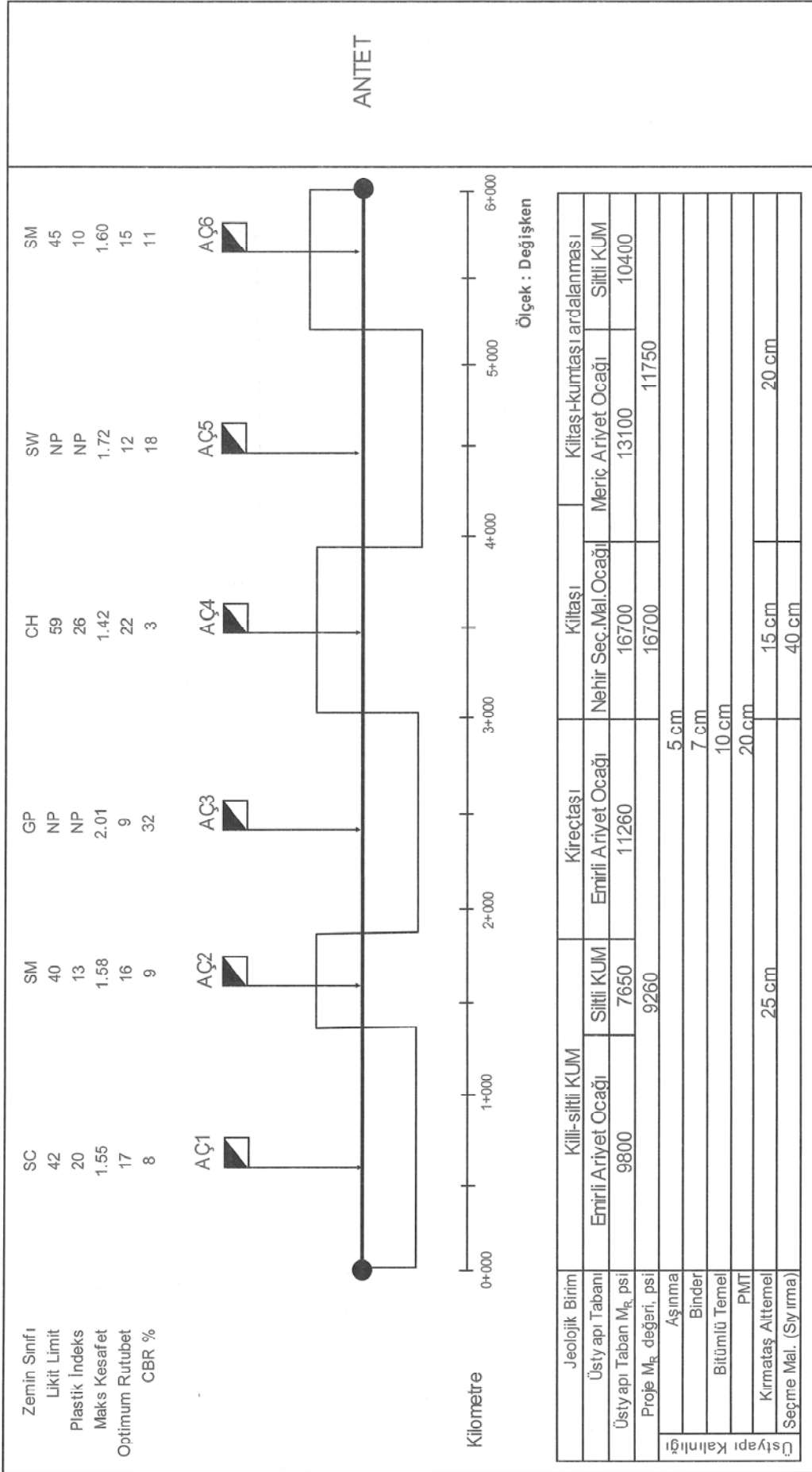
| ÜSTYAPI BOZULMA TİPİ             | Ağırlıklı Puan (A) | Bozulma Şiddeti (B) |               |                 | Bozulma Yoğunluğu (C) |             |               |              |                 | Hasar Miktarı<br>D=AxBxC |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|---------------|-----------------|-----------------------|-------------|---------------|--------------|-----------------|--------------------------|
|                                  |                    | Hafif<br>(0.4)      | Orta<br>(0.7) | Yüksek<br>( 1 ) | Nadir<br>(0.6)        | Az<br>(0.7) | Orta<br>(0.8) | Sık<br>(0.9) | Yaygın<br>( 1 ) |                          |
| Tekerlek izinde oturma ✓         | 10                 |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Timsah sırtı çatlak ✓            | 10                 |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Kenar çatlakları ✓               | 5                  |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Enine çatlaklar ✓                | 10                 |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Boyuna çatlaklar ✓               | 15                 |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Blok (harita) çatlakları         | 10                 |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Ondüasyon, ötelenme ve yoğrulma  | 5                  |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Lokal oturmalar                  | 5                  |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Yamalar                          | 5                  |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Çukurlar                         | 10                 |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Terleme (Kusma)                  | 5                  |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| Segregasyon, sökülme ve soyulma  | 10                 |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| TOPLAM HASAR =                   |                    |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| TOPLAM YAPISAL HASAR ( ✓ ) =     |                    |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| 100-TOPLAM YAPISAL HASAR = ÜYP = |                    |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| 100-TOPLAM HASAR = ÜP =          |                    |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |
| ÜSTYAPI DURUM SINIFI =           |                    |                     |               |                 |                       |             |               |              |                 |                          |

Çalışmayı Yapan :

Pozisyonu :

İmzası :

## EK-7: ÜSTYAPI TABAN İTİNERERİ (İDEALİZE PROFİLİ)



| Jeolojik Birim                   | Killi-siltli KUM    | Kireçtaşı           | Kiltaş              | Kiltaş-kumtaşı aralanması |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Üstyapı Tabanı                   | Emirli Ariyet Ocağı | Emirli Ariyet Ocağı | Nehir Seç.Mal.Ocağı | Meriç Ariyet Ocağı        |
| Üstyapı Taban M <sub>k</sub> psi | 9800                | 11260               | 16700               | 13100                     |
| Proje M <sub>k</sub> değeri, psi | 9260                | 16700               | 16700               | 11750                     |
| Aşınma                           | 5 cm                | 5 cm                | 5 cm                | 5 cm                      |
| Binder                           | 7 cm                | 7 cm                | 7 cm                | 7 cm                      |
| Bitümlü Temel                    | 10 cm               | 10 cm               | 10 cm               | 10 cm                     |
| PMT                              | 20 cm               | 20 cm               | 20 cm               | 20 cm                     |
| Kırmataş Alttemel                | 25 cm               | 25 cm               | 15 cm               | 20 cm                     |
| Seçme Mal. (Sıyrma)              |                     |                     | 40 cm               |                           |

## KAYNAKLAR

1. NCHRP National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board, 2004 Guide for Mechanistic-Empirical Design of New And Rehabilitated Pavement Structures Material Characterization, Illinois.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993, AASHTO Guide For Design of Pavement Structures, Washington D.C.
3. Huang, Y.H., Pavement Analysis and Design, 2003, Prentice Hall.
4. Karayolları Genel Müdürlüğü, 2001, Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Ankara.
5. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, İstasyon Sıcaklık Verileri, 2006, <http://www.mgm.gov.tr>