

**TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMINDA KATKI MADDESİ OLARAK
FİBER YERİNE DİATOMİT'İN UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Serdar KAŞAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMALARI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

Serdar KAŞAK tarafından hazırlanan TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMINDA KATKI MADDESİ OLARAK FİBER YERİNE DİATOMİT'İN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. M.Kürşat ÇUBUK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Trafik Planlaması ve Uygulamaları Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof.Dr. Nail ÜNSAL

Üye : Prof.Dr. Süleyman PAMPAL

Üye : Yrd.Doç.Dr. M.Kürşat ÇUBUK (Tez Danışmanı)

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

Üye : Yrd.Doç.Dr. Seda HATİPOĞLU

Tarih: : 31/01/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serdar KAŞAK

**TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMINDA KATKI MADDESİ OLARAK
FİBER YERİNE DİATOMİT'İN UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Serdar KAŞAK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2007

ÖZET

Ülkemizde yolcu taşımacılığının % 95' i ve yük taşımacılığının yaklaşık % 90' ı karayolları üzerinde yapılmaktadır. Bununla birlikte yollarımızda; artan trafik hacmi, aşırı yükleme, iklim ve yapım koşullarından gelen olumsuz etkiler de eklendiğinde yorulma, tekerlek izi oluşumu ve ondülasyon gibi kalıcı deformasyonlar oluşmaktadır. Yollarımızın yaygın olarak görülen bozulma şekli ağır taşıtların etkili olduğu aşırı yüklemekten kaynaklanan tekerlek izi (Rutting) oluşumlarıdır. Asfalt karışımı uygulamalarının maliyeti çok büyük rakamlara ulaşmaktadır. Yol yapımında kullanılan harcamaların amacına ulaştığını görmemiz, imalatların istenilen kalitede, titizlikte yapılması ve gelişen teknolojileri zamanında takip edip ülkemiz şartlarına göre uyum sağlamamızla birebir ilgilidir. Diğer sıcak karışım çeşitlerine göre Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımlarının sıcak iklim koşullarında ve ağır trafik yükleri altında iyi davranış gösterdiği konuyla ilgili kişiler tarafından bilinmektedir. Finansal kaynaklarımızın kısıtlı olması nedeniyle her türlü mühendislik projelerimizin ekonomik, verimli, hizmet süresi boyunca çok fazla bakım masrafı gerektirmeyen imalatlar olması gerekmektedir. Bu kapsamda, kaplamanın performansını artırmak için TMA karışımlarının yol yapımında kullanımı ön plana çıkmaktadır. TMA karışımların geliştirilmesi, ülke şartları içinde uygulanabilirliğinin artması, yollarımızın daha uzun süre bozulmadan hizmet

etmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada; Diatomit katkısının TMA karışımlarda uygulanıp uygulanamayacağı ve ülkemiz ekonomisine sağlayabileceği yararlar araştırılmıştır. Bu amaçla Marshall dizaynı deneyleri, plastik deformasyonlara karşı davranışı belirleyen tekerlek izinde oturma tayini (Rutting) deneyleri, önemli bir deney olan karışımların tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımını belirleyen yorulma (Fatigue) deneyleri ve indirek çekme mukavemeti deneyleri yapılarak bunlardan elde edilen veriler kullanılarak, diatomitin TMA karışımlarının performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bilim Kodu : 911.0.822
Anahtar Kelimeler : Taş Mastik Asfalt, Tekerlek İzi, Diatomit, Yorulma
Sayfa Adedi : 188
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. M.Kürşat ÇUBUK

**EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON THE USAGE
OF THE DIATOMITE INSTEAD OF FIBER
IN THE STONE MASTIC ASPHALT MIXTURE
(M.Sc. Thesis)**

Serdar KAŞAK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2007**

ABSTRACT

In our country 95 percent of the passenger transportation and approximately 90 percent goods transportation are provided by using the highway transportation system. However on the our highways, increasing high volume of annual average daily traffic (AADT) and over loading and addition of negative effects of climate and construction conditions cause the permanent deformations like that fatigue cracking, rutting and shoving. The most common deterioration type is the rutting due to the heavy vehicles and their overloading. The construction cost of the bituminous hot mixtures reaches huge prices. If we don't want to the costs come to nothing we must construct high quality roads with adaptation of developing technology, regarding the our country conditions. It is known by people interested in highways technology SMA (Stone Mastic Asphalt) mixtures behaviours are better than the other hot mix types in the hot climate conditions and under the heavy traffic loads. Because of our restricted financial sources every type of engineering projects must be economic, productive and it has low maintenance cost. In this aspect, the use of SMA mixtures provides significant advantages in improving the performance of pavements. Improving the new type of the SMA mixtures and increasing application of SMA mixtures are very important to prolong the pavement life. In this study, it was investigated that Diatomite material can be applied or not in the SMA mixture and its advantages

for the our country economy. For that purpose, Marshall designs were prepared and the rutting tests were performed to find out plastic deformation behaviors and the fatigue life of the SMA mixtures was determined using four point bending beam fatigue test. And also indirect tensile tests were carried out on the SMA mixtures. Therefore, the effects of the diatomite on the performance of SMA mixtures were researched, by analysing these tests results.

Science Code : 911.0.822

Key Words : Stone Mastic Asphalt, Rutting, Diatomite, Fatigue

Page Number: 188

Adviser : Yrd. Doç. Dr. M.Kürşat ÇUBUK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca sürekli yardım, katkı ve yol göstererek beni yönlendiren tez danışmanım değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK'a, akademik çalışmalara daima destek veren Teknik Araştırma Dairesi Başkanımız Sayın Münevver ATASARAL'a, destek ve teşviklerini esirgemeyen lisansüstü eğitime girmeme vesile olan her konuda yardımını aldığım Üstyapı Şubesi Müdürü Sayın A.Gürkan GÜNGÖR'e, kıymetli tecrübelerinden sürekli yararlandığım ve çalışmalarımda yol gösteren Bitümlü Karışımlar Lab. Şefi Sayın Fatma ORHAN'a, laboratuarlarda görevli tüm çalışma arkadaşlarıma ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan yüksek lisans tezimi bitirmem için sürekli destek olan eşime, anneme, babama, kardeşime ve özellikle yardımlarını unutamayacağım küçük kızım Melike'ye en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR	3
2.1. Yol Altyapısı	3
2.2. Yol Üstyapısı.....	3
2.2.1. Rijit üstyapı	3
2.2.2. Esnek üstyapı	3
2.3. Üstyapı Tipinin Seçimi	4
2.4. Üstyapının Görevleri.....	4
2.5. Esnek Üstyapıların Tasarımı	4
2.6. Esnek Üstyapı Tabakaları ve Malzemeleri	6
2.6.1. Esnek üstyapı tabakaları.....	6
2.6.2. Esnek üstyapı malzemeleri.....	13
3. YOL ÜSTYAPISINDA OLUŞAN BOZULMALAR	21
3.1. Yorulma Çatlakları (Timsah Sırtı Çatlaklar)	22
3.2. Teker İzi Olukları.....	24

Sayfa

3.2.1. Tekerlek izi oluşum şekilleri	25
3.3. Deformasyonlar	27
3.3.1. Teker izi olukları	28
3.3.2. Ondülasyonlar	28
3.3.3. Bölgesel oturma, çökme ve kabarmalar	30
3.4. Ayrışmalar	32
3.5. Çatlaklar	33
3.5.1. Yorulma Çatlakları	33
3.5.2. Stabilite (blok)	33
3.5.3. Kenar çatlakları	34
3.5.4. Boyuna çatlaklar	35
3.5.5. Enine çatlaklar	37
3.5.6. Yansıma çatlakları	38
3.5.7. Düşük sıcaklık çatlakları	39
3.6. Esnek Kaplamada Zamanla Meydana Gelen Kusurlar Ve Ana Nedenleri ...	40
4. AĞIR TAŞIT TRAFİĞİNİN BOZULMALARA ETKİSİ	41
4.1. Aşırı Yük Taşımanın Karayoluna Etkisi	41
4.2. Fazla Yük Taşımanın Esnek Üstyapılarda Oluşturduğu Bozulma	43
4.3. Fazla Yük Taşımanın Araca Etkisi	44
4.4. Fazla Yük Taşımanın Kazalara Etkisi	45
4.5. Fazla Yük Taşımanın Yoldan Sorumlu Kuruma Etkisi	45
4.6. Fazla Yük Taşımanın Yolu Kullananlara Etkisi	45
4.7. Aşırı Yüklü Araçlardan Dolayı Yolun Yapısında Meydana Gelen Kalıcı Deformasyonlar	46

Sayfa

4.8. Tekerlek İzi Oluşumu Gibi Kalıcı Deformasyonların Oluşumunda Sıkıştırmanın Önemi	48
4.9. Sıkıştırmanın Temel İlkeleri	48
5. BOZULMALARA KARŞI DAYANIMLI KARIŞIMLAR	50
6. TAŞ MASTİK ASFALT (TMA) KARIŞIMLAR	51
6.1. TMA Karışımların Tarihçesi.....	52
6.2. Niçin TMA Kullanmalıyız?	54
6.3. Avrupa’da TMA Üretimi	55
6.4. TMA’nın Fonksiyonel Üstyapı Yüzey Karakteristikleri.....	56
6.4.1. Kayma direnci	57
6.4.2. Düzgünlük / tekerlek izi	58
6.4.3. Gürültü	59
6.4.4. Yüzey durabilitesi	60
6.4.5. Görünürlük	60
6.5. Yapım Şartları	61
6.6. TMA Kaplamalarından Beklenen Performansın Elde Edilebilmesi İçin Gerekli Hususlar	62
6.7. TMA Kullanımı İle Sağlanan Yararlar ve Sonuçlar	63
7. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	68
7.1. Agregalar.....	68
7.1.1. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri	71
7.1.2. Karışım gradasyonu	71
7.2. Bitümlü Bağlayıcı	72
7.3. Kullanılan Katkı Malzemeleri.....	73

Sayfa

7.3.1. Bitümlü selülozik fiber (BSF)	73
7.3.2. Diatomit (DİA)	74
8. FİBER VE DİATOMİT KULLANILARAK HAZIRLANAN TMA KARIŞIMLARA UYGULANAN DENEYLER VE DENEY SONUÇLARI	81
8.1. Marshall Metodu İle Dizayn	81
8.1.1 Marshall dizayn metodunun yapılış aşamaları	82
8.1.2. Marshall dizayn metoduna göre elde edilen deney sonuçları	83
8.2. Bitüm Süzülme Deneyi	89
8.2.1. Bitümlü süzülme deneyinin yapılışı	90
8.2.2. Bitüm süzülme deneyi sonuçları	92
8.3. Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci İçin Standart Deney Metodu(İÇM)	92
8.3.1. İÇM deneyinin yapılışı	93
8.3.2. Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deney metodu sonuçları	96
8.4. Tekerlek İzinde Oturma Tayini Deneyi (RUTTING)	97
8.4.1. Tekerlek izinde oturma tayini deneyi yapılışı	98
8.4.2. Tekerlek izinde oturma tayini deneyi sonuçları	100
8.5. Tekrarlı Yük Altında Yorulmaya Karşı Direnç Dayanımı (FATIGUE).....	103
8.5.1. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deneyi yapılışı	104
8.5.2. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deneyi sonuçları	107
8.6. Diatomit İle Fiberin TMA Karışımlarda Kullanılması Durumunda Oluşacak Maliyetlerin Karşılaştırılması.....	117
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	120

Sayfa

KAYNAKLAR	125
EKLER.....	128
EK-1. Marshall deneyi sonuçları.....	129
EK-2. Bitüm süzülme deneyi sonuçları	137
EK-3. Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deney metodu uygulaması sonuçları	138
EK-4. Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (RUTTING) sonuçları	140
EK-5. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları	146
ÖZGEÇMİŞ	166

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Esnek kaplama tabakaları fiziksel özellikleri	7
Çizelge 2.2. Temel/alttemel tabakaları gradasyon limitleri	11
Çizelge 2.3. Temel/alttemel tabakalarının özellikleri	12
Çizelge 2.4. Seçme malzeme özellikleri	13
Çizelge 2.5. Agregalara uygulanan deneyler	16
Çizelge 2.6. Penetrasyon sınıflandırması	17
Çizelge 2.7. Sıcak asfalt karışımların özelliklerine etki eden parametreler	20
Çizelge 3.1. Asfalt kaplama kusurları ve nedenleri	40
Çizelge 6.1. Avrupa’da TMA üretimi, 2003	56
Çizelge 6.2. Diğer karışım tiplerine göre TMA gürültü seviyesi.....	59
Çizelge 7.1. Agregalara uygulanan deney sonuçları.....	71
Çizelge 7.2. Seçilen TMA gradasyonu ve şartname limitleri	72
Çizelge 7.3. Bitümlü bağlayıcıya uygulanan deneyler ve sonuçları	73
Çizelge 7.4. Diatomit madeninin fiziksel özellikleri	77
Çizelge 7.5. Diatomitlerin kimyasal kompozisyonları.....	77
Çizelge 7.6. Diatomitin dünyadaki rezerv durumları.....	78
Çizelge 7.7. Diatomitin ülkemizdeki rezerv durumları.....	78
Çizelge 8.1. TMA Tip-1 dizayn kriterleri	83
Çizelge 8.2. Marshall dizaynı deney sonuçları tablosu.....	87
Çizelge 8.3. Schellenberger bitüm süzülme deney sonuçları.....	92
Çizelge 8.4. İÇM deney sonuçları özet tablosu.....	96
Çizelge 8.5. TİO tayini deney sonuçları özeti.....	100

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 8.6. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) sonuçları	114
--	-----

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Rijit üstyapı kesiti	3
Şekil 2.2. Esnek üstyapı kesiti.....	4
Şekil 2.3. Esnek kaplamada gerilme dağılımı.....	8
Şekil 3.1. Yorulma çatlakları (timsah sırtı çatlaklar)	22
Şekil 3.2. Yapısal tekerlek izi	26
Şekil 3.3. Akma tekerlek izi.....	26
Şekil 3.4. Konsolidasyon ve yüzeysel tekerlek izi.....	27
Şekil 3.5. Yansıma çatlağının oluşumu	38
Şekil 3.6. Düşük sıcaklık çatlağı şekilleri	39
Şekil 3.7. Düşük sıcaklık çatlağının büyüme aşaması	40
Şekil 4.1 Tekerlek yükünün üstyapıda dağılımı.....	46
Şekil 4.2. Tekerlek yükünden dolayı oluşan çekme ve basınç gerilmeleri	47
Şekil 7.1. Seçilen TMA gradasyonu ve şartname değerleri eğrisi	72
Şekil 8.1. Karışım türlerine göre optimum bitüm %'leri	87
Şekil 8.2. Karışım türlerine göre boşluk (Vh) %'leri.....	88
Şekil 8.3. Karışım türlerine göre agregalar arası boşluk (VMA) %'leri.....	88
Şekil 8.4. İÇM numuneleri, yük uygulanması ve yükleme şeritleri.....	95
Şekil 8.5. Tekerlek izinde oturma tayini numuneleri deformasyon ölçüm noktaları	99
Şekil 8.6. Diatomitli numunelerin ortalama tekerlek izinde oturma %'si değeri.....	101
Şekil 8.7. Fiberli numunelerin ortalama tekerlek izinde oturma %'si değeri	101
Şekil 8.8. Tekerlek izinde oturma tayini deney sonuçları genel karşılaştırma.....	102

Şekil	Sayfa
Şekil 8.9. Dört nokta eğilmeli tekrarlı yorulma deney aleti çalışma prensibi.....	106
Şekil 8.10. Fiberli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı	108
Şekil 8.11. Fiberli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji	108
Şekil 8.12. Diatomitli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı.....	109
Şekil 8.13. Diatomitli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji.....	109
Şekil 8.14. Fiberli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı.....	110
Şekil 8.15. Fiberli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji	110
Şekil 8.16. Diatomitli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı.....	111
Şekil 8.17. Diatomitli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji.....	111
Şekil 8.18. Fiberli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı	112
Şekil 8.19. Fiberli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji	112
Şekil 8.20. Diatomitli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı	113
Şekil 8.21. Fiberli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji	113
Şekil 8.22. Strain değişimine göre fiberli ve diatomitli karışımların yorulma dayanımı.....	115
Şekil 8.23. Strain değişimine göre fiberli ve diatomitli karışımlarda harcanan enerji.....	115
Şekil 8.24. Strain değişimine göre fiberli ve diatomitli karışımlarda rijitlik %'si azalması.....	116

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Şiddetlerine göre timsah sırtı çatlaklar a)düşük, b)orta, c)yüksek.....	23
Resim 3.2. Şiddetlerine göre teker izi olukları a)düşük, b)yüksek	25
Resim 3.3. Şiddetlerine göre ondülasyonlar a)düşük, b)orta, c)yüksek.....	29
Resim 3.4. Şiddetlerine göre lokal oturmalar a)düşük, b)orta, c)yüksek.....	31
Resim 3.5. Şiddetlerine göre çukurlar a)düşük, b)yüksek	32
Resim 3.6. Şiddetlerine göre blok çatlaklar a)orta, b)yüksek	34
Resim 3.7. Şiddetlerine göre kenar çatlaklar a)orta, b)yüksek	35
Resim 3.8. Şiddetlerine göre boyuna çatlaklar a)düşük, b)orta, c)yüksek.....	36
Resim 3.9. Şiddetlerine göre enine çatlaklar a)düşük, b)orta, c)yüksek.....	37
Resim 6.1. a)TMA tabakası kesiti ile b)aşınma tabakası kesiti karşılaştırılması.....	51
Resim 6.2. TMA karışımların otobüs duraklarında kullanımı	53
Resim 6.3. TMA karışımların yarış pistlerinde kullanımı	53
Resim 6.4. TMA yüzey dokusu	58
Resim 6.5. TMA yüzey dokusu ile aşınma tabakası karşılaştırılması.....	58
Resim 7.1. Kullanılan diatomitin filler malzeme durumuna getirilmeden önceki hali	69
Resim 7.2. Kullanılan diatomitin değirmenden geçirilerek öğütülmüş durumu.....	69
Resim 7.3. Kullanılan kalker filleri.....	70
Resim 7.4. Kullanılan bazalt filleri	70
Resim 7.5. Viatop 66.....	74
Resim 7.6. Diatomitin mikro yapısı	79
Resim 8.1. Marshall karışımlarının hazırlandığı a)mikser b)sıkıştırıcı tokmak.....	83
Resim 8.2. Marshall briketlerinin tartımlarının alınması	84

Resim	Sayfa
Resim 8.3. Diatomit tartımları örneği (%3 diatomitli).....	84
Resim 8.4. Diatomit tartımları örneği (%4 diatomitli).....	85
Resim 8.5. Diatomit tartımları örneği (%5 diatomitli).....	85
Resim 8.6. Marshall briketleri kalıplar içindeki durumu	86
Resim 8.7. Marshall briketlerinin kalıplardan çıkartılmış durum	87
Resim 8.8. TMA karışımının hazırlanması ve cam beherin boş ve karışım dolu tartımı	90
Resim 8.9. Hazırlanan karışımın 1 saat 170°C etüvde bekleme durumu	91
Resim 8.10. Etüvde 170°C’de 1 saat bekleyen karışımın cam beherden boşaltılması	91
Resim 8.11. Süzülme deneyi sonra oluşan durumlar	91
Resim 8.12. İÇM deneyinde kullanılan yükleme ünitesi	94
Resim 8.13. TİO deneyi numuneleri sıkıştırma aleti	98
Resim 8.14. Tekerlek izinde oturma deneyi aleti.....	98
Resim 8.15. Diatomitli ve fiberli TİO deney numuneleri deney sonrası durumu....	100
Resim 8.16. a)Yorulma(fatigue) deney numuneleri sıkıştırıcısı b)dört-nokta eğilmeli tekrarlı yük uygulayan yorulma deney aleti.....	104
Resim 8.17. Diatomitli yorulma (fatigue) deney numuneleri	105
Resim 8.18. Fiberli yorulma (fatigue) deney numuneleri	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
C	Sudaki ağırlık, gr
D	Numune çapı, cm
Defn	Deformasyon, mm
Dp	Pratik özgül ağırlık
Dt	Maksimum teorik özgül ağırlık
E	Elastisite modülü, MPa
Filler %'si	Filler malzeme %'si,(No.200'den geçen)
Gb	Bitüm özgül ağırlık
Gef	Agreganın efektif özgül ağırlığı
Gsb	Agreganın hacim özgül ağırlığı
Gsa	Agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gk-h	Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı
Gk-z	Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gi-h	İnce agreganın hacim özgül ağırlığı
Gi-z	İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gf-z	Filler malzemenin zahiri özgül ağırlığı
İnce %'si	İnce agregası %'si,(No.4-No.200 elek arası)
Kaba %'si	Kaba agregası %'si,(No.4 elek üzeri)
Load	Yük, KN
P	Yük, kg
Pba	Agreganın bitüm absorpsiyonu
RTD1, RTD2	Sıcaklık ölçümleri, °C
St	Çekme mukavemeti, kg/cm ²
T	Numune kalınlığı, cm
V	Hacim, m ³

Simgeler**Vf**

Asfaltla dolu boşluk, %

Vh

Karışım içindeki hava boşluğu, %

VMA

Agregalar arası boşluk, %

Kısaltmalar**Açıklama****A**

Aşınma tabakası

ADB

Asfaltla dolu boşluk

B

Binder tabakası

BSF

Bitümlü selülozik fiber

BSK

Bitümlü sıcak karışım

BT

Bitümlü temel tabakası

CBR

Kaliforniya taşıma oranı

CRS

Katyonik çabuk kesilen asfalt emülsiyonu

CSS

Katyonik yavaş kesilen asfalt emülsiyonu

ÇBGT

Çimento bağlayıcılı granüler temel

DİA

Diatomit

EN

Avrupa standardı

GT

Granüler temel

İÇM

İndirek çekme mukavemeti

KÇ

Kum-Çakıl

KGM

Karayolları Genel Müdürlüğü

KT

Kırma taş

KTŞ

Karayolları Teknik Şartnamesi

MS

Marshall Stabilitesi

PI

Plastisite indeksi

PMT

Plentmiks temel

RS

Çabuk kesilen asfalt emülsiyonu

RUTTING

Tekerlek izinde oturma

SS

Yavaş hızda kesilen asfalt emülsiyonu

Kısaltmalar**Açıklama****TCK**

Türkiye Cumhuriyeti Karayolları

TiO

Tekerlek izinde oturma

TMA

Taş Mastik Asfalt

TS

Türk standardı

1.GİRİŞ

Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımlarının sıcak iklim koşullarında ve ağır trafik yükleri altında iyi davranış gösterdiği konuyla ilgili kişiler tarafından bilinmektedir. Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığının yaklaşık % 95'i karayolları üzerinde yapılmaktadır. Yollarımızın bozulma sebeplerinin başında ağır taşıtların etkili olduğu aşırı yüklemekten kaynaklanan tekerlek izi oluşumları (Rutting) gelmektedir. Türkiye ekonomisinin güçlü olmadığı insanlarımızın yeterli bilince sahip olmadığı sürece yollarımızda aşırı yüklü ağır taşıtlar bozucu etkilerini göstermeye devam edecektir. Şehirlerarası yollarımızın yanında şehir içi yollarda, kavşak noktalarında, trafik ışıklarında ve otobüs durakları gibi yerlerde araçların yavaş hareket etmeleri, dur kalk yapmaları gibi nedenlerden kalıcı deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Finansal kaynaklarımızın kısıtlı olması nedeniyle her türlü mühendislik projelerimizin ekonomik, verimli, hizmet süresi boyunca çok fazla bakım masrafı gerektirmeyen imalatlar olması gereklidir.

Ticari taşıt sayılarındaki artış, bunların dingil sistemlerinin değişmesi ve dingil ağırlıklarının artması, çift tekerlek yerine geniş tabanlı tek tekerlek kullanılması ve lastik iç basınçlarının artması nedenleriyle, tekerlek izi çözülmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Tekerlek izi oluşumuna neden olan başlıca faktörler; aşırı yükler, uzun süreli veya durağan yükler, aşırı yük tekrarı, uygun olmayan malzeme kullanımı, tasarım ve yapım hataları olarak sıralanabilir.

Yolun enine düzgünlüğünün bozulmasına neden olan tekerlek izi oluşumu, konfor ve güvenlik açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Şerit değiştirme sırasında araç kontrolü zorlaşmakta, yağışlı havalarda tekerlek izi oluşmuş kısımlarda su birikmekte ve buzlanmaya veya tekerleğin su filmi üzerinde kaymasına yol açmakta, dolayısıyla fren mesafesi uzamaktadır.

Yukarıda kısaca bahsedilen konular düşünüldüğünde TMA karışımların önemi ön plana çıkmaktadır. TMA karışımların geliştirilmesi ülke şartları içinde uygulanabilirliğinin artması gereklidir. Tez konusu olarak düşündüğümüz Diatomit

katkılı TMA karışımların uygulanıp uygulanamayacağını araştırılması, ülke ekonomisine sağlayabileceği katkıların belirlenmesi ve uygulanabilirliği açısından önemlidir.

Bu çalışmada, çeşitli kalite kontrol deneyleri ile Diatomitin TMA karışımlarında iyi sonuç verip vermeyeceği araştırılmıştır. Tez konusu çalışmaları kapsamında fiberli ve Diatomit katkılı TMA karışımların birbirleriyle mukayesesi yapılmıştır. Ayrıca çalışma konumuzun; Gazi Üniversitesi ve KGM arasında karşılıklı bilgi alış veriş, ortak çalışmalarda bulunulmasının kamu yararı açısından önemi büyüktür. Ülkemizde bilimsel araştırmalara yön veren üniversitelerle kamu kurumları arasında bilgi alış veriş, iletişim ve ortak çalışma konularında bazı sıkıntılar vardır. Yaptığımız çalışmanın; ülkemize, üniversitelerle kurumlar arasındaki ilişkilere faydalı olması ve ileride ortak gerçekleştirilecek çalışmalara da bir örnek oluşturacağını düşünmekteyiz.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Yol Altyapısı

Yol gövdesini oluşturan kısımlar altyapı ve üstyapı olmak üzere ikiye ayrılır. Yol altyapısı yolun projesinde belirtilen yarma ve dolgu işlerini içerir. Yol altyapısı yol üstyapısının davranışını doğrudan etkilediği için yarma ve dolgu işlerinin şartnamelerinde belirtilen esaslara uygun olarak yapılması gereklidir [1].

2.2. Yol Üstyapısı

Yol üstyapısı, trafik yüklerini taşıyan ve azaltarak altyapıya aktaran tabakalı bir yapıya sahiptir. Üstyapılar tabakalarında kullanılan malzemelerin özelliklerine göre genel olarak rijit ve esnek olmak üzere ikiye ayrılırlar [1].

2.2.1. Rijit üstyapı

Yüklerin büyük bölümünün portland çimentosundan yapılmış beton plaka tarafından taşındığı, kalan kısmının altyapıya aktarıldığı üstyapı tipidir. Alttemel ve/veya temel ve/veya grobeton ve onunda üzerine donatılı veya donatısız anolar halinde serilmiş beton plaklar gelir. Üstyapı tabanının dayanımına bağlı olarak plakanın altına temel tabakası yapılabilir ya da yapılmayabilir [1,2]. Uygun biçimde projelendirilip inşa edilirse uzun ömürlü olur ve diğer tip kaplamalara göre daha az bakım gerektirir [4,8].

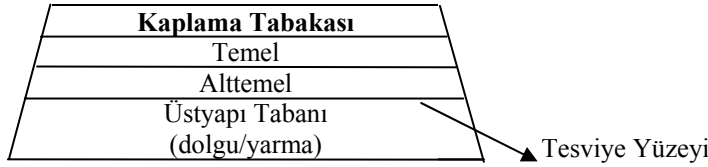
Beton plak
Temel tabakası

Şekil 2.1. Rijit üstyapı kesiti

2.2.2. Esnek üstyapı

Yüklerinin büyük bir kısmının üstyapıyı oluşturan bitümlü bağlayıcılı yada bağlayıcısız tabakalar tarafından taşındığı, kalan kısmın tabana aktarıldığı üstyapı

tipidir. Stabilitesi, agrega kenetlenmesine, dane sürtünmesine ve kohezyona bağlıdır. Esnek üstyapılar kullanım amacı, yolun trafik yükü ve belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş bir seri tabakayı içerir. Tabaka kalınlıkları tabanın taşıma gücü ve trafik yüklerine bağlı olarak hesaplanır [1,2].



Şekil 2.2. Esnek üstyapı kesiti

2.3. Üstyapı Tipinin Seçimi

Taban zemininin özelliklerine, trafiğe, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak üstyapı tipi seçilir. Ülkemizde genellikle esnek üstyapı tipi seçilmekle beraber rijit üstyapı uygulamaları da başlamıştır.

2.4. Üstyapının Görevleri

Yol üstyapısı, altyapısı ile araç tekerleklerinin temas ettiği yüzey arasında düzgün bir yüzey oluşturmak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen alttemel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı bir yapıdır. Üstyapının görevlerini kısaca üç grupta toplayabiliriz [1,3,4].

- Trafik yükünden dolayı oluşan gerilmeleri üzerine olarak tabakalar boyunca dağıtmak ve taban toprağına fazla yük gelmesini önlemek.
- Üzerinde trafiğin akabileceği düzgün bir yüzey oluşturmak.
- Yol gövdesini doğanın bozucu etkilerine karşı korumak.

2.5. Esnek Üstyapıların Tasarımı

Esnek üstyapı kalınlıklarının tayinini, üstyapıyı oluşturan tabakaların cins ve

kalınlıkları ile toplam kaplama kalınlığının belirlenmesi için yapılan analizlerin bütünü olarak tanımlayabiliriz. Kaplama kalınlıklarına etki eden faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- 1) Trafik Şartları (Yük, lastik basıncı ve basınç alanı, yükün tekerrür sayısı, dingil ve lastik konfigürasyonu , şeritsel ve yönsel hacim dağılımı , hız)
- 2) İklim ve Çevre Şartları (Günlük ve mevsimlik ısı değişimleri, sıcaklık ve donma şartları , yeraltı suyu durumu ve drenaj, dik eğimler,park sahaları, kavşak, vb.)
- 3) Zemin, malzeme ve yapım-bakım şartları (Zeminin taşıma gücü, malzeme ve tabakaların özellikleri, kaplama tabakalarının yük dağıtma kabiliyetleri, yorulma dirençleri ve elastikiyet modülleri, kaplamanın yapım ve bakım kalitesi)

Esnek üstyapılar farklı malzemeler ile farklı tabakalardan imal edildikleri için hesaplamaları karışık olup bunu etkileyen nedenleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- 1) Her bir tabaka farklı yük dağıtma kabiliyetine sahiptir.
- 2) Gerilmeler tabaka kalınlığınca üniform olarak değişmemektedir.
- 3) Her bir tabaka arasında farklı yatay ve radyal gerilmeler oluşmaktadır.
- 4) Trafik yükleri ve teker basınç dağılımları çok değişkendir.
- 5) Her bir tabaka farklı malzemelerden yapıldığından dolayı farklı mekanik özelliklere (Esneklik modülü, Kaliforniya taşıma oranı, poisson oranı, yorulma mukavemeti, vb.) sahiptir.
- 6) İklim ve çevre koşulları sürekli değişiklik arz etmektedir.

Esnek üstyapı tasarımı; kaplama tabakalarının karışım tasarımı ve yapısal tasarımı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Burada esnek üstyapının görevi üzerine gelen trafik yüklerini bunlardan oluşan gerilmeleri kaplamada kalıcı deformasyona yol açmadan zemine intikal ettirmektir. Üstyapıda oluşan gerilmeler yukarıdan aşağıya doğru azalır. Bunun için üst tabakalar daha mukavemetli ve alt tabakalar daha düşük mukavemetli fakat dren kabiliyeti daha yüksek malzemelerden farklı kalınlıklarda yapılmalıdır [5].

2.6. Esnek Üstyapı Tabakaları ve Malzemeleri

Üstyapı tabakalarının yük yayma kabiliyeti kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine (örneğin; elastisite modülü, esneklik modülü, poisson oranı, vb.) bağlıdır. Ayrıca esnek üstyapılarda gerilme, deformasyon ve defleksiyon yukarıdan aşağı doğru azalır. Bu yüzden üst tabakalar bitümlü bağlayıcı karışımlar ile, alt kısımdaki tabakalar ise daha düşük mukavemetli ama dren kabiliyeti daha yüksek granüler (KÇ, KT) malzemeler ile yapılmaktadır. Kullanılan malzeme özellikleri ne kadar iyi bilinirse yapılan üstyapı kaplama tasarımı da o derece iyi olacaktır. Esnek üstyapı tabakalarını düşük standartlı esnek üstyapılar (sathi kaplamalar, makadam temeller, koruyucu satıh tabakaları), yüksek standartlı esnek üstyapıların bünyesinde ise alttemel, temel ve BSK tabakaları bulunmaktadır [5,6].

2.6.1. Esnek üstyapı tabakaları

Esnek kaplama tabakalarını şu kısımlara ayırabiliriz [5].

- 1) BSK Tabakaları (TMA, Aşınma, Binder, Bitümlü Temel)
- 2) Temel (Çimento Bağlayıcı Granüler Temel)
Granüler Temel (Plent Miks Temel, Yolda Karıştırılmış Temel)
- 3) Alttemel (Kırmataş, Kum-Çakıl)
- 4) Seçme Malzeme Tabakası
- 5) Stabilize Edilmiş Zemin (veya ıslah edilmiş zemin)

Çizelge 2.1’de; M.S.(kg) Marshall stabilitesi değerini, CBR %, Temel, Alttemel ve taban zemininin taşıma gücünü belirleyen deney ve deney sonucu hesaplanan % cinsinden değeri, SBD (kg/cm^2) Serbest basınç dayanımını, a katsayıları ise tabakaların izafi mukavemet katsayılarını verir. Bir anlamda tabakaların yapımında kullanılan malzemeden gelen taşıma gücünü ifade eder [7].

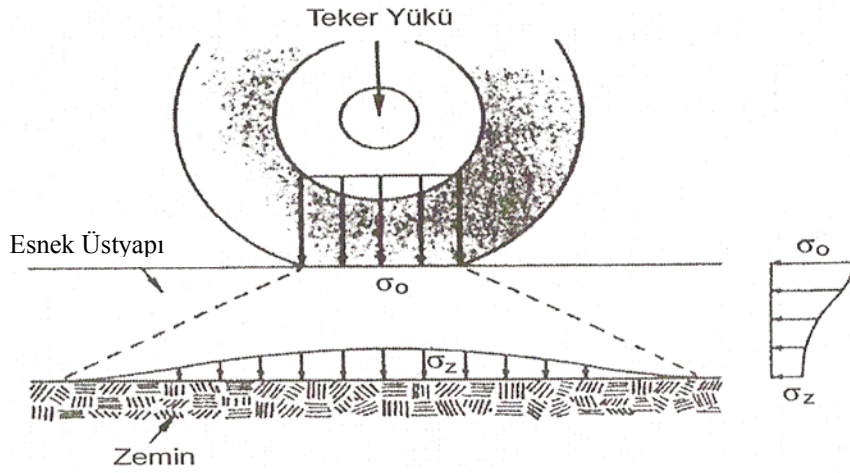
Çizelge 2.1. Esnek kaplama tabakaları fiziksel özellikleri [7]

TABAKA TİPİ	M.S. (kg)	CBR%	SBD kg/cm ²	a katsayısı
a) KAPLAMA TABAKASI				0,44
TMA	≥ 900			0,42
Asfalt Betonu Aşınma(A)	≥ 750			0,40
Asfalt Betonu Binder(B)	≥ 600			0,36
Bitümlü Temel(BT)				
b) TEMEL TABAKASI			35-55	0,23
ÇBGT		≥ 120		0,15
PMT		≥ 100		0,14
GT				
c) ALTTEMEL TABAKASI				
KÇ Alttemel		≥ 50		0,13
KT Alttemel		≥ 30		0,11

Çizelgeden de görüldüğü gibi esnek üstyapıların üst kısımları alt kısımlara göre daha mukavemetli olacak şekilde yapılır. Esnek üstyapıların üst kısmı, bitümlü bağlayıcıları karışımlarla yapıldığından, yüzeysel suların kaplamaya sızmasını önlerken, alt tabakalar bağlayıcısız granüler malzemeden yapıldığı için drenajı kolaylaştırır.

