



T.C.

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİNİN C60B2 BİTÜM EMÜLSİYONU İLE STABİLİZASYONUNUN
ESNEK ÜSTYAPI MALİYETİNE ETKİLERİ**

ERTAN KOÇ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

TEMMUZ-2017

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİNİN C60B2 BİTÜM EMÜLSİYONU İLE STABİLİZASYONUNUN
ESNEK ÜSTYAPI MALİYETİNE ETKİLERİ**

ERTAN KOÇ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
TEMMUZ-2017

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİNİN C60B2 BİTÜM EMÜLSİYONU İLE STABİLİZASYONUNUN
ESNEK ÜSTYAPI MALİYETİNE ETKİLERİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇALIŞICI danışmanlığında hazırlanan bu tez **25/07/2017** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇALIŞICI
Başkan

Doç. Dr. Murat ÖRNEK
Üye

Doç. Dr. Cahit BİLİM
Üye

Kod No: 57

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

25.07.2017

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Ertan KOÇ

ÖZET

ZEMİNİN C60B2 BİTÜM EMÜLSİYONU İLE STABİLİZASYONUNUN ESNEK ÜSTYAPI MALİYETİNE ETKİLERİ

Esnek kaplamalı yollarda, zeminin bitüm emülsiyonu C60B2 ile stabilize edilerek CBR değerinin artırılması ve artan CBR değeri ile tasarlanmış olan kesite ait tabaka kalınlıklarının stabilize yapılmadan tasarlanmış olanla karşılaştırılması ve sonucunda sağlanabilecek ekonomik avantajlar araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler farklı gradasyonlara sahip agregalar ve farklı yüzdelerde C60B2 bitüm emülsiyonları olup, söz konusu numuneler üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneyler neticesinde teknik şartname limitlerini sağladığı belirlenen numuneler, birbirleriyle karıştırılarak bitüm emülsiyonu-zemin stabilizasyonu oluşturulmuştur.

Oluşturulan stabilizasyon numuneleri, laboratuvar ortamında taşıma gücü deneyine tabi tutularak zeminin CBR değişimleri gözlemlenmiştir.

CBR değerinin arttığı gözlemlenen zeminde ve stabilize edilmemiş zeminde, AASHTO yöntemi kullanılarak farklı trafik yükleri altında hesaplanan kesit kalınlıkları mukayese edilmiştir.

Her iki zemin durumuna göre belirlenen kesitlerle tasarlanan yol projelerinin 2016 yılı birim fiyatları dikkate alınarak yaklaşık maliyetleri hesaplanmış ve stabilize edilen zemine sahip olanın ekonomik olarak avantaj sağlandığı belirlenmiştir.

2017, 50 sayfa

Anahtar Kelimeler: AASHTO 86, zemin stabilizasyonu, C60B2, maliyet.

ABSTRACT

EFFECTS OF STABILIZATION OF FLOOR WITH C60B2 BITUMEN EMULSION ON FLEXIBLE PAVEMENT COST

The subject of this dissertation is to increase the existing CBR value of subgrade by stabilization with the addition of cationic bitumen emulsion C60B2.

The economical advantages and thicknesses of the layers that are creating the highway are compared between the one designed with the stabilized subgrade CBR value and the one with the non stabilized one.

The materials which are used in this study are aggregate which has different gradation and C60B2 bitumen emulsions. Various experiments are carried out on the specimens which comply with the technical specifications. The specimens are mixed with each other and consequently stabilisation of bitumen emulsion-soil are created.

Various experiments are carried out in laboratory for determining the stabilisation specimens' bearing capacities' fluctation.

The thickness values of layers that are calculated before the stabilisation of subgrade is compared with the subgrade which is observed to have an increased CBR value.

AASHTO method is used with different traffic loads in determining the thicknesses' of said layers.

The approximate cost of highway is calculated by using 2016 unit prices of both situations and it is proven that new situation has economic benefits.

2017, 50 pages

Key Words: AASHTO 86, soil stabilization, C60B2, cost.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇALIŞICI 'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunun belirlenmesi ve çalışmaların takip edilmesinde her türlü yardımı esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Murat ÖRNEK ve Sayın Doç. Dr. Cahit Bilim'e, tez çalışmaları sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Mühendislik ve Dođa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, maddi destek veren ve isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen aileme ve Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Araştırma Dairesi Başkanlığı personeline çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGE DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	IX
1.GİRİŞ	1
1.1.Amaç ve Kapsam	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	1
3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARDA KULLANILAN AGREGALAR VE ÖZELLİKLERİ.....	8
3.1. Agregalar.....	8
3.1.1. Doğal Agregalar	8
3.1.1.1. Volkanik (Püskürük) Agregalar	8
3.1.1.2. Tortul (Sedimanter) Agregalar	8
3.1.1.3. Metamorfik Agregalar	9
3.1.2. Yapay Agregalar	9
3.1.2.1. Cüruf.....	9
3.1.2.2. Klinker.....	9
3.1.2.3. Çimento	9
3.1.2.4. Mineral Filler.....	9
3.2. Agregalar Özelliği.....	9
3.2.1. Agreganın Sertliği	9
3.2.2. Agreganın Sağlamlığı.....	9
3.2.3. Bitüm Emme Derecesi (Absorbsiyon)	10
3.2.4. Gradasyonu ve Yüzey Yapısı.....	10
3.2.5. Zararlı Maddeler.....	10
3.2.5.1. Kaba Agregalar Danelerini Saran Kil ve Kil Topakları	10
3.2.5.2. Yassı ve Uzun Agregalar.....	11
3.2.5.3. Mika.....	11

3.2.5.4. Kömür ve Linyit	11
3.2.5.5. Mineral Filler	11
3.3. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan Agregalara Uygulanan Deneyler.....	11
3.4. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan Agregaya Boyutları	12
4. Bitüm	13
4.1. Asfalt.....	13
4.1.1. Doğal Asfaltlar.....	13
4.1.2. Yapay Asfaltlar	13
4.2. Asfalt Çimentoları.....	14
4.3. Sıvı Petrol asfaltları (Katbek asfaltlar)	14
4.4. Bitüm Emülsiyonları.....	14
4.4.1. Bitüm Emülsiyon Çeşitleri.....	16
4.4.2. Bitüm Emülsiyonların Kullanım Alanları.....	17
4.4.3. Soğuk Karışım Olarak Bitüm Emülsiyonlar	18
4.4.4. Normal Portland Çimentosunun Bitüm Emülsiyon Karışımlarında Kullanılması	18
4.5. Bitüm Şartnameleri, Özellikleri ve Kalitesi.....	19
4.5.1. Penetrasyon Cinsi Bitümler	19
4.5.2. Oksitlendirilmiş Bitümler	19
4.5.3. Sert Bitümler	20
4.5.4. Katbek Bitümler	20
4.5.5. Bitümün Kalitesi	20
4.5.6. Yol Malzemesi Olarak Bitüm	22
4.5.7. Bitümlü Malzemelerin Sınıflandırılması	22
5. MATERYAL ve YÖNTEM	29
6. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	34
6.1. Marshall Stabilizasyon Deneyi	34
6.2. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi	36
7. ÜSTYAPI TABAKA KALINLIĞI HESABI.....	39
8. ZEMİN – ASFALT EMÜLSİYONU STABİLİZASYONU İLE ÜSTYAPIDA SAĞLANACAK EKONOMİ	40
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46

KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	50



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Uygulanabilir Stabilizasyon Metotları İçin Gradasyon ve Plastik Özelliklerine Göre Zemin Sınıflandırması	7
Şekil 4.1. Göl Asfaltı	13
Şekil 4.2. Bir Bitüm Emülsiyonun Şematik Gösterimi	15
Şekil 4.3. Bitüm Parçacıklarını Kaplayan Yüklerin Şematik Gösterimi	16
Şekil 4.4. Penetrasyon Dereceli Bitümler İçin Hazırlanmış Qualagon	21
Şekil 4.5. Bitümlü Malzemelerin Sınıflandırılması	22
Şekil 4.6. Bitüm Yüzdesinin Tahmini	26
Şekil 5.1. Elek Analizi – Filler Malzeme	30
Şekil 5.2. Penetrasyon Deneyi	31
Şekil 5.3. Viskozite Deneyi	31
Şekil 5.4. Proktor Deneyi – Numune Hazırlanması	32
Şekil 5.5. A Tipi Zemin İçin Numunelerinin Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su İçerikleri İlişkisi	33
Şekil 5.6. B Tipi Zemin İçin Numunelerinin Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su İçerikleri İlişkisi	33
Şekil 5.7. A Tipi Zemin Stabilizasyonu Su Muhtevası-Şişme Grafiği.....	33
Şekil 5.8. B Tipi Zemin Stabilizasyonu Su Muhtevası-Şişme Grafiği.....	34
Şekil 6.1. Marshall Stabilizasyon Deneyi – Deney Sonrası Numuneler	35
Şekil 6.2. Asfalt Emülsiyonu Yüzdesi-Marshall Stabilesi	36
Şekil 6.3. CBR Deneyi	37
Şekil 6.4. Zemin ve Zemin-Asfalt Emülsiyonu Karışımı Numunelerin Yük Penetrasyon Eğrileri	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Amaca Göre Stabilizasyon Metotları	5
Çizelge 2.2. Zemin Cinsine Göre Stabilizasyon Metotları.....	6
Çizelge 3.1. Bitümlle Stabilize Edilecek Zeminlerde Tavsiye Edilen Gradasyon Limitleri	12
Çizelge 4.1. Yol Üst Yapılarında Kullanılan Katyonik Asfalt Emülsiyonları İçin Özellikler (TS-1082).....	23
Çizelge 4.2. Bitümlle Stabilizasyonda Kullanılacak Emülsiyon Tipleri	24
Çizelge 5.1. Karayolları ve AASHTO Elek Analizi Şartname Limitleri ve Agrega Çapı.....	30
Çizelge 5.2. Modifiye Proktor Deneyi Sonuçları	32
Çizelge 6.1. Marshall Stabilitesi Deneyi Sonuçları	35
Çizelge 6.2. A ve B Tipi Zemin ve Zemin-Asfalt Emülsiyonu Numunelerine Uygulanan Yük Değerleri	37
Çizelge 6.3. A Tipi Zemin ve A Tipi Zemin-Asfalt Emülsiyonu Numunelerine Ait CBR Değerleri	38
Çizelge 7.1. Zemin Tiplerine Göre M_R Değerleri	39
Çizelge 7.2. Tabaka Cinslerine Göre İzafi Mukavemet Tabaka Katsayıları	40
Çizelge 8.1. Iğdır-Ağrı Arası 2015 Yılına Ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri	40
Çizelge 8.2. Stabilizasyondan Önce ve Sonraki Tabaka Kalınlıkları.....	41
Çizelge 8.3. Hatay-Kahramanmaraş Arası 2015 Yılına Ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri	42
Çizelge 8.4. Stabilizasyondan Önce ve Sonraki Tabaka Kalınlıkları.....	42
Çizelge 8.5. Adana-Mersin Arası 2015 Yılına Ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri	43
Çizelge 8.6. Stabilizasyondan Önce ve Sonraki Tabaka Kalınlıkları.....	44
Çizelge 8.7. Güzergahlara Göre Maliyet Analizleri	45

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A : Tabaka Mukavemet Katsayısı

m : Drenaj Katsayısı

M_R : Esneklik Modülü

P₀ : İlk Servis Kabiliyeti

P_t : Son Servis Kabiliyeti

r : Trafik Artış Katsayısı

R : Bölge Faktörü

S₀ : Standart Sapma

T_p : Proje Trafığı

T₀ : İlk Yıl İçin Günlük Trafik

T_t : t Yıl Sonraki Günlük Trafik

W_{8,2t} : 8,2 Ton Tek Dingil Yüğü Altında Nihai Servis Yeteneğine Erişmesi İçin Gerekli Toplam Tekerrür Sayısı

SN : Üstyapı Sayısı

Z_R : Güvenilirliğin Yüzdesine Bağlı Olarak Tespit Edilen Standart Normal Sapma Değeri

%R : Güvenilirlik

ΔPSI : Servis Kabiliyetinde Azalma Miktarı

KISALTMALAR DİZİNİ

AÇ : Asfalt Çimentosu

AASHTO : Amerika Devlet Karayolları Görevlileri Birliği

BSK : Bitümlü Sıcak Karışım

CBR : Kaliforniya Taşıma Oranı

CL : Siltli Kil

CKD : Portland Çimentosu Üretiminde Açığa Çıkan Atık Malzeme

ESAL : Eşdeğer Tek Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı

KATBEK ASFALT: Asfalt Çimentosunun Diğer Petrol Ürünleri İle Karıştırılması İle Elde Edilen Asfalt

LL: Likit Limit

MC: Orta Hızda Sertleşen

PI: Plastisite İndisi

PL: Plastik Limit

RC : Çabuk Sertleşen

SC : Yavaş Sertleşen

YOGT: Yıllık Ortalama Günlük Trafik

1.GİRİŞ

1.1.AMAÇ ve KAPSAM

Teknolojik, sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan sürekli olarak gelişen ülkemizde bunlara paralel olarak ulaşım sektörü de büyük gelişme içerisinde. Ulaşım sektörünün büyümesiyle yeni ulaştırma yollarına ihtiyaç duyulmakta olup devletimiz Kamu-Özel işbirliğiyle bu ihtiyaca cevap vermeye çalışmaktadır. Tasarlanması ve yapılması yoğun çabalar gerektiren ulaştırma yolları aynı zamanda devlete büyük finansal yükler de getirmektedir.

Bu çalışmada esnek kaplama özelliği taşıyan ulaştırma yollarının (karayolu, pist vs.) zemininin bitümlü emülsiyonla stabilize edilmesi sonucu yeni tabaka kalınlıklarının belirlenerek bu stabilizasyonun maliyete etkisinin hesaplanması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılar, üzerine inşa edildikleri zeminlerin özelliklerinden önemli ölçüde etkilenirler. Zira zeminler yol yapılarının temeli olduğundan dolayı kaplamanın ve trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmelere emniyetle karşı koyabilmelidir. Çevre ve iklim koşullarından ötürü zemin özelliklerinin (örneğin kabarma-büzülme, don kabarması, oturma, su içeriğinde değişiklikler, vb.) değişmesi, taşıma gücünde azalmalar, ilave gerilmeler, vb. hususların oluşmaması veya oluşursa da kaplamada olumsuz etkiler meydana getirmemesi gerekir.

Yol kaplamalarının performansı, ömrü ve bakım masrafları, vb. hususlar kaplamanın tasarımı, kullanılan malzemeler, yapım tekniği gibi hususlara bağlı olduğu kadar, zeminin taşıma gücüyle de doğrudan ilgilidir. İnşa edilen yol kaplamaları için uygun olmayan zeminler ıslah edilerek yeterince stabil bir hale dönüştürülmelidir. Zeminlerin ıslahı zemin cinslerine göre birçok farklı yöntemle yapılabilmektedir. Katkı maddeleri katılarak zemin stabilizasyonunun sağlanması da bu yöntemlerden bir tanesidir. Zeminin bir takım olumsuz özelliklerinin uygun bir stabilizasyon tekniği ile iyileştirilmesi mümkündür. Çimento, kireç, uçucu kül, bitüm gibi katkı maddeleri zemin stabilizasyonunu sağlamada en çok tercih edilen stabilizasyon yöntemleri arasındadır (Önalp,1983).

Kök ve ark. (2011) çalışmalarında çimento stabilizasyonu ile taşıma gücü artırılan zeminler üzerine inşa edilecek esnek üstyapıların maliyeti ile stabilizasyon maliyeti arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bu amaçla üstyapıda alt temel, temel, binder ve aşınma tabakalarını dikkate almış, düşük taşıma gücü olan zeminlerde ekonomik bir üstyapı için bitümlü temel tabakası yapılması gerektiğini belirlemiştir. Artan CBR değerlerine karşılık ele alınan düşük, orta ve yüksek trafik değerleri için üstyapı maliyetinin %15 CBR değerine kadar hızlı bir şekilde daha sonra ise yavaş bir şekilde azaldığını, stabilizasyon maliyetinin ise CBR miktarındaki artış ile sürekli arttığını tespit etmişlerdir. Stabilizasyonda kullanılan çimento miktarlarının düşük değerlerinde bile çok yüksek CBR değerleri elde edilmiş bunun da üstyapı maliyetini önemli derecede azalttığı tespit edilmiştir. Üstyapı maliyetinin yaklaşık %20'lik bir bölümünü oluşturan %7 çimento stabilizasyonunun optimum bir değer olduğunu ve üstyapı maliyetinde %50'lik bir azalma sağladığını tespit etmişlerdir. Uzun mesafeler boyunca düşük taşıma gücüne sahip bir zemin üzerine inşa edilme zorunluluğu olan güzergahlarda ekonomik, akılcı ve dolayısıyla vazgeçilmez bir çözüm olarak tamamen yerli bir malzeme olan çimento ile yapılacak stabilizasyonun uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kolias ve ark. (2005) ince gradasyonlu killi zeminlerde (CL-CH) yüksek kalsiyum içerikli uçucu kül ve çimento ile stabilizasyonun etkinliğini incelemişlerdir. Değişik oranlardaki uçucu kül ve çimento karışımının numunelerin elastisite modülleri, 90 günlük basınç dayanımları ve CBR değerlerini tespit etmişlerdir. Uçucu kül ve çimento ile iyileştirilmiş killi zemin üzerindeki esnek üstyapının analizi yapılarak geleneksel üstyapılar ile karşılaştırılmış ve stabilizasyonun teknik faydaları açıkça ortaya koymuşlardır.