Yüzey tabakası (aşınma, binder)

Esnek üstyapıların yapımında granüler alttemel, temelin üzerine BSK (Bitümlü Sıcak Karışım) tabakaları getirilir. Bu tabakaları Bitümlü temel, Binder, Aşınma olarak sıralayabiliriz. BSK veya bitümlü bağlayıcıları sıcak karışımlar ile elde edilen A, B ve BT tabakaları esnek üstyapıların üst kısmında yer almaktadırlar. Kaplamanın üst kısmında olmalarından ötürü gerilmelere, deformasyonlara ve çevresel etkilere daha fazla maruz kalmalarından dolayı temel ve alttemel tabakalarına nazaran daha stabil ve daha durabil olmak zorundadır.



Şekil 2.3. Esnek üstyapılarda gerilme dağılımı

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi esnek üstyapıların üst kısmı alt tabakalara göre daha büyük gerilmelere maruz kalmaktadır [5].

BSK tabakaları aşağıdaki işlevleri sağlamalıdır;

- Aşınma tabakası sürüş konforu ve taşıt işletme giderleri açısından düzgün ve pürüzsüz yüzeylere sahip olmalıdır.
- Sürüş emniyeti açısından alıymanda, kurbda ve dik eğimlerde yeterli sürtünme direncine sahip olmalıdır.
- Trafik ve çevre etkilerine yani düşük ısı çatlağı, asfaltın soyulması, agreganın cırlanması, vb. kaplama kusurlarına karşı dirençli (yani durabil) olmalıdır.
- Kalıcı deformasyon yapmadan trafik yüklerini alt tabakalara (temel ve alttemel) ve zemine emniyetle yayabilme yeteneğine sahip olmalıdır.
- Tekerrür eden ağır trafik yüklerine karşı yeterli yorulma mukavemetine sahip olmalıdır.
- Kalıcı deformasyonlara (özellikle teker izi oluklarına) karşı dirençli olmalıdır.
- Yüzeysel yağmur sularının temele ve zemine sızmasını önleyecek kadar geçirimsiz olmalıdır.
- Yüksek dolgulu kesimlerde uzun dönemli izin verilebilir oturmalara uyum sağlayacak esnekliğe sahip olmalıdır.
- Ağır trafik yükleri altında geçici deformasyon yapabilecek esnekliğe ama yorulma mukavemeti için gerekli rijitliğe sahip olmalıdır [5,6].

Temel ve alttemel

Doğal zeminden meydana getirilen altyapı üzerine serilen genelde kırmataş, kum, çakıl gibi malzemelerden oluşturulan tabakaya alttemel, kaplama ile alttemel tabakası arasına yerleştirilen ve trafiğin doğrudan temas etmediği, doğal kum, çakıl, kırmataş veya çimento katkısı ile oluşturulan tabakaya temel adı verilir [3,4].

Temel/Alttemel tabakalarının yapım amaçlarını;

- Yük taşıma kabiliyetini artırmak,
- Deformasyonları azaltmak,
- Daha ucuz olmaları nedeniyle daha kalın yapılabildiklerinden ötürü kaplamaya ilave rijitlik, yorulma direnci ve yük yayma kabiliyetini kazandırmak,
- Drenajı sağlamak,
- Donma ve/veya şişme etkilerine karşı ilave koruma sağlamak,
- Kaplama yapımı için uygun bir platform oluşturmak şeklinde sıralayabiliriz.

Temel tabakaları dört farklı biçimde yapılabilir.

1) Granüler Temel (Mekanik Stabilizasyon Temel): GT veya mekanik stabilizasyon temel tabakası, belirli fiziksel özelliklere ve gradasyona sahip agreganın optimum su içeriğinde karıştırılıp yola serildikten sonra kompaktörler yardımıyla maksimum kuru yoğunluğa kadar sıkıştırılması sonucu elde edilen stabil bir temel tabakasıdır. Stabil kavramını; bir temel tabakasının trafik yükleri altında kalıcı deformasyon yapmaması olarak tanımlayabiliriz.

-GT yapımında; Kaba agrega olarak çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış curuf veya kırmataş kullanılır. İnce agrega olarak ise kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum (dere malzemesi) veya curuf kumu kullanılabilir.

-Karıştırma işlemi; sabit veya hareketli bir plentde , yolda greyder ile yapılır.

-Serme işlemi greyder veya finişerle yapılır.

-Kullanılan agreganın gradasyon limitleri ile ilgili bilgiler, fiziksel özellikleriyle ilgili bilgiler, sıkışma kontrolü ile ilgili bilgiler Çizelge 2.3’de toplu olarak gösterilmiştir.

2) *Plentmiks Temel (PMT)*: Mekanik stabilizasyon temel tabakasında olduğu gibi, belirli şartları sağlayan ve iyi derecelenmiş bir gradasyona sahip agreganın plentde optimum su içeriğinde karıştırılması ve yola serilip sıkıştırılması ile elde edilir. GT ile PMT arasındaki farklar ve yapım şartlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Kaba agregası olarak mutlaka kırmataş veya en az iki yüzü kırılmış çakıl veya cüruf olmalı
- İnce agregası malzemesi mekanik stabilizasyon temel ile aynı olmalı
- En az iki ayrı agregası grubu tercihen üç veya daha fazla agregası grubu uygun oranlarda karıştırıldığında Çizelge 2.2’de verilen gradasyon limitlerine uygun olmalı
- Kullanılan agreganın gradasyon limitleri ile ilgili bilgiler, fiziksel özellikleriyle ilgili bilgiler, sıkışma kontrolü ile ilgili bilgiler Çizelge 2.3’de toplu olarak gösterilmiştir.
- Agregaların karıştırma işlemi mutlaka sabit bir plentde yapılmalıdır.

3) *Çimento Bağlayıcı Granüler Temel (ÇBGT)*: PMT tabakasında olduğu gibi, belirli şartları sağlayan ve iyi derecelenmiş bir gradasyona sahip agregaya belirli oranda plentde çimento katarak optimum su içeriğinde karıştırılıp yola serildikten sonra yeterince sıkıştırılması ile elde edilir. Diğer tip temeller ile arasındaki farklar ve yapım şartları aşağıdaki gibidir.

- Kaba agregası mekanik stabilizasyon temel ile aynı olmalı
- İnce agregası plentmiks temel ile aynı olmalı
- En az iki ayrı agregası grubunun tercihen üç veya daha fazla agregası grubunun uygun oranlarda karıştırılması ile Çizelge 2.2’de verilen gradasyon limitlerine uygun olmalıdır.
- Agreganın özellikleri Çizelge 2.3’de belirtilen kriterlere uygun olmalıdır.
- Agregası, çimento ve suyun karıştırma işlemi mutlaka sabit bir plentde yapılmalıdır.
- Minimum sıkışma ve kontrolü ile ilgili hususlar Çizelge 2.3’de belirtilen kriterlere uygun olmalıdır.

ÇBGT bir çeşit zayıf betondur. Bu zayıf betonun normal betona nazaran çimento dozajı düşük olmakla beraber su/çimento oranının oldukça düşük olmasından ötürü yeterli mukavemete sahiptir. Su/çimento oranının düşük olması işlenebilirliğini

(yerleştirme ve sıkıştırma direncini) azaltsa da plentde karıştırılan karışımın kamyonlarla yola nakli, finişerle serimi ve silindirlerle sıkıştırılabilmesi mümkün olur. ÇBGT'nin serim ve sıkıştırma sonrası yüzeyine bir kür tabakası uygulanır.

Kür tabakası olarak;

- MC-30, 70 veya 250
- RS-1,2, SS-1, SS-1h, CRS-1,2, CSS-1, CSS-1h veya MS-1 asfalt emülsiyonu,
- Kimyasal kür maddeleri, gibi malzemelerden biri kullanılır.

4) *Alttemel (AT)*: Alttemel tabakası esnek üstyapıların en alt tabakası olup düşük elastikiyet modülüne, CBR değerine sahip fakat iyi dren olabilen granüler malzemelerden yapılır. Alttemel tabakasında kullanılacak olan agreganın maksimum dane boyutu, gradasyonu, permeabilitesi ve diğer fiziksel özellikleri temel tabakasına nazaran bir miktar farklı olsa da, alttemel ile granüler temel tabakasının işlevleri açısından önemli bir fark yoktur. Alttemel tabakası ile granüler temel tabakası arasındaki en önemli fark, daha düşük maliyette daha kalın bir tabakanın inşa edilebilmesidir. Alttemel tabakasında gradasyon limitleri geniş aralıkta olduğu için uygun dere malzemesi veya ocak kırmataş malzemesi kullanılabilir. Temel tabakalarına göre daha ekonomiktir. Dren kabiliyeti ise daha yüksek olmalıdır [5].

Çizelge 2.2. Temel / alttemel tabakaları gradasyon limitleri [9]

Elek inç (mm)	Alttemel Tabakası		Mekanik Stabilizasyon Temel Tabakası			PMT Tabakası		ÇBGT Tabakası
	Tip-A	Tip-B	A	B	C	Tip-I	Tip-II	
3" (75)	100		-	-	-	-	-	-
2" (50)	-	100	100	-	-	-	-	-
1 1/2" (37,5)	85-100	80-100	80-100	100	-	100		100
1" (25)	-	60-90	60-90	70-100	100	72-100	100	72-100
3/4" (19)	70-100	-	-	60-92	75-100	60-92	80-100	60-92
3/8" (9,5)	45-80	30-70	30-70	40-75	50-85	40-75	50-82	40-75
No.4 (4,75)	30-75	25-60	25-55	30-60	35-65	30-60	35-65	30-60
No.10 (2,00)	-	15-40	15-40	20-45	25-50	20-45	23-50	20-45
No.40 (0,425)	10-25	10-20	8-20	10-25	12-30	8-25	12-30	8-25
No. 200(0,075)	0-12	0-12	2-8	0-12	0-12	0-10	2-12	0-10

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'de Temel / alttemel tabakaları gradasyon limitleri ve temel / alttemel tabakalarının özellikleri toplu halde verilmiştir [5,9].

Çizelge 2.3. Temel/alttemel tabakalarının özellikleri [9]

ÖZELLİKLER		ALTTEMELE	MEKANİK STABİLİZASYON TEMEL	PMT	ÇBGT
AGREGA	Na ₂ SO ₄ ile dayanaklılık	Mak. %20	KABA İNCE Mak.%15 - 2 mm üzeri	KABA İNCE Mak.%15 - 2 mm üzeri	KABA İNCE Mak. %15 - 2 mm üzeri
	Los Angeles Aşınma	Mak. %50	Mak. %40 -	Mak. %40 -	Mak. %40 -
	Yassılık İndeksi	-	Mak. %40 -	Mak. %35 -	Mak. %35 -
	LL-PI	Mak. 25-6	- Mak. 25-6	- Mak. 25-6	- Mak. 25-6
	Kırılmışlık Oranı	-	Min. %50	Min.%100 -	-
	Filler	No.40'dan geçen kısmın 2/3'ünden az	No.40'dan geçen kısmın 2/3'ünden az	No.40'dan geçen kısmın 2/3'ünden az	No.40'dan geçen kısmın 2/3'ünden az
	Kil toprakları	Mak. %2	0 Mak. %1	0 Mak.%1	0 Mak.%1
	Organik maddeler	Mak. %1	0 Mak. %0,5	0 Mak.%0,5	0 Mak.%0,5
	Diğer zararlı maddeler	-	Mak.%1 Mak. %1	Mak.%1 Mak.%1	Mak.%1 Mak.%1
SIKIŞMA	Sıkışmış tabaka kalınlığı	Mak. 20 cm	Mak. 20 cm	Mak. 20 cm	-
	Sıkıştırma kontrolü	-1000 m ² 'de bir Kum Konisi -1000 m ² 'de bir Kasnak -250 m ² 'de bir Nükleer	-1000 m ² 'de bir Kum Konisi -1000 m ² 'de bir Kasnak -250 m ² 'de bir Nükleer	-1000 m ² 'de bir Kum Konisi -1000 m ² 'de bir Kasnak -250 m ² 'de bir Nükleer	7 günlük Serbest Basınc Dayanımı: 35-55 kg/cm ²
	Sıkıştırma Makineleri:				
	Vibrasyonlu Silindir	Statik çizgisel yük>30kg/cm	Statik çizgisel yük>30kg/cm	Statik çizgisel yük>30kg/cm	Statik çizgisel yük>30kg/cm
	Pnömatik Silindir	Lastik başına yük>3,5 ton	Lastik başına yük>3,5 ton	Lastik başına yük>3,5 ton	Lastik başına yük>3,5 ton
	Minimum Sıkışma	%95 Tip-A %97 Tip-B Modifiye Proktor	%98 Modifiye Proktor %95 Titreşimli Tokmak	%100 Modifiye Proktor %97 Titreşimli Tokmak	%98 Modifiye Proktor
	Sıkışmada su içeriği %	W _{opt} ±2 (Tip-A) (Mod. Proktor) W _{opt} -2) - W _{opt} (Tip-B) (Mod.Proktor)	(W _{opt} -2) - W _{opt} (Mod. Proktor) W _{opt} ±1 (Tit.Tokmak)	(W _{opt} -1) - W _{opt} (Mod. Proktor) W _{opt} ±0.5 (Tit.Tokmak)	W _{opt} - W _{opt} +0,5 (Mod. Proktor)
CBR, % (yaş)		Min. 30 Tip-A Min. 50 Tip-B	Min. 100 (Yaş)	Min. 120 (Yaş)	----
Yüzey düzgünlüğü (4m masterla)		Mak. 20 mm	Mak. 15 mm	Mak. 15 mm	Mak. 15 mm

Seçme malzeme tabakası ve stabilize edilmiş zemin(veya zemin ıslahı)

Üstyapının tabanına gelecek malzemelerin CBR değeri %8 den küçük olmamalıdır. Bu durumda üstyapı tabanı, seçme malzeme kullanılarak yapılmalıdır. Seçme malzemenin kullanılması zayıf üstyapı tabanının yol performansına olan olumsuz etkileri azaltır. Ayrıca alttemel tabakasının serilmesine ve sıkıştırılmasına uygun bir platform sağlar ve üstyapının nihai mukavemetini artırıcı katkılar sağlar. Seçme malzeme özellikleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Seçme malzeme özellikleri [7]

Deney Adı	Limit Değeri	Standart No
0,075mm. (No:200) elekten geçen malzeme	< %50 (1)	TS 1900 AASHTO T-11
Likit Limit (LL)	< 40	TS 1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi (PI)	< 15 (2)	TS 1900 AASHTO T-90
Yaş CBR	≥ %10	TS 1900 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.

Seçme malzeme temininin ve naklinin ekonomik olmadığı ve getirilecek seçme malzemenin iyi sonuçlar vermeyeceğı düşünöldüğü durumlarda zemini değışik yollarla ıslah etmek (mekanik stabilizasyon, kireç stabilizasyonu, çeşitli kimyasal ve organik katkılar, v.b. gibi) yerinde bir uygulama olmaktadır. Üstelik zaman kazancı ve taşıma gücü bakımından yüksek değere ulaşmak zemin ıslahı ile mümkün olabilmektedir [7].

2.6.2. Esnek Üstyapı Malzemeleri

Esnek üstyapılarda kullanılan malzemeleri üç grupta toplayabiliriz.

- Agregası

- Bitümlü Bağlayıcı
- Bitümlü Sıcak Karışımlar

Agregalar

Yol ve havaalanı esnek kaplamalarında kullanılan agregalar; granüler temel, alttemel tabakalarının tamamını, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça % 90 ila % 95'ini, hacimsel olarak ise % 80 ile 85'ini oluşturmaktadır. Agregaların mineralojik, boyut, gradasyon, biçim ve yüzey dokusu, porozite, yüzey alanı ve boşluk oranı gibi özellikleri esnek kaplamanın her bir tabakası için ayrı ayrı önem kazanmaktadır [5].

Agregaları doğal agregalar ve yapay agregalar olmak üzere iki kısma ayırırız. Doğal agregalar orijinlerine göre magmatik, tortul ve metamorfik olarak üçe ayrılır. Yapay agregalar ise endüstriyel işlemler sonucu elde edilirler. Cüruf, klinker ve çimento bu gruba girer. Bitümlü kaplamalar yönünden düşündüğümüzde agregaların kökeni ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gereklidir. Agregaları boyutları açısından; kaba agrega 4,76 mm elek üzerinde kalan, ince agrega 4,76 mm ile 0,075 mm elek arasında kalan, mineral filler 0,075 mm'den geçen olarak üç grupta incelenir [10].

Esnek üstyapıların yapısal ve fonksiyonel gereksinimleri yerine getirebilmesi için agregaların aşağıdaki şartları sağlaması gereklidir.

- 1) Yeterince içsel sürtünme direncine ve stabiliteye sahip olarak trafik yüklerini zemine yayabilmesi ve yük altında aşırı ve kalıcı deformasyonlar oluşturmaması,
- 2) İklimsel ve çevresel etkilerin aşındırmasına karşı dirençli olması,
- 3) Statik ve dinamik yükler karşısında kırılma/parçalanmalara karşı dirençli olması,
- 4) İç gerilmelere (genleşme, büzülme, ıslanma/kuruma, donma/çözülme, vb.) karşı dirençli olması,
- 5) Bağlayıcı (bitüm veya çimento) ile güçlü adezyon yapması
- 6) Yüzey tabakalarında kullanıldığında kayma direnci (veya sürtünme direnci),

pürüzlülük, ışık yansıtması, teker aşındırması, gürültü, görünüm, vb. özelliklerin olumlu olması.

Temel ve alttemel tabakalarında kullanılan agregaların; kaplamadan gelen yüklerin zemine iletilmesi, drenajı sağlaması, çevre ve trafik etkilerine karşı dayanıklı ve stabil olabilmesi için agregaların aşağıdaki özellikleri önemli bir yer tutar [1,2,5].

► *Gradasyon-Yoğunluk*: Gradasyon temel ve alttemel tabakalarından beklenen hususların yerine getirilmesini sağlayan en önemli faktördür. Yüksek stabilite ve yüksek dren kabiliyeti, hem yoğun hem de dren kabiliyeti yüksek olan optimum bir gradasyon sayesinde sağlanabilir.

► *Dayanıklılık (durabilite yani dane mukavemeti)*: Agregalar sıkıştırma esnasında ve trafik yükleri altında kırılmaya, parçalanmaya karşı dirençli olmalıdır.

► *Dane şekli, yüzey yapısı, kırılmışlık oranı*: Açısal kenarlı ve kübik şekilli kırmataş agregaların içsel kilitlenme özelliği, yoğun gradasyonlu agregaların stabilitelerinin artmasında en önemli faktördür. Bu nedenle bitümlü karışımlar için mutlaka kırmataş agrega kullanılmalıdır. Yassı ve ince uzun daneler hem stabilite hem de segregasyon açısından problem yaratmaktadırlar.

► *Plastisite*: İnce malzemenin miktarı arttıkça geçirimsizlik azalmakta ve don duyarlılığı artmaktadır. İnce malzemenin PI ve LL değerleri ne kadar yüksek olursa dren kabiliyeti azalırken dona karşı hassas olma durumu o kadar artacaktır.

► *Permeabilite (geçirgenlik)*: Temel ve alttemel tabakalarının permeabilite karakteristiği; gradasyon ve yoğunluk, kaba agreganın tipi ve dane şekli, No.100 ve 200'den geçen kısmın miktarı ve PI değeri gibi özelliklere bağlıdır. İyi derecelenmiş yoğun gradasyonlu agregalar maksimum yoğunluğa kadar sıkıştırıldıklarında oldukça geçirimsizdir.

► *Porozite:* Porozitenin artmasıyla agrega bitüm adezyonunda artmaktadır. Ancak porozitenin %2-2,5'dan daha fazla olması halinde adezyonu artırmadığı gibi karışım için bitümlü bağlayıcı ihtiyacını artırmaktadır. Asfalt bağlayıcının artması ekonomik olmadığı gibi terleme-kusma riskinin artmasına neden olarak sürüş güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle poroz olmayan veya çok poroz olan agregalar bitümlü bağlayıcılı tabakalarda kullanılmamalıdır.

► *Yüzey Dokusu:* Yüzey dokusu bitümlü bağlayıcı ile agrega arasındaki adezyona etki eden önemli bir faktördür. Cilalı yüzeyli agregaların asfaltla kaplanması kolay olmakla beraber adezyonu zayıf olduğundan dolayı kolaylıkla soyulmaktadır. Bu nedenle bitümlü bağlayıcılı karışımlarda pürüzlü yüzeyli agregalar ile hem yüksek stabilite hem de yüksek soyulma direnci elde edilir.

► *Cilalanma Direnci:* Özellikle aşınma tabakasında kullanılan agregaların trafiğin aşındırma etkisi ile dane yüzey pürüzlülüğü giderek cilalı bir hal almakta ve kaplamanın sürtünme direnci azalarak sürüş emniyetini tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle aşınma tabakasında kullanılacak agregalar, sağlam ve dayanıklı olduğu kadar cilalanmaya karşıda dirençli olmalıdır.

Agregaların bahsedilen bu özelliklerini bulmak için Çizelge 2.5'deki deneyler yapılır.

Çizelge 2.5. Agregalara uygulanan deneyler

Deney Adı	Standart
Yüzey nemi oranı	(TS 3523)
Özgül ağırlık ve su emme oranı	(TS EN 1097-6)
Hafif madde oranı	(TS 3528)
Don dayanıklılık tayini	(TS EN 1367-1)
Organik madde tayini	(TS EN 1744-1)
Aşınma (Los Angeles) direnci	(TS 3694)
Dane boyutu dağılımı	(TS 1900-1)
Yassılık indeksi	(BS 812)
Cilalanma	(BS 812)
Soyulma ve Yapışma deneyi	(KTŞ)

Bitümler

Bitümlü karışımların içsel sürtünme direnci ile stabilitesinden agrega sorumlu iken kohezyonu ise bitüm tarafından sağlanmaktadır. Ayrıca bitüm agrega danelerini birbirine bağlayarak trafik etkisiyle dağılmasını önlemekte, yarattıkları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlamakta, kohezyon ile stabilitenin artmasına neden olmakta, karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlamaktadır. Bitüm bağlayıcılı karışımlarda bitüm ağırlıkça en fazla % 5-7 ve hacimce en fazla % 13-15 gibi küçük oranlarda kullanılsa da esnek kaplamalar için çok önemli bir malzemedir [6]. Bitüm sınıfları ve penetrasyon sınıflandırması Çizelge 2.6’da verildiği gibidir.

Çizelge 2.6. Penetrasyon sınıflandırması

Bitüm Sınıfı	Penetrasyon (25°C, 100 gr, 5 san)
B 40/60	40/60
B 50/70	50/70
B 70/100	70/100
B 100/150	100/150
B 160/220	160/220

Bitümlü bağlayıcının kaplama performansını doğrudan etkileyen en önemli özelliği dayanıklılığıdır. Bitümlü bağlayıcının dayanıklılığı veya durabilitesi sertleşmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Bitümlü bağlayıcının çeşitli nedenlerden dolayı sertleşmesi ve kırılgan hale gelmesine de “yaşlanma” veya “zamana bağlı yaşlanma” denilmektedir [11]. Yapılan ayrıntılı çalışmalar yaşlanmanın iki aşamada oluştuğunu göstermektedir. Uygulamada, asfalt kaplama yapıldıktan sonra, önemli miktarda oksidasyon sertleşmesi meydana gelir. Sıcak karışım tesisinde bitüm, sıcak agregaya karıştırılır ve karışım bir süre yüksek sıcaklıkta kalır. Bu aşamada agrega etrafında bir film tabakası oluşturan bitümde hızlı bir oksidasyon reaksiyonu ortaya çıkar. Bu durum “kısa dönem yaşlanma” olarak ifade edilebilir. Oksidasyon sertleşmesi, su ve hava nedeniyle üstyapının ömrü boyunca devam eder buna da “uzun dönem yaşlanma” adı verilir [12].

Bitümlerin yaşlanması aşağıdaki nedenlere bağlıdır.

- 1) *Oksidasyon*: Oksidasyon bitümlerin hidrokarbon zincirindeki karbonların zaman içinde oksijen ile birleşerek oksitlenmesi sonucu bitümün moleküler ağırlığının artmasına neden olarak bitümün viskozluğu ve katılığı artmaktadır.
- 2) *Uçucu madde kaybı*: Bitümün bünyesinde azda olsa varolan uçucu maddelerin zamanla ve/veya ısıyla uçarak bitümün sertleşmesine neden olmaktadır.
- 3) *Tiksotropi*: Bitümün yüke maruz kalmadan bekletilmesi sonucu sertleşmesidir.
- 4) *Polimerleşme*: Bitümün hidrokarbon zincirinin zamanla değişime uğrayarak sertleşmesidir.
- 5) *Parçalanma*: Bitümün yapısındaki yağlı ve mumlu kısımların yumuşama periyotları sırasında agrega tarafından absorbe edilmesi sonucu sertleşmedir.
- 6) *Sineris*: Bitümün yağlı kısımlarının ısı ve zaman etkisi ile asfalttan ayrılarak sertleşmesidir[6].

Bitümlü sıcak karışımlar

Esnek üstyapıların üst tabakalarında kullanılan bitümlü bağlayıcılı sıcak karışım esnek üstyapının stabilitesinden önemli ölçüde, performansından ise tamamen sorumludur. Bitümlü sıcak karışımlar; agrega ile bitümlü bağlayıcının karıştırılmasından elde edildiğinden heterojen bir malzemedir. Agrega ve asfaltın davranışlarına bağlı olsa da kendine has bir takım özellikleri vardır. Bitümlü sıcak karışımların özellikleri iyi bilinmediği takdirde sağlıklı bir kaplama tasarımı yapılamaz. Bu özellikleri; stabilite, rijitlik, dayanıklılık, yorulmaya karşı direnç, esneklik, geçirimsizlik, kayma direnci ve işlenebilirlik olarak sıralayabiliriz.

Stabilite: Deformasyonlara karşı gösterilen dirençtir. Stabilite ne kadar düşük olursa teker izi oluşu ve ondülasyon tipi kusurlar oluşmakta, fakat stabilitenin çok fazla olması halinde de aşırı rijitlik göstermekte ve düşük durabiliteli olmaktadır.

Rijitlik: Bitümlü sıcak karışımlar viskoelastik özelliklerinden dolayı elastikiyet modülü yerine rijitlik modülü ile anılmaktadır. Bitümlü karışımların rijitlik modülleri aşağıdaki durumlarda artış gösterir.

► Yükleme süresi artıkça,

- Isı azaldıkça,
- Yoğunluk artıkça,
- Bitümün penetrasyonu azaldıkça,
- Optimuma kadar bitüm içeriği artıkça önemli ölçüde artmaktadır.

Dayanıklılık(Durabilite): Bitümlü kaplamaların durabilitesi, trafik ve çevre etkilerinin aşındırmasına direnç göstermesidir. Örneğin; asfaltın yaşlanması, agreganın aşınması ve kırılması, asfaltın soyulması, vb. etkilere asfalt kaplamalar dayanıklı olmalıdır.

Yorulmaya karşı direnç: Asfalt kaplamaların yorulmaya karşı direnci trafik yükleri altında tekerrür eden eğilmeden dolayı çatlamalara karşı gösterdiği dirençtir.

Esneklik: Bitümlü kaplamaların esnekliği çatlamadan eğilebilme ve uzun dönemli oturmalarda çökmelere uyum sağlayabilme yeteneğidir.

Geçirimsizlik: Bitümlü kaplamaların içine veya içinde su ve havanın geçişinin önlenmesini geçirimsizlik özelliği sağlar.

Kaymaya karşı direnç: Aşınma tabakasının kayma direnci sürüş emniyeti için en önemli faktördür. Kayma direnci genel olarak;

- Düşük bitüm içeriği,
- Cilalanma direnci yüksek agrega,
- Pürüzlü yüzeyli kırmataş agrega,
- Nispeten açık ve kaba gradasyonlu karışım ile artar.

İşlenebilirlik: Bitümlü karışımların işlenebilirliği serim ve sıkıştırma kolaylığını ifade eder. Çok kaba agrega içeren karışımlar serim anında segregasyon ve sıkıştırmada güçlük yaratırken, çok fazla filler içeren bitüm karışımların da sıkıştırılması zordur [1,2,5].

Çizelge 2.7. Bitümlü sıcak karışımların özelliklerine etki eden parametreler [5]

Karışım Özelliği	BAĞLAYICI				AGREGA			
	Miktar		Katılık		Yoğunluk		Agrega Tipi	
	Fazla	Az	Katı	Yumuşak	Çok Yoğun	Az Yoğun	Köşeli Pürüzlü Poroz	Yuvarlak Cilalı Az Poroz
Stabilite	Optimum (1)		√		√		√	
Rijitlik	(2)		√		√		√	
Dayanıklılık	√		√		√		√	
Yorulma Mukavemeti	√			√	√		√	
Esneklik	√			√		√		√
Geçirimsizlik	√		√		√			(5)
Kayma Direnci		√	√			√	√	
İşlenebilirlik		(3)		√		√		√
Karışım Özelliği	SIKIŞMA		ISI		YÜKLEME HIZI		KARIŞIM KALINLIĞI	
	Çok	Az	Çok	Az	Yüksek	Düşük	Çok	Az
Stabilite	√			√	√		√	
Rijitlik	√			√	√		√	
Dayanıklılık	√			(4)	√		√	
Yorulma Mukavemeti	√		(6)		√		√	
Esneklik		√	√		--	--		√
Geçirimsizlik	√			(7)	--	--	√	
Kayma Direnci	√			√	--	--	--	--
İşlenebilirlik	--	--	√		--	--		√

Çizelge 2.7'nin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

1. Bitüm yüzdesi optimum civarında ancak optimumdan daha az ise yüksek stabilite aksi halde düşük stabilite,
2. Bitüm katı ve ısı düşük ise fazla bitüm % sinde aksi halde az bitüm % sinde,
3. Genel olarak az bitüm yüzdesinde,
4. Isının dayanıklılık üzerindeki etkisi (Isı çoksa bitüm soyulması, ısı çok düşük ise büzülme çatlakları artar.)
5. Genel olarak geçirimsizlik yoğunluk ile artar.
6. Isının yorulma mukavemeti üzerinde direkt etkisi yoktur.
7. Düşük ısıda karışımın boşluk oranı, tasarım boşluk oranı civarındadır [5].

3. YOL ÜSTYAPISINDA OLUŞAN BOZULMALAR

Bozulmaları bir yol üstyapısının tasarım süresi sonunda, trafik yüklemeleri ve çevresel etkileşim sonunda düşmesi beklenen hizmet yeteneğinin derecesi olarak tanımlayabiliriz [3]. Esnek kaplamaların trafiğe açılmasından sonra tekerrür eden ağır trafik yüklerinin ve çevresel etkilerden dolayı bir takım bozulmalar oluşmaktadır. Bu bozulmaları;

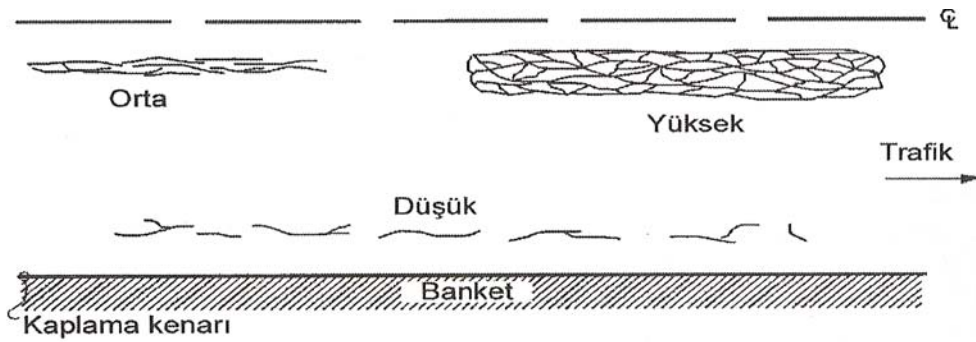
- Yorulma çatlakları
- Teker izi olukları
- Deformasyonlar
- Ayırışmalar
- Çatlaklar olarak gruplandırabiliriz.

Yukarıdaki bozulmaların nedenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Trafik yüklerinin tekerrüründen gelen gerilmeler (aşırı trafik yükü ve trafik hacmi),
- Çevresel etkiler (düşük ve yüksek hava ısısı, aşırı yağış, vb.),
- Yapım ve tasarım hataları (kötü imalat; soğuk, rüzgarlı ve rutubetli havada imalat, bitümün aşırı ıslatılması, serim sırasında segregasyon, düşük karşım/serim/sıkıştırma ısısı, karışımda ısı farklılığı, serim ve sıkıştırma tekniğinde yanlışlıklar, yetersiz sıkışma, yetersiz üstyapı kalınlıkları, hatalı tasarım ve karışım),
- Kötü malzeme kullanımı (şartnamede belirtilen kriterlere uygun olmayan malzeme, üretimin homojen olmaması, malzeme özelliklerinin sık sık değişimi, işyeri karışım formülünden sık sık ve aşırı sapmalar, aşırı filler/bitüm oranı, vb.),
- Zeminin yetersiz özelliklerde olması (dolguların yetersiz sıkıştırılması, yetersiz drenaj, zeminin ince danelerinin trafik yükleri ve kapilerite ile granüler alttemel/temel tabakasına pompajı, don derinliğinin fazlalığı, yeraltı su seviyesinin yüksek olması, şişme ve rötre ile aşırı hacim değişikliği, oturma, vb.)
- Yetersiz kalite kontrol (imalat sırasında asfalt plenti, finişer, silindir, vb. iş makinelerinin kalibrasyon ve üretim kontrollerinin yapılmaması, kullanılacak malzemelerin ve üretimlerin periyodik kalite kontrollerinin yapılmaması, kalite kontrol elemanlarının bilgi ve sorumluluk eksikliği, vb.)
- Yetersiz bakım/onarım faaliyetleri ve takviye tabakası yapılmasının gecikmesi [5].