Şenol ve ark. (2006) dört ayrı tesisten elde edilen, ikisi yüksek oranda CaO, ikisi de yüksek oranda karbon içeren uçucu küllerin yumuşak zeminlerin stabilizasyonundaki etkilerinin incelendiği çalışmada, kül içeriğinin artması ile değişik zemin cinslerine göre CBR değerinin 2 ile 18 kat arasında, basınç mukavemetinin ise 2 ile 7 kat arasında arttığını, en fazla artışın %20 uçucu kül içerikli CL sınıfındaki zeminde olduğu belirtmişlerdir.

Lav ve ark. (2006) çimento stabilizasyonlu uçucu kül malzemesinin temel malzemesi olarak kullanılabilmesi için çimento miktarının en az %8, tabaka kalınlığının ise 30 cm olması gerektiği tespit etmişlerdir.

Chauhan ve ark. (2008) kumlu zeminlerde optimum uçucu kül oranını, tek eksenli basınç deneyi sonuçlarını dikkate alarak araştırmış ve en iyi sonuca %70 kum ve %30 uçucu kül karışımının sahip olduğunu, bu karışıma %1 polipropilen lif ilavesinin tek eksenli basınç değerini önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir.

Cai ve ark. (2006) lif katkısı ve kireç içeren başka bir çalışmada en yüksek basınç dayanımlarının ve içsel sürtünme açılarının % 0,25 lif ve % 5 kireç kullanılması durumunda elde edildiği ve kireç oranının artması ile şişme potansiyelinin azaldığı belirtmişlerdir.

Prabakar ve ark. (2004) üç farklı zemine %9-46 oranlarında uçucu kül ilave ederek bu zeminlerin CBR değerleri, kesme gerilmesi parametreleri ve şişme potansiyellerini incelemiştir. Sonuçta uçucu kül ilavesinin, likit limit ve plastisite indisi en düşük olan CL sınıfındaki zeminde en fazla iyileştirme yaptığını belirtmişlerdir.

Gerald ve ark. (2000) portlant çimentosu üretiminde açığa çıkan çimento fırın tozunun (CKD) düşük ve yüksek plastik zeminlerde stabilize malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sonuçta CKD ilavesi ile tek eksenli basınç dayanımının iyileştiğini, bu iyileşmenin düşük PI değerlerine sahip zeminlerde daha fazla olduğunu, CKD katkılı zeminlerin basınç dayanımlarının 7-14 gün içerisinde hızlı bir şekilde arttığını daha sonra artış hızının azaldığını, CKD ilavesi ile optimum su oranının arttığını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığını belirlemişlerdir.

Seco ve ark. (2011) içerisinde CaO, MgO, SiO ve AlO içeren atık malzemelerle zemin stabilizasyonu yaparak zeminlerin şişme potansiyellerini ve tek eksenli basınç dayanımlarını incelemiştir. Sonuçta şişme potansiyelini azaltmada önemli bir etkiye sahip olabilmesi için kirecin % 4 oranından fazla kullanılması gerektiğini, aynı orandaki MgO'nin en iyi performansı gösterdiğini belirlemişlerdir.

Dermatas ve Meng (2003) uçucu kül içerisinde bulunan CaO'nin puzolanik bir etki yaptığını % 25 uçucu kül ile % 10 kireç katkılı zeminlerin basınç dayanımlarının çok yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Eren ve Filiz (2009) yaptıkları çalışmada değişik oranlarda çimento ve kireç katkılı zeminin CBR değerlerini incelemiştir. Kireç oranının %8 değerine kadar CBR değerinin arttığını daha sonra düşüşe geçtiği kireç katkılı zeminin hiç şişme göstermediğini tespit etmişlerdir.

Zemin-asfalt stabilizasyonu ilk olarak ABD'de Missouri, Güney Carolina, Iowa ve Nebraska'da 1925-1932 yılları arasında uygulanmıştır. Yapılan stabilizasyon çalışmalarında, yol altyapısının likit asfaltlarla stabilize edildiklerinde sağlam bir temel meydana geldiği görülmüştür (Cilason, 1964).

Bitüm, asfalt vb. petrolden elde edilen siyah, yapışkan, sıcakken sıvı olan üründür. Bitümlü maddelerin, daneler arasında bağlayıcılık ile geçirimsizlik sağlama işlevleri vardır. Altyapının üst kısmında yer alan granüler zemin danelerinde bağlayıcılık temin etmek ve zemini sudan koruyarak her türlü hava şartlarında dayanımı artırmak için zemin-asfalt stabilizasyonu yapılır. Bitümle stabilizasyonda; asfalt, katran gibi maddeler kullanılır. Kıırma taş, çakıl, kum gibi taneli zeminler, sıcak sıvı bitümlü madde katılıp karıştırılarak, serilerek kompaksiyon uygulanır. Kullanılacak malzemenin, kil ve organik maddelerden arınmış olması gerekir. Bitümlü maddeler, miktar olarak, %5-10 oranında katılır. Bitümlü stabilizasyon, özellikle yollarda, yüzey kaplamasında kullanılır (Uzuner, 2000).

Zeminlerin ıslahında farklı amaçlar için farklı stabilizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Çizelge 2.1'de zemin ıslah metotlarının farklı amaçlar için kullanımı özetlenmiştir. Dolayısıyla zemin cinsi, mevcut ekipman, deneyim, zemin ıslah seviyesi, vb. hususlar göz önünde tutularak stabilizasyon yöntemi seçilmelidir.

Aşağıda yer alan Çizelge 2.1. ve Çizelge 2.2.'de görüleceği üzere kireç ve çimento stabilizasyonu puzolanik reaksiyonlar sonucu zeminin mukavemetini artırırken, asfalt stabilizasyonu, suyun zararlı etkilerine karşı zemini koruyucu ve daneleri birleştirici yönde bir rol oynamaktadır. Danelerin yüzeyini kaplayan asfalt, ince daneli zeminlerin sudan yumuşamasını önleyici bir etki gösterirken iri danelerden oluşan zeminlerin ise kohezyon kazanmasına yol açmaktadır. Ayrıca, danelerin birbirine yapışmasını sağlayıcı etkisi sonucu su ve rüzgar erozyonuna karşı direnci artırmaktadır. Asfalt stabilizasyonunun en yaygın olarak karayollarında kullanıldığı bilinmektedir.

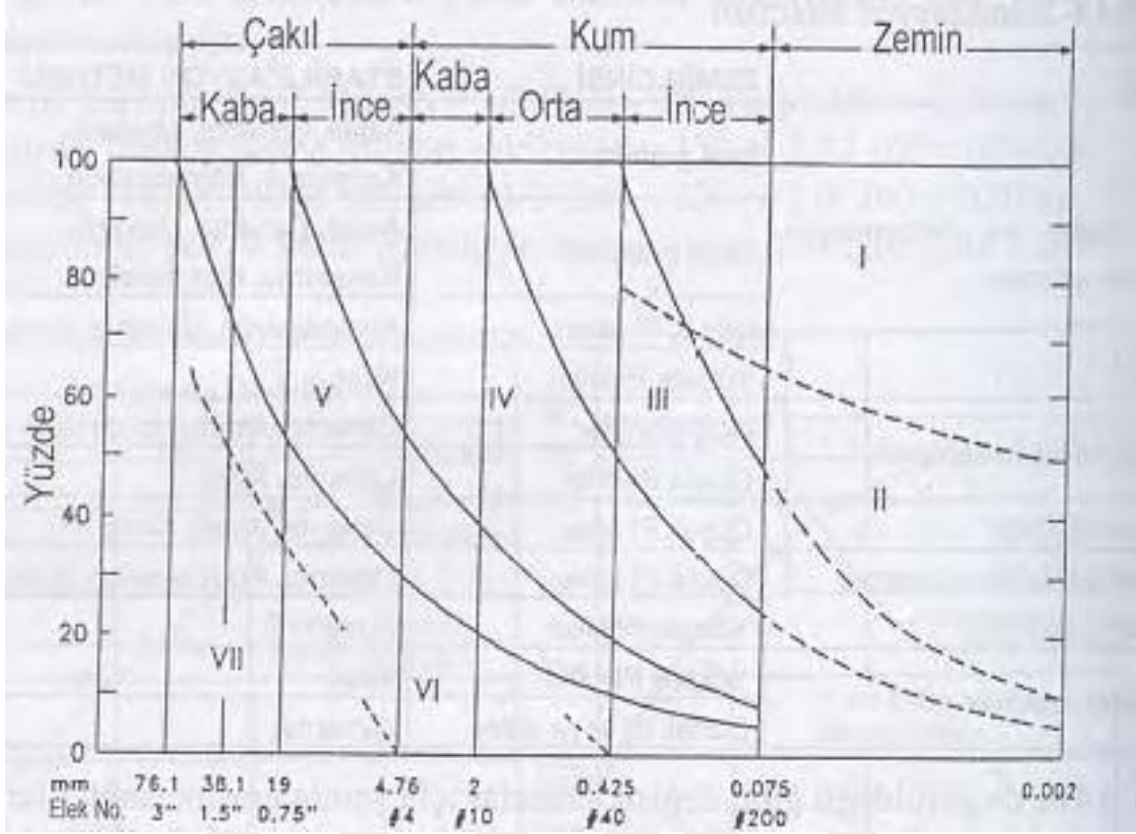
AMAÇ	ZEMİN CİNSİ	STABİLİZASYON METODU
Yük taşıma ve deformasyon direncini artırmak	İnce granüler	Asfalt, çimento, mekanik
		kariştirma, kompaksiyon
	Kaba granüler	Asfalt, çimento, mekanik
		kariştirma, kompaksiyon
	Düşük PI killer	Kompaksiyon, çimento, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Don duyarlılığını azaltmak	İnce granüler	Asfalt, çimento, uçucu kül
	Düşük PI killer	Çimento, kireç
Su geçirimsizliği	Düşük PI killer	Asfalt, çimento, kireç
Kabarma-Büzülme kontrolü	Düşük PI killer	Çimento, kompaksiyon, kireç
Hacim stabilitesi	Yüksek PI killer	Kireç
Esnekliği azaltmak	Yüksek PI killer	Kireç
	Elastik kil veya siltler	Çimento

Çizelge 2.1. Amaca Göre Stabilizasyon Metotları (Tunç, 2002)

Zemin Bileşimi	Tavsiye edilen Stabilizasyon	Amaç
	yöntemi	
Organik Madde	Mekanik Stabilizasyon	Diğer metotlar etkisizdir.
Kum	Mekanik Stabilizasyon	İnce ve plastik olmayan malzeme karıştırılarak stabiliteyi artırmak
	Çimento	Mukavemeti artırmak
	Asfalt	Kohezyon sağlamak
Silt	Mekanik ve Kimyasal Stabilizasyon	Zemin özelliklerini iyileştirmek
Killer	Kireç veya uçucu kül karışımı	Mukavemeti artırmak
Alofenler		
Kaolin	Kum ile Mekanik Stabilizasyon	Stabiliteyi artırmak
	Çimento	Kısa süreli mukavemeti artırmak
	Kireç	İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti artırmak
İllit	Çimento	Kısa süreli mukavemeti artırmak
	Kireç	İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti artırmak
Montmorillonit	Kireç	İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti artırmak

Çizelge 2.2. Zemin Cinsine Göre Stabilizasyon Metotları (Tunç, 2002)

Stabilize edilecek zeminlerin gradasyonları ile plastiklik özellikleri de stabilizasyon metodunun seçiminde büyük rol oynar. Şekil 2.1.'de zeminin dane dağılımına göre stabilizasyon yönünden kaba sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.1. Uygulanabilir Stabilizasyon Metotları İçin Gradasyon ve Plastik Özelliklerine Göre Zemin Sınıflandırması (Tunç, 2002).

Burada;

Alan I: Yüksek plastisiteli ağır killi zeminler. Sönmemiş (CaO) veya sönmüş (Ca(OH)₂) kireçle stabilizasyon.

Alan II: Orta derecede killi zeminler. Eğer LL<40 ve PI<15 ise çimento, PI<10 ise bitümlü ve Alan I sınırına yakın ise sönmüş kireç ile stabilizasyon.

Alan III: İyi derecelenmiş kumlu kil zeminler. Çimento veya bitümlü kolaylıkla stabilize edilebilir.

Alan IV: İyi derecelenmiş kum-kil karışımı zeminler. Eğer PI=4~12 ise hafif trafikli yol yüzeyleri için kompaksiyon ile ve PI=0~6 ise alt temel için kompaksiyon ile stabilizasyon.

Alan V: Granüler zeminler. Eğer PI=4~9 ise ağır trafikli yol yüzeyleri için ve PI=0~6 ise alt temel için kompaksiyon ile stabilizasyon.

Alan VI: Granüler zeminler. Eğer minimum boyut No.4 ile No.40 arasında ise yüzey açık yani boşluklu olacağından trafik yükleri altında danelerin kopması söz konusudur.

Alan VII: Kaba karışimli granüler zemin olduğundan dolayı sıkıştırma ve yüzey düzelmesi çok zordur.

3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLARDA KULLANILAN AGREGALAR VE ÖZELLİKLERİ

İnşaat sektörünün hemen her alanında sıklıkla kullanılan agregalar yapılarda stabiliteyi sağlayan en önemli unsurlardan biridir. Gerek altyapı dizaynında gerekse üstyapıda farklı amaçlarla kullanılabilen agregalar doğal veya yapay olarak elde edilebilir.

3.1. Agrega:

Kum, çakıl, kırma taş, cüruf veya benzeri diğer mineral bileşiklerinin bağlayıcı bir ortamda; bitümlü karışım, çimento, beton, harç vs. oluşturacak şekilde bir araya gelmelerine veya bu malzemelerin bağlayıcısız olarak bir araya getirilmiş şekline denir. Oluşumlarına göre genelde ikiye ayrılırlar:

3.1.1. Doğal Agregalar:

Doğal oluşum sonucu var olan; hazırlama işlemi sırasında büyüklük, şekil ve zararlı maddelerden ayrıştırma gibi değişikliğe tabi tutulan agregalardır. 3 ana başlıkta toplanırlar.

3.1.1.1. Volkanik Agregalar (Püskürük):

Kristalli bir yapıları olup erimiş magmanın soğuması sonucu oluşmuşlardır. Bazalt, porfir, mikro granit, felsit bu türe girer.

İç volkanik agregalar (Andezit, Bazalt, Dasit)

Dış volkanik agregalar (Granit, Gabro, Diyorit)

3.1.1.2. Tortul Agregalar (Sedimanter):

Bunlar doğada var olan erimeyen granüler malzemenin genellikle su altında birikmesinden veya denizlerin dibinde depo edilmiş deniz hayvanlarının inorganik artıklarından veya daha seyrek olarak da çözeltilerdeki erimiş minerallerin kristalizasyonu ile oluşmuşlardır. Tebeşir, kalker, dolomit, kumtaşı, çakmak taşı, kil örnek olarak verilebilir.

Mekanik agregalar (Kumtaşı, Konglomera)

Kimyasal agregalar (Kalker)

Organik agregalar (Kalker ve silisli taşlar)

3.1.1.3. Metamorfik Agregalar:

Doğadaki tortul ve volkanik taşların büyük ısı ve basınç etkileri sonucu değişime uğrayıp oluşturdukları agregalardır. Şist, hornfels, gnays ve granolit örnek olarak verilebilir.

3.1.2. Yapay Agregalar:

Endüstriyel çalışmaların yan ürünleridirler. Daha çok bir üretim sonunda elde edilirler.

3.1.2.1. Cüruf:

Yüksek fırın yan ürünü olup volkanik taşları andırırlar. Kalsiyum, Alüminyum ve Magnezyum karışımıdır.

3.1.2.2. Klinker:

Fırın artığıdır, küllerin topraklar durumuna gelmesi sonuç oluşmuşlardır.

3.1.2.3. Çimento:

Killi kalkerlerin özel fırınlarda pişirilip ezilmesi yoluyla elde edilen, belli oranda su katılınca çabucak kuruyup sertleşen, bu özelliği nedeniyle pek çok alanda kullanılabilen, kum ve benzeri maddeler eklenerek yapı işlerinde harç olarak yararlanılan, beyaz veya kül rengi olabilen agregalardır.

3.1.2.4. Mineral Filler:

Agreganın No:200 elekten geçen kısmıdır. Bu agregalar fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğratılırlar (Tunç, 2007).

3.2. Agregaların Özellikleri

3.2.1. Agreganın Sertliği:

Agreganın sertliği genelde kaplama özelliğiyle ilgili olup trafiğin neden olduğu aşındırmaya dayanma demektir. Yumuşak agregalar çabuk aşındıklarından kaygan yüzey meydana getirirler. Bu tür agregalarla yapılan kaplamaların yüzeyleri kaymaya karşı direnci düşük olur. Yumuşak agregalar trafik altında ezildiğinden kaplamanın stabilitesine de etki ederek kaplamanın dağılmasına neden olurlar.

3.2.2. Agreganın Sağlamlığı:

Agreganın dona ve rutubet değişikliklerine dayanması demektir. Agreganın, ısı değişikliği nedeniyle önemli derecede hacim değişimine uğramamalıdır. Ayrıca, agreganın

değişik iklim koşullarında kimyasal hiçbir reaksiyon göstermemelidir. Bu sayede üzerine oturan diğer tabakaların stabilitesine olumlu etki eder.

3.2.3. Bitüm Emme Derecesi (Absorbsiyonu):

Agrega karakteristiğine ve bitümlü maddenin viskozitesine göre agregaların bitümlü madde emme dereceleri farklıdır. Aynı şekilde agreganın su emme derecesi de farklıdır. Agreganın su emme ve bitüm emme derecesi arasında bir bağıntı bulunmamaktadır. Bazı agregalar çok su emme yeteneğine sahip oldukları halde az bitüm emerler veya tam tersi olur. Suyu karşı ilgisi olmayan agregalar "Hidrofobik", suya karşı ilgisi olan agregalar "Hidrofilik" olarak adlandırılır. Agreganın bitümlü maddeye olan ilgisi arttıkça soyulmaya karşı direnci artar. Bunun için kaplamalarda hidrofobik karakterde agregalar kullanılması istenir. Bununla beraber ekonomik olarak bu her zaman mümkün olmamaktadır.

3.2.4. Gradasyonu ve Yüzey Yapısı:

Yol tabakalarında bağlayıcı veya yapıştırıcı malzeme olan bitümlü madde veya özellikle asfalt çimentosu, plâstik ve sıcaklık değişikliğiyle hacim değiştiren bir özelliğe sahip olduğundan kaplamanın stabilitesi daha çok tabakaların içerisindeki agregalar danelerinin birbirini kenetleme özelliğiyle sağlanır. Yol tabakalarının stabilitesinde agregalar danelerinin şekliyle agregalar gradasyonunun etkisi fazladır. Yuvarlak ve düz yüzeyli agregalar daneleri istenilen stabiliteyi sağlayamazlar. Bu nedenle kaba agregalar danelerinin en az %60'ının en az bir yüzünün kırılmış olması istenir. Tabaka stabilitesi agregalar danelerinin iyi ve homojen bir şekilde dağılımı ile mümkün olmaktadır. O bakımdan agregalar sınıfları en az boşluk olacak şekilde seçilmelidir.

3.2.5. Zararlı Maddeler:

Agregalar, bazen bitümlü karışımlarda kullanılmaması gereken bazı maddeler içerirler. Bu maddeler yanında, kaba agregalar danelerini saran fazla miktarda kil topakları, yassı ve uzun daneler, mika, kömür, linyit ve diğer yabancı maddeler de zararlı maddeler olarak sayılabilir.

3.2.5.1. Kaba Agregalar Danelerini Saran Kil ve Kil Topakları:

Bitümlü karışımlarda kilin topaklar halinde veya kaba agregalar danelerini sarmış durumda olmaları karışım için çok zararlıdır. Çünkü bünyesinde kil taşıyan bitümlü karışımlar su veya rutubet ile temas ettiklerinde kullandıkları tabakanın ve dolayısıyla üstündeki her tabakanın stabilitesini azaltır.

3.2.5.2. Yassı ve Uzun Agregalar:

Kaba agreganın bünyesinde yassı ve uzun agrega daneleri bulunması karışımın aderans özelliğini olumsuz etkiler. Bu durumda tabakaların yoğunluğuna ve yüzey yapısına etki eder.

3.2.5.3. Mika:

Mika daneleri normal olarak ince ve düz yüzeyli danelerdir. Mikaların bitümlü madde ile sarılması çok güçtür. Aynı zamanda rutubet ile dayanıklılıklarını kaybederler. O bakımdan bitümlü karışımda tercih edilmezler.

3.2.5.4. Kömür ve Linyit:

Kömür ve linyit genellikle yumuşak danelerdir. Bu maddeler önemli derecede stabilite düşüklüklerine ve diğer bünyesel bozukluklara neden olur.

3.2.5.5. Mineral Filler:

Bitümlü karışımlarda filler miktarı toplam agreganın çok az miktarını oluşturmakla birlikte karışım özelliklerine son derece etkili olmaktadır. Genellikle mineral filler agreganın No.200 elekten geçen kısmı şeklinde tarif edilir. Mineral filler, boşluk dolgu malzemesi olarak kabul edilir ve bu konuda asfaltın yerini alır. Bitümlü karışımda çok fazla mineral fillerin var olması istenilmeyen bir durumdur. Çok miktarda filler kaplamanın esnekliğini azaltır ve kaplamada çatlamalara neden olur.

Özet olarak; Kırılmamış, silisli çakıllar ve yuvarlak kum ve çakıllar, yumuşak, kil topaklı ve killi agregalar, soyulmaya karşı direnci düşük, aşınma ve dona karşı dayanıksız agregalardan oluşan karışımlardan düşük stabiliteli tabakalar elde edilir. Ancak soyulmaya karşı direnci yüksek, temiz, aşınma ve don kaybı yüzdesi düşük, köşeli agregalar yüksek stabiliteli karışımlar meydana getirirler (Tunç, 2007).

3.3. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan Agregalara Uygulanan Deneyler:

Agregalara genelde aşağıdaki deneyler uygulanır.

- Elek analizi
- Özgül ağırlık deneyi
- Su absorpsiyonu
- Aşınma deneyi
- Soyulma deneyi
- Cilalanma deneyi
- Don kaybı

3.4. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan Agrega Boyutları :

Bitümle stabilize edilen ince daneli zeminler için suya dirençli ama yüksek kohezyonlu; kumlu zeminler için daneler arasında güçlü bağ kuvveti olan stabil bir yapı elde edilir. İki veya daha fazla zemin karıştırılarak iyi bir gradasyon elde edilebilirse nispeten daha az miktarda asfalt katkısı ile su geçirimsiz ve stabilitesi yüksek zeminler elde edilebilir. Katbek asfaltın zemine püskürtülmesi ile geçirimsiz ve durabil yüzeyler elde edilebilmektedir. Bitümle stabilizasyon için zeminin Çizelge 3.1’de verilen gradasyonu sağlaması gerekir. Aksi halde zemine başka bir uygun zemin karıştırılarak istenilen gradasyon sağlanmalıdır.

Elek Boyu	Yüzde Geçen	Elek Boyu	Yüzde Geçen	Elek Boyu	Yüzde Geçen
3"	100	1"	100	1 1/2"	100
No.4	50-100	No.4	50-100	3/4"	60-100
No.40	35-100	No.200	5-12	No.4	35-100
No.200	2-12			No.40	13-50
				No.100	8-35
				No.200	0-12

Çizelge 3.1. Bitümle Stabilize Edilecek Zeminlerde Tavsiye Edilen Gradasyon Limitleri (Tunç, 2002)

Zeminler çoğunlukla %30 ila %45 boşluk oranına sahiptir. Bu boşlukların azaltılarak geçirimsizliğin ve/veya yoğunluğun artırılması amacıyla diğer kimyasal katkıların kullanılması hem pratik hem de ekonomik olarak mümkün olmayabilir. Asfalt ile yapılan stabilizasyonda zeminlerin hem geçirimsizliği hem de mukavemet önemli ölçüde artırılabilir. Böylece stabilize edilmiş zeminler yol kaplaması altında iyi bir alt temel görevi görebilmektedir (Tumluer, 2006).

İncesi fazla olan zeminlerde geçirimsizliği sağlamak amacıyla %4 ila %7 arasında asfalt katkısı yeterlidir. Ancak, No.200’den geçen kısım %12’den nadiren %18’den fazla olmaması ve plastisite indisinin 10’dan küçük olması gerekir. Kumlu zeminlerde %2 ila %4 asfalt katkısı yeterlidir. Ancak kumun tek boyutlu olması halinde yeterli sonuç alınamamaktadır. Bitüm ile stabilizasyon için en iyi sonuç derecelenmiş granüler zeminlerde elde edilmekte ve %1 ila %3 asfalt katkısı ile geçirimsiz zeminler elde edilebilmektedir (Tumluer, 2006).

4.BİTÜM

Bitüm geniş çapta kullanılan bir inşaat mühendisliği malzemesidir. Özellikle yol inşaatı ve bakımı gibi işlerde kullanılmasına rağmen bu tip uygulamalarda çalışan birçok insan için özellikleri hala büyük bir bilinmezdir. Bitüm ham petrolden elde edilir. Ham petrolün genelde deniz canlıları ve bitkisel madde kalıntılarının okyanus tabanındaki çamur ve kaya parçalarıyla karışmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Ham petrol, moleküler ağırlıkları ve dolayısıyla da kaynama noktaları, değişen, çeşitli hidrokarbonların kompleks bir karışımıdır.

4.1.Asfalt

Koyu kahverenginden siyaha kadar değişen, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, kıvamlılık bakımından katı, yarı-katı ya da sıvı halde olabilen doğal halde bulunan ya da ham petrolün arıtılmasından elde edilen hidrokarbonlardan oluşan bir maddedir. Asfaltlar, kökenlerine göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olarak iki gruba ayrılırlar.

4.1.1. Doğal Asfaltlar

Doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Kullanılabilir hale getirmek için bir takım işlemlerden geçirmek gerekir. Şekil 4.1.'de de görülen göl asfaltı bu sınıfa girer.



Şekil 4.1. Göl Asfaltı

4.1.2. Yapay Asfaltlar

Ham petrolün damıtılmasından elde edilirler. Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafinerilerden pompalarla tanklara, buradan da ısıtma kulelerine gönderilerek sıcaklığı yükseltilir; daha sonra damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu

kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılır. Bunlar hafif ürünleri, daha az uçucu olanlar aynı biçimde orta ürünleri, en ağır uçarlarsa ağır ürünleri oluştururlar.

4.2. Asfalt Çimentoları

Kalıntı maddelerinin daha fazla damıtılmasından yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Şartların değiştirilmesiyle istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir.

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak için hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır. AC (Asphalt Cement) ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10-300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar.

4.3. Sıvı Petrol asfaltları (Katbek asfaltlar)

Asfalt çimentosuyla kaynama noktası düşük, yani kolay uçan bir çözücü (benzin, nafta) ile karıştırılarak çabuk kür olan RC (Rapid Cure) Sıvı Petrol Asfaltları kullanılır. Orta derecede uçucu bir çözücünün (gaz yağı) karıştırılmasıyla orta hızda kür olan MC (Medium Cure) Sıvı Petrol Asfaltları ve ağır yağlarla inceltirilerek yavaş kür olan SC (Slow Cure) Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir.

Ayrıca sıvı petrol asfaltlarının her biri kendi aralarında kinematik viskozite değerlerine göre tiplere ayrılırlar. Sıvı petrol asfaltları, asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakalarında kür malzemesi olarak kullanılırlar.

4.4. Bitüm Emülsiyonları

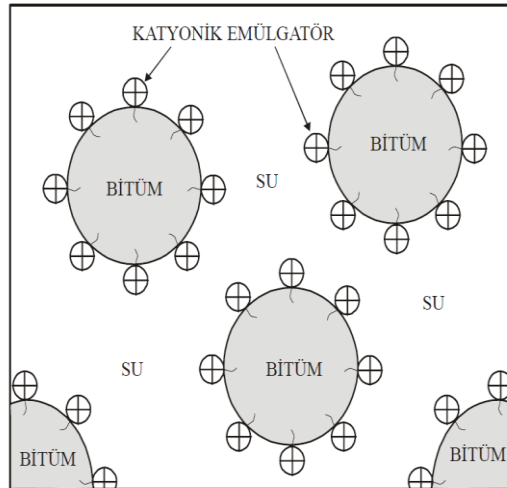
Emülsiyon, birbiri içinde çözünemeyen iki sıvıdan birinin ötekisi içerisinde küçük küre tanecikleri halinde üniform halinde dağılmasıdır.

Bitüm emülsiyonları da asfalt çimentosu küreciklerinin su içinde dağılmasından oluşur. Bu işlem mekanik olarak yapılır; ancak asfalt küreciklerinin birbirine yapışarak sudan ayrılmalarını önlemek için emülgatör denilen katkı maddeleri kullanılır. Parçacıkların çapları genellikle 1 ila 5 mikron (1mikron = 0.001mm) arasında değişmektedir. İyi bir emülsiyon, görünüşte kaygan ve genellikle rengi kahverengidir. Emülsiyon, 20. yüzyılın başlarında ticari olarak üretilmeye başlanmış ve yol inşaatında, bakımında ve zemin stabilizasyonunda kullanılmıştır. Bitüm emülsiyonları imalatı için, her derecedeki penetrasyon değerine sahip asfalt kullanılabilir. Fakat, inşa edilmiş yolların çoğunda 100 ile 200 penetrasyon derecesine sahip asfalt kullanılmaktadır. Bitüm

emülsiyonu; bitüm, su ve emülgatör olmak üzere üç bileşenden oluşur. Yol inşaatında kullanılan emülsiyon Şekil 4.2’de gösterildiği gibi, dış faz olarak su ve iç faz olarak bitüm içermektedir (Hallaç ve ark., 2002).

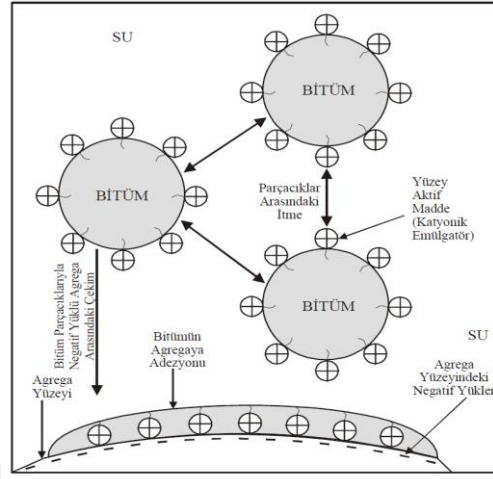
Bitüm ve su çok değişik içerikteki iki sıvıdır. Bitüm su içinde ince bir şekilde dağılır ve büyük ölçüde suyun özelliklerine sahip bir emülsiyon oluşturur. Bu emülsiyonda, bitüm ayrı bir faz olarak bulunmaz. Emülsiyona istenilen oranda su katılarak formüle edilebilir. Bitüm emülsiyondan kimyasal bir reaksiyon (kesilme) vasıtasıyla ayrılabilir. Sadece bu kesilme işlemi boyunca gerçek bir bitüm fazı oluşturulur. Bitüm, bir bitüm emülsiyonunun ana unsurudur ve emülsiyonun %50-70’lik kısmını oluşturur. Bitümün bazı özellikleri, emülsiyonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Her ne kadar baz bitümün sertliği geniş bir alanda değişebilirse de çoğu emülsiyonlar 100 ile 250 arasındaki penetrasyon değerine sahip bitümle üretilmektedir. Bazı durumlarda, iklim şartları daha sert veya daha yumuşak bir bitüm kullanımını zorlar. Şartlar ne olursa olsun stabil bir emülsiyon üretimi için bitüm ile emülgatörün uygunluğu esastır (Hallaç ve ark., 2002).

Bitüm emülsiyon özellikleri, büyük ölçüde emülgatör olarak kullanılan kimyasallara bağlıdır. Bu kimyasallar, genellikle sürfaktan (kapiler aktif madde) olarak adlandırılan yüzey aktif maddelerdir. Bu maddeler, emülsiyonun anyonik, katyonik veya noniyonik olmasını belirleyen faktördür.



Şekil 4.2. Bir Bitüm Emülsiyonun Şematik Gösterimi (Tunç, 2007)

Ayrıca emülgatörler, bitüm parçacıklarını stabil süspansiyon halinde tutar ve bitümün agrega yüzeyinde uygun zamanda birikmesini sağlar. Şekil 4.3.'de gösterildiği gibi, emülgatörün pozitif katyonik kısmı, negatif yüklü agrega yüzeyi ile kuvvetli bir elektrostatik bağ oluşturur.



Şekil 4.3. Bitüm Parçacıklarını Kaplayan Yüklerin Şematik Gösterimi (Tunç, 2007)

Su, bir bitüm emülsiyonunda ikinci büyük unsurdur. Su ıslatmayı ve çözmeyi temin ederek kıvamı artırır. Su, stabil bir bitüm emülsiyonun üretimi için faydalı veya zararlı olabilecek mineraller veya maddeler içerebilir. Bundan dolayı kullanılacak suyun üretilen emülsiyona uygun olması gerekmektedir (Hallaç ve ark., 2002).