3.1. Yorulma Çatlakları (Timsah Sırtı Çatlakları)

Bu çatlaklar daha çok taşıtların tekerlek geçişleri dahilinde ortaya çıkar ve üstyapı eksenine paralel olup, uzunlukları birkaç desimetre ile onlarca metre arasında değişen ince çatlaklar biçiminde başlayarak, zamanla tekrarlanmak suretiyle küçük bloklar serisi şeklinde, birbirine bağlı timsah sırtı çatlaklara dönüşen çatlaklardır. Yorulma çatlakları ağır trafik yüklerinin belirli bir tekerrürü sonucu kaplamanın yorulma mukavemetinin aşılması ile oluşmaktadır. Ayrıca; taban zemini, alttemel ve/veya temel tabakalarının yetersiz sıkışması ve/veya yetersiz drenajı nedeni ile taşıma gücü yetersizliği, Uygun olmayan malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri, çevre ve iklim şartları (donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.) gibi etkiler altında, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi ağır taşıtların teker yörüngesinde meydana gelmekte ve kaplamanın yorulma mukavemetine ve ağır taşıt trafik hacmine bağlı olarak Resim 3.1’de görüldüğü gibi düşük, orta veya yüksek şiddette olabilmektedir [5,7,15].



Şekil 3.1. Yorulma çatlakları (timsah sırtı çatlakları) [5]



a)



b)



c)

Resim 3.1. Şiddetlerine göre timsah sırtı çatlaklar a)düşük, b)orta, c)yüksek

3.2. Teker İzi Olukları

Asfalt betonu kaplamalarında sık görülen, gerek teknik ve gerekse ekonomik açıdan çok önemli kabul edilen bozulma tipidir. Tekerlek izi oluşması ülkemiz gibi engebeli araziye sahip, trafiği ağır ve yer yer sıcak ülkelerde problem olmaktadır. Tekerlek izleri, kaplamanın altındaki bir ya da birden fazla tabakada, trafik tesirinin neden olduğu konsolidasyon ya da yanıl hareketler veya trafik tesiriyle kaplamanın kendisinden oluşan yer değıştirmeler sonucu meydana gelebilir. Oluşum nedenleri olarak aşağıdaki maddeleri sıralayabiliriz;

- 1.Yüksek ısı, düşük viskoziteli bağlayıcı ve yüksek bitüm içeriği nedenleri ile bitümlü sıcak karışım tabakalarının stabiliteelerini kaybetmeleri,
- 2.Bitümlü sıcak karışım tabakalarının yetersiz sıkıştırılması,
- 3.Üstyapı tabakalarının aşırı gerilmeler altında kalıcı deformasyonlara maruz kalması,
- 4.Ağır taşıtların yavaş hızı (tırmanma şeridi, kavşak, otobüs durağı, vb.), yüksek hava ısısı,
- 5.Yuvarlak dere malzemesi kullanımı,
- 6.Trafik yükleri altında boşluk suyu basıncı nedeni ile doygunluğa ulaşan temel ve alttemel tabakalarının stabiliteelerini kaybetmeleri,
- 7.Drenaj yetersizliği ve/veya yetersiz sıkışma nedeni ile üstyapı tabanının stabilitesini kaybetmesi, taşıma gücünün zayıflaması,
- 8.Banket malzemesinin stabil olmaması, yeterli yanıl desteği sağlayamaması,
- 9.Yüksek penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı,
- 10.Aşırı filler/bitüm oranı [3,5,7,10]



a)

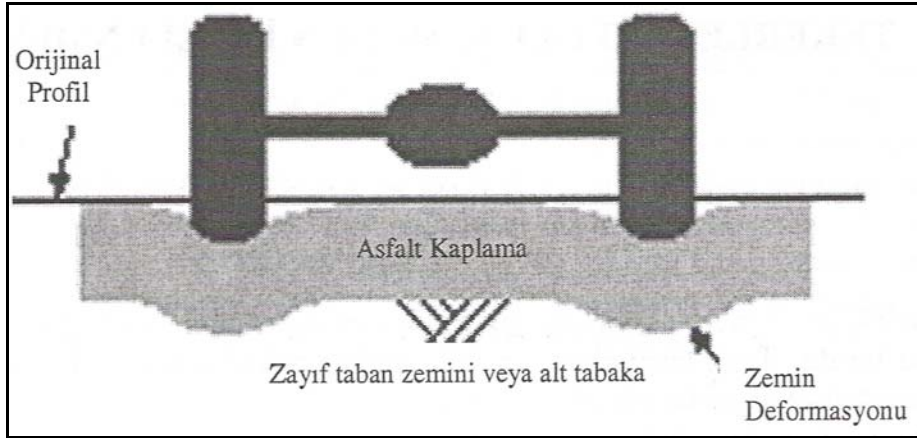


b)

Resim 3.2. Şiddetlerine göre teker izi olukları a)düşük, b)yüksek

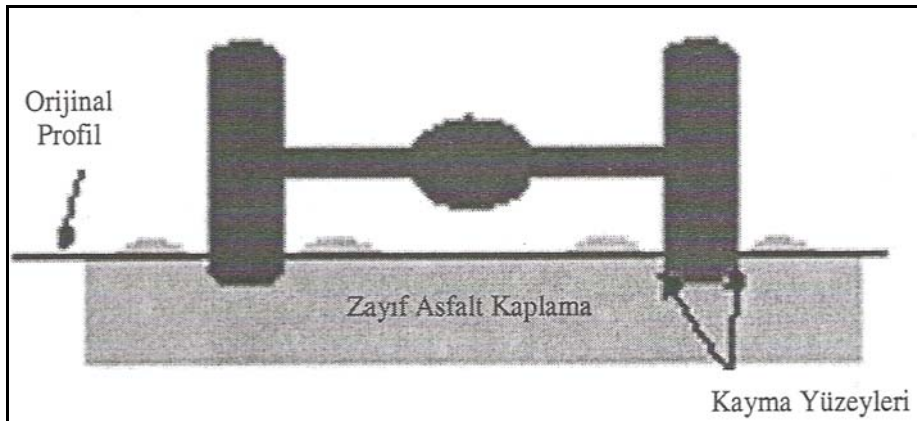
3.2.1. Tekerlek izi oluşum şekilleri

1) Yapısal tekerlek izi: Bitümlü tabakanın altındaki bir veya daha fazla tabakanın kendi içlerindeki deformasyonlarının sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin malzeme dayanımını aşmasıdır. Bu durumda tekerlek izinin etrafında kabarmalar oluşmaz. Bu tip tekerlek izi oluşumu genellikle gerçekteki trafik koşullarına uygun tasarlanmamış üstyapılarda görülür. Uygun olmayan malzemenin kullanılması, malzemenin iyi sıkıştırılmaması da kaynaklanabilir.



Şekil 3.2. Yapısal tekerlek izi

2) *Akma tekerlek izi:* bitümlü tabaka veya tabakaların kendi içlerindeki deformasyonunun sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin bitümlü malzemenin stabilitesini aşmasıdır. Tekerlek izi etrafında kabarmalar oluşur. Akma tekerlek izi, en çok, çıkış eğimli kesimlerde, kavşak yaklaşımlarında ve kurlarda, yani ağır taşıtların hızlarını azalttığı kesimlerde ve lastik ile kaplama arasındaki değme alanında ortaya çıkan teğetsel gerilmelerin yüksek olduğu kesimlerde oluşur.

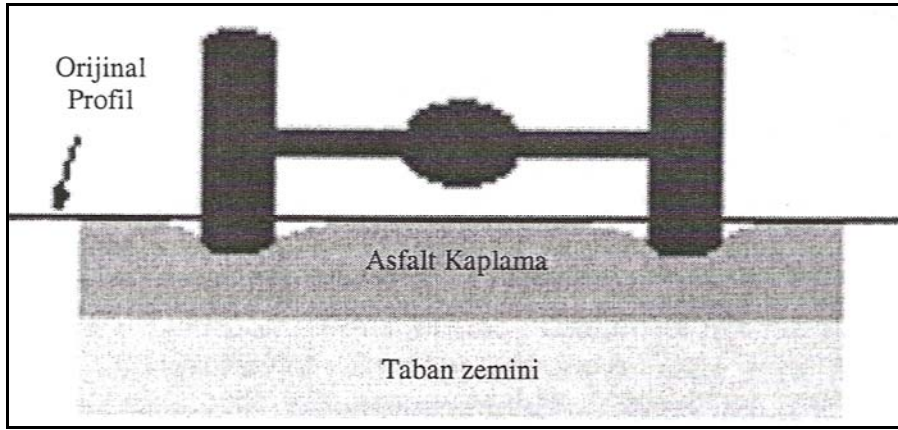


Şekil 3.3. Akma tekerlek izi

3) *Konsolidasyon ve yüzeysel tekerlek izi:* kışın çivili tekerleklerin kullanılmasından dolayı kaplamanın en üst yüzeyinde oluşur. Özellikle, çivili lastiklerin kullanıldığı kuzeydeki ülkelerde görülmüştür. Hasarı görüldükten sonra bu lastiklerin

kullanılması sınırlandırılmış veya yasaklanmıştır. Bu tip tekerlek izinde göz önüne alınacak parametre agrega sertliğidir.

Konsolidasyon nedeniyle oluşan tekerlek izi ise; kaplamanın yapımı sırasında yetersiz sıkıştırmadan dolayı oluşur. Yetersiz yoğunluğa sahip bir karışım özellikle sıcak havalarda, duran veya yavaş hareket eden trafiğin mevcut olduğu kavşaklarda trafik etkisiyle oturmaya meyillidir. Şekil 3.4’de görüldüğü gibi tekerlek izi kenarlarında kabarma oluşmaz [16].



Şekil 3.4. Konsolidasyon ve yüzeysel tekerlek izi

3.3. Deformasyonlar

Deformasyon tipi esnek kaplama kusurları; esnek kaplama tabakalarının kayma mukavemeti, karışım viskozluğu ve eylemsizlik direncinin (yani agregaların yer değiştirme direncinin) az olmasından kaynaklanmaktadır. Deformasyonlar sonucunda yol yüzeyinde, plan ve boy kesitindeki durumuna göre değişiklikler olmaktadır. Esnek kaplamada görülen deformasyon tipi kusurlar;

- Teker izi olukları
- Ondülasyonlar
- Bölgesel oturma, çökme ve kabarmalar olarak sayılabilir [5].

3.3.1. Teker izi olukları

Bölüm 3.2’de anlatıldı.

3.3.2. Ondülasyonlar

Yol üzerinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan ve aralıkları yaklaşık olarak eşit olan belirli biçimde dalgaya benzeyen satıh deformasyonları olarak tanımlanırlar.

Oluşum nedenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

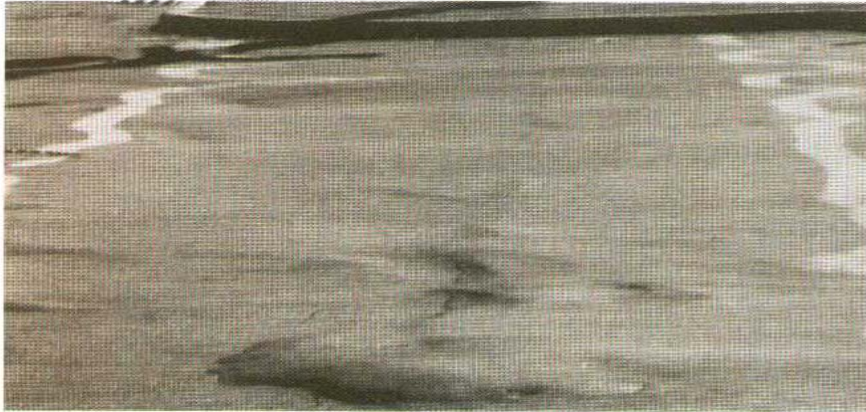
- 1.Bitüm karışım stabilitesinin yetersizliği,
- 2.Karışımın serilmesi sırasındaki serim ve sıkıştırma hataları,
- 3.Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi,
- 4.Üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği (Yapıştırma tabakasının fazla veya yetersiz uygulanması),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



a)



b)



c)

Resim 3.3. Şiddetlerine göre ondülasyonlar a)düşük, b)orta, c)yüksek

3.3.3. Bölgesel oturma, çökme ve kabarmalar

Oturmalar; kaplama altındaki malzemenin oturması sonucu oluşur. Oturmalar geniş bir yüzeyde meydana gelirse esnek kaplamada çatlamaadan buna ayak uydurur. Eğer kaplama çok rijit ise oturmalaraya ayak uyduramayıp çatlamlar oluşur. Oluşum nedenleri;

- Alt tabakaların yetersiz kalınlığı, yetersiz sıkıştırılması,
- Banketlerden gelen yetersiz sıkıştırma,
- Yer altı su seviyesinin yüksekliğindeki değişmeler,
- Drenajın yetersiz olması,
- Temel ve alttemel malzemelerinin arasına tabandan gelen kilin girmesi.

Çökmeler; Yolun plan ve boy kesitine göre düşük kotta kalmış küçük çukurluklardır. Derinlikleri 2,5 cm ya da daha fazla olabilmekte ve yağmurlardan sonra içlerine su dolmaktadır. Çökmeler zamanla genişleyerek, yolun zamanından önce elden çıkmasına da neden olabilirler. Değişik çapta genişlikleri olabilir. Oluşum nedenleri;

- Temel ve alt temelin yetersiz olarak sıkıştırılması,
- Kaplamanın yapım sırasında yetersiz olarak belirli bir bölgede sıkıştırılması,
- Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimi,
- Temel ve alttemel malzemelerinin kille karışması,
- Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü ile karşılaşması.

Kabarmalar, kaplama altındaki malzemenin kabarması sonucu oluşur. Yol yüzeyinin lokal olarak yukarıya doğru hareket etmesiyle oluşur. Oturma ve kabarmalar birlikte de görülebilir. Oluşum nedenleri;

- Altyapıda oluşan kabarmalar,
- Yer altı su seviyesinin yüksekliği ve yetersiz drenaj,
- Temel ve alttemel malzemelerinin taban zemininden gelen kille karışması, su alarak şişme göstermesi olarak sıralanabilir [3,7,10].



a)



b)



c)

Resim 3.4. Şiddetlerine göre lokal oturmalar a)düşük, b)orta, c)yüksek

3.4. Ayrışmalar

Ayrışmaları; segregasyon, sökölme, soyulma ve çukurlar olarak ayırabiliriz. Segregasyon, soyulma ve sökölme (yani yüzeysel kopma ve parçalanmalar) tipi kusurlar agregadan bitüm soyulması, trafiğin aşındırma etkisi ve aşınma tabakasının kalınlığı ile stabilitesinin az olmasından, yetersiz bitüm yüzdesinden, yaşlanma nedeniyle bitümün sertleşmesinden, bitümlü sıcak karışım içinde kil topraklarının ve kille kaplı agrega tanelerinin bulunması, donma-çözölme olaylarının sık tekrarı gibi nedenlerden oluşmaktadır. Bu tip bozulmalar ilerleyerek çukurların oluşmasına neden olmaktadır [7,10].



a)



b)

Resim 3.5. Şiddetlerine göre çukurlar a)düşük, b)yüksek

3.5. Çatlaklar

Esnek kaplamalarda görülen çatlaklar aşırı büzülme, aşırı sertleşme ve tabakalar arasındaki aşırı kaymadan kaynaklanmaktadır. Aşırı büzülme veya hacimce azalmadan kaynaklanan çatlaklar en fazla görülen esnek kaplama kusurlarıdır. Trafiğin etkisiyle ilgili olarak çatlaklar, tek veya bir çok dingil yükü geçişi ya da dingil yüklerinin aşırı tekrarı sonucu ortaya çıkar. Buna ilaveten, araçların ani hızlanma veya yavaşlamalarının yol açtığı yatay kuvvetler de çatlaklara neden olabilir. Trafikten başka sıcaklıktaki değişimler emici agregaların kullanımı, bitümlü bağlayıcıdaki uçucu madde buharlaşması, ayrıca nem miktarındaki değişimler, çimento veya kireç ile stabilize edilmiş tabakalarda kür esnasındaki hacim değişimleri (büzülme=rötre) gibi bazı dış etkenlerde çatlaklara yol açabilir. Etkenler tek başlarına veya trafik etkileri ile birleşerek üstyapının çatlamasına neden olabilir. Çatlaklar aşağıdaki çeşitlerde olabilir [5,14].

- Yorulma Çatlakları (Timsah Sırtı Çatlakları)
- Stabilite (blok)
- Kenar
- Boyuna
- Enine
- Yansıma
- Düşük ısı

3.5.1. Yorulma Çatlakları

Bölüm 3.1’ de ayrıntılı bahsedilmiştir.

3.5.2. Stabilite (blok)

1.Şişme ve büzülme etkisi

2.Donma etkisi

3. Asfalt kaplamanın yaşlanmasıyla ilgili sertleşmesi ve kırılması gibi nedenlerden oluşur [7].



a)



b)

Resim 3.6. Şiddetlerine göre blok çatlaklar a)orta, b)yüksek

3.5.3. Kenar çatlakları

Kenar çatlakları, genellikle banketten sağladığı yanal destek yetersizliği nedeniyle kaplama kenarından yaklaşık 30 cm kadar içeride oluşan boyuna çatlaklar ile banket arasındaki enine çatlaklardan meydana gelir. Diğer bir neden ise çatlayan kısmın altında bulunan malzemede oluşan oturma ve çökmedir. Üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin bankete yakın seyretmesi de oluşum nedeni olarak

sayılabilir [7,14].



a)



b)

Resim 3.7. Şiddetlerine göre kenar çatlaklar a)orta, b)yüksek

3.5.4. Boyuna çatlaklar

Oluşma nedenleri:

- 1.Dolgularda yetersiz sıkıştırma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma
- 2.Dolgunun yanal hareketi, çevre ve iklim şartları (donma etkisi, nem değişiklikleri, vs.)

3.Üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmeyişi olarak sıralayabiliriz [7].



a)



b)



c)

Resim 3.8. Şiddetlerine göre boyuna çatlaklar a)düşük, b)orta, c)yüksek

3.5.5. Enine çatlaklar

Oluşum nedenleri olarak; bitümlü kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme, tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği, alt tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yüzeye yansması olarak sıralayabiliriz [7].



a)



b)

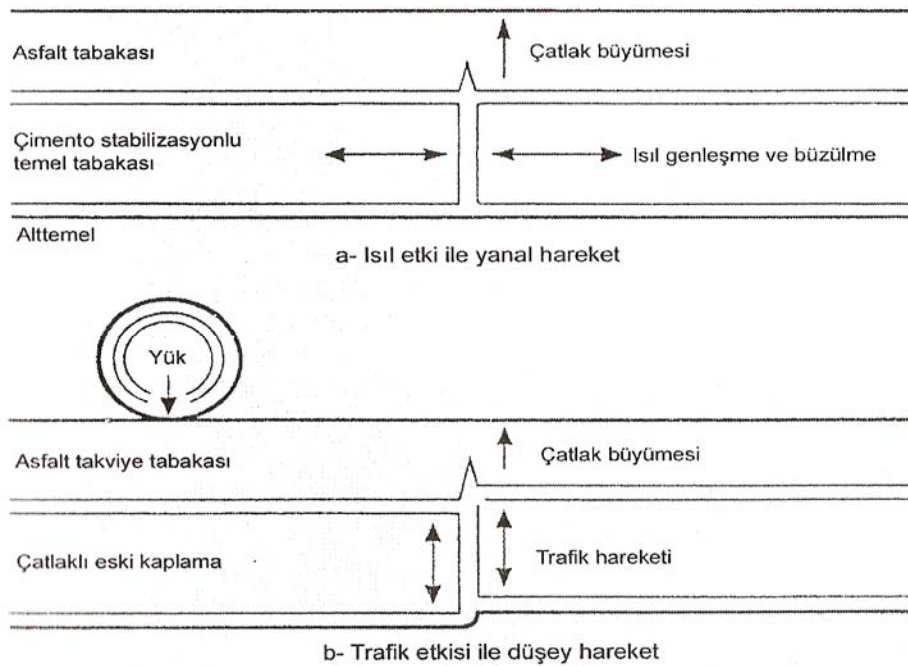


c)

Resim 3.9. Şiddetlerine göre enine çatlaklar a)düşük, b)orta, c)yüksek

3.5.6. Yansıma çatlakları

Bozulmuş esnek kaplama üzerine asfalt takviye tabakası yapılacak olursa eski kaplamadaki çatlaklar zamanla takviye tabakasında görülmekte ve buna yansıma çatlağı adı verilmektedir. Yansıma çatlakları, yüzey dağılmasının kaynağı olabilirler. Takviye tabakası altında yer alan üstyapıdaki yatay ve düşey hareket nedeniyle oluşurlar. Bu harekete, trafik, sıcaklık değişmesi nedeniyle genleşme ve büzülme, yüksek kil içerikli alt yapılarıdaki nem kaybı veya sıralama, bu etkenlerin bileşimi yol açar. Eğer bozulmuş rijit (beton) kaplama üzerine Şekil 3.5’de görüldüğü gibi asfalt takviye tabakası yapılırsa, beton kaplamanın derz yerlerinde takviye tabakasının çatlaması yansıma çatlağına bir örnektir.

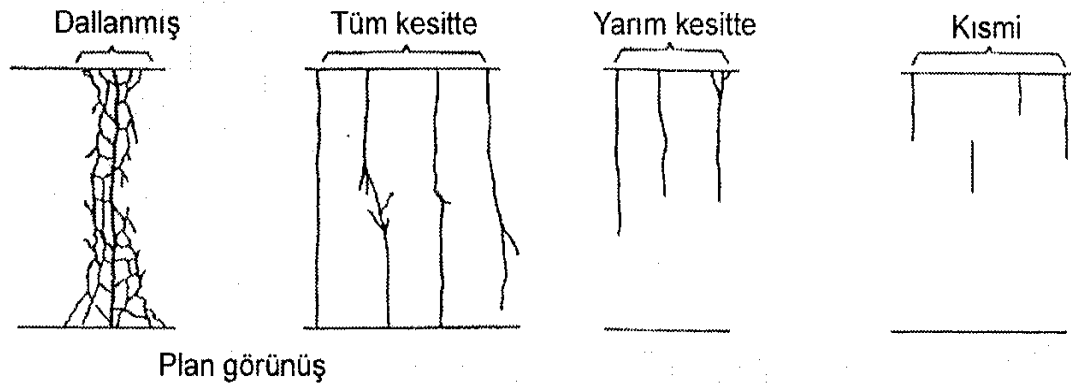


Şekil 3.5. Yansıma çatlağının oluşumu

Yansıma çatlakları altındaki çatlaklı tabakanın; ısı değişimi ile yanal hareketi , trafik yükleri ile düşey hareketi sonucu, üstteki yeni tabakanın alt kısmının da çatlamasına neden olmakta ve bu çatlaklar 45° ila 90° açı ile yukarı doğru artarak kaplama yüzeyinde görülmektedir [5,14].

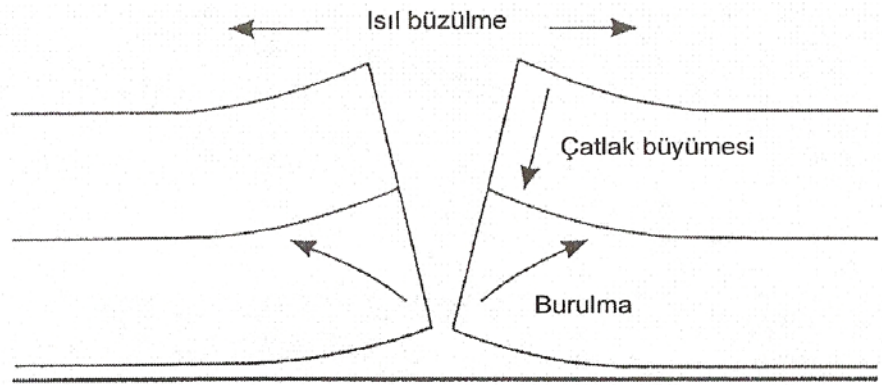
3.5.7. Düşük sıcaklık çatlakları

Düşük sıcaklık çatlakları soğuk havalarda asfalt kaplamanın büzülmesi ve bitümlü bağlayıcının çok rijit bir hal alarak ağır yükler altında gevrek davranışı ile oluşmaktadır. Enine büzülme çatlakları genellikle üniform aralıkta ve yol eksenine dik olarak görülmektedir. Düşük ısı çatlakları termal çatlaklar olarak da adlandırılabilir. Fakat enine büzülme çatlakları trafiğin etkisiyle oluşabilmektedir. Soğuk hava etkisi ile büzülen asfalt kaplamanın çekme mukavemeti aşıldığında düşük ısı çatlakları oluşmaktadır. Düşük ısı çatlakları yüzeyde kılcal çatlak şeklinde başlar ve soğuma tekerrür sayısı ile ağır taşıt trafiğinin yoğunluğu ile zamanla derinliği artar. Şekil 3.6’ da düşük ısı çatlaklarının tipleri ve şiddeti görülmektedir.



Şekil 3.6. Düşük sıcaklık çatlakları şekilleri

Düşük sıcaklık çatlakları Şekil 3.7’de görüldüğü gibi soğuk havalarda üst kısımda aşırı büzülme ve alt kısımda daha az soğuk olması nedeniyle burulma oluşmaktadır. Bu durumda çatlaklar üst kısımda daha fazla açılmakta ve zamanla çatlak genişliği artarak derinleşir ve çatlak boyunca çatlakla dik dallanmış kılcal çatlaklar oluşmaktadır [5].



Şekil 3.7. Düşük sıcaklık çatlağının büyüme aşaması

3.6. Esnek Kaplamada Zamanla Meydana Gelen Kusurlar ve Ana Nedenleri

Esnek kaplamada zamanla meydana gelen kusurlar ve ana nedenlerini Çizelge 3.1’de özet olarak verilmiştir [5].

Çizelge 3.1. Asfalt kaplama kusurları ve nedenleri

Kusurlar	Yapısal Bozulmalar	Karışım Kompozisyonu	Isı veya Rutubet Değişimi	Yapım Hataları
Timsah sırtı çatlak	✓			
Kenar çatlağı	✓		✓	✓
Yansıma çatlağı			✓	
Büzülme çatlağı		✓		
Ötelenme çatlağı				✓
Teker izi	✓	✓		✓
Öndülasyon	✓	✓		✓
Çökme	✓			✓
Kabarma/Şişme	✓		✓	✓
Çukur		✓	✓	✓
Şökülme/Parçalanma		✓		✓
Terleme/Kusma		✓		
Agrega cilalanması		✓		✓
Agrega kaybı		✓		✓

4. AĞIR TAŞIT TRAFİĞİNİN BOZULMALARA ETKİSİ

Ülkemizde yük ve yolcu taşımacılığının büyük bölümü karayolları üzerinden yapılmaktadır. Çoğu gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin aksine ülkemizde son 10 yıldaki yolcu taşımacılığının % 95'i karayolu, % 3 ile % 4'ü demiryolu ve % 1 ile % 2'si diğer ulaşım türleriyle gerçekleştirilirken, yük taşımacılığının % 89'u karayolu, % 5'i demiryolu ve % 4,5'i deniz yolu ile yapılmaktadır [17].

Bu verilerden çıkan sonuç ortadadır. Karayollarımız yolcu ve yük taşımacılığını üzerinde toplamıştır. Bununla beraber karayolu ile yapılan yük taşımalarında gerek yasaların gerekse aracın ve yolun teknik kapasitesinin müsaade ettiğinin üzerinde yük taşınması olayı yaşanmaktadır. Bilindiği gibi yük taşımak için imal edilen araçlara, aracın teknik kapasiteleri ile trafik kanununun ve ona bağlı yönetmeliklerin öngördüğü limitlerle belirlenmiş, yük taşıma sınırı, (istihap haddi) verilmiştir. Aşırı yüklerle yüklenmiş ağır taşıtların sayıca fazla olması hem bu yükü taşıyan araçlar için, hem karayolu için, hem de insanlar için istenmeyen sonuçlara neden olur.

4.1. Aşırı Yük Taşımanın Karayoluna Etkisi

Esnek üstyapılar bilindiği gibi alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Her tabaka zemindeki klasik yük dağılımı ile kendisine düşen yükü alt tabakalara yayarak iletmektedir. Alt tabakalara inildikçe oluşan gerilmeler azalmaktadır. Karayollarımızda meydana gelen bozulmaların sebepleri aşırı trafik yükü, yetersiz drenaj, yapım hataları, atmosfer olayları, haricen etkileyen kimyasal maddelerdir. Sayılan bozulma sebeplerinden aşırı yükleme önemli bir yer tutmaktadır [18]. Aşırı yüklü yani istiap haddini aşan bir aracın tek dingil yükünün yola verdiği hasar basit bir formül ile aşağıdaki gibi verilebilir.

Hasar = $(P_p / P_s)^4$ şeklindedir. Burada;

P_p = Pratik dingil yükü (aracın yüklü halde dingili aracılığıyla yola uyguladığı yük)

P_s = Standart dingil yükü (yolun projelendirilmesi sırasında kabul edilen dingil yükü)

Yol ömrü ise; projelendirmede kabul edilen yolun ömrü= proje ömrü /hasar şeklinde ifade edilebilir.

Görüldüğü üzere fazla yüklü aracın dingil yükünün yola etkisi dördüncü kuvvet bağıntısı ile artmaktadır. Dolayısıyla dingile gelen fazla yük miktarı arttıkça bu oran yükselmekte ve yolun planlanan ekonomik ömrü kısalmaktadır. Yolun planlanan ekonomik ömrünün bu orana bölümü sonucunda bulunan süre o yolun yeni ekonomik ömrü olmaktadır [19].

Proje ömrü boyunca geçecek eşdeğer dingil yükü sayısı yolun ömrü hakkında bilgi edinmek için önemlidir. Ancak üstyapıyı kullanan taşıtların dingil yükü çok arttığı zaman üstyapıya verdiği zarar çok fazla olmaktadır. Bu tür etkilerle üstyapıda ciddi yapısal kusurlar yüzeye yansımakta ve çözümü bazen çok zor, bazen de imkansız olan problemler ortaya çıkarmaktadır.

Karayolu esnek üstyapılarının proje ömrünün neresinde olduğunu belirlemek, yapısal açıdan ne durumda olduğunu bilmek karayolu mühendisleri ve özellikle de karayolu ağından sorumlu kurumlar için büyük önem taşımaktadır. Çünkü bütün ekonomik ve teknik programlamalar üstyapılar hakkında elde edilen bilgiler ışığında yönlendirilmektedir. Yapısal bozulmalar yüzeye yansıdığı zaman ise, yol zaten yeterince bozulmuş demektir. Önemli olan yüzeyde bir bozulma görülmeden yolun durumunu belirlemektir. Bu amaçla, yola bir yük uygulayarak, bu yükün üstyapıda oluşturduğu defleksiyonu ölçmek temel prensibine dayanan tahribatsız test aletleri yaygın olarak kullanılmaktadır [20].

Fazla yük taşımasının en önemli zararlı etkisi karayoluna olmaktadır. Pahalı bir yatırım olan ve bizim gibi dışarıdan krediler alarak yol yapan ülkeler için karayollarının beklenen hizmet ömrünün çok altında bir süre içerisinde bozulması, ülke kaynaklarının israfına sebep olmakta, ayrıca bozulan yollarımızda da kaza oluşum riski artmakta ve sürüş konforu düşmektedir. Bozuk yolun kullanılmasının diğer araçlara ve yolu kullananlara da olumsuz etkilerinin olacağı apaçık ortadadır.

4.2. Fazla Yük Taşımanın Esnek Üstyapılarda Oluşturduğu Bozulma

Başlangıçta üstyapı bozulmaları yol kullanıcıları tarafından hissedilemez. Yapısal bozulmalar; bitümlü bağlayıcılı malzemelerde küçük çatlaklar şeklinde granüler malzemelerde ise ezilme, agregaların aşınması ya da drenaj yetersizliğinin yol açtığı bozulmalar şeklinde gelişebilir. Sonuçta, yapısal bozulmalar gözle görülebilir hale gelir ve fonksiyonel bozulmalar halini alır. Diğer bir deyişle, pürüzlülük, oluklaşma ve diğer bozulmalar sürüş konforunu etkileyecek ve yol kullanıcısı tarafından hissedilecektir. Bu bozulmaların ilerlemesi kullanıcı maliyetlerini, güvenliği, seyahat süresini etkileyecektir. Üstyapı bozulmaya başlamadan önce, üstyapıdan sorumlu kurum/kurumlar, üstyapının yapısal durumunu sürekli belirli aralıklarla kontrol etmelidir. Eğer ciddi yapısal problem söz konusu değilse, kayma sürtünmesi gibi fonksiyonel problemler ince bir takviye tabakası ya da yüzeyin pürüzlendirilmesi gibi yöntemlerle giderilebilir. Üstyapının yapısal bir iyileştirmeye ihtiyacı varsa öncelikle üstyapının drenaj sistemine, kalın bir takviye tabakası ile güçlendirmeye, kısmi ya da tamamen yeniden yapıma ihtiyacı olup olmadığının belirlenmesi gereklidir [20].

Bakımı düşünülen esnek üstyapı bozulmasının seviyesini belirlemek, çok güç ve karmaşık bir iştir. Çoğu durumda problem ortaya çıkmadan ya da kullanıcı tarafından fark edilmeden önce herhangi bir önlem alınmamaktadır. Ancak az sayıdaki ülkede bozulmanın başladığı hissedildiğinde koruyucu bakım çalışmaları başlatılmaktadır. Üstyapının, durumunu belirleme işlemi, iyileştirme proje çalışmalarında çok önemli bir yer tutmaktadır. Yapılacak çalışmaların ekonomik boyutu düşünüldüğünde, optimum çözüme ulaşma gerekliliği ortaya çıkmaktadır [20].

Bir üstyapı kesiminin bakım ve onarım çalışmalarında nasıl bir yol izleneceğine karar vermek için, mühendisin üstyapı hakkında tabaka kalınlıkları, tabakaları oluşturan malzemelerin özellikleri gibi bazı bilgileri elde etmesi gerekmektedir. Bu temel yapısal bilgiler olmadan, rasyonel bir üstyapı durum değerlendirmesi ve başarılı bir iyileştirme çalışması yapılamaz [20].

Üstyapıdaki bozulmalara, üstyapı tabakalarındaki kritik gerilme ve şekil değiştirmeler sebep olmaktadır. Bitüm karışımı tabakalarının alt kısımlarında oluşan çekme gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri önce küçük çatlamalara ardından da gözle görülür kırılmalara sebep olmaktadır. Taban zemini üzerindeki düşey gerilme veya şekil değiştirmeler de kalıcı deformasyonlara neden olmaktadır [20].

Karayolu şebekesinin işletmesinden sorumlu olan kurumlar, bakım ve iyileştirme planlamaları ya da finansal planlamalar gibi konularda kendilerini ayarlamak isterler. Bunun için de sorumlu oldukları yolların ne durumda olduğunun bilinmesine ihtiyaçları vardır. Bu amaçla günümüzde dünyada, Özellikle tahribatsız test aletleri yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan tahribatsız test aleti, Düşen Ağırlıklı Deflektometre (FWD)' dir [21]. Bunun yanında ayrıca Profilometre ölçüm cihazlarıyla yolun sürüş konforuna ait veriler toplanarak değerlendirmeye alınır. Bu tür aletler sayesinde üstyapıya hiç bir zarar vermeden, çok sayıda karot alma ya da herhangi bir şekilde numune alma gibi yollara başvurmadan üstyapı hakkında bilgi edinmek mümkün olabilmektedir. Edinilen bilgiler kullanılarak hangi yol kesimlerinin takviye göreceği veya onarılacağı tespit edilebilir.

4.3. Fazla Yük Taşımanın Araca Etkisi

Teknik kapasitesinin üzerinde yüklenen bir araçta elbette bazı olumsuzluklar görülecektir. Özellikle emniyetle taşıyacağı toplam yüke göre dizayn edilmiş fren donanımı, direksiyon sistemi ve güç aktarma organları öngörülenin üzerinde yükleneceğinden, meydana gelecek hasarlar sonucu çok tehlikeli ve vahim sonuçlar çıkabilecektir. Aracın ekonomik ömrü mutlaka kısılacaktır. İşletme giderleri artacaktır. % 10'luk bir fazla yük yakıtta % 6'lık bir artış getirmektedir. Yük arttığında yuvarlanma direnci artacak ve frenlemede daha fazla etki kuvveti doğuracağından, buna bağlı sistemlerin çabuk yıpranmasına veya aniden hasara uğramasına sebep olacaktır. Motordan tekerleklerle kadar güç aktaran tüm parçalarında ömrü azalacak dolayısıyla uzun vadede onarım masrafları artacaktır [19].

4.4. Fazla Yük Taşımanın Kazalara Etkisi

Fazla yük trafik güvenliğini azalttığı için kaza riskini arttırmaktadır. Toplam yüklü ağırlığı kapasitesinin üzerinde olan bir araç, öngörülenin üzerinde kuvvet ile etkileneceği için, onu kontrol altında ve dengede tutmak zorlaşacak bazı hallerde imkansızlaşacaktır. Araçların fazla yüklü oluşu frenleme süresini ve mesafesini arttıracadığından kaza olasılığı çok artacaktır. Meyilin fazla ve uzun olduğu yollarda süratin kontrol altında tutulması zorlaşacak, kurp (viraj) teşkil eden yerlerde ise savrulmayı ortaya çıkaran kuvvet artacaktır. Bunlar kaza risklerini önemli ölçüde artırabilir. Fazla yüklemeden doğan kazalarda can kayıpları büyük olduğu gibi, mal kayıpları da özellikle yükün zarara uğraması söz konusu olduğunda, büyük bir kaynak israfı söz konusudur. Kısaca fazla yükün sebep olduğu kazalarda maddi kayıp gerek yk gerekse araç açısından büyük olmaktadır [19].

4.5. Fazla Yük Taşımanın Yoldan Sorumlu Kuruma Etkisi

Yukarıda belirtildiği gibi fazla yük taşınmasından en fazla yol etkilenmektedir. Yol hizmet ömrünün çok altında bir sürede yıpranmaktadır. Bunun doğurduğu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için çok sık onarılmak durumunda kalan veya artık onarılamaz hale gelen yol takviye görmek veya yeniden inşa edilmek zorundadır. Yolun yapımı ve bakımı çok pahalı bir olaydır. Bu nedenle fazla yükten dolayı ortaya çıkan yapım, bakım ve onarım maliyetleri kimsenin fark etmediği bir şekilde kamunun sırtına yüklenmektedir. Ayrıca karayolları kurumu yol kısa sürede bozulduğu için yol kullanıcılarının gözünde değerini yitirmekte, kötü duruma düşmektedir. Bunlara ek olarak yoldan sorumlu kurum fazla yük taşınmasını önlemek amacıyla tesisler, araçlar ve personel gideri olmak üzere önemli miktarda meblağı hiç bir mal üretmeksizin sarf etmek zorunda kalmaktadır [19].

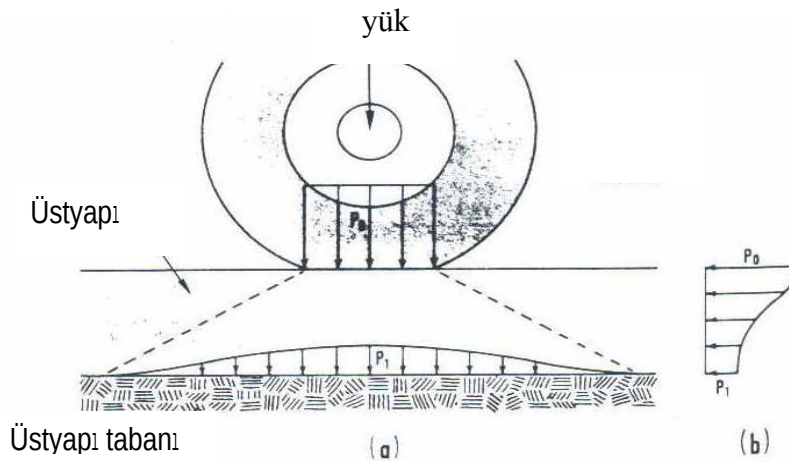
4.6. Fazla Yük Taşımanın Yolu Kullananlara Etkisi

Fazla yüklü bir araç trafik seyri esnasında potansiyel bir problemdir. Her an sizin kusurunuz yokken bile sizin için tehlikeli olabilir. Kazaya karışmanıza sebep olabilir.

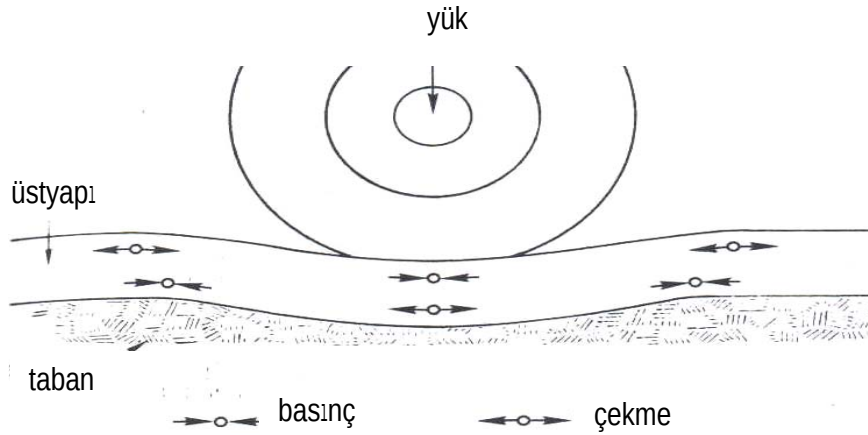
Trafik seyri esnasında araçların veya araç kullanıcılarının hızını olumsuz etkiler. Fazla yükten dolayı bozulan yol diğer araç sürücülerinin sürüş konforunu bozar. Kazaya davetiye çıkarır ve diğer yol kullanıcılarını etkiler. Ayrıca fazla yük taşımanın araç sürücüsüne, araç sahibine ve yük sahibine de zararlı etkileri olmaktadır. Fazla yük taşıyan sürücü/araç sahibi hem aracını hem yolu yıpratıyor. Yorgun ve uykusuz yola devam ediyor ve kazalara neden oluyor. Kaza olduğunda da yük sahibi, araç sahibi ve sürücü bundan birebir etkileniyor [19].

4.7. Aşırı Yüklü Araçlardan Dolayı Yolun Yapısında Meydana Gelen Kalıcı Deformasyonlar

Aşırı yüklü araçların verdiği zararları etkileri yukarıda bahsettik. Aşırı yüklü araçların esnek kaplama tabakalarında verdiği en önemli kalıcı deformasyon sürekli tekerlek izi oluşumlarıdır. Esnek üstyapılarda tekerlekten gelen yük tabakalara aşağıdaki Şekil 4.1’de gösterildiği gibi aktarılır. Her bir üstyapı tabakası üzerine gelen gerilmeleri alt tabakaya yayarak iletmektedir. Alt tabakalara inildikçe oluşan gerilmeler azalmaktadır. Ayrıca esnek kaplama tabakalarında oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin yönü Şekil 4.2’de görülmektedir [22].



Şekil 4.1. Tekerlek yükünün üstyapıda dağılımı



Şekil 4.2. Tekerlek yükünden dolayı oluşan çekme ve basınç gerilmeleri

Tekerlek yükünden doğan defleksiyon kaplama yapısında hem çekme hem de basınç gerilmelerine sebep olur. Kaplamanın bu gerilmeleri karşılayamadığı durumlarda veya Aşırı yüklü ağır taşıtların gelen yüklerin, esnek kaplamayı oluşturan bitümlü sıcak karışımın iç sürtünmesi tarafından karşılanamadığı durumlarda sürekli tekerlek izi dediğimiz kalıcı deformasyonlar oluşur. Bu tip tekerlek izi oluşumları yüksek eğime sahip uzun rampalarda, kavşak ve trafik ışığı yaklaşımlarında, otobüs duraklarında yatay ve düşey kurplarda görülebilir.

Kalıcı deformasyonlar bunların haricinde esnek kaplama tabakalarının altında bulunan tabakalarda meydana gelen oturmalarından da oluşabilir. Ayrıca diğer kalıcı deformasyon oluşumu ise kar yağışı ve buzlanma olaylarının fazla olduğu yerlerde kullanılan çivili lastiklerin meydana getirdiği sökölme ve aşınma nedeniyle oluşan tekerlek izi oluşumudur.

Kalıcı deformasyonların temelinde, hatalı üst yapı tasarımı (yetersiz kalınlıklar), hatalı sıcak karışım dizaynı (aşırı bitüm oranı, aşırı filler oranı v.b.), hatalı imalat (yetersiz sıkıştırma, drenaj eksikliği, temel alttemel tabakalarının dayanıksızlığı v.b.) gibi nedenler vardır [23].

4.8. Tekerlek İzi Oluşumu Gibi Kalıcı Deformasyonların Oluşumunda Sıkıştırmanın Önemi

BSK'nın sıkıştırılması sırasında kaplama performansını etkileyen üç önemli faktör rol oynar. Sıkıştırma ile sırasıyla; asfalt kaplı agrega daneleri birlikte sıkıştırılmakta, hava boşlukları azalmakta ve karışımın yoğunluğu (ağırlık/hacim) artmaktadır.

- Agregaların birbirlerine yaklaşmaya zorlanmaları birbirleriyle olan temas noktalarını ve sürtünmeyi artırmakta ve daha yüksek karışım stabilitesi ile kaplama mukavemeti elde edilmesini sağlamaktadır.
- Karışım içindeki hava boşluğu oranının optimum düzeye indirgenmesi hemen hemen sızdırmaz özellikte bir tabaka elde edilmesini sağlamaktadır. Gereğinden az sıkışmış bir karışımda kaplama içine hava girişine olanak sağlanmış olacak buda kaplama içindeki bitümün okside olmasına neden olmakta, kaplama kırılgan hale gelmektedir.
- Yapım sırasında iyi bir sıkışma oranı elde edilememesi durumunda, üst tarafta bahsedilen iki madde ile eş zamanlı olarak trafik yükleri sonucunda karışım oturmayaya devam edecektir. Bu durum genelde tekerleklerin geçtiği alanlarda görülmekte ve sonuçta oluşan tekerlek izi yolu kullananlar için tehlike yaratmaktadır [22].

4.9. Sıkıştırmanın Temel İlkeleri

Asfalt Betonu karışımının sıkıştırılmasının temel amacı, optimum hava boşluk oranının elde edilmesi ve düzgün bir sürüş yüzeyinin sağlanmasıdır. Finaşerin arkasında, gevşek tabaka % 15 ile % 20 arasında hava boşluğuna sahiptir. Bu hava boşluğunun oranının % 8 değerine veya daha düşük değerlere indirilmesi ise silindirlerin görevidir. Fazla boşluk oranından olduğu kadar çok düşük boşluk oranından (% 2'nin altında) da kaçınılmalıdır.

Asfalt Betonu karışımının sıkıştırılması sırasında doğru karışım sıcaklığı, doğru serme sıcaklığı ve doğru sıkıştırma sıcaklığı önemlidir. 85⁰C ile 150⁰C arasındaki

sıcaklıklarda, bitüm sıkıştırma süresince bir yağlayıcı gibi hareket edip karışım içindeki agregaların daha yoğun bir düzene doğru hareketine yardımcı olacak derecede sıvı haldedir. Bu sıcaklık aralığının altına düşüldüğünde bitüm sert hale geleceğinden sıkıştırmadan istenilen sonuç alınamayacaktır.

Kaplama tabakası doğru sıcaklık değerinde olsa dahi, yoğunluk yalnızca sıkıştırılmakta olan karışım uygun derecede sınırlandırıldığında elde edilebilmektedir. Bu sınırlandırma üç kuvvetten meydana gelmektedir; bunlar silindirin uyguladığı basınç kuvveti, karışım içinde silindire karşı koyan kuvvetler ve sıkıştırılan tabaka altındaki stabil yüzeyden kaynaklanan destek kuvvetleridir [22].

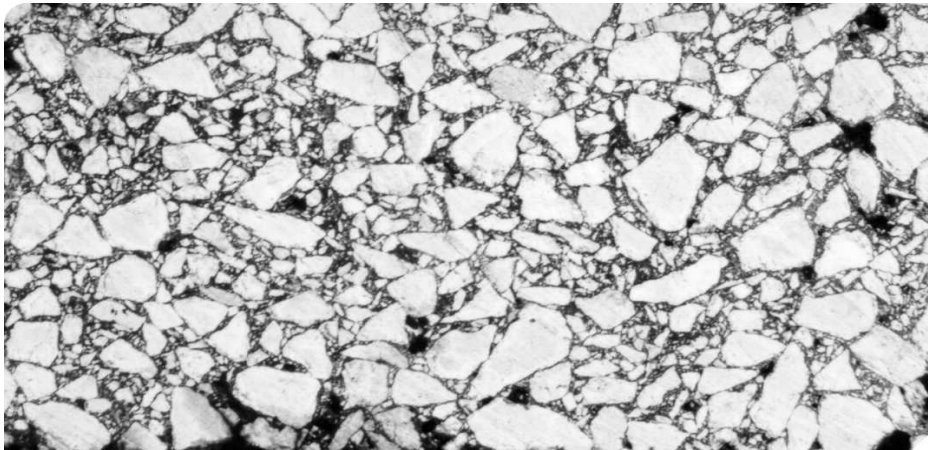
5. BOZULMALARA KARŞI DAYANIMLI KARIŞIMLAR

Bitümlü sıcak karışımlar, bir yandan kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olacak bir şekilde tasarlanırken diğer taraftan çatlamaya, yaşlanmaya mukavim ve yeterli sürtünme yüzeyine sahip olacak şekilde hazırlanmalıdır.

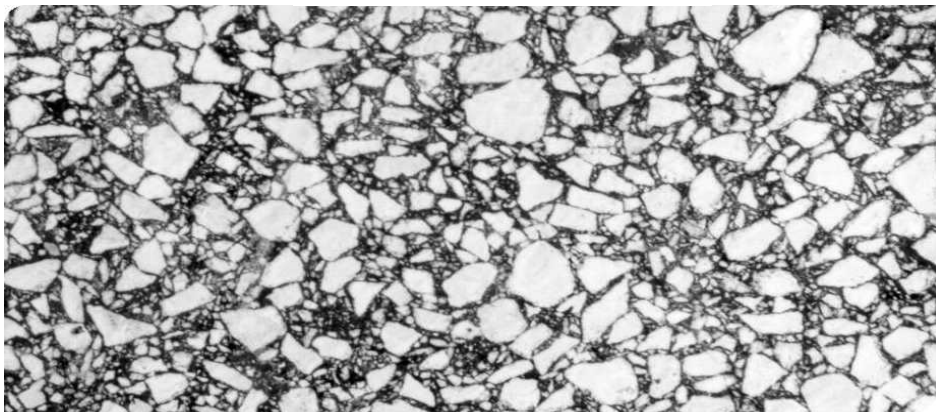
Örnek olarak, bitüm açısından çok zengin ve boşluk oranı açısından yetersiz olan bir karışım, yorulma çatlaklarına yüksek direnç gösterirken tekerlek izi oluşumuna karşı düşük bir dirence sahip olacaktır. Benzer olarak, genel anlamda agrega ve boşluk oranı açısından zengin; fakat bağlayıcı madde içeriği düşük olan bitümlü karışımlar, tekerlek izine karşı yüksek direnç gösterirken, düşük yorulma mukavemetine sahip olacaktır. Diğer bir ifade ile bir karışımın yorulmaya karşı durabil, tekerlek izi oluşumuna karşı ise stabil olması gerekir. Ağır ve yoğun trafik yükünün mevcut olduğu yollarda, doğal olarak tekerlek izine karşı stabil bir karışım tasarımı yanında, aynı zamanda yorulmaya karşı dayanıklı tasarım yapılmalıdır. Tekerlek izi oluşumunun sıklığına, büyüklüğüne ve uygunluğuna bağlı olarak bazı ülkeler, iklim ve trafik koşullarını da göz önüne alarak, kalıcı deformasyonlara dirençli karışım tipleri geliştirmişlerdir [23]. Bu karışımların arasında en önemlilerinden birisi Stone Mastic Asphalt (SMA) denilen Taş Mastik Asfalt karışımlardır.

6. TAŞ MASTİK ASFALT (TMA) KARIŞIMLAR

TMA, iri agregadan oluşmuş bir iskelet ile boşlukları dolduran ince agrega filler-bitüm harcının (mastik harç) karışımıdır. Kaba agrega yüksek dane teması ve iç kenetlenme ile trafik yüklerini taşır. Mastik harç ise boşlukları doldurarak yüksek bitüm oranı nedeniyle durabiliteyi artırır. TMA karışımına, bitüm oranı yüksek olduğundan, bitüm ve bitüm+fillerin karışımından süzülmesini önlemek için elyaf(fiber) ilave edilir. Resim 6.1’de TMA karışımının kesiti ile geleneksel aşınma karışımının kesitleri gösterilmiştir. TMA kesitinde kaba agregalar arasında dane teması görülmektedir [1].



a)



b)

Resim 6.1. a)TMA tabakası kesiti ile b)aşınma tabakası kesiti karşılaştırılması

6.1. TMA Karışımların Tarihçesi

Taş Mastik Asfalt 1960'lı yılların sonunda Almanya'da çivili kar lastiklerinin oluşturduğu plastik deformasyonlara karşı koymak amacıyla geliştirilmiş bir karışım tipidir. Bugün TMA Avrupa ülkeleri ile Japonya ve ABD'de de kullanılmaktadır. TMA karışımlar ilk olarak Almanya'da "Splittmastix asphalt" olarak, daha sonra İsveç, İsviçre, Fransa ve Hollanda'da kullanılmaya başlanmıştır. TMA tipi karışımların ilk kullanım amacı; kış ikliminin ağır olduğu bölgelerde sürüş güvenliğini artırmak için kullanılan çivili lastiklerin, asfalt kaplama üzerinde meydana getirdiği aşınmayı ve tekerlek izini önlemeye yönelik olmuştur. 1975 yılında İskandinav ülkelerinin dışında çivili lastik kullanımının yasaklanması ile TMA karışımların uygulamasına Almanya'da bir müddet ara verilmiştir. Ancak ağır taşıt trafiği ile beraber dingil yüklerinin artması ile yollarda tekerlek izinin oluşması, ciddi bir problem olarak ortaya çıkmış ve yapılan incelemelerde, Almanya'da yapılan TMA karışımlarda, diğer karışımlara göre çok daha az bu tip deformasyonların olduğu gözlenmiş ve bu nedenle TMA karışımlar Almanya'da yeniden kullanılmaya başlanmış olup, 1984 yılında teknik şartnamelere girmiştir [1,24,26].

Amerika Birleşik Devletlerinde ise, lastik iç basınçlarının 75 psi' den, 100 psi 'ye çıkması ve lastik ile kaplama arasındaki temas alanının azaltılması ve bunun doğal sonucu olarak birim alana gelen lastik yükünün artması, son on yılda tekerlek izi oluşumunu hızlandırarak bu yolların en önemli sorunu haline gelmiştir [23].

Lastik iç basıncının yükselmesi, kaplama ve lastik arasındaki etkileşim yüzeyinin azalması ve ayrıca yasal dingil yüklerinin artması gibi nedenler geleneksel asfalt kaplamaların performansı üzerindeki olumsuzluğu artırmıştır. Kalıcı deformasyonlara dirençli karışımlar için çalışmalar yapan Amerikalı uzmanlar, Almanya'da uygulanan TMA karışımları incelemiş ve bu karışımların yüksek stabiliteye sahip olduklarına kanaat getirmeleri üzerine, 1991 yılında kendi ülkelerinde TMA uygulamalarına deneme kesimleri yaparak başlamışlardır. Alınan olumlu sonuçlardan sonra yaygın olarak kullanımına devam edilmiştir [23].

TMA karışımların performansı, ABD’ de sürekli olarak incelenmektedir. Almanya ve ABD’ den başka bugün TMA; İsveç, Norveç, Danimarka, Hollanda, Belçika, Fransa, İsviçre, Japonya, Macaristan, İngiltere ve Portekiz gibi ülkelerde kullanılmaktadır [23]. TMA karışımlarının önemli kullanım alanları olarak otoyolları, kavşak noktaları, otobüs durakları, otobüs yolları, hava alanları ve yarış pistleri gibi yerleri sayabiliriz.



Resim 6.2. TMA karışımların otobüs duraklarında kullanımı [23]



Resim 6.3. TMA karışımların yarış pistlerinde kullanımı [23]

6.2. Niçin TMA Kullanmalıyız?

TMA Karışımların özelliklerini ve avantajlarını aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- * Kalıcı deformasyonlara karşı yüksek dayanım (Yüksek hava sıcaklıkları ve ağır dingil yükleri nedeniyle oluşan tekerlek izinde oluklaşma şeklindeki plastik deformasyonlara karşı dayanımı artırmak),
- * Yüksek oranda kayma direnci, kesikli gradasyon nedeniyle, yüzey pürüzlülüğünü artırmak, yüksek sürtünme seviyesi sağlamak bu sayede sürüş güvenliği artırarak duruş mesafelerini kısaltmak,
- * Yağışlı havalarda su filmi oluşumunu azaltır ve yüksek seviyede görünürlük sağlar,
- * Yol işaretlemelerinin görünürlüğünü artırır,
- * Gece yolculuklarında far ışıklarının yansımalarını azaltır,
- * Düşük gürültü seviyesi sağlar,
- * Yüksek durabilite sağlar, yüzey bozulmalarına karşı yüksek direnç ve uzun servis ömrü sağlar,
- * Ömür-zaman maliyetlerinde azalma meydana getirir,
- * Düşük sıcaklık çatlaklarını geciktirir,
- * Daha az bakım ihtiyacı ve bakım hızı (ince tabakalar halinde uygulanabildiğinden tabaka yenilemelerinde sağladığı kolaylık) gibi avantajları vardır.

TMA; Avrupa’da ağır trafikli yolların, havaalanlarının ve liman sahalarının kaplanmasında çok popüler olmuştur ve kullanımı dünya çapında yaygınlaşmıştır. TMA, sağladığı konforlu sürüş özelliğinin yanı sıra gürültü seviyesi düşük ve kayma direnci yüksek iyi bir yüzey dokusu oluşturur. İri agrega tanelerinin güçlü agrega yapısı deformasyona karşı iyi bir direnç ve taneler arasını dolduran zengin mastik ise TMA’ya yüksek durabilite sağlar. Bağlayıcı drenajını önlemek için bir drenaj önleyici katkıya ihtiyaç vardır.

TMA’nın mekanik özelliklerini artırmak için modifiye bitüm kullanılabilir, modifiye bitüm aynı zamanda drenaj önleyici madde kullanımını da azaltır. TMA’nın bu özel karışım kompozisyonu sayesinde yüzey tabakasının daha ince tabakalar halinde

uygulanması mümkün olmaktadır. Böylece üstyapının yüzey tabakasında kullanılan yüksek kaliteli asfalt miktarı azaltılmış olur. TMA yüksek oranda bağlayıcı ve yüksek kaliteli agrega gerektirmesine rağmen, maliyetine göre yararlılığı çok yüksektir.

İyi dizayn edilmiş bir TMA uygun şekilde uygulandığında çok az bakım gerektirir. TMA'nın diğer bir avantajı da çabuk uygulandığından bakım işlemlerini kolaylaştırarak üstyapının ömür boyu maliyetini düşürücü katkılar sağlamasıdır.

Daha uzun yol ömrü, daha ince tabaka uygulama olanağı ve gürültü seviyesini düşürmesi sürdürülebilir çevresel yararlarının olduğunu göstermektedir.

Birçok ülkede TMA; yol, havaalanı ve diğer kaplamaların yüzey tabakalarında çok kullanılan bir asfalt karışım tipi olmaya başlamıştır. TMA klasik yüzey tabakaları ile karşılaştırıldığında fonksiyonel, ekonomik ve teknik açıdan önemli avantajlara sahiptir. Yüksek durabilite ile stabiliteyi birleştiren ve ince tabakalar halinde uygulanabilen bir tabakadır. Ayrıca sessiz yüzey özelliği ile çevresel yararları da vardır [27].

6.3. Avrupa'da TMA Üretimi

Aşağıdaki verilen Çizelge 6.1'de TMA ile yapılan alanların Avrupa'daki bazı ülkelere göre dağılımı gösterilmektedir [27].

Çizelge 6.1. Avrupa’da TMA üretimi, 2003 [27]

	Toplam Uygulama alanı, Milyon m ²	2003 yılında üretilen Asfaltın %’si olarak	2003 yılında uygulanan Alan, milyon m ²
Almanya		9	58
Avusturya		10	15
Belçika		16	8,5
Çek Cumhuriyeti		10	4
Danimarka	22,4	4,3	1.4
Estonya	1,35	5	0,4
Finlandiya		6,6	
Fransa	18		4
Hırvatistan		65	
Hollanda		8,8	
İrlanda		2,5	0,74
İsveç		20	15
İzlanda		5	
Macaristan		4,95	
Norveç		3	
Polonya	33,2	9	10
Slovakya		5,7	0.65
Slovenya		5	1
Türkiye	2,72	0,01	0,012

6.4. TMA’nın Fonksiyonel Üstyapı Yüzey Karakteristikleri

Bir yüzey tabakası için asfalt karışım tipinin seçiminde dikkate alınan fonksiyonel yüzeysel karakteristikler aşağıda belirtildiği gibidir [25].

- Kayma direnci (güvenlik açısından)
- Düzgünlük; enine ve boyuna (sürüş konforu)
- Gürültü seviyesi (çevresel etki ve sürüş konforu; araç içinde ses artar, aracın çevreye verdiği ses azdır.)
- Durabilite (üstyapı performansı)

6.4.1. Kayma direnci

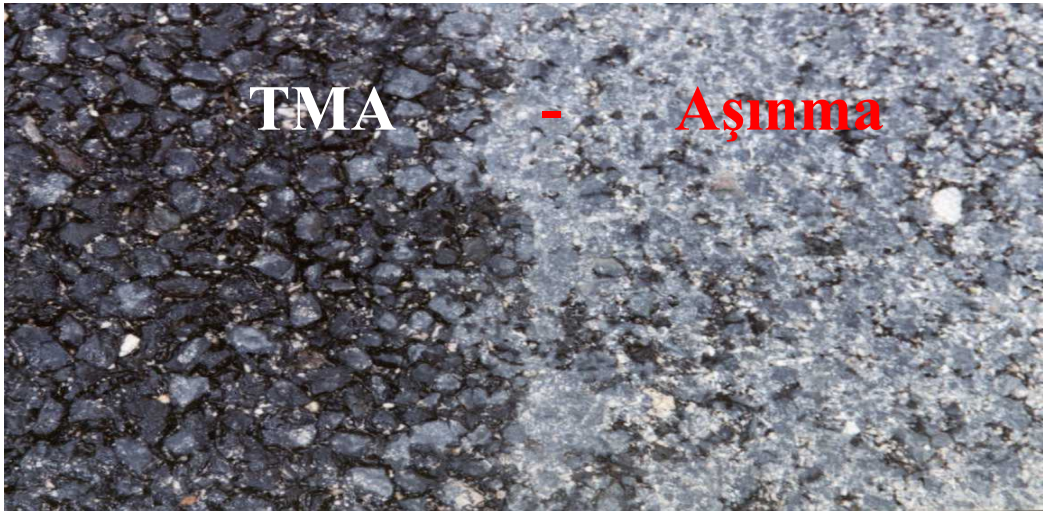
TMA yol uygulamalarının birçoğunda gerekli olan kayma direnci düzeyini sağlayacak şekilde dizayn edilebilir. Elde edilen kayma direnci iki ana faktöre bağlıdır;

Agrega tipinin seçimi ve yüzey dokusunun dizaynı, arazide daima uygun Cilalanma Değerine sahip iri agregalar kullanılmalıdır. Yüksek cilalanma değerine sahip agregalar, trafik altında cilalanmaya karşı dirençli olup, uzun bir süre kayma direncini muhafaza ederler. Birçok ülkede lokal olarak agreganın bulunabilirliğine ve uygulamadaki deneyimlerine göre cilalanma değeri kriteri mevcuttur. Çeşitli çalışmalar TMA'nın, aynı agregalar ile yapılan klasik karışımlara eşdeğer veya daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermiştir [27].

Yüzey dokusu, tekerlek ile yol yüzeyi arasındaki yüzey suyunun yayılması ve lastik tekerleğin yüzeyi kavraması açısından önemlidir. TMA yüzeylerini farklı dokularda dizayn etmek mümkündür. Bu dizayn, agregalar boyutunun ve boşlukları dolduran harcın bir fonksiyonudur. İri agregalar (0/14, 0/16) 1,5-2,0 mm'lik doku derinliği oluştururken, daha küçük boyutlu agregalarda doku derinliği daha düşüktür. Birçok ülkede yüksek ve düşük hızlı trafik için gerekli yüzey doku derinliği şartının sağlanması uygun karışımın seçimi ve dizaynı ile mümkün olmaktadır. Ayrıca trafik altında doku kaybının olmaması için karışımın aşırı derecede harç ile doldurulmaması gerekmektedir. TMA karışımları, diğer klasik karışımlara göre yüzeyde daha kalın bağlayıcı filmi oluşturmaktadır. Bu nedenle birçok ülkede de dikkati çektiği gibi, ilk birkaç aylık trafik süresince TMA'nın kayma direnci beklenilenden daha düşük olabilir. Ancak bu varsayımı destekleyen çok az sayıda kanıt vardır. Buna rağmen bazı ülkelerde bu problem olasılığına karşı serim sırasında yüzeye 0-2/5'lik kırmataş micir uygulanmaktadır [27].



Resim 6.4. TMA yüzey dokusu



Resim 6.5. TMA yüzey dokusu ile aşınma tabakası yüzey dokusu karşılaştırılması

TMA yüzey dokusu ve Aşınma tabakası yüzey dokusu ile karşılaştırılması Resim 6.4 ve Resim 6.5’de gösterilmiştir.

6.4.2. Düzgünlük / tekerlek izi

Üstyapı sürüş kalitesini belirleyen ve sericiyle sağlanan düzgünlük, güçlü agrega yapısı nedeniyle, TMA’da asfalt betonu seriminden elde edilenden çok daha iyidir. Bu nedenle aşırı silindirme gerektirmemektedir. Sonuç olarak, diğer asfalt

kaplamalarla sağlanan sürüş konforu ile karşılaştırıldığında bu tip kaplamada daha yüksek sürüş konfor seviyesi elde edilebilmektedir.

TMA'nın kalıcı deformasyona karşı direnci yüksek olduğundan hem enine hem de boyuna düzgünlüğü zamanla çok fazla değişmez (Ancak boyuna düzgünlük üstyapının altındaki tabakaların taşıma gücü ile yakından ilişkilidir.) Bu durum TMA'nın tekerlek izine karşı daha yüksek dayanıma sahip olduğunu göstermektedir.

Modifiye edilmemiş malzemeler içeren TMA'nın kalıcı deformasyona karşı direnci, üç eksenli basınç deneyi ile ölçülmüş ve asfalt betonunun kalıcı deformasyona olan direncinden yaklaşık 1,5-4 kat daha yüksek bulunmuştur. İngiltere'de kullanılan tekerlek izi cihazı ile 60°C da yapılan deneyde modifiye edilmemiş bağlayıcı ile üretilmiş TMA karışımında yaklaşık 1 mm/saat) oturma görülmüştür, bu değer, İngiltere'de asfalt kaplamalarda deformasyon direnci kriteri olarak verilen 5mm/saat değerinden oldukça düşüktür [27].

6.4.3. Gürültü

Birçok ülkeden alınan raporlar TMA'nın gürültü seviyesinin düşük olduğunu göstermiştir. (Çizelge 6.2'de negatif değerler gürültü seviyesi artışı gösterir.)

Çizelge 6.2. Diğer karışım tiplerine göre TMA gürültü seviyesi

Ülke	TMA Tipi	Gürültü Azalması, dB(A)	Referans Karışımlar
Almanya ^a , v=50 km/h	0/5, 0/8	(+2) - (-2 ^b)	AC 0/11
İtalya, v= 110 km/h	0/15	(+5) - (+7)	AC 0/15
Hollanda, v = 60-100 km/h	0/6 0/8 0/11	(+1,4) - (+1,6) (+0,2) - (+0,6) (0,0) - (-2,0 ^b) (0,8) - (-0,5) (1) - (-3,0 ^b)	AC 0/16
İngiltere, v = 70-90 km/h	0/6 0/10 0/14	(+5,3) - (+5,2) (+3,5) - (+3,2) +2,7	HRA

a) Hesaplanan değerler,

b) Kaplama yüzeyi, boyutu >2 mm olan mıcır (yüzeyi kaplamasız mıcır) ile kaplandığında

Çizelge 6.2’den görüleceği gibi TMA’nın gürültü seviyesi, bu kaplamayı kullanan ülkelerdeki alternatif standartlara göre değerlendirilmektedir. Belirli bir sürtünme seviyesini elde etmek için yüksek dokulu yüzeylerin kullanılması gerekir (HRA-Hot Rolled Asphalt, yivlendirilmiş veya fırçalanmış beton gibi). Aynı doku seviyesine sahip diğer asfalt kaplamalara göre TMA, etrafa daha az gürültü yayar. Aslında TMA’nın yüzey dokusu daha yüksek olmasına rağmen, daha düzgün ve düşük dokulu asfalt betonuna göre gürültü seviyesi daha düşüktür.

Sürtünmeyi artırmak için yüzeye serilen mıcır, uygulamanın ilk yılında gürültü düzeyini artıracaktır [27].

6.4.4. Yüzey durabilitesi

TMA’yı geliştirmenin esas nedeni, kalıcı deformasyonlara ve çivili tekerlek aşındırmasına karşı üstyapı yüzeyinin dayanımını artırmak ihtiyacından doğmuştur. TMA’nın çok durabil ve aşınmaya karşı dirençli olduğu ispatlanarak, amaçlanan bu hedefe ulaşılmıştır. Soyulma, yüzey çatlağı (sıcaklık ve trafiğe bağlı) ve sökölme gibi kaplama bozukluklarının TMA ile ilişkilendirilemeyeceği tespit edilmiştir. TMA’nın yüksek durabilitesi, mastik harcının sızdırmaz yapısından kaynaklanmaktadır. Harç bağlayıcı açısından zengin ve boşluksuz olduğundan, bağlayıcının bozulma hızı da oldukça düşüktür [27].

İlk TMA tipi kaplama, 60’lı yılların ortalarında Almanya’da inşa edilmiştir. Bu kaplamalar şimdi epey süre geçmesine rağmen, hala yoğun bir bakım gerektirmeden kullanılmaktadır. Diğer ülkelerde genellikle 80’li yılların ortalarında başlayan TMA uygulamalarından çok iyi performans elde edilmiştir. Üstyapı mühendisleri, önemli bir bozukluk görülmeyen bu kaplamanın gerçek performans ömrünün tahmininde zorluk çekmektedirler [27].