4.4.1. Bitüm Emülsiyon Çeşitleri

Bitüm emülsiyonu esas olarak, bitüm parçacıklarının etrafını saran elektrik yüklerine ve su içerisinde dağılmış bitüm parçacıklarının ne kadar hızlı kesildiklerine göre sınıflandırılırlar. Anyonik emülsiyonlar terimi, bitüm yüzeylerinin taşıdığı negatif yüklerden gelmektedir. Bu sistemde parçacıklar küresel ve küçük boyutludur. Anyonik emülsiyonlar, bitüm parçacıklarının yüzeyleri negatif yüklerle kaplandığından dolayı elektropozitif agregalara daha iyi yapışırlar. Bu tür emülsiyonların, yangın tehlikelerine karşı güvenli olmaları ve çevreyi daha az kirletme gibi avantajları olmasına rağmen her türlü agrega ile kullanılamama, yağışlara karşı yüksek hassasiyet gösterme ve oldukça uzun kesilme zamanı gibi dezavantajları vardır.

Katyonik emülsiyonlar 1950'li yıllarda endüstriye girmiştir. Bitüm parçacıklarının yüzeylerinin pozitif yük taşıdığı bu sistem, birçok çekici özellikler sunar. Bu malzemeler, her tür agrega ile daha iyi adezyon temin ederler. Daha kısa kesilme zamanı özelliğinden

dolayı yağışlara karşı daha az hassastırlar. Ayrıca, emülsiyonun viskozitesini önemli derecede değiştirmeksizin su içerisinde daha fazla bitüm dağıtılabilir.

Katyonik emülsiyonların endüstriye girmesi emülsiyon üretimine artış getirmiştir. 1973'deki enerji krizinden sonra bitüm emülsiyonların kullanımı daha çekici olmuştur. Emülsiyonların artan kullanımı, hükümet birimlerini ve asfalt üreticilerini bu tür malzemelerin özelliklerini tarif ve kontrol etmek için şartnameler geliştirmeye sevk etmiştir. Emülsiyonlar ayrıca kesilme hızlarına göre de sınıflandırılırlar. Buna göre; hızlı kesilen emülsiyonlar, orta kesilen emülsiyonlar ve yavaş kesilen emülsiyonlar söz konusudur.

Bitüm emülsiyonlarda diğer likit asfaltlarda kullanılan damıtılmış petrol ürünlerinin (gazyağı, mazot, petrol vs.) kullanılmaması nedeniyle çevreyi daha az kirletmektedir. 20. yy.'ın sonlarında, enerji kaynaklarını korumak ve çevre kirliliğini kontrol etmek için artan baskılar bitüm emülsiyonlarının kullanım alanını genişletmiştir (Hallaç ve ark., 2002).

Bu çalışmada kullanılan C60B2 bitüm emülsiyonunda;

C: Bitüm emülsiyonunun katyonik olduğunu,

60: Bitüm yüzdesini,

B: Bitüm kökenli olduğunu,

2: Kesilme tipini ifade etmektedir.

4.4.2. Bitüm Emülsiyonların Kullanım Alanları

Asfalt emülsiyonları mikro kaplama yol bakımında birçok kullanım alanına sahiptir. Ülkemizde bugün mevcut bulunan cadde, karayolu ve havaalanı kaplamalarında oluşan bozulmaların iyileştirilmesinde kullanılan polimer katkılı soğuk karışım olan bir üstyapı malzemesidir. Mikro kaplama yoğun gradasyona sahip bir agrega, asfalt emülsiyon, su ve mineral fillerden oluşmaktadır. Mikro kaplamalar yalnızca üstyapı yüzeyinde oluşan oluklaşmaların bakımında değil aynı zamanda değişik yol üstyapı problemlerinin çözümünde de kullanılmaktadır. Mikro kaplama Avrupa'da, Avustralya'da ve dünyada birçok yerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mikro

kaplamalar özel makineler kullanılarak mevcut üstyapıya ince bir tabaka halinde uygulanmaktadır.

Emülsiyon kullanarak, bakım karışımları sıcak karışım plantlerinde imal edilebilir ve acil kullanım için veya aylarca saklamak için formüle edilebilirler. Emülsiyonlar kürek ile veya yerinde karışım, ikincil yolları onarmak için kaliteli bir karışım üretmede kullanılabilir. Emülsiyonlar aynı zamanda soğuk karışım üretmeye de uygundur.

4.4.3. Soğuk Karışım Olarak Bitüm Emülsiyonlar

Agregaların bitüm emülsiyonlarla işlenmesi yıllardır birçok ülkede uygulanmaktadır. Ancak 1980'li yıllara kadar bu tür karışımlara, yüksek trafik hacimli yolların üstyapısında taşıyıcı katman olacak bir malzeme gözüyle bakılmıyordu. 1970'li yılların sonlarında, enerji kaynaklarını korumak ve çevre kirliliğini kontrol etmek için artan baskılar, özellikle ABD'de böyle malzemelerin potansiyel faydalarından yararlanma gayretlerine öncülük etmiştir. Sonuçta, emülsiyon üretimi, karışım hesap metotları ve karıştırma ve serme tekniklerindeki gelişmeler Fransa ve ABD'de yol üstyapısında taşıyıcı katman olarak soğuk karışım malzemelerin yaygın kullanımına imkân vermiştir. Türkiye'de soğuk karışım olarak bitüm emülsiyonlar yol üstyapısında taşıyıcı katman olarak nadiren kullanılmaktadır. Soğuk karışım olarak bitüm emülsiyonların, potansiyel faydaları ve diğer ülkelerde bu konudaki teknolojilerin gelişmesi yurdumuzda da bu tür malzemelerin kullanılması ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalara yönelmeyi zorunlu kılmaktadır. Asfalt emülsiyon karışımlarının kullanımının kayda değer birçok ekonomik faydaları vardır. Mesela soğuk karışım oldukları için bitümün ve agreganın ısıtılmasına ihtiyaç yoktur. Bundan dolayı karışım için agrega kurutucularına ve ısıtma sistemlerine ihtiyaç kalmamaktadır. Ayrıca, asfalt emülsiyonun kıvamını artırmak için inceltici petrol sıvılarına ihtiyaç yoktur. Bu faktörler enerji tasarrufu sağlamakta ve dolayısıyla bu tür malzemelerin kullanımını daha ekonomik kılmaktadır (Hallaç ve ark., 2002).

4.4.4. Normal Portland Çimentosunun Bitüm Emülsiyon Karışımlarında Kullanılması

Normal Portland çimentosu (NPC)'nin bu tür karışımların mekanik özellikleri üzerinde faydalı etkisi olduğu 1970 yılından beri bilinmektedir. Ulaşılabilen kaynaklarda

bu konudaki ilk temel araştırmanın Terrel ve Wang tarafından yapıldığı anlaşılmaktadır. Çalışmalarında NPCÇ kullanarak soğuk ve nemli şartlarda bitüm emülsiyon karışımların kür olmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Schmith ve ark. yavaş kesilen anyonik emülsiyon kullanarak yapılan çalışmalara ilaveten karışımda %1,3 NPCÇ kullanılarak rijitlik modülünün 5 kat arttığı ve 60 gün sonra ise modülüste iki kat fazla değişim sağlanmıştır. Ayrıca çimento miktarının artırılmasıyla rijitlik modülüsün arttığı gözlemlenmiştir. Daha sonradan birçok bilimci bu konuda çalışmalar yaparak NPCÇ-Bitüm emülsiyonu karışımlarının olumlu sonuçlarını ortaya çıkarmışlardır.

Sonraki zamanlarda farklı araştırmacılarca NPCÇ'nin kârlı etkisi saha çalışmalarında tekrarlanmıştır. Dardak NPCÇ'yi kum emülsiyon karışımlarda kullanarak stabilitenin 2-3 kat arttığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, normalde 22 cm olarak tasarlanan bir bitümlü temelin kalınlığını 12 cm'ye düşürmüştür.

4.5. Bitüm Şartnameleri, Özellikleri ve Kalitesi

Bitümler farklı çeşitlerde üretilirler. Bu çeşitler birbirlerinden penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite özelliklerinin kombinasyonları ile ayrılır.

4.5.1. Penetrasyon Cinsi Bitümler

Penetrasyon cinsi bitümlerin özellikleri penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleriyle belirlenir fakat sadece penetrasyon değeri ile tanımlanır, yani yumuşama noktası ile ifade edilmezler. Örneğin; 120 penetrasyon değerli bitümün penetrasyonu 120 ± 20 ve yumuşama noktası $46 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'dir. Penetrasyon değeri; 15'den 450'ye kadar, her cinse karşılık gelen yumuşama noktasıyla birlikte değişmektedir. Penetrasyon ve yumuşama noktasına ilave olarak trikloroetilen içerisinde çözünebilirlik, ısınma kaybı ve aşınma tabakasında kullanılan asfalt cinsleri için 50, 70, 100 ve HD 40 gibi limitler verilmiştir (Ilıcalı ve ark., 2001).

4.5.2. Oksitlendirilmiş Bitümler

Oksitlendirilmiş bitümlerin neredeyse tamamı çatı kaplamalarında yalıtım, zemin döşeme tabanı, mastikleme, boru kaplama işlerinde vb. endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Bu bitümlerin özellikleri yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleriyle belirtilir ve birlikte gösterilir. Oksitlendirilmiş bitümlerin yumuşama noktası, karşılık

gelen penetrasyon cinsi bitümlerin yumuşama noktasından çok daha yüksektir. Bu sebeple sıcaklık duyarlılığı da o oranda yüksektir. Örneğin, penetrasyon indeksi +2 ile +8 arasındadır.

4.5.3. Sert Bitümler

Sert bitümler kömür briketleme, boya üretimi, vb. endüstriyel uygulamalarda geniş biçimde kullanılırlar. Bu bitüm şartnamelerinde yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleriyle belirtilir, ancak yalnızca yumuşama noktası aralığı ve bir H ön ekiyle adlandırılır. Örneğin H 80/90 sert ve yumuşama noktası 80°C ile 90°C arasında olan bir bitümü gösterir. Penetrasyon indeksi 0 ile +2 arasında değişir (İlıcılı ve ark., 2001).

4.5.4. Katbek Bitümler

Katbek bitümler şartnamelerde belirtilen bir viskozitenin sağlanması amacıyla 100 penetrasyon ya da 200 penetrasyon bitümlerin gazyağı ile karıştırılmasıyla üretilir, standart bir katran viskometresi ile belirtilir ve gösterilir. 50 sn, 100 sn ve 200 sn akış süresine sahip 3 farklı cins katbek bitümü vardır. Katbek bitümlerin büyük çoğunluğu yüzeysel kaplamalarda kullanılır.

Ayrıca önemli bir miktarı da standart ve geciktirilmiş makadamların imalatında kullanılır. Katbek bitümler için şartnameler mevcuttur. Bu şartnameler katbek bitümün uygulanması ve kullanılması sırasında eritici malzemelerin tutarlı ve temin edilebilir bir oranda buharlaşmasını ve kalan bitümün de uygun özelliklere sahip olmasını sağlar (İlıcılı ve ark., 2001).

4.5.5. Bitümün Kalitesi

Yollarda her geçen gün gittikçe artan toplam dingil yükleri ve daha yüksek performans talebi, üstyapıların uzun süreli davranışlarının tahminini zorunlu kılmıştır. Bir üst yapının performansı, tasarım, uygulama ve kullanılan malzemenin kalitesinin de dahil olduğu birçok faktöre bağlıdır.

Bitüm karışım içerisinde hacimce küçük bir yer tutmasına karşın, dayanıklılık ve bitümlü karışıma viskoelastik özellik kazandırması sebebiyle karışımlarda çok önemli bir role sahiptir.

Esas olarak, bitümün yol üzerinde tatmin edici bir performans göstermesi aşağıda sıralanan dört özelliğin kontrol edilmesiyle sağlanabilir.

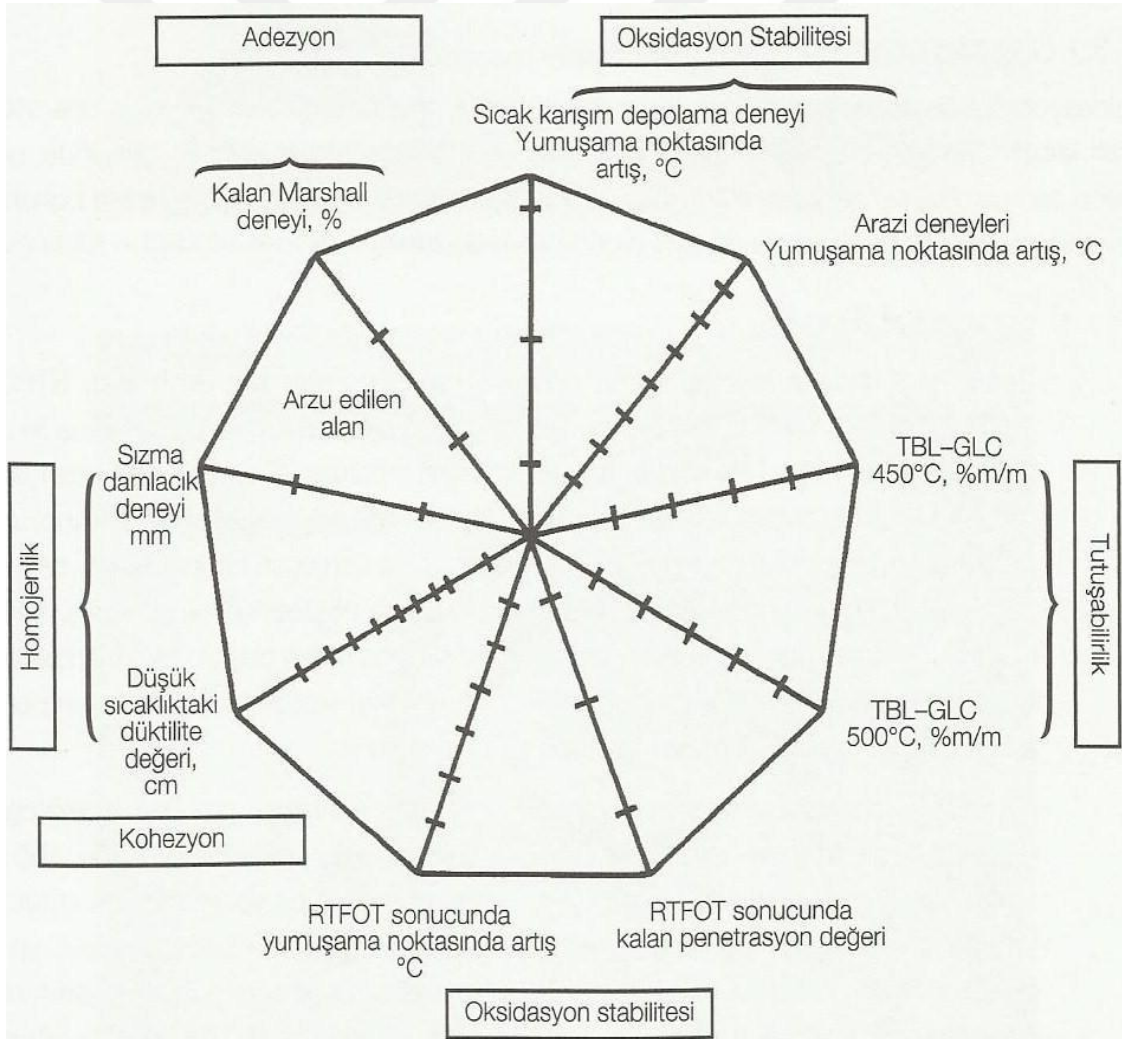
*reoloji;

*kohezyon;

*adezyon;

*dayanıklılık.

Hizmet sıcaklıkları altında bitümün reolojisi, penetrasyon ve penetrasyon indeksi ile uygun biçimde nitelendirilmektedir. Deneysel ve ticari bitümlerin laboratuvar deneylerinde ölçülen özellikleri ile arazideki performansları arasındaki korelasyonları inceleyerek bitümün kalitesini değerlendirebilen birtakım laboratuvar deneyleri geliştirilmiştir. Bu deneylerin altı tanesi bitümün kendisine, üç tanesi de bitümlü karışımlara uygulanmaktadır. Değerlendirmenin kolaylaştırılması için bu deneylerden elde edilen dokuz sonuç, bitüm QUALAGON'u Şekil 4.4'te düzgün bir poligon üzerinde sunulmuştur. QUALAGON içerisinde, geriye kalan üç kilit performansı saptayan kohezyon, adezyon, dayanıklılık deneyleri bulunmaktadır.



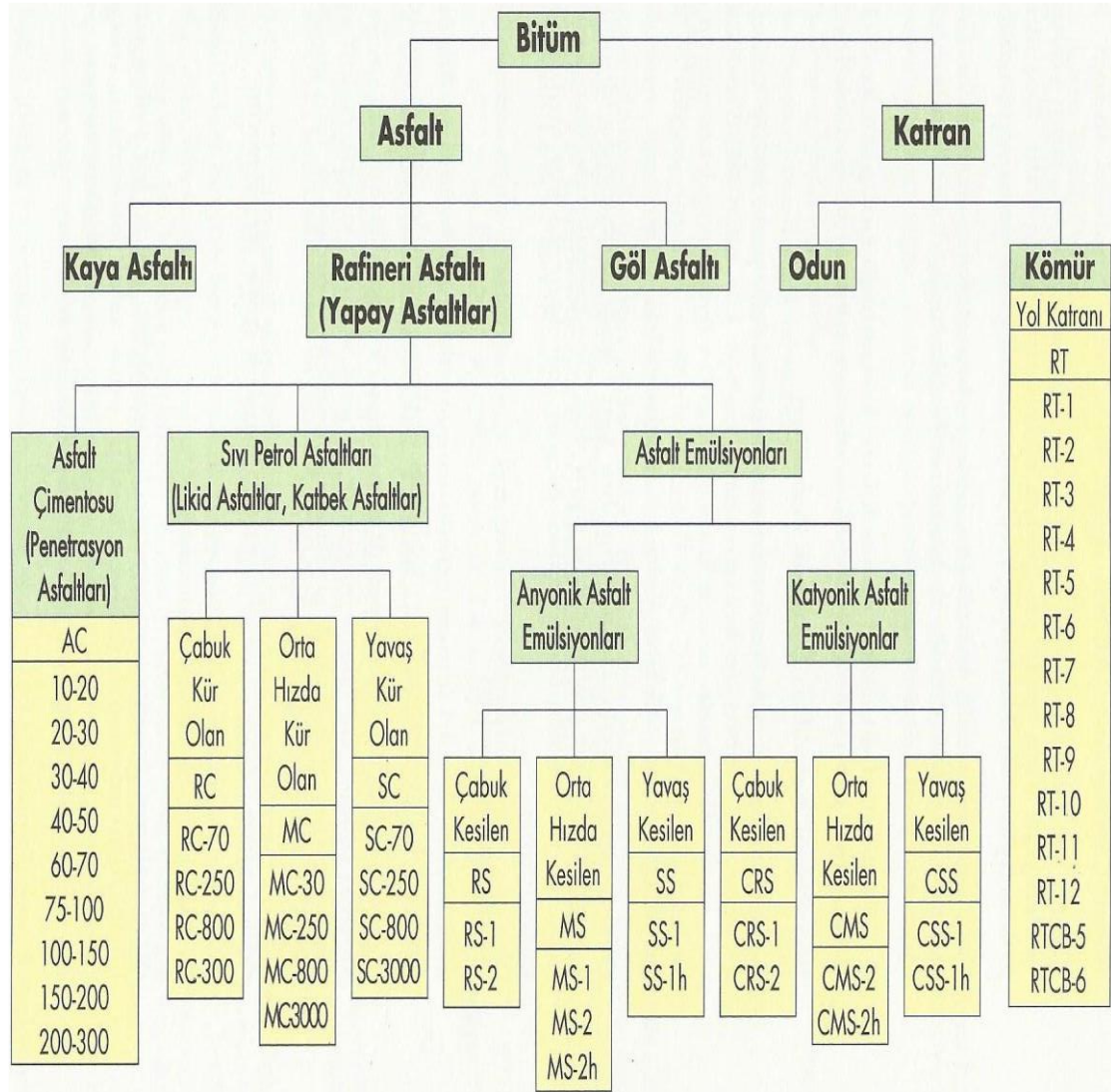
Şekil 4.4. Penetrasyon Dereceli Bitümler İçin Hazırlanmış Qualagon

4.5.6. Yol Malzemesi Olarak Bitüm

Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle oluşan ergime sonucu oluşan) hidrokarbonların ayrışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok kez bunların gaz, sıvı, yarı-katı ya da katı halde olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan maddedir.

4.5.7. Bitümlü Malzemelerin Sınıflandırılması

Bitümlü malzemeler Şekil 4.5'te görüldüğü gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 4.5. Bitümlü Malzemelerin Sınıflandırılması (Whiteoak, 2004)

Yol üstyapılarında kullanılan katyonik asfalt emülsiyonları için özellikler Çizelge 4.1.'de gösterilmektedir.

Tipler		Çabuk Kesilen				Orta Hızda Kesilen				Yavaş Kesilen			
Türler		CRS-1		CRS-2		CMS-1		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	TS No	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Emülsiyon Üzerindeki Deneyler													
Saybolt Furool Viskozite 25°C, Sn	TS 117	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100
Saybolt Furool Viskozite 50°C, Sn	TS 117	20	100	10	400	50	450	50	450	-	-	-	-
Çökme (a) 5 gün, %	TS 132	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
Depolanma stabilitesi deneyi (b),1 gün, %	TS 132	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Emülsiyon kesilmesi 35 ml, 0,8 %													
Sodyumdioktilsülfosüksinat, %		40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Örtme kabiliyeti ve suya karşı direnç	TS 132												
Örtme (kuru agrega ile)						iyi		iyi					
Su püskürtmesinden sonra						orta		orta					
Örtme (yaş agrega ile)						orta		orta					
Su püskürtmesinden sonra						orta		orta					
Partikül yükü deneyi	TS 132	pozitif		pozitif		pozitif		pozitif		pozitif		pozitif	
Elek deneyi, %	TS 132	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1
Çimento karıştırma deneyi, %	TS 132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
pH		-	-	-	-	-	6,5	-	6,5	-	6,5	-	6,5
Destilasyon	TS 132												
Yağ destilatı, emülsiyonun hacmen %si		-	3	-	3	-	12	-	12	-	-	-	-
Kalıntı, %		60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
Destilasyon kalıntısı üzerindeki deneyler													
Penetrasyon, 25 °C da, 100 g, 5 sn	TS 118 EN 1426	10	200	10	200	100	200	40	90	100	200	40	90
Düktilite, 25 °C da, 5 cm/dk, cm	TS 119	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Trikloretilende çözünürlük, %	TS 1090	98	-	98	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Kül, %	TS 135	-	-	-	-	-	2	-	2	-	2	-	2

Çizelge 4.1. Yol Üst Yapılarında Kullanılan Katyonik Asfalt Emülsiyonları için Özellikler (TS-1082)

Bitümle stabilizasyonda kullanılacak asfalt emülsiyonu tipi Çizelge 4.2’de verilmiştir. Soğuk bölgelerde mümkünse katran, değilse ısıya duyarlılığı az olan asfalt kullanılmalıdır. Genel olarak, düşük ısıya sahip bölgelerde viskozluğu az olan asfalt daha uygun olmaktadır.

Zemin Tipi	Asfalt Tipi
Açık gradasyonlu agregası	RC-250, 800 MC-3000, MS-2, CMS-2
İyi gradasyonlu agregası (çok az filler içeren)	RC-250, 800 MC-250, 800, SC-250, 800, MS-2, CMS-2, SS-1, CSS-1
Belli miktar ince ve filler içeren zemin	MC-250, 800, SC-250, 800, MS-2, CMS-2, SS-1, SS-1H

Çizelge 4.2. Bitümle Stabilizasyonda Kullanılacak Emülsiyon Tipleri (Tunç, 2002)

Bitümle stabilizasyon, genellikle zemin üzerine asfaltın püskürtülmesi veya yolda karışımından sonra hemen sıkıştırılması ile yapılır. Asfalt miktarı, Marshall stabilitesi 250 kg olacak şekilde seçilmelidir. Eğer bu stabilite değeri elde edilemiyorsa gradasyon düzeltilmesi yapılmalıdır. Eğer yine stabilite sağlanamıyorsa kimyasal stabilizasyon metotları denenmelidir. Genel olarak karışımda filler (No.200) arttıkça bitüm miktarı da artacağından gradasyon düzeltilmesinde bu husus göz önünde tutulmalıdır.

Kumlu zeminler veya kumun bol olarak bulunduğu yerlerde bitümle stabilizasyon yapıldığında mukavemetli ve dayanıklı zeminler elde edilebilmektedir. Hatta bu tip stabilizasyonlara sahip zeminler, kaplamada ideal alt temel tabakası olarak da kullanılabilir. Böylece kaplama kalınlığının azalmasından dolayı daha ekonomik olabilmektedir. Bitümle stabilizasyon için her türlü kum kullanılabilir olmakla beraber iyi derecelenmiş ve kil toprakları ile organik maddeler içermeyen kumlarda daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Eğer bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılacak ise kumun ve asfaltın ısıtılması gerektiğinden dolayı plentte sıcak karışımın hazırlanması ve yola serilmesi gerekir. Ancak sıvı asfaltın zemine doğrudan püskürtülüp yolda karıştırıldıktan sonra sıkıştırılması ile mukavemet yönünden iyi sonuçlar alınabilmektedir. Ancak her iki halde de No. 200’den geçen kısım %12’den fazla ise bağlayıcı miktarını artıracığından karışımın çok rijit olmasına neden olmaktadır.

Kohezyonlu zeminler optimum su içeriğinde sıkıştırıldığında belirli bir mukavemet kazanır. Ancak bu mukavemet suya karşı duyarlıdır. Zira yüksek su içeriğine maruz kaldığında zemin şişme gösterebilir ve yumuşama ile stabilitesi azalır. Bu nedenle, bitümlle stabilize edilen zeminlerin daneleri asfalt filmi ile sarılır ve boşlukların bir kısmı asfalt ile doldurularak su geçirimsiz bir kitle sağlandığı gibi asfaltın bağlayıcılık özelliğinden dolayı yüksek kohezyonlu bir zemin elde edilebilir. Ancak asfalt çimentosu kullanılırsa karışıma giren tüm malzemenin (zemin ve asfalt) ısıtılması ve karıştırılması gerektiğinden ve sıvı asfalt kullanılırsa sıkıştırmadan sonra kesilme problemlerinin olması nedeniyle kohezyonlu zeminler genellikle bu tip stabilizasyona uygun değildir. Fakat emülsiyon asfaltların kullanımı ile bu problemlerin giderilmesi bir miktar mümkün olabilmektedir.

Kohezyonlu zeminlerde daha iyi sonuçlar veren asfalt emülsiyonlarının stabilizasyonu uygulamasında, emülsiyon asfaltın kesilmeden (yani su ile asfalt partiküllerinin birbirlerinden ayrılması) önce zeminle karışmış olması gerekir. Kohezyonlu zeminlerde SS (Yavaş kesilen) tipi asfalt emülsiyonu kullanılmalıdır. Çünkü RS (hızlı kesilen) ve MS (orta hızda kesilen) tipi asfalt emülsiyonlarının zeminle karıştırılma esnasında erken kesilme nedeniyle homojen karışım sağlanamamaktadır. Fakat zeminin ince miktarı az ise MS tipi asfalt emülsiyonu kullanılabilir. Ayrıca kolayca ufalanabilen ve asfaltla homojen bir şekilde karışabilen zemin olması halinde bitümlle stabilizasyon başarı olmaktadır. Bu nedenle zeminin No.200'den geçen kısmının %12'den az olması şartı getirilmiştir. Her ne kadar bitüm içeriği arttıkça zeminin geçirimsizliği artsa da fazla miktarda bitüm kullanılması halinde uygulamada işlenebilirlik ve sıkışma problemlerini doğurmakta ve stabilizasyonun başarısız olmasına neden olmaktadır.

Bitümlle yapılan zemin stabilizasyonlarında zeminin su içeriği önemli rol oynar. Çünkü bitümün zemin içinde homojen dağılımı, karışım sırasındaki suyun miktarına ve zemin ıslaklığının homojen olmasına bağlıdır. Eğer zeminin su içeriği gereğinden az ve homojen dağılmamış ise bitümlle karıştırıldığında yeterli stabiliteyi gösterememektedir. Bu nedenle deneme – yanılma ile test yaparak karışım için gerekli su içeriği Marshall stabilitesi kriterine göre belirlenmelidir.

Bitümlle stabilizasyonlarda bitüm içeriği Eşitlik-1'deki gibidir ;

$$b/c = \frac{0,02*A+0,07 *B+ 0,17 *C+ 0,20*D}{100- K} \quad (1)$$

(Tunç, 2002)

Burada ;

b/c : Bitüm içeriği, kuru zemin ağırlığının yüzdesi olarak

A : No.50 elek üzerinde kalan kısmın yüzdesi

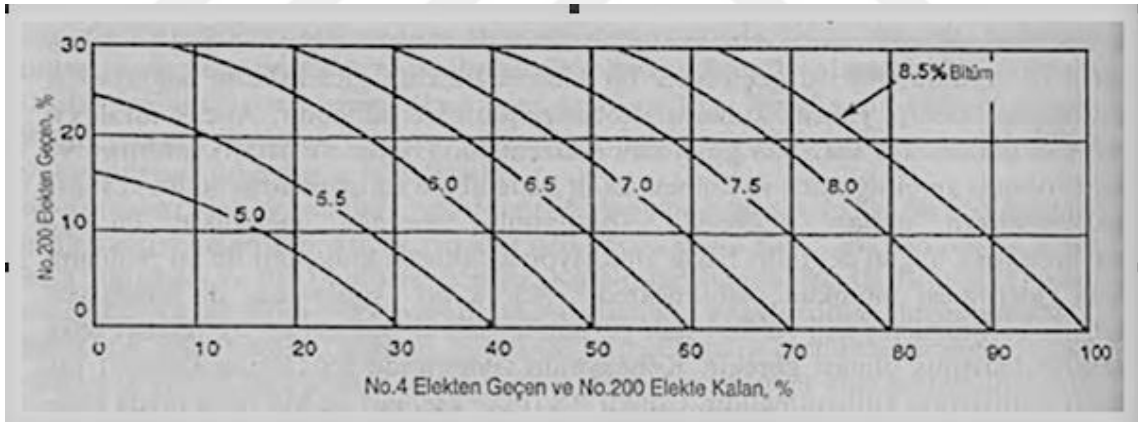
B : No.50 elekten geçen ve No.100 elek üzerinde kalan kısmın yüzdesi

C : No.100 elekten geçen ve No.200 elek üzerinde kalan kısmın yüzdesi

D : No.200 elekten geçen kısmın yüzdesi

K : Katkı (gazyağı, yağ veya su) yüzdesi

Buna göre tahmin edilen bitüm yüzdesinin %0,5 ve %1 altında ve üstünde olacak şekilde beş ayrı bitüm – zemin karışım numunesi hazırlanıp Marshall stabilitesi tespit edilir taban zemini için minimum 250 kg ve alt temel olarak kullanılacaksa minimum 375 kg Marshall stabilitesinin sağlanması gerekir. Bitüm yüzdesi formül ile tayin edilebildiği gibi Şekil 4.6.'dan da bulunabilir. Görüldüğü gibi zemindeki kum ve kil miktarı arttıkça bitüm yüzdesi de artmaktadır.



Şekil 4.6. Bitüm Yüzdesinin Tahmini (Tunç, 2002)

Hemen hemen tüm yollarda kullanılabilen ve temel malzemesine uygulanan bitümlü stabilizasyon daneli malzemeye kohezyon verir. İnce daneli zeminlere katıldığında ise malzemenin suya karşı isteği azalmaktadır. Kireç ve çimentoya oranla pahalı olduğundan daha az uygulanır. Bitüm zemine katbek, emülsiyon ya da köpük biçiminde katılmaktadır. Olağan koşullarda 76 mikrondan 10-50 arasında, plastisite indisi 18'den düşük olan zeminler bu yöntemle en iyi cevap verir. Bu şekilde daneler asfaltla rahatça kaplanacağı gibi bitüm boşlukları tıkama işlevini de yerine getirmektedir

Stabilizasyonun başarılı olması için asfaltın tüm zemini kaplaması gerekmemektedir. Öte yandan gereğinden fazla bitüm, daneler arası bağlanmayı ve kilitlemeyi önleyerek malzemenin kayma direncini azaltmaktadır. En yüksek kayma direnci ve birim hacim ağırlık, en düşük su emme özelliğini yansıtan optimum çözümü %20 hava boşluğu durumunda olduğu bulunmuşsa da porozite ile bitüm içeriği arasında güvenilir bir bağıntı da oluşturulmamıştır.

Sadece kum-emülsiyon karışımlarında asfalt gereksinmesi (%p) için Eşitlik 2’de görülen bağıntı bulunmaktadır.

$$p = 0,75 (0,05 a + 0,1b + 0,5c) \quad (2)$$

Burada;

a: 2 mm elek üzerinde kalan,

b: 2-0,074 mm elekler arasındaki,

c: ise 74 mikron elekten geçen kum yüzdesini göstermektedir.