6.4.5. Görünürlük

Düşük yüzey dokulu asfalt betonu ile karşılaştırıldığında, TMA’nın yüksek yüzey

dokusunun anlamı, malzemeler arasında daha fazla su tutma kapasitesidir. Sonuçta, yüzeyde daha az su görüldüğünden, gece seyreden araçların farlarının yansıması ile oluşan parlama azalır, yol işaretlerinin görünürlüğü artar ve su sıçraması da kısmen önlenmiş olur [27].

6.5. Yapım Şartları

Karayolları Teknik Şartnamesi 408. Kısımda TMA karışımların yapım şartları aşağıdaki gibi verilmiştir.

Bitümlü bağlayıcı ve mineral agrega en az 165°C'lik, en fazla 180 °C' lik bir karışım sıcaklığı elde edilecek bir sıcaklıkta karıştırılacaktır. Plent; elyaf katkıyı ve filler malzemeyi otomatik olarak istenilen ağırlıkta besleyecek donanımına sahip olacaktır.

Elyaf katkı için yeterli miktarda kuru depolama yapılacak ve elyafın karışıma üniform biçimde orantılı olarak ve istenilen miktarlarda verilmesi için önlemler alınacaktır. plentde, elyaf karıştırıcıya, tartım sistemi ile otomatik olarak doğrudan doğruya ilave edilecektir. Elyafın karışıma ilave edilmesinin zamanı ve elyaf ilavesi nedeniyle artan karıştırma süresi, elyaf üreticisinin önerdiği şekilde olacaktır.

Plentde üretilen karışımdan günde en az iki kez numune alınarak bitüm süzülme deneyi yapılacaktır. Süzülme miktarı maksimum % 0,3 olacaktır.

Gerektiğinde sıcak karışım, sıcak karışım depolama silolarında depolanabilecektir. Depolama siloları uygun ısıtma ve izolasyon ekipmanı ile donatılmış olacaktır. Bekletme zamanı İdare'nin belirlediği sınırlamalar içinde olacaktır. Hiçbir durumda TMA gece boyunca veya bir sonraki günün kaplaması için depoda bekletilmeyecektir. Karışım; sericiye verildiğinde 145° C'nin altında olmayan bir sıcaklığa sahip olacaktır. Karışımın sıcaklığı, tam sericiye boşaltılmadan önce kamyonun içinde ölçülecektir. Karışımı sermek için minimum çevre sıcaklığı gölgede 10° C olacaktır.

Karışım, serildikten hemen sonra, bir finişer için statik ağırlığı minimum 10 ton olan en az iki adet çelik bandajlı silindir kullanılarak sıkıştırılacaktır. Silindirleme işlemine karışım sıcaklığı 145°C'ye düşmeden önce başlanacaktır. TMA üzerinde lastik tekerlekli silindirler kullanılmayacaktır. Silindirler, sericinin arkasındaki en fazla 100 m'lik mesafe içerisinde çalıştırılacaktır. Sıkıştırma sırasında vibrasyon uygulanmayacaktır. Silindirlerde, karışımın bandajlara yapışmasını önlemek için, sulama sistemi olacaktır. Silindirleme işlemine silindir izleri kayboluncaya ve gerekli yoğunluk elde edilinceye kadar devam edilecektir. Silindirleme işlemi, serilen karışımın sıcaklığı 115°C'ye düşmeden önce tamamlanacaktır. Yerinde yoğunluk sağlanır sağlanmaz, bitümlü bağlayıcı veya fillerin yüzeye çıkmasına neden olabilecek aşırı silindirlemeyi önlemek için, silindirleme durdurulacaktır. Sıkıştırma işlemi sırasında; müteahhit, istenilen minimum yoğunluğun elde edildiğinden emin olmak amacıyla, nükleer yoğunluk ölçme aletleri ile yoğunluğu izleyecektir.

Modifiye bitüm kullanılması halinde; karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları Modifiye Bitüm üreticisinin önerilerine göre ayarlanacaktır. Karışımın plentde modifiye edilmesi halinde, karıştırma süreleri, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, katkı üreticisi firmanın önerilerine göre olacaktır.

Sıkıştırılmış tabaka kalınlığı TMA Tip-1 için 35-50 mm, TMA Tip-2 için 25-40 mm olacaktır. Sıkışma % 97'den az olmayacaktır. Her durumda sıkıştırılmış malzemenin hava boşlukları % 6'dan az olacaktır. Tüm yüzey kotları, kalınlıklar, yüzey düzgünlüğü şartları ve tolerans limitleri 407. Kısım'da belirtilen esaslara uygun olacaktır [9].

6.6. TMA Kaplamalarından Beklenen Performansın Elde Edilebilmesi İçin Gerekli Hususlar

- Aynı trafik şartları altındaki üstyapılarda, TMA'da daneler arası kontak basıncı asfalt betonundan daha fazla olduğundan dolayı, TMA yüzeyinde aşınma olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle ağır yüklere maruz kaplamalar (Endüstriyel alanlar, ağır trafikli yollar gibi) yüksek kaliteli agrega gerektirir (aşınma dayanımı ve dane şekli).

Agreganın özellikle aşınma dayanımı sıkıştırma sırasında da çok önemlidir, bu nedenle sıkıştırma işleminde aşırı silindiraj ve vibrasyonlu sıkıştırma işlemlerinden kaçınılarak uygun silindiraj yöntemi uygulanmalıdır.

- Ağır yüklere maruz üstyapılarda sadece TMA karışımının dikkatli dizayn edilmesi yeterli olmayıp, aynı zamanda tabaka kalınlıklarının da titizlikle seçilmesi gerekir. TMA yapımında uygulanacak tabaka kalınlığı, agrega boyutu ile yakından ilişkilidir. Yüksek kontak basıncı olan üstyapılarda tabaka kalınlığının seçimi çok önemlidir. Tabaka kalınlığı, nominal agreg boyutunun en az 2,2 katı olmalıdır. Yeni bir yapım işleminde, 0/6 ila 0/16 boyutları arasındaki TMA tipleri için maksimum tabaka kalınlığının, 20 mm ile 50 mm arasında uygulandığı belirlenmiştir. Ağır yüke maruz üstyapılarda genellikle bu kalınlıklar 5 mm azaltılarak uygulanmaktadır.
- Yolda yüzey tabakası ile alttaki tabaka arasında yeterli bir sürtünme gereklidir. İki tabaka arasında bir kayma yüzeyi oluşmamalıdır.

- Agreg a iskeleti arasındaki boşluğun aşırı derecede doldurulmasından, agreg a yapısının yetersiz stabilitesinden veya agreg a taneciklerinin yer değiştirmesine neden olan yüksek oranda boşluk içermesinden kaynaklanan bozulma riskleri, yörenin tipik sıcaklığına uygun yüksek viskozitede bir bağlayıcı (modifiye veya farklı sınıflardaki bitümler gibi) kullanılmasıyla azaltılabilir.

- Karışım da kullanılacak kumun seçimi stabilite ve işlenebilirlik arasında bir denge oluşturduğu gibi kırma taş tan üretilcek ince malzemenin % sini de belirlemektedir.

Karışımın kalıcı deformasyona karşı gösterdiği direncin yeterli olmadığı durumlarda modifiye bağlayıcı kullanılarak yüksek bir direnç elde edilebilir [27].

6.7. TMA Kullanımı İle Sağlanan Yararlar ve Sonuçlar

TMA kaplamaların mekanik özellikleri ve durabilitesi açısından diğer üstyapılara göre daha iyi bir performans gösterdiği ispatlanmıştır. Optimum performans, kaliteli bir inşaatın yanı sıra en uygun üstyapı ve karışım dizaynını da gerektirir.

TMA kullanmamızın en önemli nedeni; yüksek sıcaklık ve ağır trafik yükleri altında, tekerlek izi oluşumuna karşı yüksek dayanımdır.

TMA yol kullanıcılarına ve kamuya önemli çevresel yararlar sağlamaktadır [27].

Hem ilk uygulamasında hem de uzun vadede, daha ince tabaka halinde yapımı ve durabilitesi nedeniyle TMA' da daha düşük oranda agrega kullanılır [27].

Daha uzun servis ömrü ve daha düşük bakım ihtiyacı sonucu yolun hızla trafiğe açılmasını sağlar ve trafik sıkışıklığını azaltır (böylece yüksek seviyede hava kirliliğini de önler). Ayrıca genelde bakım işlemleri sırasında kaza sıklığı daha fazla olduğu için, yol kullanıcıları ve bakım operatörleri için TMA daha güvenli bir inşaat tipi olarak görülmektedir.

TMA'nın doğal yüzey yapısı sonucu güvenliği zamanla artmaktadır. Yağışlı havalarda diğer birçok yüzeylere göre daha fazla su kabul edebilir ve yüzeyde su tabakası oluşma riski daha düşüktür. Çünkü TMA'da su, yüzeyden daha çok malzeme içinde tutulur. Sonuç olarak daha az su sıçratır, geceleyin yol yüzeyinde ki yansıma daha az olur ve yol çizgilerinin görünürlüğü artar.

Çok kullanılan yüzeylerde bile tekerlek izi oluşumuna karşı sağladığı yüksek dirençle, sürüş konforunun yanı sıra sürüş güvenliğine de önemli katkılar sağlar ve sürücü yorgunluğunu azaltır. Ayrıca TMA yüzeylerinin gürültü seviyesi genellikle daha düşüktür, bu sonuç Bölüm 6.4.3'te belirtilmiştir [27].

TMA karışımının yeniden kullanılması (Recycling) ekonomik fayda sağlar;

TMA %100 geri dönüştürülebilir bir asfalttır. Ancak gradasyonun çok hassas bir şekilde kontrolü ve yüksek kaliteli agrega kullanımı gerektirdiğinden, TMA karışımında eski asfaltın kullanılması mümkün değildir. TMA yüksek oranda bağlayıcı içerdiğinden, yüksek kalitede agrega, drenaj önleyici katkı ile modifiye

bitüm gerektirmektedir. Ayrıca drenaj önleyici katkının karıştırılması için gerekli karışım süresi daha uzun olduğu için TMA'nın üretim kapasitesi asfalt betonuna göre daha düşüktür. Bu nedenlerle TMA karışımının birim fiyatı standard asfalt betonuna göre daha yüksek olabilir. Ancak aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı ömür boyu maliyeti değerlendirildiğinde, pratikte TMA maliyetine göre çok avantajlı bir karışım tipidir.

TMA, asfalt betonuna göre daha ince tabaka halinde uygulanabilmektedir. 35-50 mm asfalt betonu yerine 25-35mm TMA kullanılabilmektedir. Ancak, asfalt betonu aşınma tabakası ile TMA arasındaki kalınlık farkı kadar, maliyeti daha ucuz olan binder veya temel tabakası kalınlığı artırılarak üstyapının toplam asfalt tabakaları kalınlığı değiştirilmez. Sonuç olarak, TMA'lı ve asfalt betonu kaplamaların yapım maliyetleri karşılaştırıldığında aradaki fark tahmin edilenden daha az olacaktır [27].

TMA'nın performans ömrü, asfalt betonundan daha uzundur. Almanya'daki uygulamalar göstermiştir ki, ağır trafik yükleri altında bile TMA 20-30 yıl hizmet verebilmektedir. 1997'de Almanya'da Baden-Wuerttemberg ve Lower Saxony otoyollarında yaklaşık 450 km'lik kesimde tekerlek izi etütleri yapılmıştır. TMA uygulanan bu kaplamalar, 1987 ile 1990 yılı ortalarında yapılmış olup, günde 10 000-12 000 ticari taşıt taşımıştır. 1995 yazının uzun ve aşırı sıcaklığına rağmen, kaplamanın % 10'dan daha az kısmında 6 mm den daha fazla, % 1'den daha az alanda da 10 mm'den daha derin tekerlek izi görülmüştür. Hollanda'da asfalt betonunun ortalama performans ömrü karayollarında yaklaşık 12 yıl, diğer ana yollarda ise 15-20 yıl olarak tespit edilmiştir. TMA için performans ömrünün 5-10 yıl daha uzun olması beklenilmektedir [27].

TMA'nın bakım maliyeti asfalt betonunun bakım maliyetinden daha düşüktür. Çünkü TMA sökülme, çatlak oluşumu ve aşınmaya karşı dirençli olup daha uzun servis ömrü sağlamaktadır [27].

Uzun servis ömrü ve az bakım ihtiyacı nedeniyle, trafiğin bekletilmesi ve gecikmesinden kaynaklanan maliyet daha düşüktür. Gerçekte bu maliyet bakım

maliyetlerinin kesinlikle üzerindedir [27].

TMA durabilitesi düşük olan kaplama malzemeleri yerine kullanılabilir. Örneğin TMA 0/6 tipi yüzey kaplamanın iyi bir alternatiftir [27].

TMA ve asfalt betonu yüzey kaplamaların % 5 faiz oranıyla yıllık maliyetlerinin eşitlenmesi için, teorik olarak TMA ömrünün % 25 daha uzun alınması gerekmektedir. Yani TMA'nın birim fiyatı, asfalt betonunun birim fiyatının % 120'sine eşdeğer olduğu kabul edilmiştir. Hizmet ömründe sağladığı en az 5-10 yıllık artış ve ekstra avantajlarıyla TMA seçiminin iyi bir yatırım olduğu açıktır [27].

TMA karışımlarla ilgili sonuç olarak;

Özellikle yüzey performansı, durabilitesi, çevresel etkileri ve ömür boyu maliyeti dikkate alınarak diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, TMA birçok avantajlar sağlayan bitümlü bir karışımdır.

TMA ağır yüklü üstyapılarda, düşük ve yüksek hacimli yollarda, yarış pistlerinde ve bisiklet yollarında başarıyla uygulanmaktadır. Tüm bu alanlarda ispatlanmış birçok avantajı; kalıcı deformasyona karşı yüksek direnç, trafiğin aşındırıcı etkisine ve iklim değişikliklerine karşı sağladığı yüksek direnç, çok yüksek seviyede sürüş özelliği (düzgünlük, kayma direnci), özel şartlar altında alternatiflerine göre daha düşük gürültü seviyesi şeklinde kısaca özetleyebiliriz.

TMA'nın uzun servis ömrü dolayısıyla ilk yapım maliyeti yüksek olmasına rağmen alternatif malzemelerin birçoğuna göre yapılan yatırım daha etkin bir şekilde geri dönmektedir.

Avrupa çapında şartnamelerdeki sınırlı farkların nedeni, iklim şartları ile yasal maksimum dingil yükleri arasındaki farktır. Bu şartlar karışımın boşluk oranı, bağlayıcı içeriği ve bağlayıcı sertliği ile ilişkilendirilmiştir. Yağışlı ve soğuk bölgelerde daha düşük boşluk oranı ve daha yüksek bitüm içeriği kullanılırken, kuru

ve daha sıcak bölgelerde boşluk oranı genellikle daha yüksek ve daha düşük oranda sert bağlayıcı gerekmektedir. Çivili lastiğe karşı direnç gerektiren özel durumlar hariç, genellikle agrega gradasyonu oldukça sabit tutulmaktadır.

TMA'dan maksimum yararı elde etmek için, karışımın iyi dizayn edilmesi ve yüksek standardda üretim ve uygulamanın yapılması gereklidir. Bu sağlandığında ekonomik ve çevresel açıdan cazip bir çözüm üretilmiş olacaktır.

Daha uzun yol ömrü sağlaması, daha ince tabakalar halinde yapımının mümkün olması (agreganın daha az kullanılması) ve gürültü seviyesini azaltması nedeniyle TMA, sürdürülebilir çevresel faydalar sağlamaktadır [27].

7. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Bu kısımda; TMA karışımların hazırlanmasında kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin genel özellikleriyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Yaptığımız çalışmalarda kullandığımız malzemeler; iki ayrı tipte agrega, bitümlü bağlayıcı, diatomit malzemesi, fiber katkı malzemesidir.

7.1. Agregalar

Deneylerde kaba, orta ve ince agrega olarak Ankara civarındaki Yapracık bazalt taş ocağı malzemesi, filler malzemenin % 50'si ise Alacaatlı kalker taş ocağı malzemesinden kullanılmıştır. Geriye kalan filler malzemesi ise bazalt agregasından ve dizayn çeşidine göre diatomit katkısından karşılanmıştır. Agrega kullanımında yaklaşık % 95 oranında bazalt agregası, % 5 oranında kalker agregası kullanılmıştır. Burada bahsedilen filler malzemesinden kasıt No.200 elekten (0,075 mm) elekten geçen malzeme boyutu anlamındadır.

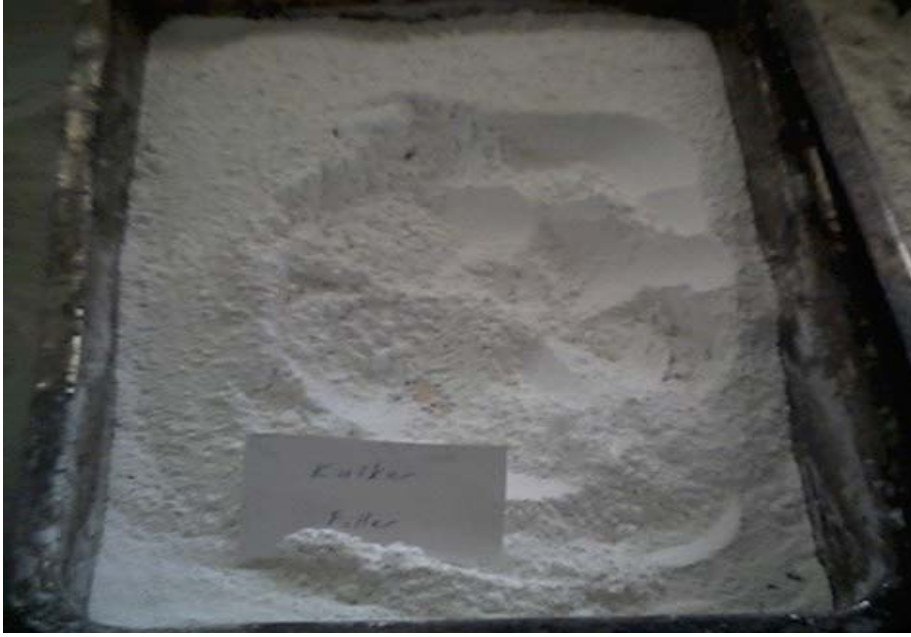
Kaba agrega, TMA karışımlarının içinde dane teması ve iç kenetlenmeyi sağlar, böylece üzerine gelen trafik yükünü dağıtarak taşır. Bu yüzden dizayn gradasyonunda sağlam, sert, dayanıklı bir taş olan bazalt seçilmiştir. Resim 7.1, Resim 7.2, Resim 7.3 ve Resim 7.4'de deneylerde kullanılan filler grubu malzemeler görülmektedir. Kullanılacak olan diatomit fillerinin elde edilmesi için ilk olarak diatomit değirmenden geçirilerek öğütülmüş daha sonra bu öğütülmüş malzemedan No.200 elek yardımıyla diatomit filleri elenerek elde edilmiştir.



Resim 7.1. Kullanılan diatomitin filler malzeme durumuna getirilmeden önceki hali



Resim 7.2. Kullanılan diatomitin değirmenden geçirilerek öğütülmüş durumu



Resim 7.3. Kullanılan kalker filleri



Resim 7.4. Kullanılan bazalt filleri

7.1.1. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Deneylerde kullanılacak karışımlar için 3/4’’–3/8’’, 3/8’’-No:4, No:4-0 boyutlarında kırılmış Bazalt agregası ve No:4-0 Kalker agregasının filler kısmı kullanılmıştır. Agregalara Los Angeles Aşınma Kaybı, Sağlamlık Deneyi, Soyulma Mukavemeti, Cilalanma Değeri, Yassılık İndeksi ve Özgül ağırlık ve Absorpsiyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Agregalara uygulanan deney sonuçları

Deneyler/Agrega Cinsi	Yapracık Bazalt	Alacaatlı Kalker	Deney Standardı	TMA Şartnamesi
Los Angeles Aşınma Kaybı, (%)	11,7	23,7	TS 3694	maks. 25
Sağlamlık (Na ₂ SO ₄) Kayıp, (%)	2,0	2,0	TS 3655	maks. 8
Soyulma Mukavemeti, (%)	30-35	75-80	Nicholson	min. 60
Cilalanma Değeri	53	42	BS 812	min. 50
Yassılık İndeksi, (%)	24,5	15,6	BS 812	maks. 25
Kaba Agregası Hacim Özgül Ağırlığı, gr/cm ³	2,799	2,676	ASTM C 127	--
Kaba Agregası Zahirî Özgül Ağırlığı, gr/cm ³	2,894	2,709	ASTM C 127	--
Kaba Agregası Su Absorpsiyonu (%)	1,2	0,5	ASTM C 127	maks. 2,5
İnce Agregası Hacim Özgül Ağırlığı, gr/cm ³	2,690	2,675	ASTM C 127	--
İnce Agregası Zahirî Özgül Ağırlığı, gr/cm ³	2,737	2,718	ASTM C 127	--
İnce Agregası Su absorpsiyonu (%)	0,6	0,6	ASTM C 128	maks.2,5
Filler Zahirî Özgül Ağırlığı, gr/cm ³	2,743	2,723	BS 812	--
Plastisite İndeksi	--	(N.P) Plastik Değil	TS -1900-1	--

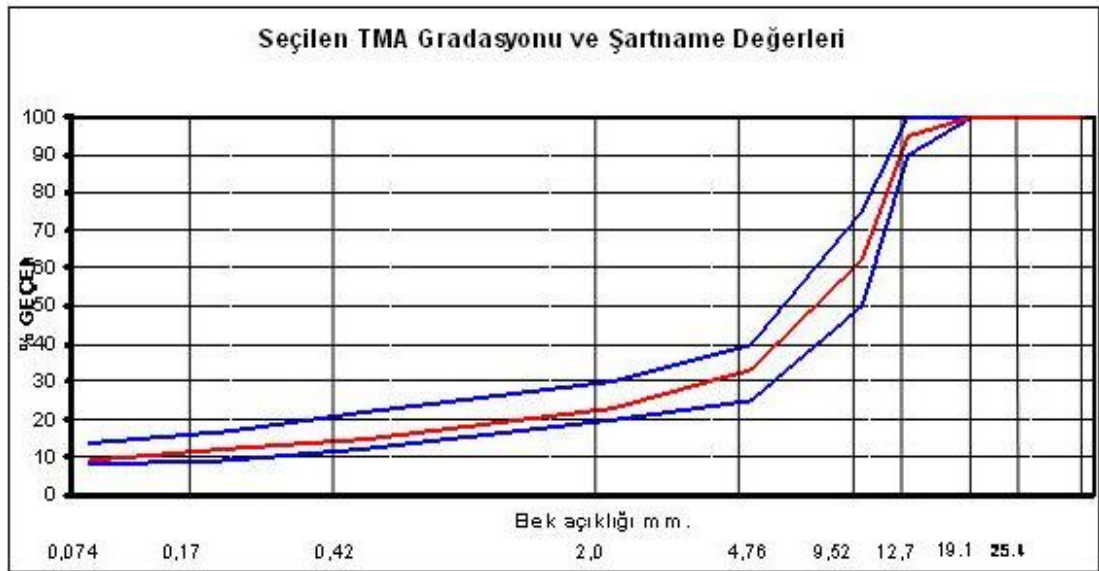
7.1.2. Karışım gradasyonu

Deneylerde uyguladığımız karışım gradasyonu Karayolları Teknik Şartnamesi(KTŞ)

TMA Tip-1 gradasyonudur. Çizelge 7.2’de seçtiğimiz TMA Tip-1 gradasyonu ve şartname limitleri verilmiştir.

Çizelge 7.2. Seçilen TMA Tip-1 gradasyonu ve şartname limitleri

Elek Açıklığı		% Geçen	
inc	mm	Seçilen Gradasyon	KTŞ TMA Tip-1 Şartname Limitleri
¾	19,1	100	100
½	12,7	95,0	90-100
3/8	9,5	62,0	50-75
No-4	4,75	33,0	25-40
No-10	2,00	23,0	20-30
No-40	0,42	15,0	12-22
No-80	0,177	12,0	9-17
No-200	0,075	9,0	8-14



Şekil 7.1. Seçilen TMA Tip-1 gradasyonu ve şartname değerleri eğrisi

7.2. Bitümlü Bağlayıcı

Bu çalışmada bitümlü bağlayıcı olarak Kırıkkale rafinerisi üretimi B 50/70 sınıfı yani 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Bitümlü bağlayıcıya yapılan deneyler ve sonuçları Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Bitümlü bağlayıcıya uygulanan deneyler ve sonuçları

SIRA NO	DENEY ADI	STANDARDI	DENEY SONUCU	TS 1081 EN 12591 LİMİTLERİ
1	PENETRASYON (25°C,100g,5sn.)0,1mm	TS 118 EN 1426	68	50-70
2	YUMUŞAMA NOKTASI, °C	TS 120 EN 1427	49	46-54
3	FRAAS KIRILMA NOKTASI ^a , °C maks.	TS EN 12593	-	-8
4	İNCE FİLM HALİNDE ISITMA DENEYİ (163 °C'de,5 saat)	TS EN 12607-2		
4.1	KÜTLE DEĞİŞİMİ, % maks.		0,1	0,5
4.2	KALICI PENETRASYON, % min.	TS 118 EN 1426	57,4	50
4.3	YUMUŞAMA NOKTASI, °C min.	TS 120 EN 1427	53	48
4.4	YUMUŞAMA NOKTASI YÜKSELMESİ,°C maks.		4	9
5	PARLAMA NOKTASI , °C min.	TS EN ISO 2592	260+	230
6	ÇÖZÜNÜRLÜK, % min.	TS 1090 EN 12592	99,4	99,0
7	ÖZGÜL AĞIRLIK, gr/cm ³ , (25°C)	TS 1087	1,025	-

7.3. Kullanılan Katkı Malzemeleri

Yaptığımız deneylerde seçtiğimiz TMA gradasyonu göz önünde tutularak 2 farklı katkı malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemeleri kısaltma için simgeleri aşağıda verilmiştir.

-Bitümlü Selülozik Fiber (BSF)

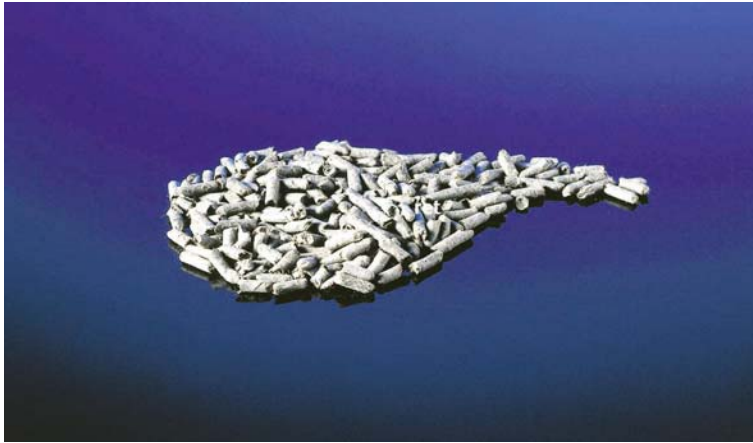
-Diatomit (DİA)

7.3.1. Bitümlü selülozik fiber (BSF)

Bitümlü selülozik fiber olarak bir Alman firmasınca üretilen ve Almanya, Avrupa ülkeleri ve Amerika’da yaygın kullanımı olan “VIATOP 66” kullanılmıştır. Bunların genel adı fiber olarak geçmektedir. BSF’nin içindeki bitüm TMA karışımlarının

içinde homojen bir şekilde topaklanmadan selülozun dağılmasını sağlar. Ayrıca selülozik fiber karışım içindeki bitümün süzülerek akmasını önler. Kullandığımız selülozik fiberin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Selüloz içeriği : % 66,7
- Bitüm içeriği : % 33,3
- Fiziksel Şekli : Silindirik topak
- Ortalama topak boyutu : 2-8 mm
- Ortalama topak kalınlığı : 4 ± 1 mm
- Renk/koku : Gri/oldukça az
- Ateş alma sıcaklığı : yaklaşık 500°C
- Patlama Limiti : Patlamaz
- Serbest Yoğunluk : 480-530 g/l
- Suda Çözünürlük : Çözünmez
- Elek Analizi : 3,55 mm'den ince kısmı maks. %5



Resim 7.5. Viatop 66

7.3.2. Diatomit (DİA)

Diatomit, algler sınıfından su canlıları olan diatomellerin silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil karakterli bir sedimanter kayadır. Aktif diatomit üretiminde kullanılan hammadde Almanca “Kieselgur”, veya İngilizce “Diatomite” olarak

adlandırılan endüstriyel bir mineraldir. Diatome içinde yaşadığı çevre suyundan temin ettiği silisten yapılmış kabuk veya kavkı içinde yerleşmiş çok küçük bir protoplazmadır. Geniş ve sığ havzalar, çok miktarda suda erimiş silis ve temiz sular, gelişmesini sağlayan ve hızlandıran faktörlerdir [29].

Diatomit açık sarı renkten kahverengiye kadar çeşitli renklerde bulunabilir. Genel olarak taşın yüzeyi parlak beyaz renktedir. Materyal yumuşak, ince granüler ve yer yer daha az olarak pudra tozu halinde bulunur [28].

Diatomitin, günümüzden yaklaşık 5-60 milyon yıl önce Miyosen sonu ve Pliyosen başlarında oluştuğu tahmin edilmektedir. Diatomit yatakları, göl ve deniz orijinlidir. Diatomit, amorf silis yapılıdır ve kavkı iriliği, 2-200 mikrometre arasında değişmektedir. Doğada 15000'e yakın çeşidi vardır. Yüksek gözenekliliğe sahip olduğundan ağırlığının 3-4 katına kadar su emebilir [30].

Diatomitin yüksek gözenekliliğe sahip olması, yapısında bulunan nem ve su emme değerlerini yükseltmektedir. Doğada bulunduğu şekli ile diatomit aşırı miktarda su içerir ki bu % 10 ile % 60 arasında değişir. Kuru diatomitin özgül ağırlığı 0,34-0,67 g/cm³ gelmektedir. Toz haline getirilmiş diatomit ürünlerinin özgül ağırlığı 1,9-2,35'tir [13].

Diatomitin en önemli kullanım alanı süspansiyon halindeki katı tanecikleri sıvılardan ayırmak amacıyla uygulanan filtrasyon işlemidir.

Diatomitin ikinci büyük kullanım alanı ise fonksiyonel dolgu işlemleridir. Burada kullanılan dolgu malzemesi nihai mamulün özelliklerini geliştirerek performansını artırmaktadır. Bu amaç için diatomitin hafiflik, dayanıklılık, kimyasal inörtlük, ısı-ses-elektrik izolasyon kabiliyeti, yüksek gözeneklilik (% 85-90 gözeneklilik derecesine sahip) ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Diatomitin fonksiyonel dolgu işlemi için kullanıldığı en önemli uygulamalar boya, plastik, lastik, kağıt, ilaç, kozmetik, cila, kibrit, diş macunu ve kimya sanayileridir [29].

Diatomitler kendi ağırlıklarının 3-4 katı kadar sıvı emebildikleri için kedi, köpek vb hayvanların idrar atıklarını çok iyi absorbe etmek amacı ile de kullanılır.

Bazı diatomit çeşitleri % 94'e ulaşan yüksek silis muhtevalarına sahiptirler. Bu sebeple kimyasal reaksiyonların büyük çoğunluğuna karşı ilgisizdirler. 1430 °C civarındaki yüksek ergime sıcaklığı ise aşırı sıcaklıklara karşı dayanıklılık sağlar. Bu sebeple diatomit ürünleri hem katalizör taşıyıcısı, hem de izolasyon elemanı olarak kullanılırlar. Katalizör taşıyıcı uygulamasının en önemli örnekleri hidrojenasyon prosesindeki nikel katalizörler ve sülfürik asit üretimindeki vanadyum katalizörlerdir. Ayrıca çimentoda su muhtevası fazlalığını giderme ve homojeniteyi ıslah etmek amacıyla kullanılabilir. Betona % 3 oranında diatomit ilavesinin betonun basınç direncini % 20, çekme direncini ise % 10 oranında artırdığı gözlenmiştir [29].

Diatomitin kullanma sahası özellikle gözenekliliği, ses, ısı ve elektriği iyi geçirmemesi, kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı, yoğunluğunun az olması sebebi ile bir çok sahada kullanılmaktadır. Diatomitin endüstride kullanıldığı yerler aşağıda gösterilmiştir [13].

- Filtrasyon,
- Doldurucu veya ilave madde,
- Ses ve ısı değişmesine karşı izolatör,
- Absorbent,
- Sentetik silikat imali,
- Katalizör taşıyıcı,
- İnşaat malzemesi (Betona % 3 karıştırıldığında basınç direnci %20, çekme direnci ise %10 arasında arttığı gözlenmiştir.)
- Çimento için puzzolan,
- Kimyasal gübreler için kalıplanmayı önleyici unsur olarak,
- Çeşitli alanlarda.

Bu saydığımız özelliklerden önemli bir kısmı TMA karışımlarda kullanılan fiberin sağladığı özellikleri sağlayabileceğini düşündüğümüzden, TMA karışımlarda katkı

malzemesi olarak Diatomit malzemesini düşündük ve uygulamalarımızda Kızılcahamam yöresindeki Ankara diatomiti kullanılmıştır. Diatomite ait fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5’de verilmiştir [31].

Çizelge 7.4. Diatomitin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Ankara Diatomiti	Çankırı Diatomiti	TS 9773 Sınırları
Nem, % (lab. getirildiğinde) (çimento üret.önce)	121 7,6	80 8,2	en çok 15 -
Su emme, %	140	182	en az 280(1.sınıf) en az 180(2.sınıf)
Özgül ağırlık, g/cm ³	1,95	1,90	-
Gevşek ağırlık, kg/m ³	225	220	en çok 500(1.sınıf)
pH	7,87	7,28	-
200µmı elek üstü, %	40,2	29,4	-
90µm elek üstü, %	53,3	53,5	-
Doğal durum	irili ufak kütle	irili ufak kütle	-
Renk	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Yabancı madde	Yok	Yok	-
Diğer	Yumuşak-hafif	Yumuşak-hafif	Yumuşak-hafif

Çizelge 7.5. Diatomitlerin kimyasal kompozisyonları

Kimyasal kompozisyon, %	Ankara Diatomiti		Çankırı Diatomiti		Ticari Ham Diatomit Sınırları (Özbey ve Atamer, 1987)
	1. Analiz	2. Analiz	1. Analiz	2. Analiz	
SiO ₂	88,32	88,62	82,75	83,25	en az 85,0
Al ₂ O ₃	3,47	3,30	7,24	5,50	en çok 5,0
Fe ₂ O ₃	0,48	0,57	1,21	1,20	en çok 1,5
CaO	0,42	0,74	0,98	1,30	en çok 1,0
MgO	0,26	0,80	0,47	0,90	en çok 0,5
Na ₂ O	0,17	0,77	0,20	0,95	en çok 1,0
K ₂ O	0,28	0,71	0,34	1,30	en çok 1,0
TiO ₂	0,18	-	0,40	-	-
P ₂ O ₅	0,10	-	0,10	-	-
Kızdırma Kaybı	5,84	4,24	5,71	5,54	en çok 6,0
Toplam	99,52	99,75	99,40	99,94	-

Diatomitin dünyadaki ve ülkemizdeki rezerv durumlarına bakacak olursak; dünya rezervlerinin önemli bir oranı Avrupa’da bulunmakta sonrasında ise ABD gelmektedir. Ülkemiz açısından dünya rezerv miktarına göre kıyaslarsak önemli bir oranda rezerve sahip olduğumuz görülmektedir. Ülkemiz rezervlerinin önemli bir

kısmı Kayseri ili Hırka kesiminde toplanmıştır. Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7’de diatomitin dünyadaki ve ülkemizdeki rezerv durumları sırasıyla verilmiştir [29].

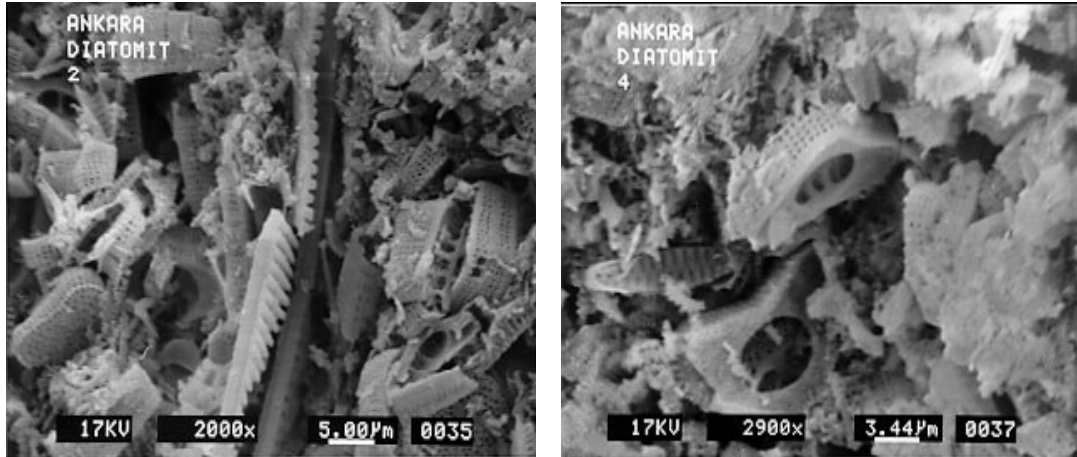
Çizelge 7.6. Diatomitin dünyadaki rezerv durumları

Kıtalar / Ülkeler	Rezerv Miktarı (Milyon Ton)
Avrupa	1200
ABD	500
Kanada	100
Güney Amerika	100
Asya	50
Afrika	20
Avustralya	20
Toplam	1990

Çizelge 7.7. Diatomitin ülkemizdeki rezerv durumları

Rezerv Alanları	Rezerv Miktarı (Milyon Ton)
Kayseri/Hırka	70
Erzurum/Tortum	55
Çankırı/Çerkeş, Akhasan	3,4
Afyon/Tınaztepe, Sinanpaşa	0,5
Sivas/Koyulhisar, Demetler	0,013
Toplam	123,9

Bazı kaynaklara göre diatomitin mikro yapısıyla ilgili olarak şu bilgilere ulaşılmıştır. Genellikle diatomitlerin tane irilikleri 2-200 μm arasında değişmektedir. Numunelerden elde edilen fotoğraflarda, diatomitlerin tane iriliklerinin 5-50 μm arasında ve genellikle 10 μm ’den daha küçük olduğu görülmektedir. Diatomit taneciklerinin şekillerinde çok çeşitlilik Resim 7.2’de olduğu gibi gözlenmektedir [31].



Resim 7.6. Diatomitin mikro yapısı

2000 ve 2900 kere büyütülmüş resimlerde boru, uzun balık, süzgeç, tarak(diş fırçası) ve yuvarlak şekiller sayılabilir. Bu resimlerde, Ankara Diatomitinin süzgeç şeklinde olduğu söylenebilir. Ayrıca Diatomit, yüksek gözenekliliğe sahip bir mineraldir. Fotoğraflar, diatomitlerin yüksek gözenekli yapıda olduğunu göstermektedir. Yapılan incelemeler sonucunda, her bir diatomit taneciğinde yüzlerce gözenek bulunduğu ve delik çaplarının da 0,5 µm'den çok daha küçük olduğu belirlenmiştir [31].

Birim üretim giderleri ve maliyeti oluşturan etkiler

1 ton aktif diatomit (No.2+No.3) üretimi baz alındığında ortalama üretim giderleri şu şekilde verilebilir :

- Hammadde (su ve kum hariç-işlenebilir) : 2,11 ton
- Fuel-oil : 0,48 ton
- Elektrik : 155 Kw-h
- Flaks maddesi (tuz) : 0,25 ton
- Ambalaj malzemesi (60+120 p.etlen torba) : 52 Adet

Diatomitin yoğunluğunun çok düşük olması sebebiyle toplam maliyetin önemli bir bölümünü navlun meydana getirmektedir. Direk üretim maliyeti ise, genel olarak % 10 madencilik, % 60 işletme, % 30 paketleme ve dağıtım olarak bölüştürülebilir. Ham diatomitin rutubetinin yüksek olması ve teknolojisinde kalsinasyon da

bulunması sebebiyle yüksek sıcaklık ve ayrıca kurutma ve fabrikasyon sırasında pnömatik taşıma gerektirdiğinden işletme giderlerinin yaklaşık % 25' ini ise yakıt ve elektrik enerjisi masrafları oluşturmaktadır. Maliyetleri etkileyen bir diğer önemli faktör ise üretim miktarıdır. Üretim artıkça birim mamul başına düşen sabit masraflar azaldığından mamul maliyeti de düşmektedir [29].

Diatomit ile fiberin TMA karışımlarda kullanılması durumunda oluşacak maliyetler

Yukarıda bahsedilen birim fiyatlar ve maliyetlerle ilgili olarak bizim kullanacağımız bir veri bulunmamaktadır. TMA karışımlarda kullanılması düşünülen diatomit ve fiberin arasındaki oluşacak maliyet karşılaştırması açısından Bölüm 8.6'da belirtilen yol izlenmiştir.

8. FİBER VE DİATOMİT KULLANILARAK HAZIRLANAN TMA KARIŞIMLARA UYGULANAN DENEYLER VE DENEY SONUÇLARI

7. Bölümde açıklanan, bitümlü bağlayıcı, seçtiğimiz TMA Tip-1 gradasyonu ve katkı maddeleri belirlendikten sonra TMA karışımları üretilip bu karışımlardan deneylere yönelik numuneler hazırlanmıştır. Bu iki katkı kullanılarak üretilen TMA karışımların özelliklerinin belirlenmesi ve birbirleriyle kıyaslanması açısından çeşitli performans belirleyici deneyler yapılmıştır. Bu yapılan deneylerden en önemlileri TMA karışımlardaki oluşan plastik deformasyonların belirlenmesi amacıyla kullandığımız tekerlek izinde oturma tayini deneyi ve ürettiğimiz karışımların uygulanan tekrarlı yük altında yorulmaya (fatigue) karşı direncini belirleyen deneylerdir. Hazırladığımız TMA karışımlara uygulanan deneyler aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Marshall Metodu İle Dizayn
- 2- Bitüm Süzülme Deneyi
- 3- Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci İçin Standart Deney Metodu
- 4- Tekerlek İzinde Oturma Tayini Deneyi (RUTTING)
- 5- Tekrarlı Yük Altında Yorulmaya Karşı Direnç Dayanımı (FATIGUE)

8.1. Marshall Metodu ile Dizayn

Bitümlü sıcak karışımların dizaynı için kullandığımız Marshall dizayn metodu TMA karışımların dizaynında da bir metod olarak kullanılabilir. Marshall metodu kavramı ilk olarak bitüm mühendisi Bruce Marshall tarafından formülize edilmiştir. Daha sonra “U.S. Corps of Engineers” (ABD istihkam sınıfı) kuruluşu tarafından çok geniş araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla karışım dizayn kriterlerini geliştirmiştir. “American Society for Testing and Materials” Amerikan deney ve materyal topluluğu tarafından ASTM D 1559 Marshall test metodu adıyla standart hale getirilmiştir. Marshall test metodunun Türk standartlarındaki karşılığı TS 3720’ de verilmiştir [3].

Bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm içeriğinin belirlenmesinde kullanılan Marshall dizayn metodu sıkıştırma enerjisinde uygulanan bir miktar azaltmayla TMA karışımlar içinde kullanılır. Bitümlü sıcak karışımların dizaynı için sıkıştırılmasında 2 x 75 darbe kullanılırken, TMA karışımlarda 2 x 50 darbe kullanılır. Buradaki amaç Marshall tokmağı ile sıkıştırma enerjisi uygulanması sırasında TMA karışımındaki agregaların kırılarak gradasyonun bozulmamasıdır.

8.1.1. Marshall dizayn metodunun yapılış aşamaları

Marshall yöntemi, yalnızca maksimum boyutu 25 mm veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış bitümlü bağlayıcı kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metot sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar dizaynı için tasarlanmıştır. Marshall dizayn metodunun aşamalarını kısaca aşağıdaki sırada verebiliriz [3,32].

- 1) Agrega gruplarının gradasyonu ve kullanım oranları belirlenir.(kaba, orta, ince)
- 2) Karışım gradasyonunun şartname limitlerine uygunluğuna bakılır.
- 3) Agrega özgül ağırlıkları hesaplanır.
- 4) Marshall briketleri düşükten büyüğe doğru artan bitüm yüzdelерinde ve uygun karıştırma, sıkıştırma sıcaklıklarında hazırlanır.
- 5) Hazırlanan briketler üzerinde yoğunluk, stabilite, akma, boşluk, VFA(asfaltla dolu boşluk), VMA(agregalar arası boşluk) hesapları yapılır ve bitüm yüzdesi değişimine bağlı olarak grafikleri çizilir.
- 6) Optimum bitüm oranı hesaplanır ve optimum bitüm %'si değерinde yoğunluk, stabilite, akma, boşluk, VFA, VMA değерlerinin şartnameye uygunluğuna bakılır.

Deneyssel çalışmalarda uyguladığımız Karayolları Teknik Şartnamesi TMA Tip-1'in dizayn kriterleri Çizelge 8.1'de verilmiştir [9].

Çizelge 8.1. TMA Tip-1 dizayn kriterleri [9]

ÖZELLİKLER	ŞARTNAME LİMİTLERİ
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	50
Hava Boşlukları, (%)	2-4
Sıcak İklim bölgelerinde hava boşlukları, (%)	3-4
Agregalar arası boşluk (VMA), (%), min. TMA Tip-1	16
Tekerlek izinde oturma *(30 000 devir, 60°C'de), (%), maks.	6
Elyaf miktarı, %	0,3 – 1,5
Schellenberger bitüm süzülme deneyi, (%), maks.	0,3
* Fransız NF P 98-253-1 deneyi ile tespit edilecektir.	

8.1.2. Marshall dizayn metoduna göre elde edilen deney sonuçları

Marshall dizayn metoduna göre yaptığımız çalışmalarda ilk olarak seçtiğimiz TMA Tip-1 gradasyonunda ve Yaprıcık(bazalt) agregası, Viatop 66 elyaf ile daha önceden hazırlanmış TMA dizayn değerlerini teyit etmek amacıyla söz konusu karışım gradasyonu, agregalar ve % 0,45 oranında Viatop 66 kullanarak dizayn hazırlanmıştır. Sonraki aşamada ise kullandığımız diğer katkı malzemesi diatomit değirmenden öğütülüp filler boyutuna getirilerek karışıma % 3, % 4, % 5 oranlarında katılarak Marshall dizaynları yapılmıştır.



(a)



(b)

Resim 8.1. Marshall karışımlarının hazırlandığı a)mikser b)sıkıştırıcı tokmak

Resim 8.1’de Marshall karışımlarının hazırlandığı mikser ve Marshall tokmağı görülmektedir. Resim 8.2’ de ise Marshall briketleri için briket tartımlarının alınması aşaması görülmektedir. Resim 8.3’de % 3 diatomitli tartım örnekleri, Resim 8.4’de % 4 diatomitli tartım örnekleri ve Resim 8.5’de %5 diatomitli tartım örnekleri görülmektedir.



Resim 8.2. Marshall briketlerinin tartımlarının alınması



Resim 8.3. Diatomit tartımları örneği (%3 diatomitli)



Resim 8.4. Diatomit tartımları örneği (%4 diatomitli)



Resim 8.5. Diatomit tartımları örneği (%5 diatomitli)

Resim 8.6’da hazırlanan Marshall briketlerinin kalıplar içindeki hali ve Resim 8.7’de ise briketlerin kalıplardan çıkarılmış hali görülmektedir.



Resim 8.6. Marshall briketleri kalıplar içindeki durumu



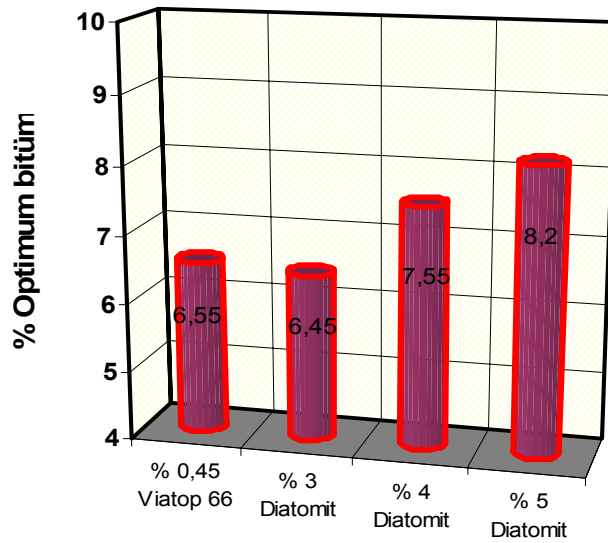
Resim 8.7. Marshall briketlerinin kalıplardan çıkartılmış durumu

Yapılan dizaynlara ait değerler Çizelge 8.2’de verilmiştir. Yapılan Marshall dizaynlarına ait hesaplamalar, grafikler ise EK-1’de verilmiştir.

Çizelge 8.2. Marshall dizaynı deney sonuçları tablosu

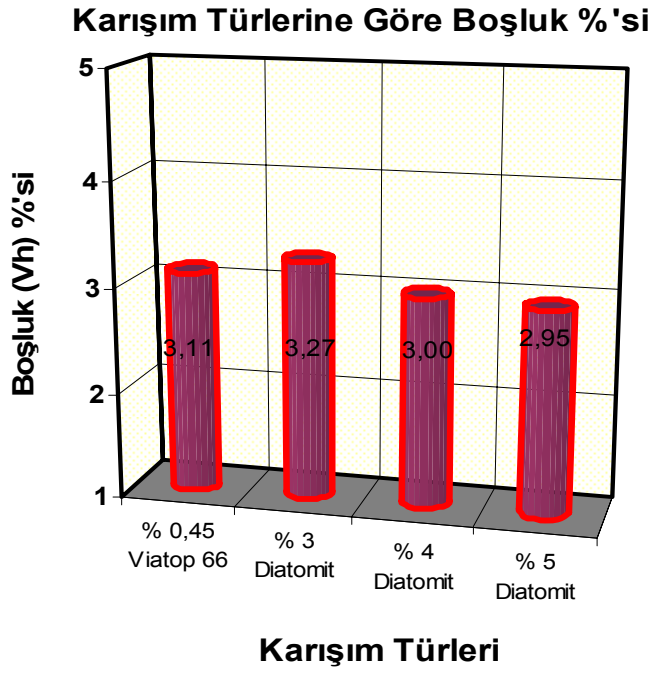
Dizayn Değerleri	% 0,45 Viatop 66 Katkılı	% 3 Diatomit Katkılı	% 4 Diatomit Katkılı	% 5 Diatomit Katkılı
Optimum Bitüm %	6,55	6,45	7,55	8,20
Pratik özgül ağırlık, Dp	2,467	2,464	2,433	2,412
Stabilite, (Kg)	647	620	637	640
Maksimum Teorik özgül Ağırlık, Dt	2,546	2,547	2,508	2,485
Akma, (mm)	3,20	3,05	3,15	3,10
Asfaltla dolu boşluk,% VFA	81,2	79,9	83,5	84,7
Boşluk,% Vh	3,11	3,27	3,0	2,95
Agregalar arası boşluk,% VMA	16,55	16,74	18,1	19,3

Karışım Türlerine Göre Optimum Bitüm %'si

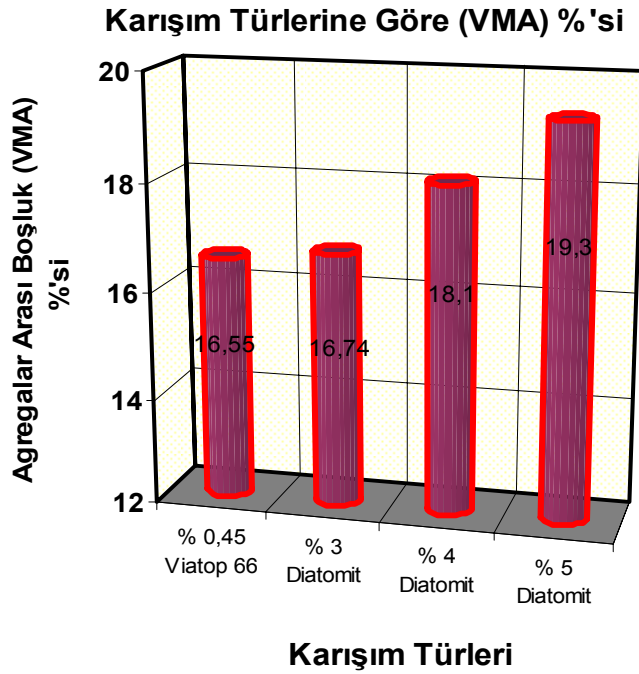


Karışım Türleri

Şekil 8.1. Karışım türlerine göre optimum bitüm %'leri



Şekil 8.2. Karışım türlerine göre boşluk (Vh) %'leri



Şekil 8.3. Karışım türlerine göre agregalar arası boşluk (VMA) %'leri

Yapılan dizaynlar sonucunda TMA Tip-1 dizayn kriterlerinde istenilen en önemli kriterlerden biri olan boşluk %'si oranı 3 civarında optimum bitüm oranı tespit edilerek buna bağlı olarak; pratik özgül ağırlık, Stabilité, akma, asfaltla dolu boşluk, agregalar arası boşluk değerleri hesaplanmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda optimum bitüm oranları göz önüne alındığında % 4 ve % 5 diatomit katkıli karışımların ülkemiz yollarında uygulamasının ekonomik olmayacağı petrol ürünleri ve türevleri açısından dışarı bağı bir ülke olmamız nedeniyle aşıkardır. Bu nedenle diatomit katkısının kullanım oranı olarak % 3 değeri fiberli karışımlarla kıyaslamak açısından uygun değeri içermekte optimum bitüm oranı makul değeri de bulunmaktadır.

8.2. Bitüm Süzölme Deneyi

TMA karışımların imalatında kullandığımız fiber malzemesi çeşidine göre bünyesinde farklı oranlarda bitüm ve elyaf barındırır. TMA karışımlar diğeri bitümlü sıcak karışım kaplamalara göre daha zengin bitüm içermektedir. TMA dizayn gradasyonları kesikli gradasyona sahiptir. Belli elek aralıklarında daha fazla, belli elek aralıklarında ise daha az agrega vardır. Bu yüzden kaba agregalar arasındaki boşluk normal karışımlara göre daha fazla bitüm kullanılarak kapatılmaktadır. Karışım hazırlanırken sıcaklıktan dolayı karışım bünyesindeki bu fazla bitüm akıcı bir özellik kazanıp mineral agrega karışımından süzölerek ayrılmaktadır. Burada TMA karışımlar içindeki fiberin önemi ortaya çıkmaktadır. Bitüm emdirilmiş selölöz TMA karışımlarının içinde homojen bir şekilde topaklanmadan selölözün dağılmasını sağlar. Selölöz da bitümü bünyesinde tutarak bitümün süzölmesini engeller. Deneyisel çalışmalarımızın başında diatomitin bölüm 7.3.2'de bahsedilen özelliklerinden yola çıkarak diatomitin TMA karışımlar içinde selölözik fiber gibi davranış göstermesini düşündük. Diatomitin emicilik özelliğinin yüksek oluşu, dayanıklı ve hafif oluşu, dolgu özelliğinin iyi olması gibi söz konusu özellikleri selölözik fiberle benzerlik içermektedir.

8.2.1. Bitüm süzülme deneyinin yapılışı

Diatomitin selülozik fiberle benzer özellik gösterip göstermediğine bakmak için Schellenberger bitüm süzülme deneyi yapılmıştır. Schellenberger bitüm süzülme deneyi; Almanların geliştirdiği bir deney yöntemi olup, uluslararası düzeyde geçerli başka bir deney yöntemi olmadığı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deney TMA karışımların dizayn kriterleri arasında bulunmaktadır.

Deneyin yapılışı; 1000 ml'lik cam beherin boş ağırlığı tartılır, 135°C 'de hazırlanan 1000 gr TMA karışımı 1000 ml'lik cam behere konularak 0,1 gr hassasiyetinde tartılır. Beher, üzeri kapatıldıktan sonra 1 saat süre ile, 170°C sıcaklıktaki etüvde bekletilir. Bu sürenin sonunda etüvden çıkartılır ve karışım beheri sarımsıdan boşaltılır. Cam behere yapışan agrega varsa agrega temizlenir. Deney sonu cam beher 0,1 gr hassasiyetinde tartılır ve boş beher ağırlığı çıkartılır. Süzülen bitüm miktarı ilk başlangıçta deneye alınan karışım miktarına oranlanarak bulunur. Şartname değeri maks. % 0,3 olmalıdır. Çıkan sonuç; % 0,2' den küçükse iyi, % 0,2 ile % 0,3 arasında ise kabul edilebilir, % 0,3' den büyükse kabul edilemez anlamındadır. Aşağıda verilen Resim 8.8, Resim 8.9, Resim 8.10 ve Resim 8.11'de bitüm süzülme deneyinin yapılış aşamaları görülmektedir .



Resim 8.8. TMA karışımının hazırlanması ve cam beherin boş ve karışım dolu tartımı



Resim 8.9. Hazırlanan karışımın 1 saat 170°C etüvde bekleme durumu



Resim 8.10. Etüvde 170°C'de 1 saat bekleyen karışımın cam beherden boşaltılması



a) süzülme<0.2

b) 0.3 >süzülme> 0.2

c) süzülme>0.3

Resim 8.11. Süzülme deneyi sonra oluşan durumlar

8.2.2. Bitüm süzülme deneyi sonuçları

Diatomit ve fiberli karışımlara Schellenberger bitüm süzülme deneyleri optimum bitüm oranında yapılmıştır. Sonuçları Çizelge 8.3’de verilmiş olup deneyle ilgili hesaplama formülleri ve hesaplanan değerler ise EK-2’de verilmiştir.

Çizelge 8.3. Schellenberger bitüm süzülme deney sonuçları

Karışım Tipi	% 2 Diatomitli Karışım	% 3 Diatomitli Karışım	% 0,45 Fiberli Karışım
Bitüm Süzülme Miktarı	0,449	0,279	0,104

Deney sonuçlarına göre en iyi performansı selülozik fiber içeren karışım göstermiştir. % 0,45 fiber katılarak optimum bitümde hazırlanmış TMA karışımı bitüm süzülme deneyi değeri 0,2 değerinin altında olup iyi bir değerdir. % 3 diatomit oranlı ve optimum bitüm oranında hazırlanmış olan TMA karışımı bitüm süzülme deneyi sonucunda kabul edilebilir bir değer göstermiştir. % 2 diatomit ve optimum bitüm (% 3 diatomit oranlı karışımın optimum bitüm oranı) oranında hazırlanmış karışımın bitüm süzülme deneyi değeri kabul edilebilir seviyenin oldukça üzerindedir. Buradaki % 2 oranındaki diatomit bitümün süzülmesini önleyememektedir. % 2 diatomitli karışımın bitüm oranı düşürülse bitüm süzülme değeri belki kabul edilebilir seviyelere yaklaşacak ama bu seferde düşük bitüm %’sinden dolayı dizaynda istenilen düşük hava boşluğu değerlerine ulaşamayacaktır. Bitüm oranı arttıkça süzülme miktarı da artacak olup % 2 lik diatomit oranı uygun bir oran olarak görülmemektedir.

8.3. Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci İçin Standart Deney Metodu

İki karışım türü arasında yani fiberli TMA ve diatomitli TMA arasında optimum bitüm oranlarında iki karışım türünün de suyun zararlı etkilerine karşı dayanımının incelenmesi amacıyla; Marshall briketleri hazırlanarak koşullu, ve koşulsuz şartlar

altında sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deneyi, indirek çekme mukavemeti dediğimiz kısaca İÇM deneyi yapılmıştır. AASHTO T 283’de açıklanan bu metot, laboratuarda sıkıştırılmış bitümlü karışımların hızlandırılmış su etkileri nedeniyle oluşan çap düzlemindeki çekme mukavemeti değişiminin ölçümünü ve bu deney için numune hazırlanmasını kapsar. Bu metot ile; karışım dizayn deneyiyle bağlantılı olarak bitümlü karışımları, plentlerde üretilen bitümlü karışımları ve herhangi bir yaştaki üstyapıdan alınan karotlar test edilebilir [33].

8.3.1. İÇM deneyinin yapılışı

Dizayn değerlerine uygun olarak hazırlanan Marshall briketleri aşağıda anlatıldığı şekilde koşullu ve koşulsuz gruplara ayrılır.

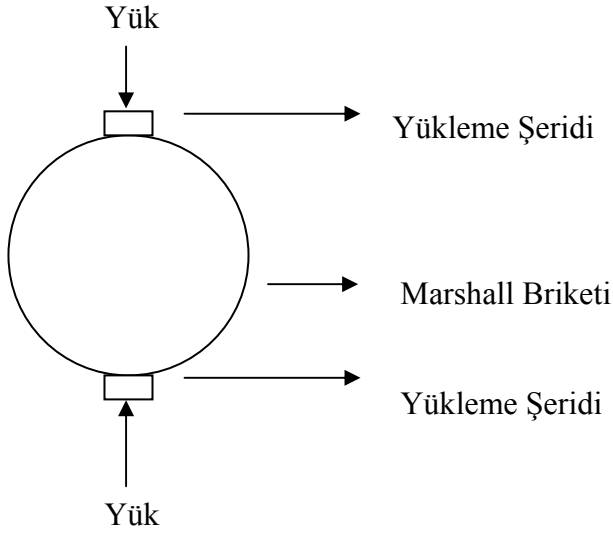
Koşulsuz gruptaki briketler deneye kadar oda sıcaklığında tutulmalı ve sızdırmaz plastik torbalarda saklanmalıdır. Sonrasında 2 saat süreyle 25°C’de su banyosunda tutulur ve her koşulsuz numuneler sırasıyla basınç plakası arasına konur. Şekil 8.4’de görüldüğü gibi yük, numune çapı boyunca uygulanır. Yükleme şeritleri numune çapına bağlı olmak üzere; 4” çapındaki briket numuneleri için, genişliği 13 mm olan yükleme şeritleri kullanılır. Deney makinesine (Örnek:Pres gibi) bağlanan numuneye deney aletinin başlığının hareketi dakikada 2” veya 50,8 mm olacak şekilde yük, numuneye uygulanır. Maksimum bir yük değerine ulaşıldığı anda numunede çap boyunca düşey çatlak oluşumu gözlenir ve numune daha fazla yük taşıyamaz. Aletin göstergesinden okunan yük değeri kaydedilir ve İÇM(İndirek Çekme Mukavemeti) değerleri hesaplanır. Resim 8.12’de İÇM deneyi için kullanılan yükleme ünitesi görülmektedir [2,33].



Resim 8.12. İÇM deneyinde kullanılan yükleme ünitesi

Koşullandırılacak gruptaki briketler sırasıyla tabanına metal parçalar konmuş vakum kabı içine yerleştirilir. Numune yüzeyini en az 25 mm aşacak şekilde oda sıcaklığındaki damıtık su ile doldurulur. 5 dakika boyunca 10-26 inch Hg gibi kısmi bir vakum uygulanır, vakum kesilir ve numune doymuş hale gelmesi için 10 dakika su içinde bırakılır. Hazırlanan briketlerin hava boşluğunun %55-80 'i arasında suyla doymuş hale getirilir, vakumlanmış numuneler her birinin içinde 10 ml su bulunan poşetlere konur ve poşetler kapatılır. 16 saat -18 °C' de derin dondurucuda bekletilir, sonrasında çıkarılarak 24 saat süreyle 60 °C' lik su banyosunda tutulur, sonrasında çıkarılarak 2 saat süreyle 25°C' de su banyosunda tutulur. Her koşullu numune sırasıyla iki basınç plakası arasına konur, yükleme şeritleri numunenin iki kenarına da yerleştirilir. Şekil 8.4'de görüldüğü gibi yük numune çapı boyunca uygulanır. Tıpkı koşulsuz briketlerde yapılan işlemde anlatıldığı gibi uygulama yapılarak İÇM değerlerinin hesabına geçilir [2,33].

Sonraki aşamada hesaplanan değerler; koşullu grubun değerleri, koşulsuz grubun değerlerine oranlanarak İÇM oranları hesaplanır. Burada gruplar içi ve gruplar arası karşılaştırmalar yapılarak, sonuçlar elde edilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.



Şekil 8.4. İÇM numuneleri, yük uygulanması ve yükleme şeritleri

Çekme mukavemeti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$St = \frac{2 P}{\pi \cdot t \cdot D} \quad (8.1.)$$

Burada;

St: çekme mukavemeti, psi

P: Maksimum yük, lb

t: Numune kalınlığı, inch

D : Numune çapı, inch şeklindedir.

$$1 \text{ kg} = 2,2048 \text{ lb}$$

$$1 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 14,223 \text{ psi}$$

1 inch = 2,54 cm alınıp dönüştürmeler yapıldığında formül 8.1 aşağıdaki hale gelir.

$$St = \frac{0,062659 \cdot P}{t} \quad (8.2.)$$

burada;

P: maksimum yük, kg

t: numune kalınlığı, cm

St: çekme mukavemeti, kg/cm^2 dir.

8.3.2. Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deney metodu sonuçları

Diatomit ve fibere İÇM deneyleri optimum bitüm oranında yapılmış olup, özet sonuçları Çizelge 8.4’de verilmiştir. Deneyle ilgili hesaplama formülleri ve hesaplanan değerler ise EK-3’de verilmiştir.

Çizelge 8.4. İÇM deney sonuçları özet tablosu

Karışım Tipi	% 3 Diatomitli Karışım	% 0,45 Fiberli Karışım
Koşullandırılmış Briketlerin Ortalama İÇM Değeri, (kg/cm ²)	5,01	5,48
Koşulsuz Briketlerin Ortalama İÇM Değeri, (kg/cm ²)	5,80	6,19
Koşullu/Koşulsuz İÇM oranı	0,86	0,89
Koşullu Diatomitli İÇM / Koşullu Fiberli İÇM oranı		5,01 / 5,48= 0,91
Koşulsuz Diatomitli İÇM / Koşulsuz Fiberli İÇM oranı		5,80 / 6,19= 0,94

Deney sonuçlarına göre fiberli TMA karışımı ile diatomitli TMA karışımı arasında çok önemli bir fark görülmemiştir. Kendi grupları içinde koşullu briketlerin koşulsuz briketlere oranları diatomitli grup için 0,86 fiberli grup için ise 0,89 oranında olup birbirlerine yakın değerlerdir.

Burada asıl kıyaslama ise koşullandırılmış ve koşulsuz briketlerin İÇM oranlarının birbirleriyle oranlanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Koşullu diatomitli briketlerin koşullu fiberli briketlere oranı 0,91’dir. Buna göre koşullandırılmış diatomitli briketler suyun karışımlar içindeki donma çözülme etkisiyle verdiği zarardan fiberli karışımlara göre yaklaşık %9 daha fazla etkilenmektedir.

Koşulsuz briketler arasındaki oran ise 0,94 civarındadır. Burada da koşulsuz diatomitli briketlerin fiberli briketlere göre yaklaşık % 6 kadar daha kötü davranış göstermiştir. Bu oranlar diatomitli briketlerin sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncinin çok kötü olmadığını kabul edilebilir seviyelerde olduğunu göstermektedir.

8.4. Tekerlek İzinde Oturma Tayini Deneyi (RUTTING)

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarda, tekerlek yükleri altında oluşan plastik yani kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği davranışı görebilmek için tekerlek izinde oturma tayini deneyi (TİO) yapılır.

Dünyada yaygın olarak laboratuvar ortamında kullanılan tekerlek izinde oturma tayini deney aletlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz. [23].

- * Almanya (Hamburg) tekerlek izi ölçüm cihazı;
- * LCPC, Fransa Yollar Laboratuvarının geliştirdiği tekerlek izi ölçüm cihazı;
- * Transportation Research Laboratory test aleti;
- * Amerikan Georgia tekerlek izi ve yorulma cihazı;
- * Amerikan Purdue Üniversitesi tekerlek izi ölçüm cihazı;
- * Güney Amerika MML53 test ekipmanı

Bu test yöntemlerinin her biri farklı bir sistemde sıcak karışım numuneleri üzerinde iz oluşturduğundan birbirlerinden farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin Almanya’ da metal tekerlek kullanılırken İngiltere, Fransa ve Amerika’da lastik tekerlek kullanılmaktadır [23].

Ülkemizde TCK Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğünde LCPC, Fransa Yollar Laboratuvarının geliştirdiği tekerlek izi ölçüm cihazı bulunmaktadır. Bu alet ile deneyler NF P-98-253-1 deney standardına göre yapılmaktadır [34]. Deneysel çalışmamızda kullandığımız tekerlek izinde oturma deneyi numuneleri sıkıştırma aleti ve tekerlek izinde oturma deneyi aleti Resim 8.13 ve Resim 8.14’de görülmektedir.



Resim 8.13. TİO deneyi numuneleri sıkıştırma aleti



Resim 8.14. Tekerlek izinde oturma deneyi aleti

8.4.1. Tekerlek izinde oturma tayini deneyi yapılışı

Diatomitli ve fiberli karışım dizaynlarının optimum bitüm oranlarında tekerlek izi tayini deneyi için numuneler hazırlanmıştır. Tekerlek izinde oturma tayininde kullanılan numune kalıplarının hacmi;

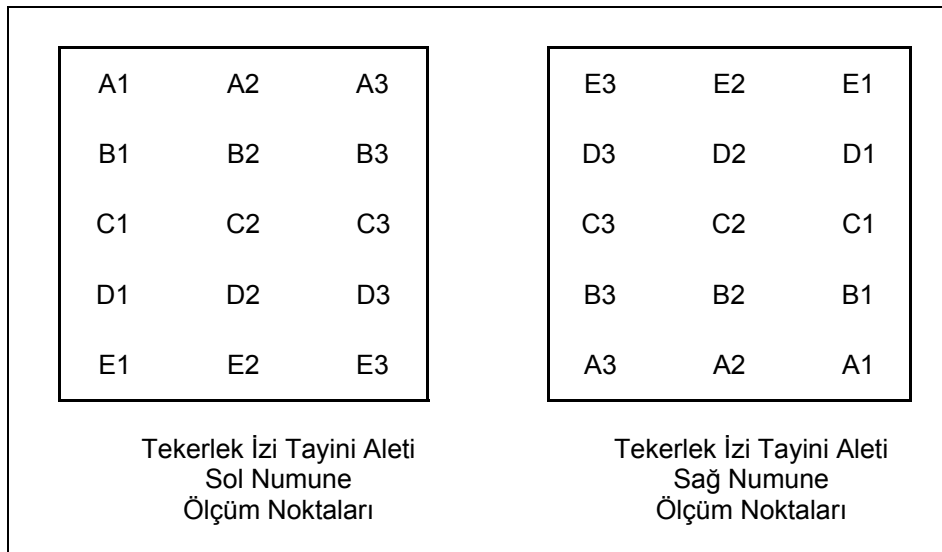
50 cm(uzunluk) x 18 cm(genişlik) x 10 cm(kalınlık) = 9000 cm³,tür.