Bitümlü stabilizasyon Serbest Basınç, CBR, Florida Taşıma ve Koni Stabilité deneylerinde değerlendirilir. Karışımdan sonra kuru olarak denenen örneğin serbest basıncını 7 gün su altında tutulanı ile oranlamak iyi bir ölçüttür. En uygun katkı yüzdesi en küçük oran olarak kabul edilir. Sıcaklığın direnci doğrudan etkilediği hatırlanırsa bu değişkenin de deneylere içerilmesi uygun olur.

Florida taşıma değeri kum-emülsiyon karışımlarının taşıma gücünü ölçer. Deneyde 10 cm çaplı, 7.6 cm yükseklikte silindirin içine sıkıştırılan örnek yüzeyine 6.45 cm² (1 inç²) alanda uygulanan yük 4.2 kg/cm²-dk. hızla itilmektedir. Taşıma değeri örnek yüzeyinde 19 mm’lik çatlaklar belirmesi, ya da pistonun örnek içine 6mm girdiği değer olarak belirlenir (Önalp, 1983).

Zeminin granülometrisi, plastisitesi ve pülverize edilebilme durumu, stabilize edilecek zeminin direnci üzerinde rol oynayan önemli etkenlerdir. Genellikle zeminin dane boyutu küçüldükçe ve plastisitesi arttıkça bitümlü malzeme ile zor karışmaktadır. Zeminin içerisinde granüler malzemenin olması halinde stabilize edilecek zeminin direnci ve dayanıklılığı artar ve kullanılacak bitümlü malzeme miktarı azalır (Umar ve Ağar, 1985).

Zemin-asfalt stabilizasyonuna etki eden faktörlerden biri de likit asfaltların zemin daneleri arasındaki dağılımıdır. Bu dağılım homojen olmalıdır. Zemin-asfalt karışımının stabilitesi karıştırma süresine bağlıdır. Uygun bir karıştırma süresinde stabilite yüksek

olacaktır. Zemin-asfalt stabilizasyonunda kullanılan su ve bitümlü malzemelerin yüzdesinin toplamı, sıkıştırılacak karışımın boşluklarını dolduracak hacmi aşmamalıdır. Çok çeşitli zeminler (kum, kil ve iyi granülometrilik zeminler) bitümlü malzemeler ile stabilize edilebilirler. Ancak karışımda ne kadar çok ince malzeme varsa su geçirmezliği sağlamak için o kadar çok miktarda bitüme ihtiyaç hasıl olur. Zemin-asfalt stabilizasyonunda kullanılan su, zeminin sıkışmasını kolaylaştırmak ve bitümlü malzemenin üniform dağılmasını sağlamak için kullanılır (Umar ve Ağar, 1985).

İnce yapılı zeminlerin plastisite indeksinin en fazla %12 olması uygun görülmektedir. Plastisitesi yüksek olan zeminler için hızlı ve orta kür eden asfaltlar tercih edilir.

Yapılan deneylerde; ince yapılı zeminlerle yapılan stabilizasyonda %4-8, kumla yapılanda %4-10, çakıl ve kumlu-çakılla yapılanlarda %2-6 arasında bitüm oranının değiştiği görülmüştür.

Asfalt-kum stabilizasyonu özellikle sahil bölgelerde başarı ile kullanılmıştır. Burada asfaltın fonksiyonu kumlar arasındaki kil birimleri arasında yapışmayı sağlamak ve böylece su geçirgenliğini en alt düzeye indirmektir (Witczak ve Yoder, 1975).

Kurak bölgelerde, asfalt ile stabilize edilen kumlar genelde iyi bir yüzey oluşturmaktadır.

Bitümlü malzemenin cinsi ve miktarı, stabilizasyon yapılacak zeminin stabilitesini etkiler. Bitümlü malzemenin cinsi genellikle iklim koşullarına ve zeminlerin cinsine göre seçildiğinden sıcak iklimlerde yavaş sertleşen katbek asfaltları kullanılır. Böylece likit asfaltın sertleşmeden önce zemin daneleri arasına iyice girmesi sağlanmış olur. Soğuk iklimlerde ve fazla miktarda daneli malzeme içeren zeminlerde çabuk kuruyan katbek asfaltları kullanılır.

Asfalt emülsiyonları genellikle sıcak iklimlerde kullanılır. RT (Road Tars) olarak adlandırılan yol katranlarının ise RT-3'den RT- 10'a kadar olan tipleri (giderek kıvamın arttığı) ise nemli iklimlerde kullanılır.

Bozulmuş veya eski asfalt kaplamaların kazınarak yeni yapılacak bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılmasına geri kazanım (recycling) adı verilmektedir. Mevcut yol üstyapısından kazınarak elde edilen malzemenin yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım imalatında kullanılması, kaynaklarımızın teknik ve ekonomik açıdan doğru bir şekilde kullanılması açısından son derece önemlidir. Ülkemizde ilk kez "Sakarya Köprülü Kavşağı-Gümüşova (17.Bölge Müdürlüğü Sınırı) Arası Otoyol ve Bağlantı Yolları

Üstyapı İyileştirmesi ve Büyük Onarım İşi” kapsamında kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bozulmuş sathi kaplamanın kazılarak yerinde/plentte yeniden BSK tabakası olarak imalatı yapılarak kullanımının araştırılması amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada, 2 farklı yol kesimi değerlendirilmiştir. Birinci kesim Ayaş – Beypazarı Yolunda, iki kattan fazla sathi kaplama yapılmış yaklaşık 4 km uzunluğunda bölünmüş yol kesimidir. Diğer kesim ise Çubuk – Akyurt Yolunda iki kat sathi kaplamalı yaklaşık 4 km uzunluğunda bölünmüş yol kesimidir. Her iki kesimde de belirli aralıklar ile sathi kaplamalardan karot numuneleri alınmıştır. Karotlar üzerinde, bitüm miktarı tayini, gradasyon, hacim özgül ağırlık deneyleri yapılmış, geri kazanılan bitümün penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri belirlenmiştir. İlave olarak, çok katlı sathi kaplama karot numunelerinin esneklik modülü değerleri de belirlenmiştir. Ancak bozulmuş veya eski asfalt kaplamalardan kazınarak elde edilen bitüm herhangi bir stabilizasyon çalışmasında pek tercih edilmemiştir.

5. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada stabilize edilmemiş zemin ile bitüm emülsiyonu stabilizasyonlu zemin üzerine yapılacak kaplama kesitinin tabaka kalınlıkları karşılaştırılmıştır. Deneylerde kullanılan zemin malzemeleri Çizelge 5.1’deki Karayolları ve AASHTO elek analizi şartname limitlerini sağlamalıdır. Stabilizasyonlar gradasyonu farklı iki zeminde yapılmış olup bu zeminler A tipi ve B tipi olarak isimlendirilmiştir.

Numuneler hazırlanırken her ne kadar Çizelge 5.1.a’da yer alan yüzdeler dikkate alınarak hazırlanmış olsa da etüvden çıkarıldıktan sonra Çizelge 5.1.b’deki yüzde durumu söz konusu olmuştur. Kireç taşı kökenli olan malzeme etüv içerisinde bir miktar aşınmaya uğramıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları Şekil 5.1.a. ve Şekil 5.1.b.’de gösterilmektedir.

Elek No	Şartname Limitleri % Geçen	A Tipi Zemin % Geçen	B Tipi Zemin % Geçen
4	50-100	85.00	75.00
40	35-100	55.00	45.00
200	10-50	20	20

Elek No	Şartname Limitleri % Geçen	A Tipi Zemin % Geçen	B Tipi Zemin % Geçen
4	50-100	89.50	78.50
40	35-100	56.90	51.50
200	10-50	21.5	22.5

a) Etüv Öncesi Hazırlanan Numune

b) Etüvden Sonra Numune

Çizelge 5.1. Karayolları ve AASHTO Elek Analizi Şartname Limitleri ve Agrega Çapı



Şekil 5.1.a. Elek Analizi

Şekil 5.1.b. Filler Malzeme

Stabilizasyonda kullanılan C60B2 asfalt emülsiyonu TS 1802'deki limitleri sağlayacak şekilde temin edilmiştir. C60B2 bitüm emülsiyonunun penetrasyon standardı 25°C da, 100 g 5 sn.'de 100-200 (0,1 mm)'dir (TS 1802, 2002). 360°C'ye kadar ısıtılıp tekrar 25°C'ye düşürülerek katı hale gelmesi sağlanan emülsiyon 60 dakika boyunca 25°C'de suda bekletilmiş olup 25°C suyun içindeyken her bir ölçümden sonra iğnenin ucu temizlenerek üç farklı noktasından Resim 4'te de görülebileceği üzere penetrasyon deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda okumalar 110, 118 ve 117 olarak kaydedilerek ortalama alınmış ve penetrasyonu 115 bulunmuştur.



Şekil 5.2. Penetrasyon Deneyi

C60B2 asfalt emülsiyonunun viskozite değerinin 20-100 saniye arasındadır (TS 1802, 2002). Stabilizasyonda C60B2 asfalt emülsiyonu kullanılmış ve "Saybolt Viskozite" deneyi ile 46 (50°C'de 60 ml. kabı doldurma süresi) olarak bulunmuştur. Deney yapılırken alınan bir kesit Şekil 5.3.'te görülmektedir.



Şekil 5.3. Viskozite Deneyi

Ayrıca C60B2 asfalt emülsiyonunun özgül ağırlığı piknometre deneyi ile 1,0125 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir. Söz konusu zeminler Modifiye Proktor Deneyine tabi tutularak Kuru birim hacim ağırlığı (gr/cm²) / Su içeriği(%) grafiği elde edilmiştir. Deneyde numuneler çapı 10, derinliği 11,6 cm ve hacmi 944 cm³ olan kalıba 5 tabaka halinde yerleştirilmiş olup her tabaka yerleştirildikten sonra sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sıkıştırma işlemi 4,5 kg. ağırlığındaki tokmağın 45 cm.

yükseklikten düşürülerek her tabakaya 25 adet darbe vurması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu deney sırasında çekilen bazı fotoğraflar Şekil 5.4.a. ve Şekil 5.4.b.'de gösterilmektedir.

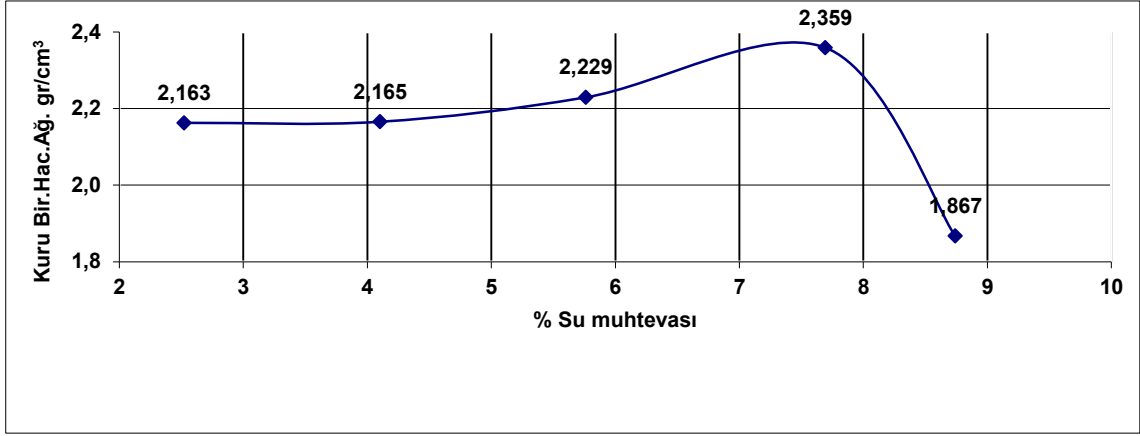


Şekil 5.4.a. Proktor Deneyi **Şekil 5.4.b.** Numune Hazırlanması

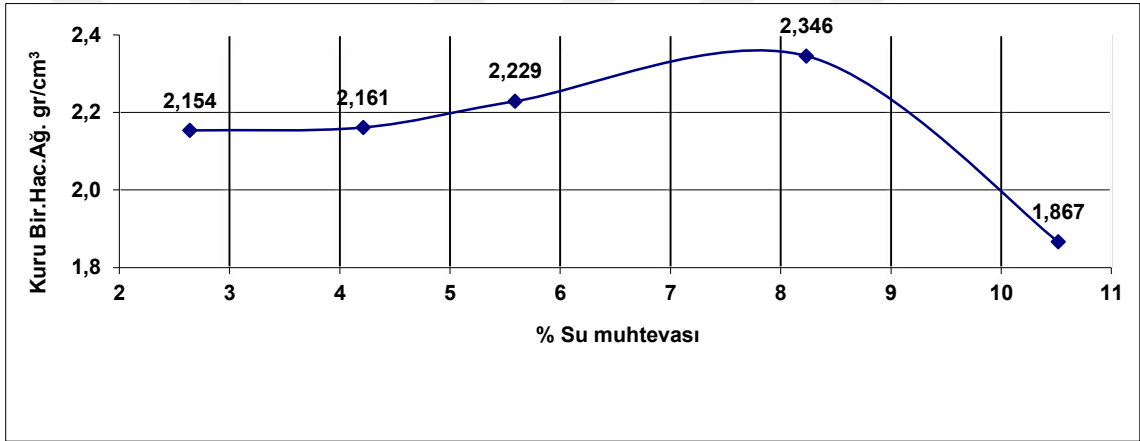
Deneylelerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2., Şekil 5.5., Şekil 5.6., Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'te gösterilmektedir.

Deney No	1	2	3	4	5
A Tipi Zemin					
Su Muhtevası (%)	2,5	4,1	5,8	7,7	8,7
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2,163	2,165	2,229	2,359	1,867
B Tipi Zemin					
Su Muhtevası (%)	2,5	4,1	5,7	8,2	10,5
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2,162	2,164	2,24	2,346	1,867

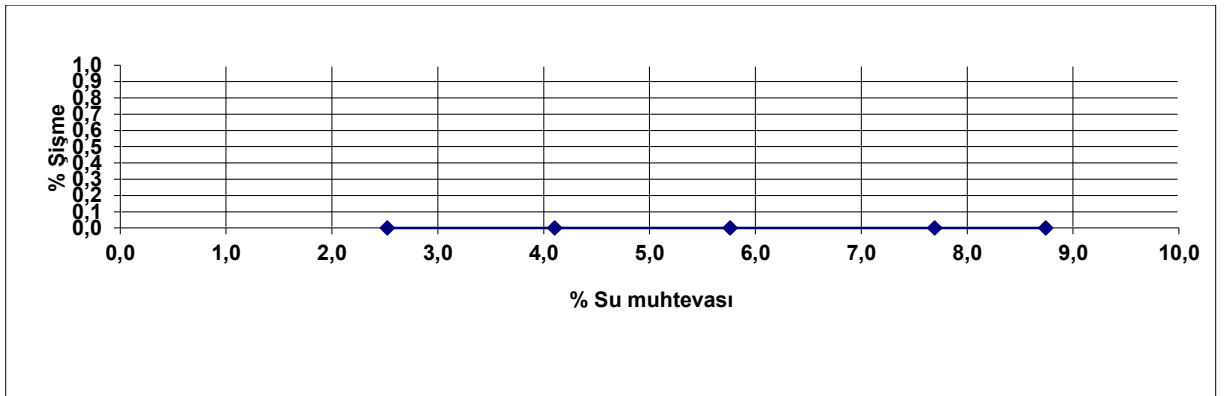
Çizelge 5.2. Modifiye Proktor Deneyi Sonuçları



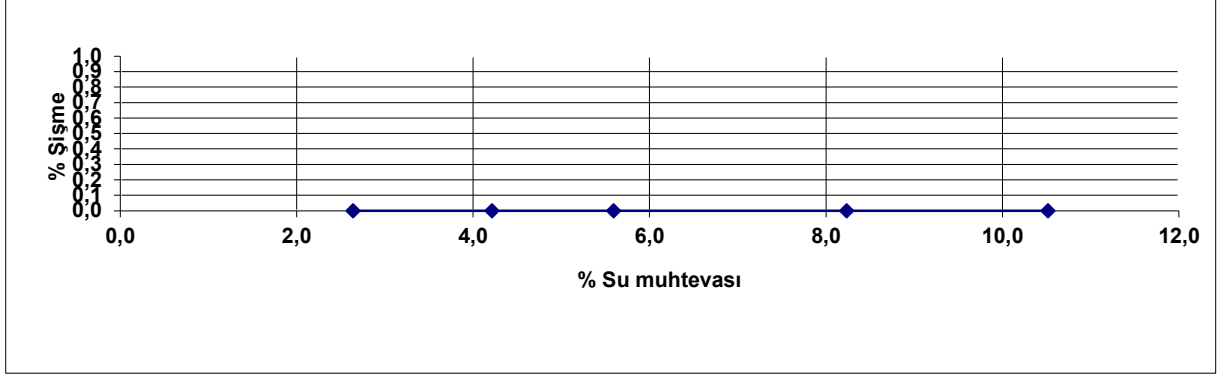
Şekil 5.5. A Tipi Zemin İçin Numunelerinin Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Muhtevası İlişkisi



Şekil 5.6. B Tipi Zemin İçin Numunelerinin Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Su Muhtevası İlişkisi



Şekil 5.7. A Tipi Zemin Stabilizasyonu Su muhtevası-Şişme Grafiği



Şekil 5.8. B Tipi Zemin Stabilizasyonu Su Muhtevası-Şişme Grafiği

Maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su içerikleri Şekil 5.1.'de gösterilen zeminler optimum su içeriğinin %2-4 altında (50 ml) su ve %1-2-3-4-5 oranlarında 60°C sıcaklıktaki C60B2 katyonik asfalt emülsiyonuyla stabilize edilerek Marshall Stabilite ve CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) deneylerine tabi tutulmuştur.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1. Marshall Stabilizasyon Deneyi

A ve B tipi zeminlerde %1-2-3-4-5'er asfalt emülsiyonu katkılı (stabilize edilmiş) numuneler Marshall Stabilizasyon deneyine tabi tutulmuş olup, maksimum stabilizasyon her iki zemin stabilizasyonu için de elde edilmiş ve bu yük değerlerinin sağlandığı optimum asfalt miktarları yüzdece belirlenmiştir.