Marshall dizaynı sonucu bulduğumuz optimum bitüm ve optimum bitüm yüzdesindeki pratik özgül ağırlık (Dp) değerleri göz önüne alınarak 9000 cm³ hacim içine girecek TMA karışım miktarları diatomit ve fiberli karışımlar için ayrı ayrı

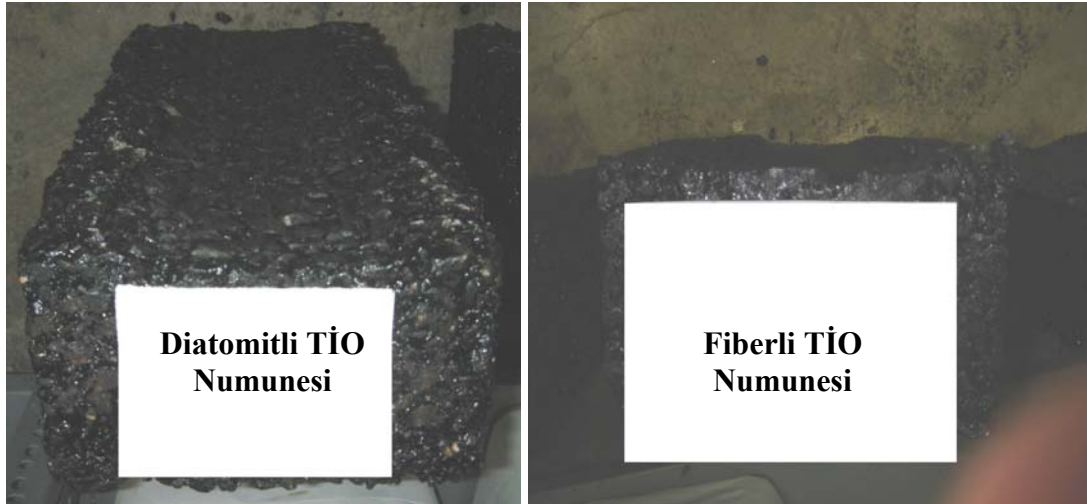
hesaplanarak bulunmuştur. Diatomitli ve fiberli tekerlek izinde oturma tayini numuneleri her biri için çift numune sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Yine sıkıştırılan tekerlek izinde oturma tayini numunelerinin havada, suda ve doymuş yüzey tartımları yapılarak pratik özgül ağırlık değerleri $D_{p(\text{numune})}$ bulunmuştur.

Numuneler tekerlek izinde oturma tayini aletine yerleştirilir. Deney aleti 24°C deney sıcaklığında 1000 devir (lastik tekerleğin her gidiş gelişi 1 devir) çalıştırılır. Burada önemli nokta her bir lastik tekerlek 5000 N yük uygulayacak şekilde ve her tekerlek lastik basıncı 87 psi olarak çalıştırılmalıdır. 24°C'deki 1000 devir soğuk devir adını almaktadır. Bu 1000 devirden sonra Şekil 8.1'de sol ve sağ kalıp içindeki numunelerin belirtilen noktalarından derinlik kumpası ile deformasyon miktarları mm cinsinden ölçülür ve ilgili deney formlarına geçilir.

Daha sonra deney ortamı 60°C'ye getirilir numuneler 12 saat bekletilir. Sırasıyla 60°C'de 1 000, 2 000, 2 000, 5 000, 20 000, 20 000 devir toplamda 50 000 devir yaptırılarak deney tamamlanır. Her grup devir sonunda Şekil 8.5'de gösterilen noktalardan deformasyon ölçümleri derinlik kumpası ile alınır ve ilgili formlara kaydedilir. Resim 8.15'de diatomitli ve fiberli tekerlek izinde oturma numunelerinin deney sonundaki durumları görülmektedir .



Şekil 8.5. Tekerlek izinde oturma tayini numuneleri deformasyon ölçüm noktaları



Resim 8.15. Diatomitli ve fiberli TİO deney numuneleri deney sonrası durumu

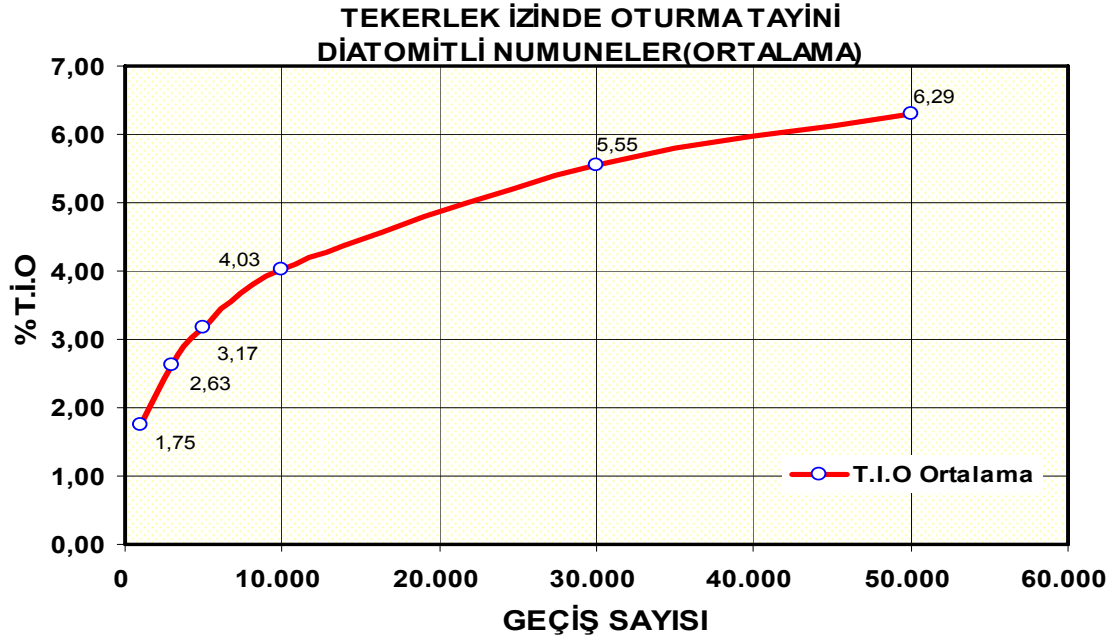
8.4.2. Tekerlek izinde oturma tayini deneyi sonuçları

Diatomitli ve fiberli hazırlanan TİO deneyi numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları özeti Çizelge 8.5’de verilmiş olup, deneyle ilgili ölçüm değerleri hesaplama formülleri ve hesaplanan değerler ise EK-4’de verilmiştir.

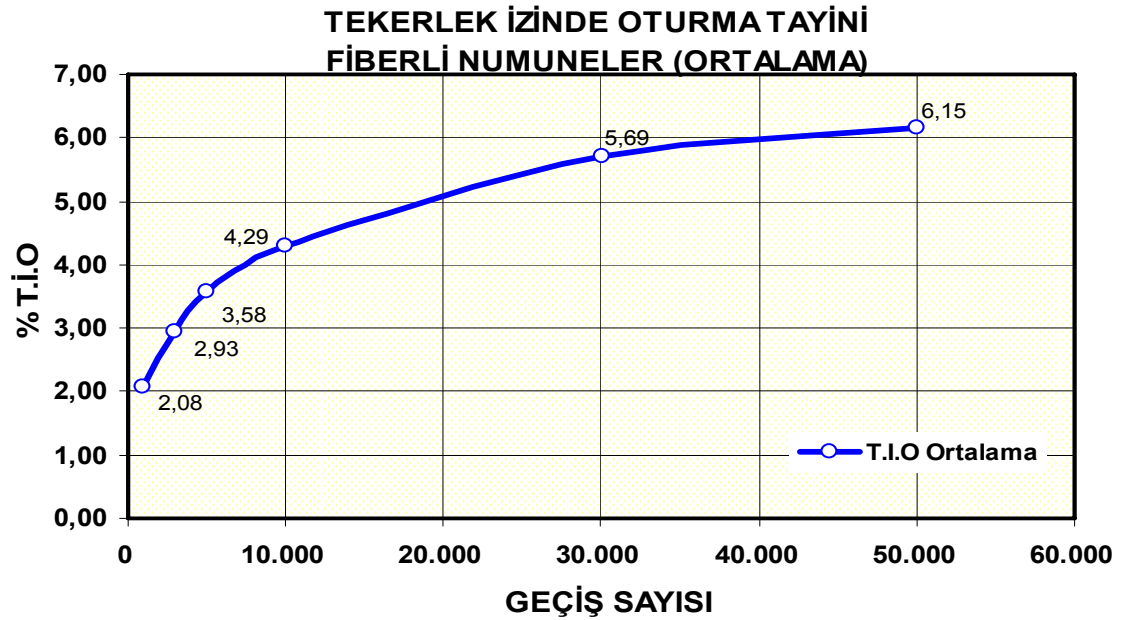
Çizelge 8.5. TİO tayini deney sonuçları özeti

TEKERLEK İZİNDE OTURMA TAYİNİ DENEYLERİ ORTALAMA SONUÇLARI			
Karışım Tipi		% 3 Diatomitli Karışım	% 0,45 Fiberli Karışım
Optimum Bitüm %’si		6,45	6,55
Dp dizayn		2,464	2,467
Dp numune		2,400	2,392
Sıkışma %’si		97,3	97,0
TEKERLEK İZİNDE OTURMA (Rutting) %’Si	Devir Sayısı	TİO	TİO
	1 000	1,75	2,08
	3 000	2,63	2,93
	5 000	3,17	3,58
	10 000	4,03	4,29
	30 000	5,55	5,69
	50 000	6,29	6,15

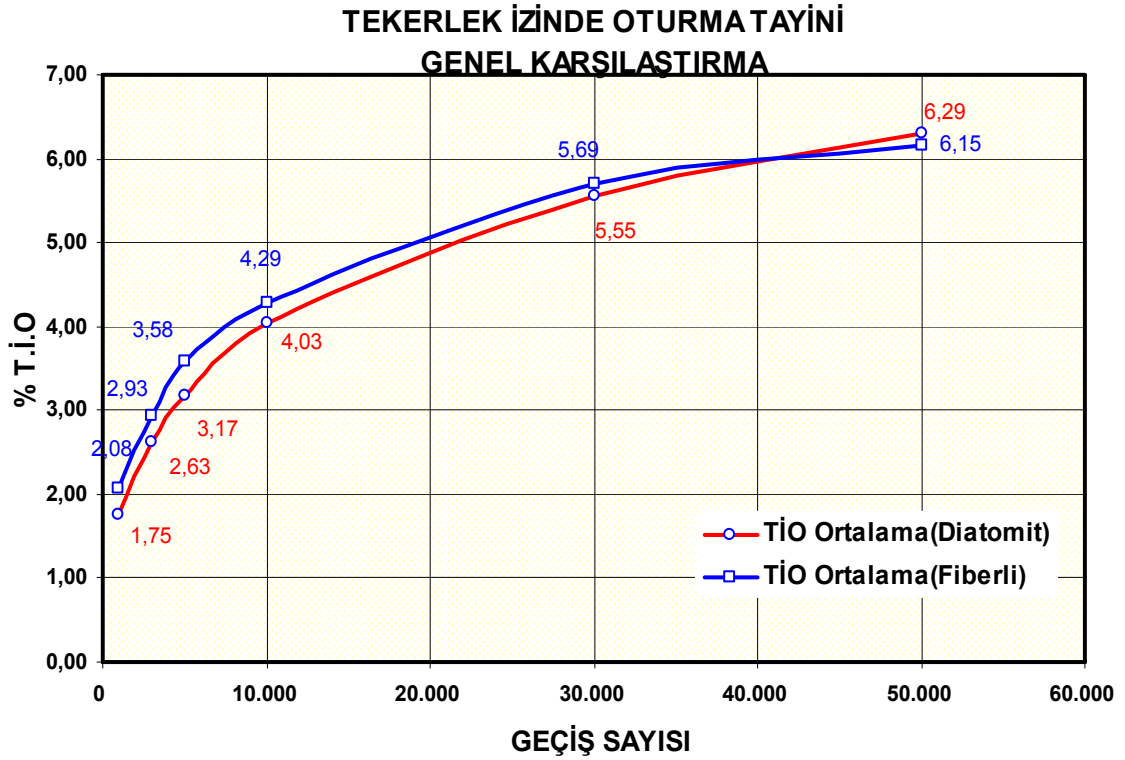
Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’de diatomitli ve fiberli numunelerin tekerlek izinde oturma %’si değerleri Şekil 8.8’de ise iki grubun birbiriyle kıyaslanması görülmektedir.



Şekil 8.6. Diatomitli numunelerin ortalama tekerlek izinde oturma %’si değeri



Şekil 8.7 Fiberli numunelerin ortalama tekerlek izinde oturma %’si değeri



Şekil 8.8. Tekerlek izinde oturma tayini deney sonuçları genel karşılaştırma

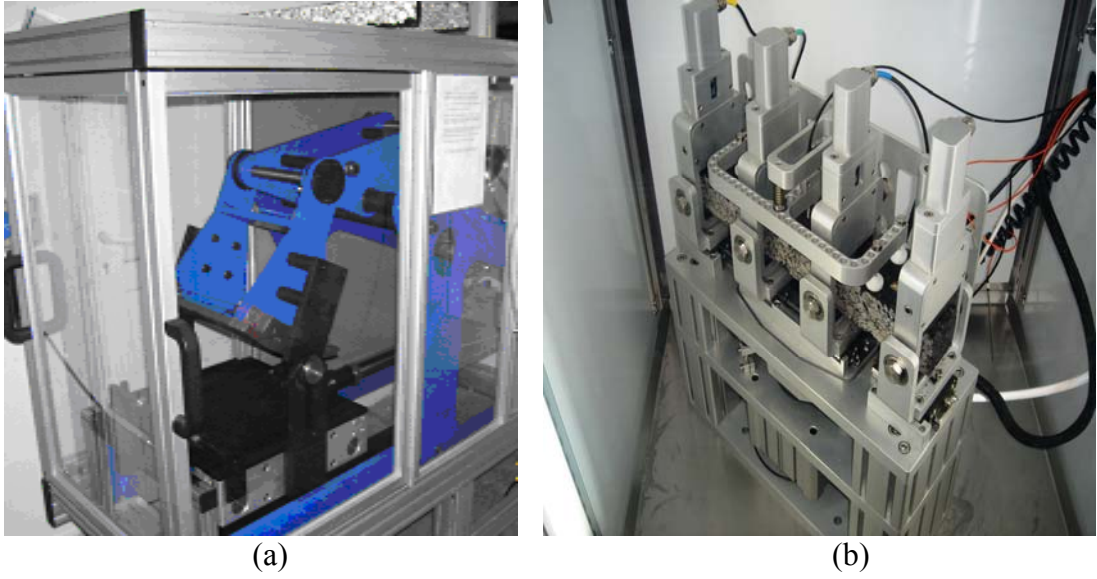
Deney sonuçlarına göre her iki TMA karışım tipi de KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi dizayn kriteri olan 30 000 devirde oluşacak maksimum % 6 TİO değerinden küçüktür. Burada hazırlanan tekerlek izinde oturma deneyi numunelerinin Dp değerleri dizayn Dp değerlerine göre bir miktar düşük kalmış, bu sıkışma yüzdesi değerlerini etkileyerek TİO %'si değerlerinin bir miktar yüksek çıkmasına, sınır değerlere yaklaşmasına neden olmuştur. Gerçekte yapılacak TMA karışımlarında dizayn değerlerine uyulduğu sürece, bir başka deyişle, optimum bitüm %'si ve pratik özgül ağırlık Dp değerleri yakalandığı sürece, tekerlek izi oluşumu, yani plastik deformasyon oluşumunun küçük değerlerde kalacağı aşıkardır. TMA karışımların genel özelliğinden dolayı bünyesindeki fiber veya diatomit katkısından çok gradasyon yapısının kesikli olması trafik etkisinden gelen yükü kaba agregaların birbirine temas ederek aktarması plastik deformasyon oluşumunu, yani tekerlek izi oluşumunu azaltmaktadır.

8.5. Tekrarlı Yük Altında Yorulmaya Karşı Direnç Dayanımı (FATIGUE)

Yol kaplamasında görülen çatlaklar yapısal hatalardan kaynaklandığı gibi zamanla trafik yüklerinin tekrarından dolayı oluşan yorulma nedeniyle de olabilir. Kaplama tabakası, farklı şiddetlerde ve frekanslarda tekrarlanan tekerlek yüklerine maruz kalır. “Yorulma bozulması” terimi, taşıt yüklerinin tekrarı sebebiyle asfalt betonunda oluşan bozulmalar için kullanılır. Heukelom ve Klomp; çevresel etkiler sonucunda sürekli değişimlerin yığılımlı olarak toplanıp, uygulanan gerilmenin gerilme dayanımına eşit olmasını sağlayan durumlar olarak tanımlamışlardır [39]. Başka bir ifade de ise Deocan yorulma ifadesini; asfaltlı malzemelerde şartlara bağlı olarak gittikçe ilerleyen, lokal ve sürekli olan değişiklikler olarak ifade etmiştir. Bu değişikliklerin belirli nokta veya noktalarda değişken gerilmeler ve deformasyonlar oluşturacağını bunun yeterli yüklemelerden sonra çatlak veya komple bir kırığa sebep olacağını belirtmiştir [38]. Genel olarak ise; yorulma, tekrarlanan veya dalgalanan en yüksek, fakat çekme emniyet gerilmesinden daha düşük bir gerilme altında malzemenin kırılması olarak tanımlanmaktadır.

30,5 x 40 x 5 cm boyutlarında sıkıştırılmış bitümlü sıcak karışım (BSK) numuneleri üzerinden 5 x 40 x 5 cm boyutlarında numuneler kesilerek tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deneyi yapılır. Önceden seçilerek sabitlenen bir gerilme veya birim deformasyon değerleri ve 20 ± 0.5 °C ortam sıcaklığında uygulanan tekrarlı yükler altında numunenin yorulma dayanımı ve rijitliği (stiffness) değerleri ölçülür. Deney “EN 12697-24 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 24: Resistance to fatigue” standardına göre yapılmaktadır [35].

Deney sonucunda; uygulanan tekrarlı yük sayısı, numunenin rijitliğindeki dayanımındaki değişim, harcanan toplam enerji değerleri gibi veriler elde edilir. Böylece dizaynını yaptığımız karışımımızın trafik(tekarlı) yükleri altında davranışı ve dayanımı ile ilgili bilgiler elde ederiz. Resim 8.16’da yorulma deneyi için numune sıkıştırıcı ve yorulma deney aleti görülmektedir.



8.5.1. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deneyi yapılışı

Diatomitli ve fiberli karışım dizaynlarının optimum bitüm oranlarında tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deneyi için numuneler hazırlanmıştır. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deneyi tayininde kullanılan numune kalıplarının hacmi;

40 cm(uzunluk) x 30,5 cm(genişlik) x 5 cm(kalınlık) = 6100 cm³'tür.

Marshall dizaynı sonucu bulduğumuz optimum bitüm ve optimum bitüm yüzdesindeki pratik özgül ağırlık (Dp) değerleri göz önüne alınarak 6100 cm³ hacim içine girecek TMA karışım miktarları diatomit ve fiberli karışımlar için ayrı ayrı hesaplanarak bulunmuş diatomitli ve fiberli tekrarlı yük altında yorulma tayini numuneleri her biri için çift numune sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Sıkıştırılan numuneler oda sıcaklığında soğumaya alınmış, bir gün sonra kalıptan çıkarılarak 5 cm x 40 cm x 5 cm boyutlarında gelecek şekilde, Resim 8.17 ve Resim 8.18'de görüldüğü gibi kesilerek hazırlanmıştır.



Resim 8.17. Diatomitli yorulma (fatigue) deney numuneleri

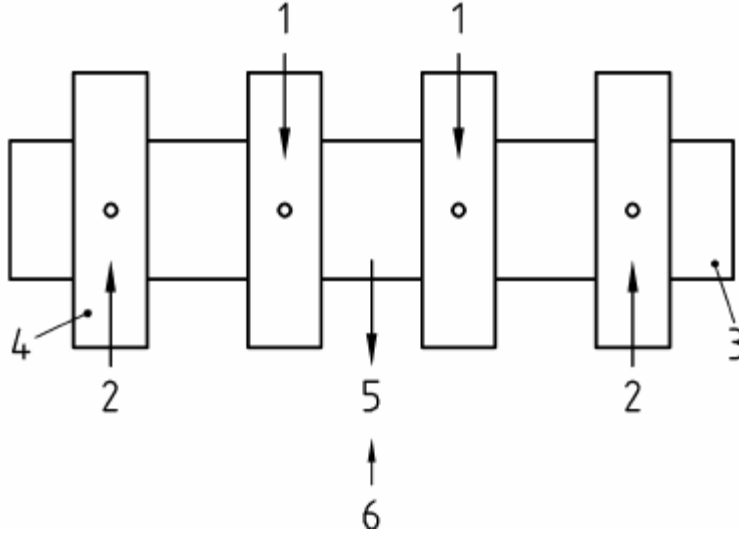


Resim 8.18. Fiberli yorulma (fatigue) deney numuneleri

Numunelerin havada, suda ve doymun yüzey tartımları yapılarak pratik özgül ağırlık değerleri (D_p) bulunmuştur.

Deney numuneleri dört nokta eğilmeli tekrarlı yük uygulayan yorulma dayanımı aletine yerleştirilmeden önce EN 12697-24 standardında belirtildiği gibi minimum 1 saat süreyle 20°C 'de iklimlendirme kabininde tutulur deneye daha sonra alınır. Numuneler Resim 8.16.b'de görüldüğü gibi yorulma deney aletinin içine yerleştirilir.

Deney aletinin çalışma prensibi ise Şekil 8.9’da görüldüğü gibidir [35].



Şekil 8.9. Dört nokta eğilmeli tekrarlı yorulma deney aleti çalışma prensibi
 1. Uygulanan yük 2. Reaksiyon (tepki) 3. Numune 4. Numune tutucular
 5. Defleksiyon 6. Orijinal pozisyona dönüş isteği

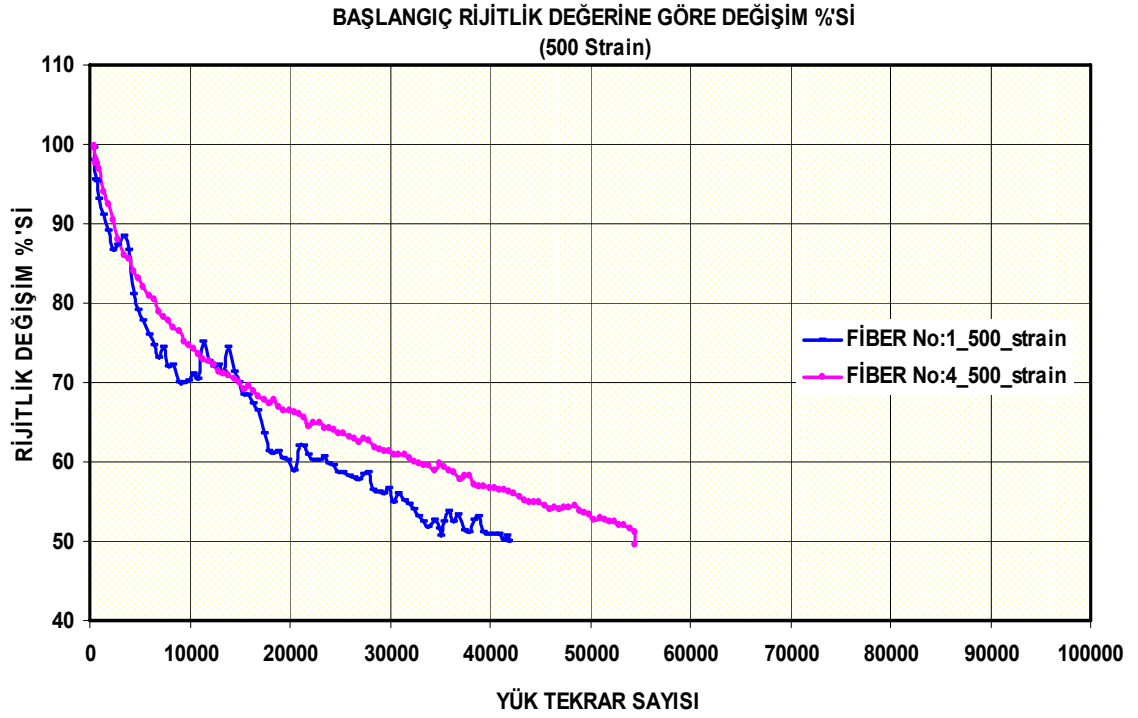
Numune deney aletinin içine yerleştirilir numune tutucularla sabitlenir. Numune boyutları, numune adı, uygulayacağımız yükün saniyedeki tekrar sayısı, deney süresince sabit olarak kalacak strain değeri gibi bilgiler deney aletinin yazılımı vasıtasıyla bilgisayara girilir ve deney başlatılır. Deney standardında bahsedildiği üzere saniyede 20 kez yük verecek şekilde ayarlanır, istediğimiz sabit strain değerinde (standartta 200, 300 ve 500 strain değerleri tavsiye edilmektedir.) deney başlatılır. Deneyin başlangıcında alet numunenin başlangıç rijitlik (stiffness) değerini ölçer ve kaydeder saniyede 20 kez tekrarlı yük uygular, belirli sayıda tekrarlı yük uygulandıktan sonra rijitlik değerini tekrar hesaplar bu işlem numunenin deney başlangıcında ölçülen rijitlik değerinin yarısı değerine düştüğü zamana kadar devam eder. Deney iki şekilde sonuçlanır; birincisi numune başlangıç rijitlik değerinin (Mpa olarak) % 50'sini kaybettiği uygulanan tekrarlı yük sayısına ulaştığı anda alet otomatik olarak yük uygulamasını keserek deneyi durdurur. İkinci durumda ise numune başlangıçta sahip olduğu rijitlik değerinin % 50'sini 2 milyon tekrarlı yük sayısına kadar kaybetmez ve otomatik olarak durmaz, bu durumda deney standardında belirtildiği üzere 2 milyon tekrarlı yük sayısına ulaşıncaya kadar operatör

tarafından deney sonlandırılır ve 2 milyon tekrarlı yük sayısındaki numunenin rijitliği ve başlangıç rijitliğine göre % durumu deney sonucu olarak alınır [35].

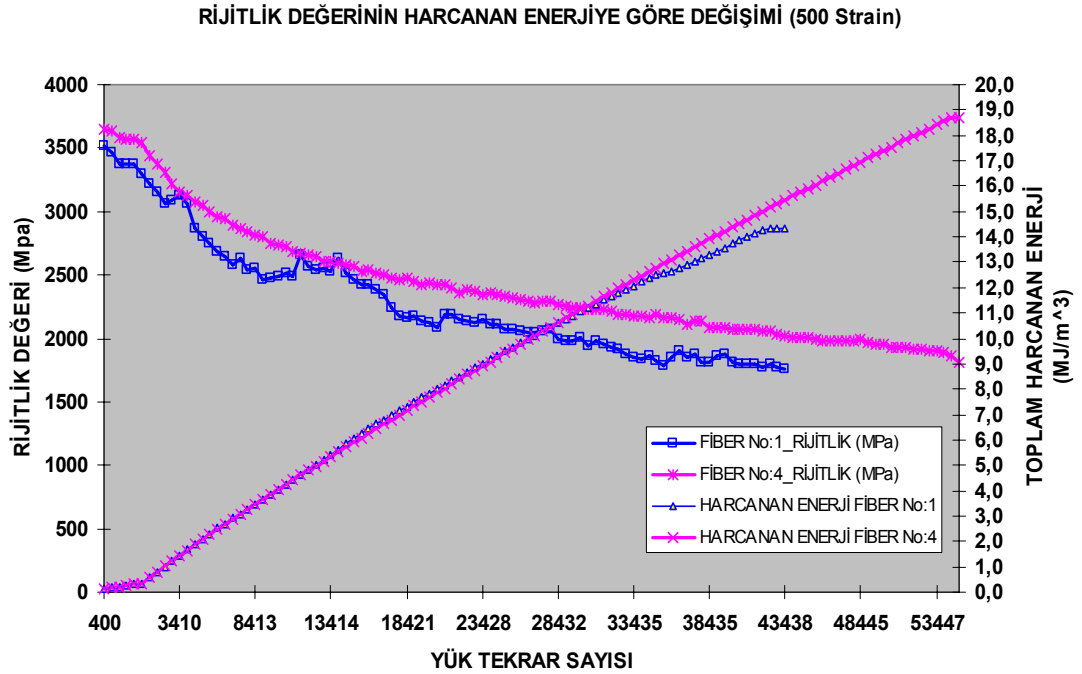
Hesaplamalarda kullanılan genel prensip EN 12697-24 standardında geniş bir şekilde açıklandığı üzere; Bitümlü sıcak karışımlar viskoelastik malzemeler olup mekanik özelliklerinin tayini için “Rijitlik Modülü” kullanılmaktadır. Rijitlik modülü, elastik malzemelerin elastikiyet modülüne benzemekle beraber yükleme hızına bağlı olarak Numune Rijitliği(Mpa) = stress/strain şeklinde ifade edilebilir. Burada stres(σ) MPa biriminde, strain(ϵ) ise birimsizdir. Genel olarak rijitlik ısı azaldıkça, karışım yoğunluğu arttıkça, bitümlü bağlayıcının penetrasyonu azaldıkça artacaktır.

8.5.2. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deneyi sonuçları

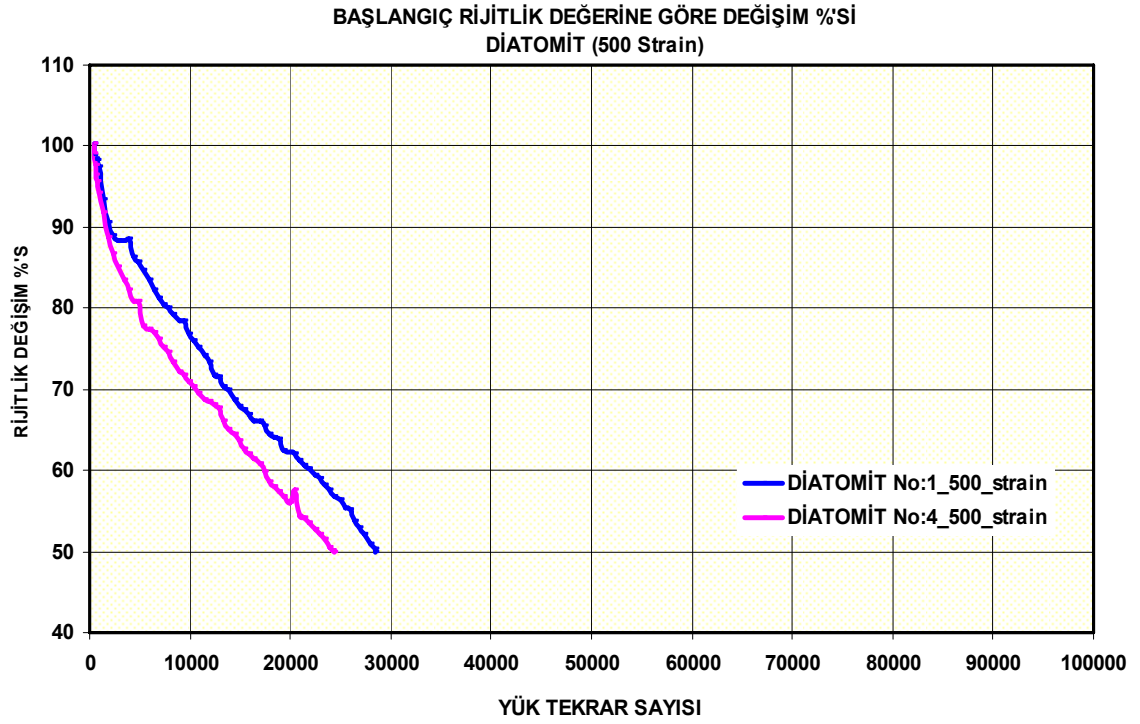
Marshall dizayn metoduna göre yaptığımız çalışmalarda bulduğumuz optimum bitüm oranında hazırlanmış diatomitli ve fiberli tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) numuneleri, gruplara ayrılarak deneye tabii tutulmuştur. Sırasıyla 500 sabit strain, 300 sabit strain ve son olarak 200 sabit strain değerlerinde diatomitli ve fiberli numunelere deney yapılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen şekiller diatomitli ve fiberli gruplar için ayrı ayrı verilmiştir. Aşağıdaki şekillerde numunenin sahip olduğu rijitlik %'si değerinin tekrarlı yük sayısına göre değişim %'si ve ayrıca numunenin rijitlik değerinin değişimi sırasındaki harcanan toplam enerji değerleri (MJ/m³) olarak verilmiştir.