Numuneler optimum su muhtevasının biraz altında su ve %1-2-3-4-5'er asfalt emülsiyonu karıştırılarak dakikada 90 devir yapan bir mikserde 1 dakika boyunca karıştırılmış ve 100 mm çapında 75 mm derinliğindeki kalıplara yerleştirilmiştir. 4,5 kg ağırlığında tokmağın 45 cm yükseklikten numunelerin her iki yüzüne 75'er defa düşürülerek sıkıştırılması sağlanmış ve daha sonra kalıplardan çıkarılarak 24 saat bekletilerek Şekil 6.1.a. ve Şekil 6.1.b.'de gösterildiği gibi Marshall Stabilite deneyine tabi tutulmuştur.

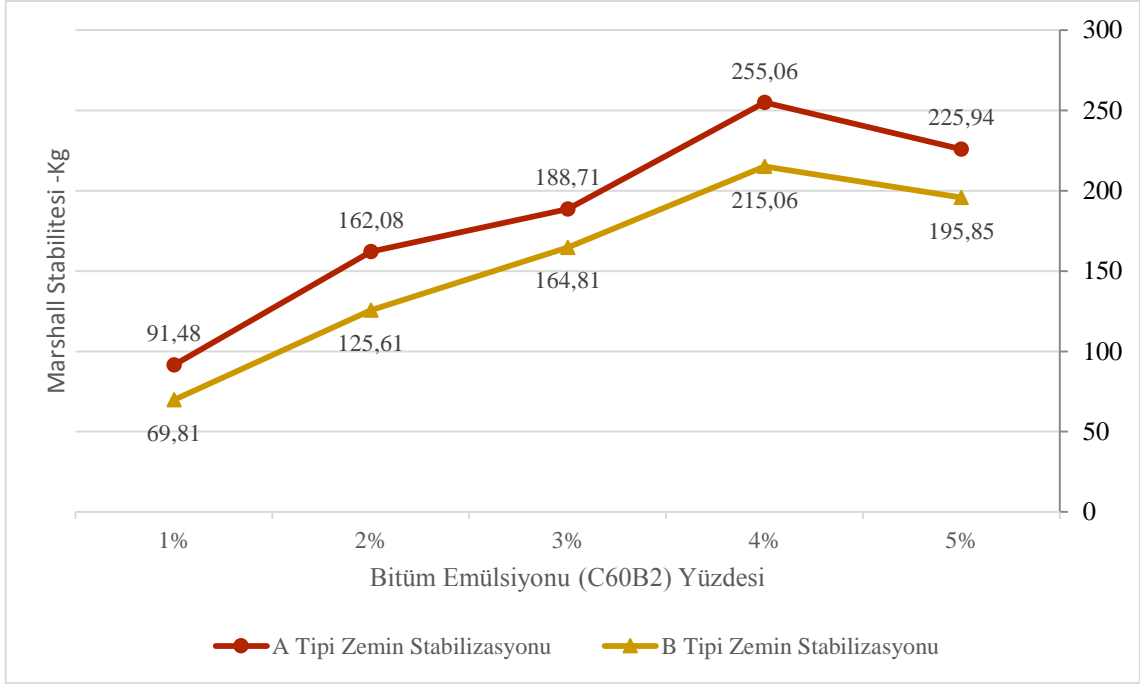


Şekil 6.1.a. Marshall Stabilizasyon Deneyi **Şekil 6.1.b.** Deney Sonrası Numuneler

Cihazdan okunan libre cinsinden değerler kalibrasyon faktörü de (10.2) dikkate alınarak kilogram cinsinden belirlenmiş, Çizelge 6.1. ve Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.

Asfalt Emülsiyonu (%)	Marshall Stabilitesi	
	A Tipi zemin-C60B2 karışımı (kg)	B Tipi zemin-C60B2 karışımı (kg)
1	91,48	69,81
2	162,08	125,61
3	188,71	164,81
4	255,06	215,06
5	225,94	195,85

Çizelge 6.1. Marshall Stabilitesi Deneyi Sonuçları



Şekil 6.2. Asfalt Emülsiyonu Yüzdesi-Marshall Stabilitesi

A tipi zemin-asfalt emülsiyonu karışımı numunelerde optimum asfalt emülsiyonu miktarı %4 ve 1 günlük maksimum stabilizasyon değeri 255,06 kg, B tipi stabilizasyonda ise optimum asfalt miktarı yine %4 ve maksimum serbest basınç mukavemeti 215,06 kg olarak bulunmuştur.

6.2. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi

Optimum asfalt emülsiyonu oranları ile karıştırılarak nemli bir ortamda 7 gün kür edilen stabilize edilmiş A ve B tipi numuneler kesit tasarımlarında önemli bir kriter olan CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) deneyine tabi tutulmuştur.

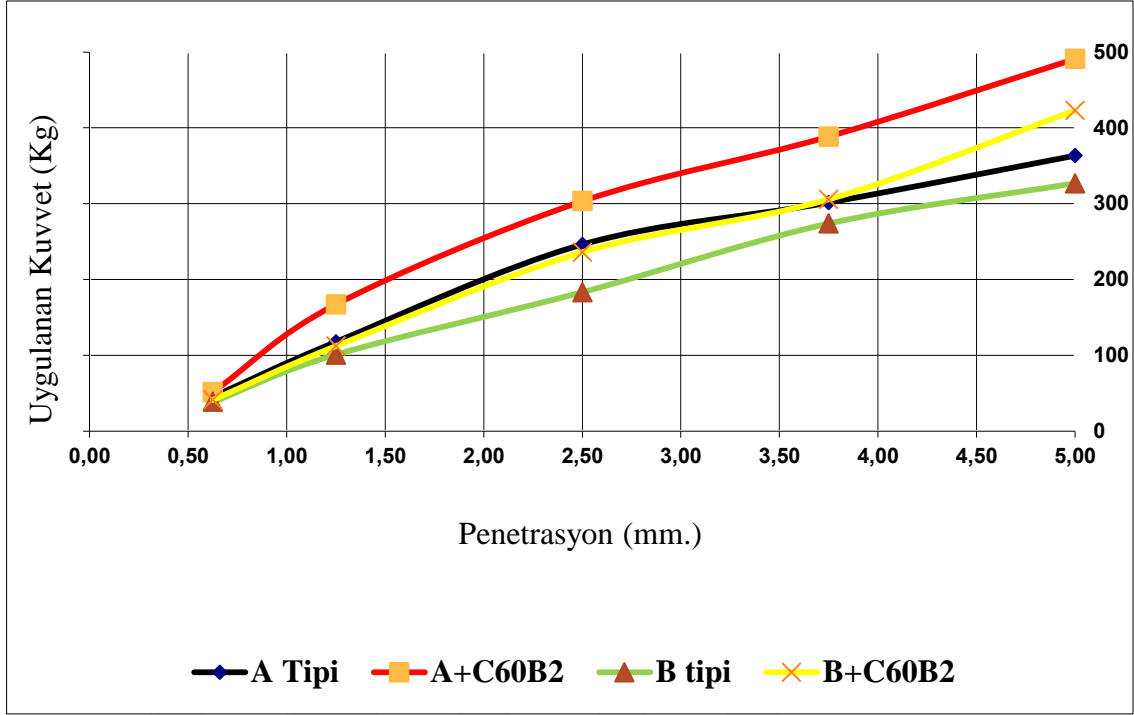
Her iki tip zemin stabilizasyonunda da optimum emülsiyon %4 olarak belirlenmişti. %4 bitüm emülsiyonu ile stabilize edilmiş numunelerde 2,5 ve 5 mm. penetrasyon değerini sağlayan yük değerlerinin, %100 CBR değerine karşılık gelen standart yüklere oranından elde edilen en büyük değer zeminin CBR değeri olarak alınmıştır (TS 1900, 1987). Bu CBR değerinin elde edildiği zemin stabilizasyonunda kullanılan stabilize edilmemiş zemin numunelerin CBR değerleri de hesaplanarak 2 adet CBR değeri elde edilmiş ve tasarım kriteri olarak dizaynda yer almıştır. Şekil 6.3.'te de görülen deney yapılırken 45 kg yük dakikada 1,2 mm. hızla numuneye uygulanmış olup deney sonuçları Çizelge 6.2. ve Şekil 6.4.'te gösterilmiştir.



Şekil. 6.3. CBR Deneyi

Penetrasyon (mm)	Standart Yük (TS 1900)	A Tipi Zemin		B Tipi Zemin	
		Zemin Numunelerine Uygulanan Yük (kgf)	Zemin-asfalt Emülsiyonu Numunelerine Uygulanan Yük (kgf)	Zemin Numunelerine Uygulanan Yük (kgf)	Zemin-asfalt Emülsiyonu Numunelerine Uygulanan Yük (kgf)
0,625		45,33	51,35	38,54	41,08
1,25		117,65	167,12	100,89	112,16
2,5	1360	246,14	303,28	183,24	236,05
3,75		301,46	388,52	273,78	305,69
5	2040	363,324	490,82	326,86	422,75

Çizelge 6.2. A ve B Tipi Zemin ve Zemin-Asfalt Emülsiyonu Numunelerine Uygulanan Yük Değerleri



Şekil 6.4. Zemin ve Zemin-Asfalt Emülsiyonu Karışımı Numunelerin Yük-Penetrasyon Eğrileri

Şekil 6.2.'de Marshall stabilitesi grafiğinde A tipi zeminin %4 asfalt emülsiyonu karışımı ile maksimum stabilite değerini sağladığını ve Çizelge 6.2.'de A tipi zemin ve zemin stabilizasyonunun CBR değerlerinin daha yüksek olduğunun belirlenmiş olması nedeniyle A tipi zeminle yapılan deneylerin sonuçları ile kıyaslama işlemi yapılmıştır. A tipi zemin ve zemin stabilizasyonundan elde edilen CBR değerleri Çizelge 6.3.'te gösterilmektedir.

Zemin Türü	Penetrasyon (mm)	CBR (%)
A Tipi	2,50	18,09
A Tipi	5,00	17,81
A Tipi+C60B2	2,50	22,30
A Tipi+C60B2	5,00	24,05

Çizelge 6.3. A Tipi Zemin ve A Tipi Zemin-Asfalt Emülsiyonu Numunelerine Ait CBR Değerleri

Çizelge incelendiğinde CBR değerinin bitüm emülsiyonu katkısıyla 18'den 24'e çıktığı ve %33,3'lük bir artış meydana geldiği görülmektedir.

7. ÜSTYAPIDA TABAKA KALINLIĞI HESABI

Esnek veya rijit kaplama yolun kesit tasarımı AASHTO-1986 kriterleri ve Karayolları Genel Müdürlüğü şartnamelerine göre yapılmaktadır. AASHTO-1986 tasarım yönteminde yapısal tasarım yükleme ve drenaj şartlarının kaplamaya olan etkilerinin analizleri ve kaplama performansının yük tekerrürleri, zemindeki şişme ve donma özellikleri altındaki değişimi esas alınmaktadır.

AASHTO-1986 kriterlerine göre tasarım Eşitlik 3'teki ampirik formüle göre yapılmaktadır.

$$\begin{aligned} \log W_{8,2t} = & Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + 0,40 + (\log[(\Delta PSI) / (4,2 - 1,5)]) / \\ & ([1094 / (SN + 1)^{5,19}] + 2,32 \log M_R) \end{aligned} \quad (3)$$

Bu formüldeki değişkenler genelde, yapılması istenen yolun bulunduğu coğrafyanın fiziksel ve çevresel koşullarından elde edilen veriler doğrultusunda temin edilir. Bunlardan sadece M_R değeri taşıma gücü değeri verilerinden elde edilir. M_R kesitin dizaynında en önemli etkiye sahip olan ve esneklik modülü olarak tanımlanan bir değişkendir.

Üst yapısı hesaplanacak yolun oturacağı taban zemininin CBR değeri ile M_R değeri arasında Psi cinsinden $M_R = 1500$ CBR bir ilişki mevcuttur (Tunç, 2004). Çalışmanın önceki safhalarında elde edilen CBR değerleri Çizelge 7.1.'de M_R değerlerine dönüştürülerek kesit tasarımı yapılan formüllerde kullanılacak M_R değerleri elde edilmiştir (AASHTO T193, 1999).

Zemin Tipi	CBR	M_r
A Tipi Zemin	18	27000
A Tipi Zemin+C602B	24	36000

Çizelge 7.1. Zemin Tiplerine Göre M_R Değerleri

Tasarımı yapılan yola ait trafik verileri Karayolları Genel Müdürlüğü istatistiklerinden temin edilerek proje trafiği belirlenmiştir. Tasarım yapılırken Şerit faktörü:1, yolun son hizmet kabiliyeti indeksi $P_t:2,6$, güvenilirlik $Z_R = \%95$, standart sapma $S_0=0,35$, drenaj katsayıları $m_{binder}=1$, $m_{aşınma}=1$, $m_{temel} = 1,2$ olarak belirlenmiş olup izafi mukavemet tabaka katsayıları Çizelge 7.2’de gösterildiği şekilde alınmıştır.

Tabaka adı	Aşınma	Binder	Bitümlü	Plentmiks	Granüler	Kırmataş	Kum-Çakıl
			Temel	Temel	Alttemel	Alttemel	Alttemel
Tabaka Katsayısı	0,43	0,41	0,33	0,15	0,14	0,13	0,11

Çizelge 7.2. Tabaka Cinslerine Göre İzafi Mukavemet Tabaka Katsayıları (a) Her bir tabakanın taşıma gücüne göre kalınlıkları tekrar kontrol edilmiş ve yetersiz olan kalınlıkları artırılmıştır.

8. ZEMİN-ASFALT EMÜLSİYONU STABİLİZASYONU İLE ÜSTYAPIDA SAĞLANACAK EKONOMİ

A tipi zeminin CBR değeri %18, zemin-asfalt karışımının CBR değeri ise %24 olarak bulunmuştu. Tasarım kriterleri için;

İğdır-Ağrı arasına yapılması planlanan Şerit sayısı $2 \times 2 = 4$, Kaplama genişliği 13 metre ve Taban genişliği 20 metre olan bir yolda ekonomik karşılaştırma yapılmıştır. Zemin-asfalt emülsiyonu stabilizasyonu 10 cm kalınlığında yapılmıştır.

İğdır ve Ağrı arasındaki Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) istatistikleri Çizelge 8.1.’de gösterilmektedir.

Araç türü	YOGT	Yıllık artış miktarı (%)
Kamyon	667	3
Treyler	240	
Otobüs	53	5
Otomobil	3500	

Çizelge 8.1. İğdır-Ağrı Arası 2015 Yılına Ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik Verileri

Elde edilen iki (stabilize edilmiş ve edilmemiş) CBR değeri ve yukarıda sözü edilen diğer değişkenler daha önce Eşitlik 3'te gösterilen ampirik AASHTO formülü kullanılarak üstyapı tabaka kalınlıkları hesabına dahil edilmiş ve $CBR_{Zemin} = \%18$ ve $CBR_{Stabilizasyon} = \%24$ için tabaka kalınlıkları Çizelge 8.2.'de gösterilmiştir.

5cm	Aşınma Tabakası	36 cm	5 cm	Aşınma Tabakası	28 cm
8cm	Binder Tabakası		8cm	Binder Tabakası	
23cm	Plent-mix Temel		15cm	Plent-mix Temel	
	Zemin CBR %18		10cm	Zemin+%4 C60B2 CBR %24	
				Zemin CBR %18	
Zemin Kesiti			Zemin+ C60B2 Kesiti		

Çizelge 8.2. Stabilizasyondan Önce ve Sonraki Tabaka Kalınlıkları

Kesit incelendiğinde stabilizasyon yapılmamış zeminde Plentmix-Temel kalınlığının 23 cm olarak tespit edildiği, taban zemini katyonik asfalt emülsiyonu ile stabilize edilen kesitte ise 15 cm temel kesitine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Batman Rafineri'den C60B2 katyonik asfalt emülsiyonu taşınacağı ve Iğdır-Ağrı arasında yapılacak yola mesafenin 420 km olduğu, taş ocağının yola mesafesinin ortalama 71,5 km olduğu kabul edilerek ekonomik karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre stabilizasyon yapılmayan zemin üzerine yapılan üstyapıda, stabilizasyondaki kesitten farklı olarak fazladan 8 cm Plent-miks temel imalatı, fazla olan bu 8 cm malzemenin 71,5 km'den nakli ve fazladan 8 cm zemin kazısı gerektirmekte olup, inşa edilecek yolun 1 metresi 2016 yılı birim fiyatlarıyla **1676,78 TL** maliyet gerektirmektedir. Stabilizasyon yapılan zemin üzerinde tasarlanan üstyapıda ise fazladan %4 oranında C60B2 katyonik bitüm emülsiyonunun malzeme, enjeksiyon ve 420 km'den nakliye bedeli gerekmekte olup bahsi geçen imalatların inşa edilecek yolun 1 metresi 2016 yılı birim fiyatlarıyla **1643,29 TL** maliyet gerektirmektedir.

Maliyetler karşılaştırıldığında 1 metre yol inşaatı için stabilize edilmemiş zemin kesitiyle tasarlanan üstyapının, C60B2 ile stabilize edilmiş zemin üzerine tasarlanan üstyapıya kıyasla **33,49 TL** daha maliyetli olduğu hesaplanmıştır. Projenin tamamı değerlendirildiğinde ise stabilizasyon yapılan zemin üzerine yapılacak yolda **4.789.070,00 TL** maliyet azalacaktır.

CBR ve kesit ilişkisi irdelendiğinde alt temel tabakasına ihtiyaç duyulmadığı görülmekte olup bu da aslında bu zeminin ve zemin stabilizasyonunun daha büyük trafik yüklerine de hizmet edeceği anlaşılmaktadır.

Trafik yüklerinin yaklaşık 4,5 kat daha fazla olduğu Hatay ve Kahramanmaraş şehirleri arasındaki araç değerleri Karayolları Genel Müdürlüğü istatistiklerinden temin edilmiş olup Çizelge 8.3.'te gösterilmektedir.

Araç türü	YOGT	Yıllık artış miktarı (%)
Kamyon	2215	3
Treyler	1500	
Otobüs	303	5
Otomobil	15500	

Çizelge 8.3. Hatay-Kahramanmaraş Arası 2015 Yılına Ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik Verileri

Hatay-Kahramanmaraş şehirleri arasında aynı teknik standartlarda yapılacak bir yolun kesiti Çizelge 8.4.'de gösterilmektedir.

5cm	Aşınma Tabakası	62 cm	5 cm	Aşınma Tabakası	50 cm
8cm	Binder Tabakası		8cm	Binder Tabakası	
49cm	Plent-mix Temel		37cm	Plent-mix Temel	
	Zemin CBR %18		10cm	Zemin+%4 C60B2 CBR %24	
				Zemin CBR %18	

Çizelge 8.4. Stabilizasyondan Önce e Sonraki Tabaka Kalınlıkları

Kesit incelendiğinde stabilizasyon yapılmamış zeminde Plentmix-Temel kalınlığının 49 cm olarak tespit edildiği, taban zemini katyonik asfalt emülsiyonu ile stabilize edilen kesitte ise 37 cm temel kesitine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Mersin ATAŞ Rafineri'den C60B2 katyonik asfalt emülsiyonu taşınacağı ve Hatay-Kahramanmaraş arasında yapılacak yola mesafenin 269 km olduğu, taş ocağının yola mesafesinin ortalama 88,5 km olduğu kabul edilerek ekonomik karşılaştırma

yapılmıştır. Buna göre stabilizasyon yapılmayan zemin üzerine yapılan üstyapıda, stabilizasyondaki kesitten farklı olarak fazladan 12 cm Plent-miks temel imalatı, fazla olan bu 12 cm malzemenin 88,5 km'den nakli ve fazladan 12 cm zemin kazısı gerektirmekte olup, inşa edilecek yolun 1 metresi 2016 yılı birim fiyatlarıyla **2060,80 TL** maliyet gerektirmektedir. Stabilizasyon yapılan zemin üzerinde tasarlanan üstyapıda ise fazladan %4 oranında C60B2 katyonik bitüm emülsiyonunun malzeme, enjeksiyon ve 269 km'den nakliye bedeli gerekmekte olup bahsi geçen imalatların inşa edilecek yolun 1 metresi 2016 yılı birim fiyatlarıyla **1965,92 TL** maliyet gerektirmektedir.

Maliyetler karşılaştırıldığında 1 metre yol inşaatı için stabilize edilmemiş zemin kesitiyle tasarlanan üstyapının, C60B2 ile stabilize edilmiş zemin üzerine tasarlanan üstyapıya kıyasla **94,88 TL** daha maliyetli olduğu hesaplanmıştır. Projenin tamamı değerlendirildiğinde ise stabilizasyon yapılan zemin üzerine yapılacak yolda **16.793.760,00 TL** maliyet azalacaktır.

Trafik yüklerinin yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu Adana ve Mersin şehirleri arasındaki araç değerleri Karayolları Genel Müdürlüğü istatistiklerinden temin edilmiş olup Çizelge 8.5.'te gösterilmektedir.

Araç türü	YOGT	Yıllık artış miktarı (%)
Kamyon	3555	3
Treyler	3920	
Otobüs	450	5
Otomobil	26000	

Çizelge 8.5. Adana-Mersin Arası 2015 Yılına Ait Yıllık Ortalama Günlük Trafik Verileri

Adana-Mersin şehirleri arasında aynı teknik standartlarda yapılacak bir yolun kesiti Çizelge 8.6.'de gösterilmektedir.

5cm	Aşınma Tabakası	79 cm		5 cm	Aşınma Tabakası	65 cm
8cm	Binder Tabakası			8cm	Binder Tabakası	
66cm	Plent-mix Temel			52cm	Plent-mix Temel	
	Zemin CBR %18			10cm	Zemin+%4 C60B2 CBR %24	
					Zemin CBR %18	
Zemin Kesiti			Zemin+ C60B2 Kesiti			

Çizelge 8.6. Stabilizasyondan Önce ve Sonraki Tabaka Kalınlıkları

Kesit incelendiğinde stabilizasyon yapılmamış zeminde Plentmix-Temel kalınlığının 66 cm olarak tespit edildiği, taban zemini katyonik asfalt emülsiyonu ile stabilize edilen kesitte ise 52 cm temel kesitine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Mersin ATAŞ Rafineri'den C60B2 katyonik asfalt emülsiyonu taşınacağı ve Adana-Mersin arasında yapılacak yola mesafenin 43 km olduğu, taş ocağının yola mesafesinin ortalama 43 km olduğu kabul edilerek ekonomik karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre stabilizasyon yapılmayan zemin üzerine yapılan üstyapıda, stabilizasyondaki kesitten farklı olarak fazladan 14 cm Plent-miks temel imalatı, fazla olan bu 14 cm malzemenin 43 km'den nakli ve fazladan 14 cm zemin kazısı gerektirmekte olup, inşa edilecek yolun 1 metresi 2016 yılı birim fiyatlarıyla **2287,23 TL** maliyet gerektirmektedir. Stabilizasyon yapılan zemin üzerinde tasarlanan üstyapıda ise fazladan %4 oranında C60B2 katyonik bitüm emülsiyonunun malzeme, enjeksiyon ve 43 km'den nakliye bedeli gerekmekte olup bahsi geçen imalatların inşa edilecek yolun 1 metresi 2016 yılı birim fiyatlarıyla **2164,76 TL** maliyet gerektirmektedir.

Maliyetler karşılaştırıldığında 1 metre yol inşaatı için stabilize edilmemiş zemin kesitiyle tasarlanan üstyapının, C60B2 ile stabilize edilmiş zemin üzerine tasarlanan üstyapıya kıyasla **122,47 TL** daha maliyetli olduğu hesaplanmıştır. Projenin tamamı değerlendirildiğinde ise stabilizasyon yapılan zemin üzerine yapılacak yolda **10.532.420,00 TL** maliyet azalacaktır.

Çalışmada dizayn edilen yolların maliyet analizleri Çizelge 8.7'de gösterilmektedir.

Tasarımı Yapılan Yol Güzergahı	Yol Uzunluğu	Stabilize Edilmemiş Zemin ile Yapılan Yolun 1 m. Maliyeti	Stabilize Edilmiş Zemin ile Yapılan Yolun 1 m. Maliyeti	1 m. Yolda Elde Edilen Kar Miktarı	Tüm Projede Elde Edilen Kar Miktarı
Iğdır-Ağrı	143	1676,78	1643,29	33,49	4.789.070,00 TL
Hatay-K.Maraş	177	2060,80	1965,92	94,88	16.793.760,00 TL
Adana-Mersin	86	2287,23	2164,76	122,47	10.532.420,00 TL

Çizelge 8.7. Güzergahlara Göre Maliyet Analizleri

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada esnek kaplamalı yollarda, zeminin bitüm emülsiyonu C60B2 ile stabilize edilerek CBR değerinin artırılması ve artan CBR değeri ile tasarlanmış olan kesite ait tabaka kalınlıklarının stabilize yapılmadan tasarlanmış olanla karşılaştırılması ve sonucunda sağlanabilecek ekonomik avantajlar araştırılmıştır.

Çalışmalar yapılırken gradasyon özellikleri farklı olan kireç taşı kökenli A ve B tipi zeminler kullanılmıştır. İnce malzeme oranı nispeten daha fazla olan A tipi zemine ve iri malzeme oranı daha fazla olan B tipi zemine %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında bitüm emülsiyonu C60B2 ilave edilerek hazırlanan numunelerin Marshall stabilite değerleri tespit edilmiş, A tipi zeminde %4 bitüm emülsiyonu karışımı ile hazırlanan numunelerin Marshall stabilizasyon ve CBR değerlerinin daha büyük olduğu tespit edilmiş ve tasarım için A tipi zemin ile hazırlanacak stabilizasyon tercih edilmiştir.

A tipi zeminin CBR değerleri incelendiğinde normal zeminin CBR değeri %18, stabilizasyonun CBR değeri ise %24 olduğu görülmüş ve %33,3 gibi bir zemin iyileşmesi meydana geldiği görülmüştür.

Kıyaslama yapabilmek amacıyla farklı trafik yüklerine maruz kalan aynı fiziksel ve teknik özelliklere sahip (13 metre kaplama genişliği, 20 metre taban genişliği vs.) bir yol dikkate alınmıştır.

Trafik yükünün diğerlerine göre daha az olduğu Iğdır-Ağrı şehirleri arasında yapılacak yol kesitinde, stabilizasyon yapılan kesit kalınlığının 28 cm stabilizasyon yapılmayan kesit kalınlığı ise 36 cm olarak hesaplanmış olup, kesit kalınlığının toplamda 8 cm azaldığı belirlenmiştir. Proje maliyeti dikkate alındığında ise %2 ekonomi sağlandığı görülmektedir.

Trafik yükünün diğerlerine göre orta düzeyde olduğu Hatay-Kahramanmaraş şehirleri arasında yapılacak yol kesitinde, stabilizasyon yapılan kesit kalınlığının 50 cm stabilizasyon yapılmayan kesit kalınlığı ise 62 cm olarak hesaplanmış olup, kesit kalınlığının toplamda 12 cm azaldığı belirlenmiştir. Proje maliyeti dikkate alındığında ise %4,6 ekonomi sağlandığı görülmektedir.

Trafik yükünün diğerlerine göre daha fazla olduğu Adana-Mersin şehirleri arasında yapılacak yol kesitinde, stabilizasyon yapılan kesit kalınlığının 65 cm stabilizasyon yapılmayan kesit kalınlığı ise 79 cm olarak hesaplanmış olup, kesit kalınlığının toplamda

14 cm azaldığı belirlenmiştir. Proje maliyeti dikkate alındığında ise %5,36 ekonomi sağlandığı görülmektedir.

Yukarıda verilen sonuçlar dikkate alındığında %4 oranında C60B2 ile stabilize edilen A tipi zeminin üzerine dizayn edilen yolun toplam kesit kalınlıklarının ve proje birim maliyetlerinin; stabilize edilmemiş zemin üzerine dizayn edilen toplam kesit kalınlıkları ve proje birim maliyetlerine göre daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca trafik yükleri arttıkça stabilize edilen ve stabilize edilmeyen zemin üzerine yapılan yolun kesit kalınlıkları ve proje birim maliyetleri arasındaki farkın da arttığı görülmektedir.



KAYNAKLAR

- AASHTO T193, 1999. Standart method of test for the California Bearing Ratio, AASHTO, Washington, U.S.A.
- Cai, Y., Shi, B., Charles, W.W. ve Ng, Tang, C.,2006. Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey. Soil engineering geology. 87, p.230– 240.
- Chauhan, M.S., Mittal, S. ve Mohanty, B., 2008. Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre. Geotextiles and Geomembranes. 26, p.429–435.
- Cilason, N., 1964. Toprak stabilizasyonu, K.G.M., Yayın No: 122, Ankara.
- Dermatas, D. ve Meng, X., 2003. Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. Engineering Geology. 70, p.377–394.
- Eren, S. ve Filiz, M., 2009. Comparing the conventional soil stabilization methods to the consolid system used as an alternative admixture matter in Isparta Darıdere material. Construction and Building Materials. 23, p.2473–2480.
- Gerald, A., Miller, U. ve Azadb, S.,2000. Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust. Construction and Building Materials. 14, p.89-97.
- Hallaç, M.C., TURĞUT, P. ve ARSLAN, A.,2002. Bitüm emülsiyonların asfaltlı üstyapı malzemesi olarak yollarda kullanımı. GAP IV.Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa.
- Ilıcalı, M., Eren, K., Özen, H., Sönmez, İ. ve Tayfur, S., 2001. Asfalt ve uygulamaları. İSFALT Yayınları, İstanbul.
- Kolias, S., Kasselouri-Rigopoulou, V. ve Karahalios, A., 2005. Stabilisation of clayey soils with high calcium fly ash and cement. Cement & Concrete Composites. 27, p.301–313.
- Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Geçkil, A., 2011. Çimento stabilizasyonlu zeminin esnek üstyapı maliyetine etkisi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Lav, A.H., Lav, M.A. ve Göktepe, A.B., 2006. Analysis and design of a stabilized fly ash as pavement base material fuel. 85, p.2359–2370.
- Prabakar, J., Dendorkar, N. ve Morchhale R.K., 2004. Influence of fly ash on strength behavior of typical soils. Construction and Building Materials. 18, p.263–267.
- Önalp, A., 1983. İnşaat mühendislerine geoteknik bilgisi. Cilt II Karadeniz Üniversitesi Yayın No: 3, p.1225, Trabzon.
- Seco, A., Ramírez, F., Miqueleiz, L. ve García, B., 2011. Stabilization of expansive soils for use in construction. Applied Clay Science, İspanya.
- Şenol, A., Edil, T.B., Bin-Shafique, M.S., Acosta, H.A. ve Benson, C.H., 2006. Soft subgrades stabilization by using various fly ashes. Resources. Conservation and Recycling. 46, p.365–376.
- TS 1802 Yol Yapılarında kullanılan anyonik bitümlü emülsiyonların standart özellikleri, 2002.
- TS 1900, 1987, 'İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, Ankara.
- Tumluer, G., 2006. Çimento katkılı kumlu zeminlerin mukavemeti. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Tunç, A., 2004. Kaplama mühendisliği ve uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Tunç, A., 2007. Yol malzemeleri ve uygulamaları. Nobel Yayın Dağıtım.
- Tunç, A., 2002. Yol mühendisliğinde geoteknik ve uygulamaları. Atlas Yayın Dağıtım.
- Umar, F. ve Ağar, E., 1985. Yol Üstyapısı, İTÜ Yayınları.
- Uzuner, B., 2000. Temel mühendisliğine giriş. Derya Kitabevi, p.205, Trabzon.

Whiteoak, D., 2004. Shell bitumen handbook David. İsfalt, İstanbul
Witczak, M, W. ve Yoder, E., J., 1975. Principles of pavement design. USA.



ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1984 yılında Malatya’da doğdu. İlkokul, ortaokulu ve lise eğitimini Malatya’da tamamladı. Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2002 yılında kazandı. Üniversiteden 2008 yılında mezun oldu. 2011 yılında Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü’nde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. 2013 yılında yine Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığına bağlı Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü’nde İnşaat Mühendisi olarak göreve devam etti. İskenderun Teknik Üniversitesinin Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Ocak 2013-Haziran 2017 tarihleri arasında Yüksek Lisans eğitimine devam etti. Halen Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı’na bağlı Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü’nde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.