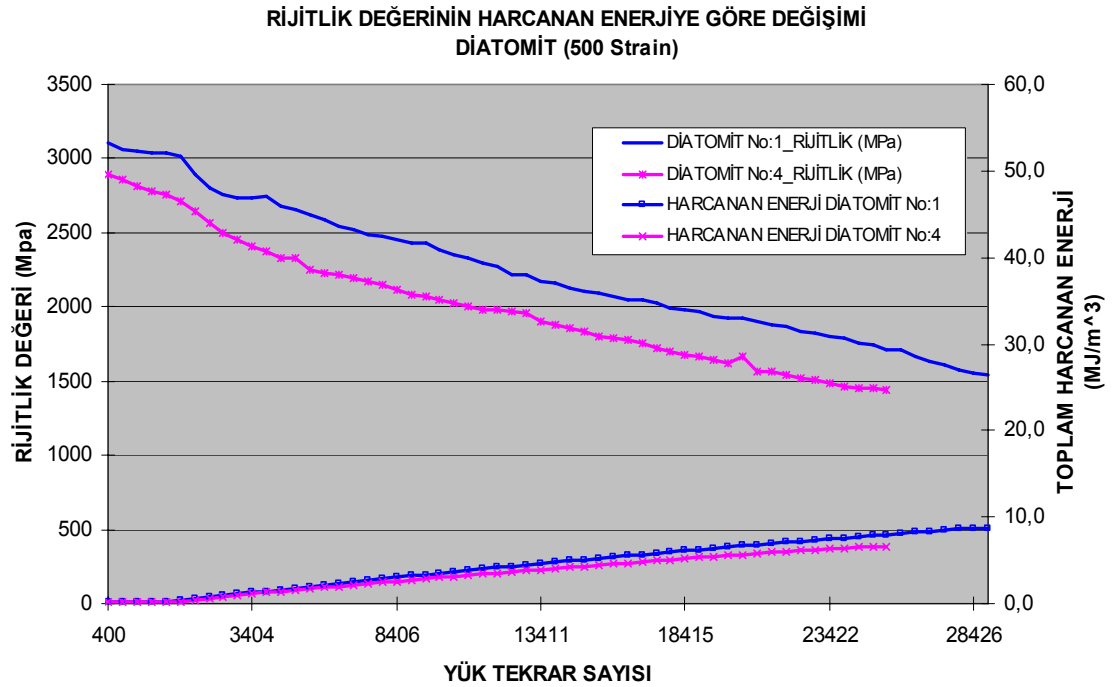
Şekil 8.10. Fiberli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı



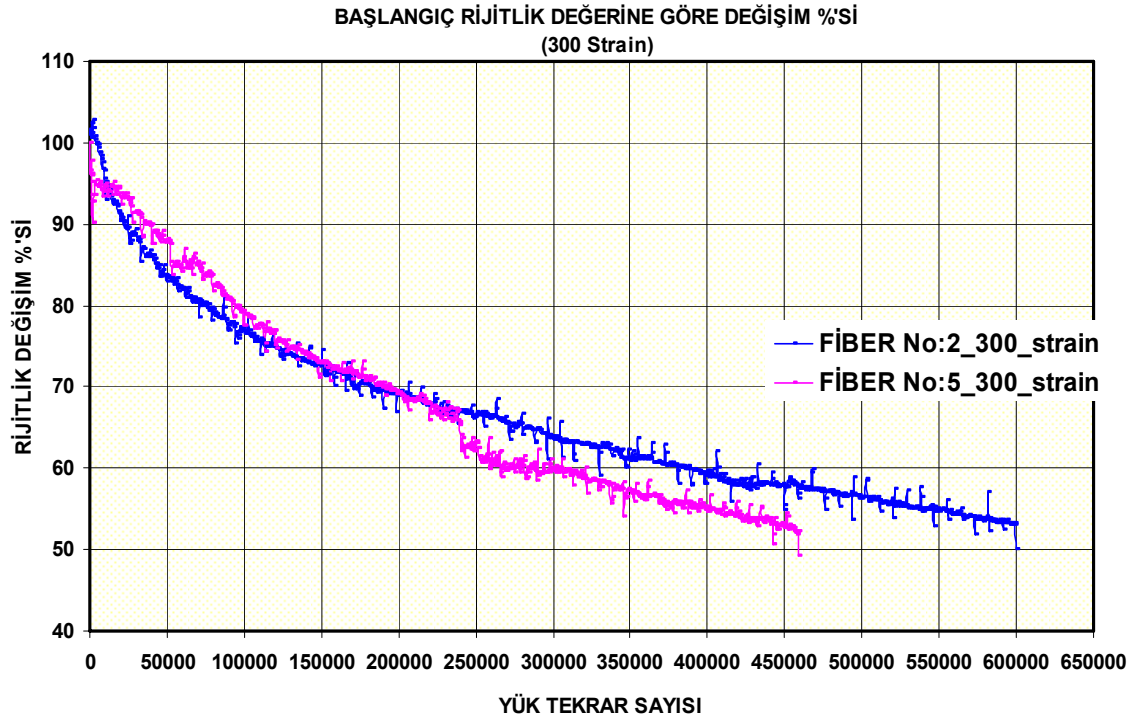
Şekil 8.11. Fiberli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji



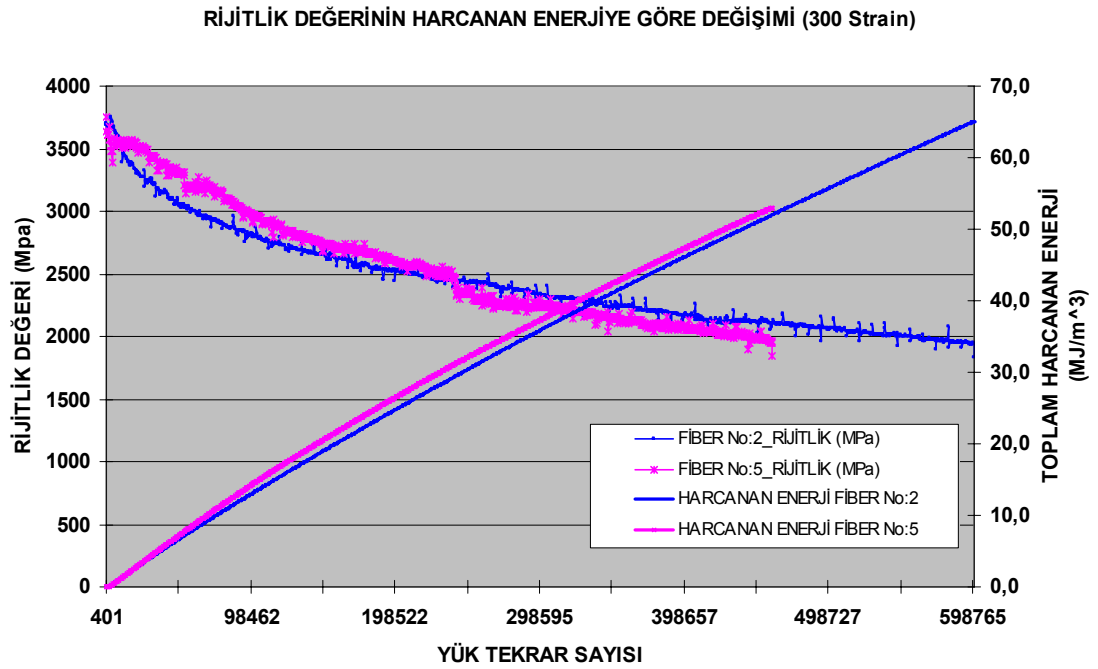
Şekil 8.12. Diatomitli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı



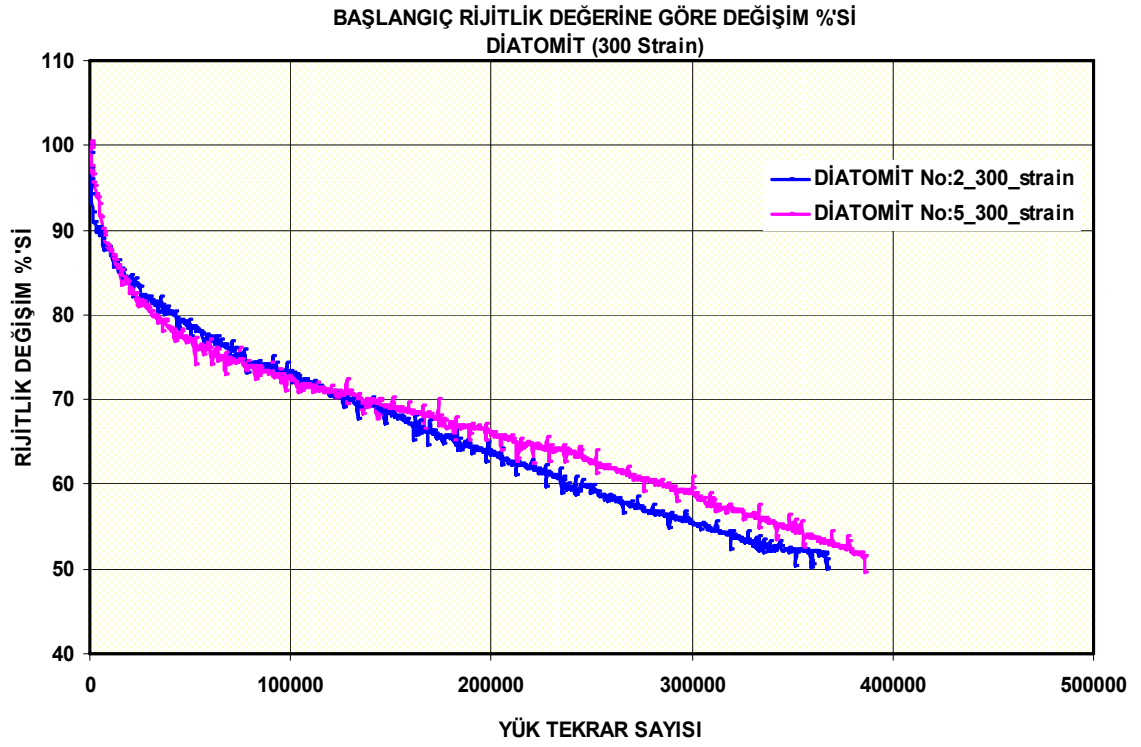
Şekil 8.13. Diatomitli grup 500 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji



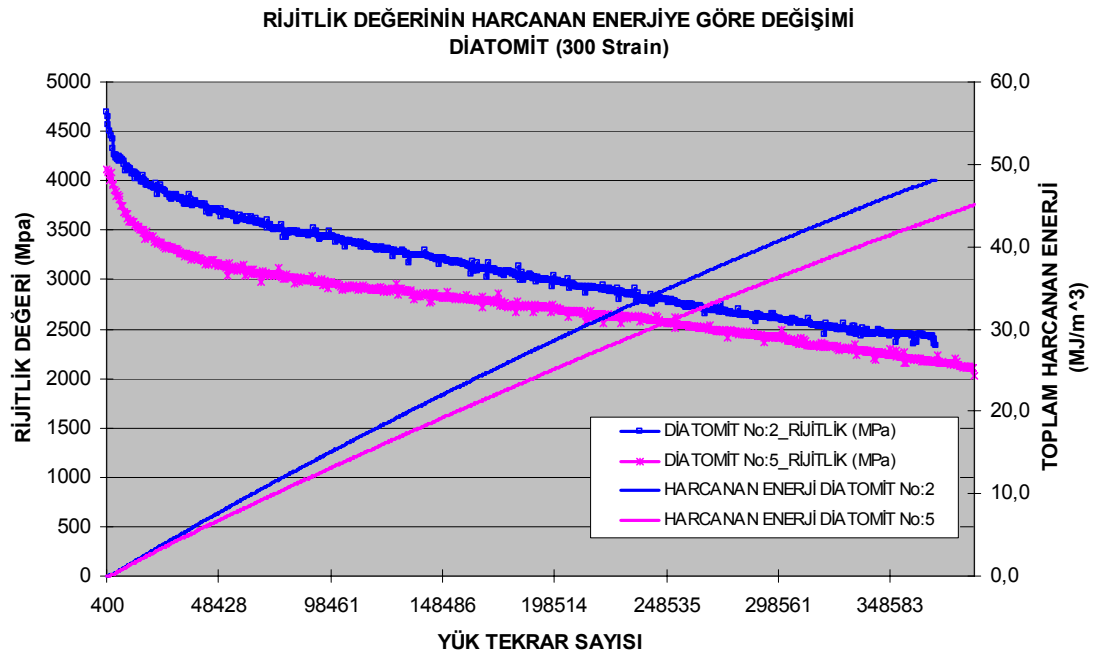
Şekil 8.14. Fiberli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı



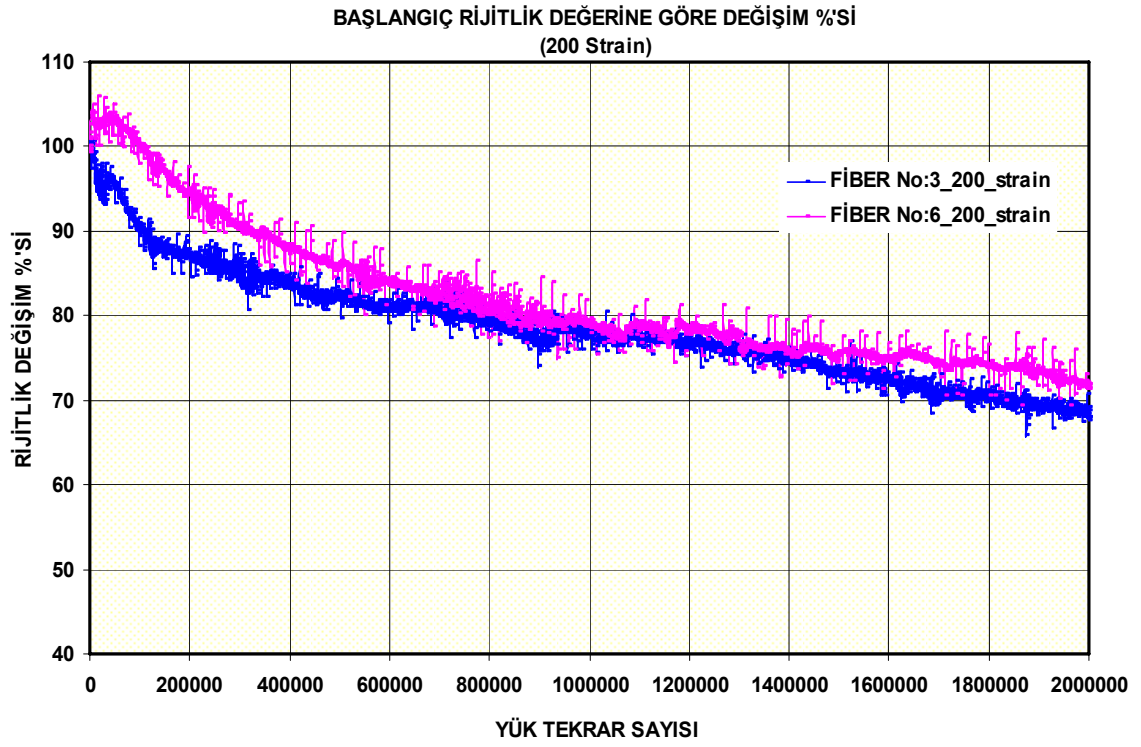
Şekil 8.15. Fiberli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji



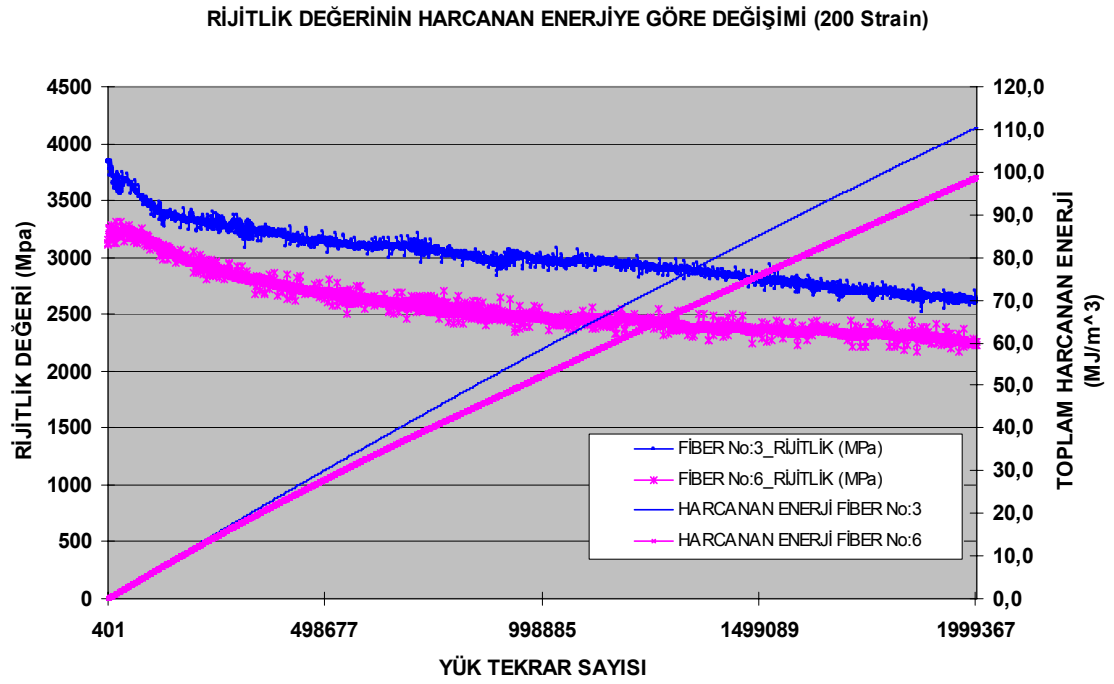
Şekil 8.16. Diatomitli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı



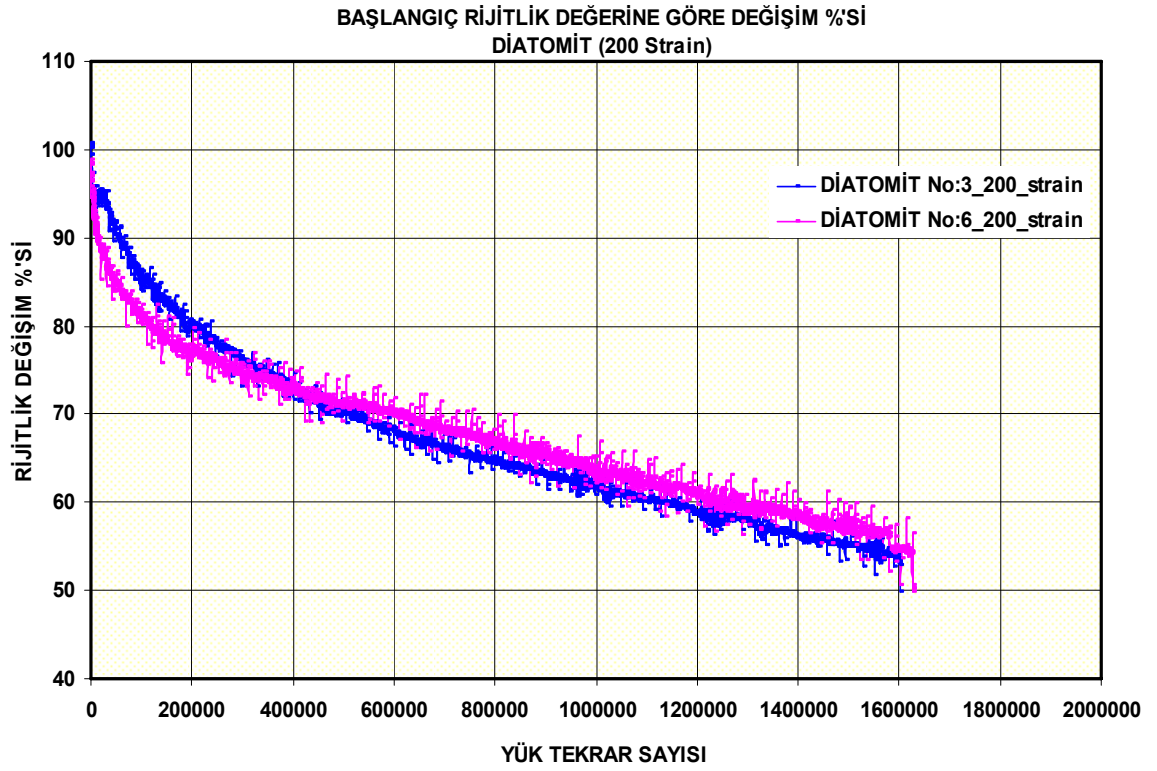
Şekil 8.17. Diatomitli grup 300 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji



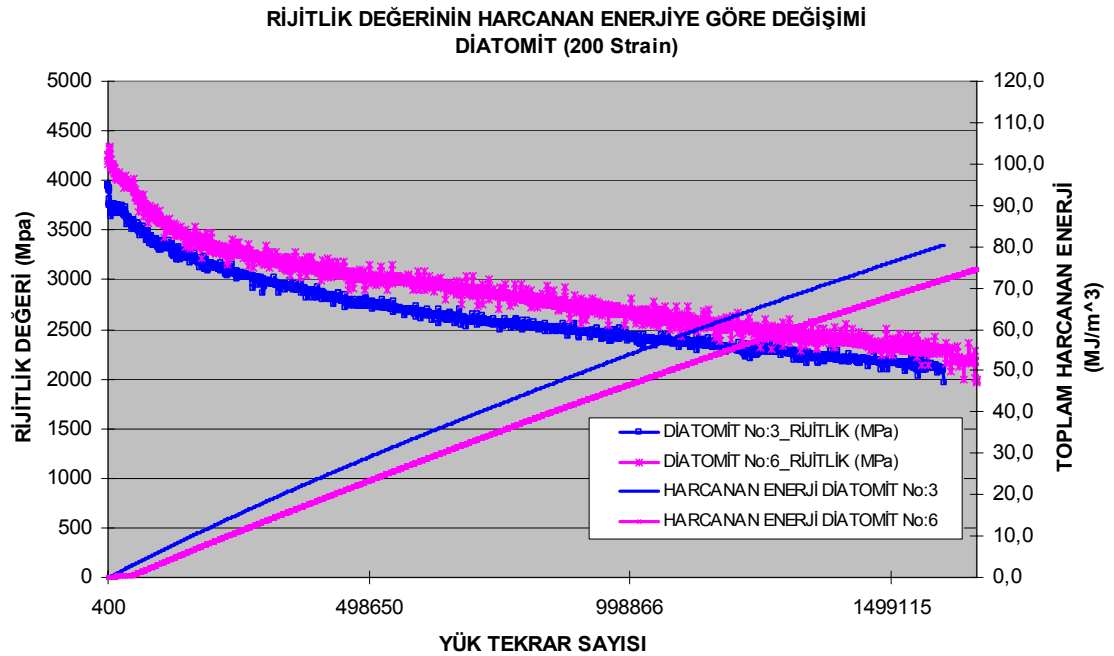
Şekil 8.18. Fiberli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı



Şekil 8.19. Fiberli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji



Şekil 8.20. Diatomitli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve yük tekrarı sayısı



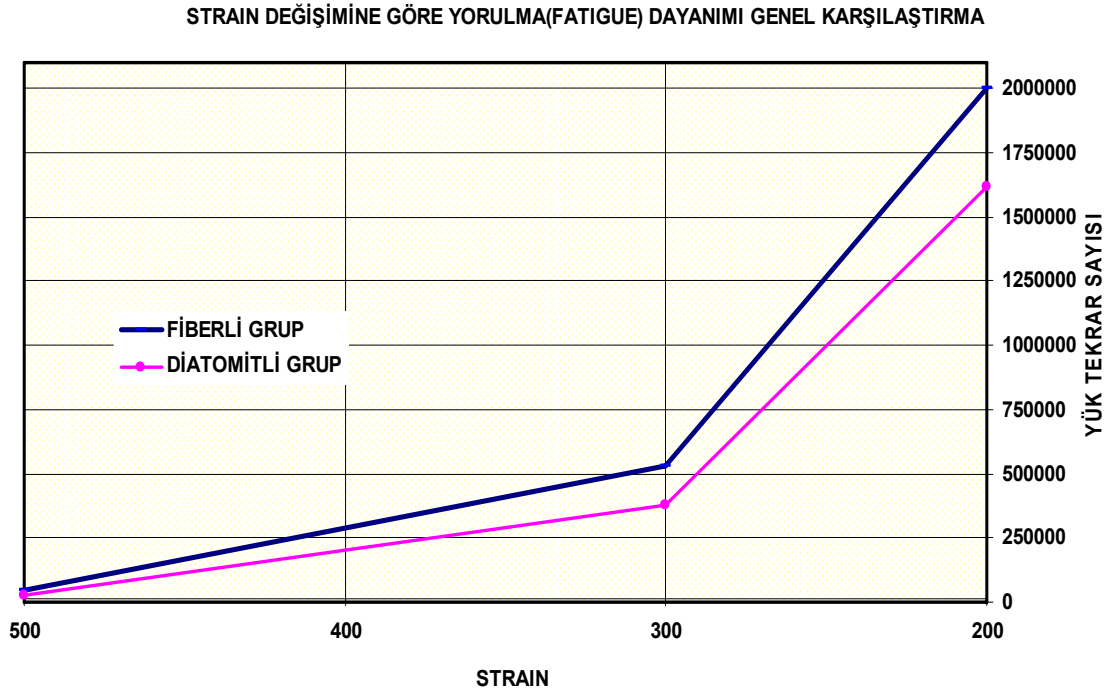
Şekil 8.21. Diatomitli grup 200 strain değerinde rijitlik değişimi ve harcanan enerji

Yapılan yorulma dayanımı(fatigue) deneyleri sonuçlarının özeti Çizelge 8.6’da verilmiştir. Yapılan yorulma dayanımı test sonuçları çok fazla yer tuttuğu için EK-5’de verilmiştir. Özellikle 200 ve 300 strain değerlerinde yapılan test sonuçları değerleri çok fazla sayıda olduğu için deney çıktı sayfalarının hepsi verilmemiştir.

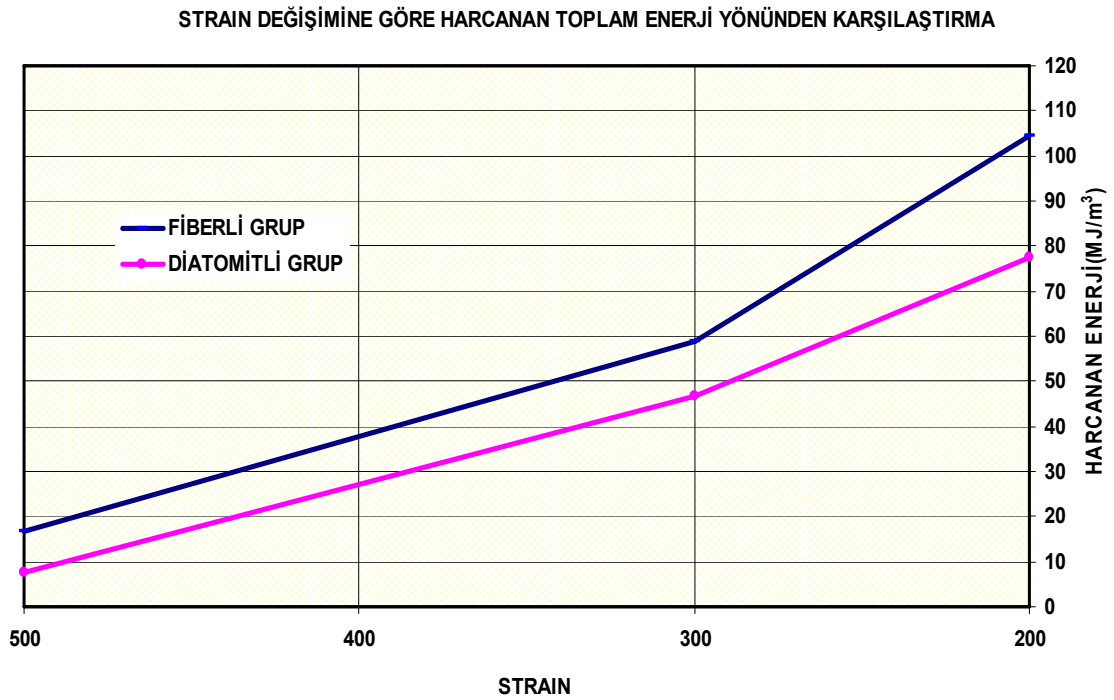
Çizelge 8.6. Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) sonuçları

Diatomitli Grup	Uygulanan Strain	Başlangıç Rijitliği (Mpa)	Deney Sonu Rijitlik (Mpa)	Rijitlik %'si Değişimi	Harcanan Toplam Enerji (MJ/m ³)	Deney Sonu Yük Tekrar Sayısı
No:1	500	3103	1547	50	8,74	28468
No:4	500	2892	1442	50	6,50	24306
Ortalama	500	2998	1495	50	7,62	26387
No:2	300	4689	2377	50	48,11	367040
No:5	300	4110	2030	50	45,04	386033
Ortalama	300	4400	2204	50	46,58	376537
No:3	200	3939	1957	50	80,36	1600903
No:6	200	4193	1964	50	74,42	1625896
Ortalama	200	4066	1961	50	77,39	1613400
Fiberli Grup	Uygulanan Strain	Başlangıç Rijitliği (Mpa)	Deney Sonu Rijitlik (Mpa)	Rijitlik %'si Değişimi	Harcanan Toplam Enerji (MJ/m ³)	Deney Sonu Yük Tekrar Sayısı
No:1	500	3521	1763	50	14,36	41856
No:4	500	3649	1816	50	18,72	54526
Ortalama	500	3585	1790	50	16,54	48191
No:2	300	3685	1825	50	65,05	599533
No:5	300	3754	1850	50	53,02	458914
Ortalama	300	3720	1838	50	59,04	529224
No:3	200	3843	2598	68,0	110,43	2000000
No:6	200	3131	2233	71,3	98,65	2000000
Ortalama	200	3487	2416	69,7	104,54	2000000

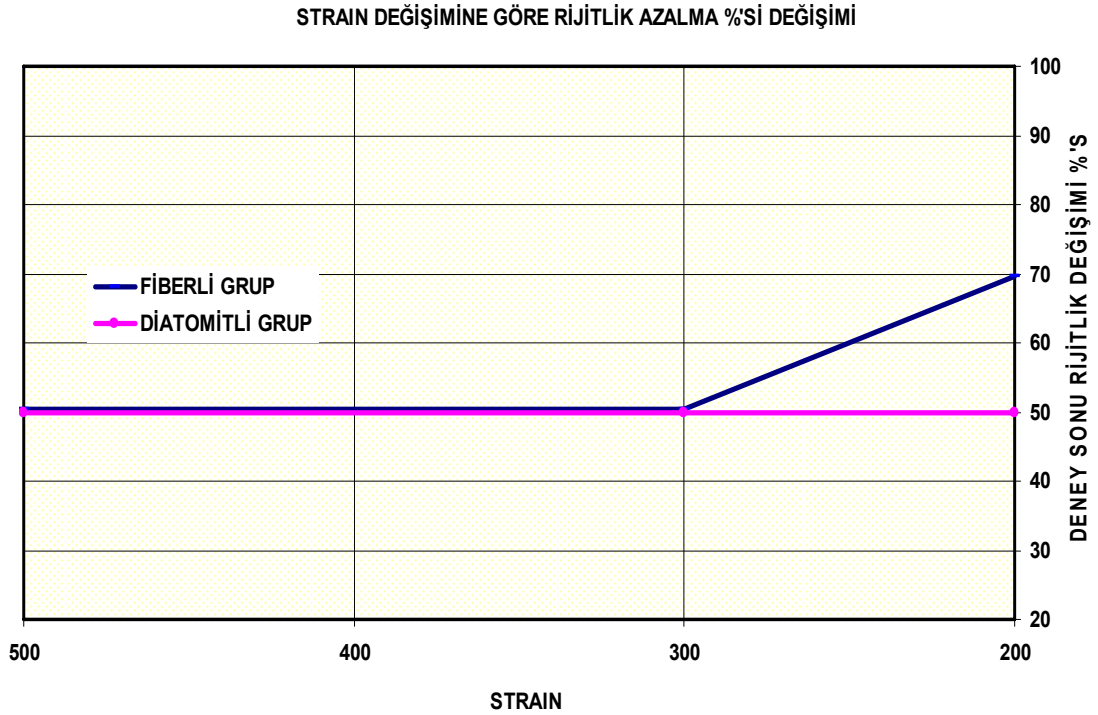
Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deney sonuçları ile ilgili genel karşılaştırmalar Şekil 8.22, Şekil 8.23, ve Şekil 8.24’de verilmiştir.



Şekil 8.22. Strain değişimine göre fiberli ve diatomitli karışımların yorulma dayanımı



Şekil 8.23. Strain değişimine göre fiberli ve diatomitli karışımlarda harcanan enerji



Şekil 8.24. Strain değişimine göre fiberli ve diatomitli karışımlarda rijitlik %'si azalması

Yukarıda verilen tüm şekilleri ve Çizelge 8.6'daki tüm verileri değerlendirecek olursak şu sonuçlara varabiliriz. Yorulma(fatigue) dayanımı yönünden fiberli karışımlar diatomitli karışımlara göre çok daha fazla sayıda tekrarlı yüke karşı koymaktadır. Şekil 8.22'de görüldüğü gibi her strain grubunda fiberli karışımlar diatomitli karışımlara göre daha fazla sayıda tekrarlı yük değerine karşı koyarak iyi değerler vermiştir.

Şekil 8.23'de ise diatomitli ve fiberli karışımların deney süresince sönümlediği enerji miktarı veya harcanan enerji miktarı değişimi görülmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi fiberli TMA karışımları çok daha fazla enerjiyi üzerinde sönümleyebilmektedir. Başka bir deyişle fiberli TMA karışımlar rijitliğinin % 50'sini daha büyük enerji harcanması sonunda kaybetmektedir.

Şekil 8.24'de ise önemli bir değer elde edilmiştir. Burada fiberli TMA karışımı deney sonunda 2 milyon tekrarlı yük sayısına kadar rijitlik değerinin % 50'sini

kaybetmediği görülmektedir. 2 milyon tekrarlı yük altında yaklaşık olarak rijitlik değeri % 70 civarında kalmış % 50 değerine düşmemiştir, öbür taraftan diatomitli TMA karışımı rijitliğinin % 50'sini yaklaşık 1,6 milyon tekrarlı yük sayısında kaybetmiştir.

Fiberli TMA karışımları, diatomitli TMA karışımlarına göre her strain grubunda daha iyi değerler vermiştir. Bunun nedeni olarak fiberi oluşturan selülozik lifler karışım içinde üzerine gelen tekrarlı yüklerden dolayı oluşan enerjiyi bir miktar dağıtıp ve sönmlemesi olarak düşünülebilir.

8.6. Diatomit İle fiberin TMA Karışımlarda Kullanılması Durumunda Oluşacak Maliyetlerin Karşılaştırılması

Deneysel çalışmalarımızda diatomit katkısını filler boyutunda karışım içinde kullandığımızdan dolayı bize diatomitin filler boyutuna getirilmesi için gerekli fiyatlar gereklidir. Bir diatomit ocağından malzemenin çıkarılıp konkasörde belli boylarda kırılıp, daha sonra filler boyutuna getirilmesi ile, bir taş ocağından agreganın çıkartılıp konkasör vasıtasıyla kırılıp gerektiğinde filler boyutuna getirilmesi benzerdir. Bu bakımdan diatomitin filler boyutuna getirilmesi için Karayolları Genel Müdürlüğünün “2006 Yılı Yol, Köprü, Bitümlü Kaplamalar ve Trafik İşlerine Ait Birim Fiyat Listesi” kitabından 4265/1 Poz Numaralı “Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 9,5 mm (3/8”), 6,3 mm (1/4”), 4,75 mm (No.4) ve 0,85 mm (No.20) lik agrega hazırlanması” birim fiyatı ve 4270 Poz Numaralı “Mineral Filler Malzemesi Hazırlanması” birim fiyatı alınabilir [36].

Bu birim fiyatlara dahil olan masraflar “Karayolları Genel Müdürlüğü Birim Fiyat Tarifleri El Kitabında” şu şekilde belirtilmiştir.

4265/1 Birim Fiyatına Dahil olan Masraflar; Taşın, ocaklardan çıkarılması, konkasöre verilecek boyutta kırılması, vasıtalarla yüklenmesi, ocak-konkasör arasında nihai ortalama 150 m mesafeye kadar taşınması, boşaltılması, konkasöre verilmesi, şartnamesinde belirtilen veya İdarece istenilen granülometriyi elde edecek şekilde konkasörle kırılması ve elenmesi, munzam elemeler ve granülometri ayarlama

işlerinin yapılması, konkasör altının boşaltılması, kırılmış ve elenmiş agreganın; vasıtalarla yüklenmesi, figüre veya depo yerinde boşaltılması için lüzumlu her türlü işçilik, malzeme makine, alet ve edevat masrafları ile müteahhit karı ve genel masraflar fiyata dahildir [37].

4270 Birim Fiyatına Dahil Olan Masraflar: Asfalt betonu ve sıcak karışım agregasının konkasörden elde edilmesi sırasında, istenilen gradasyon için noksan görülen mineral filler malzemesinin (mermer tozu, kalker tozu vb.) işbaşında temini için gerekli her türlü işçilik, malzeme, makine, alet ve edevat masrafları ile müteahhit karı ve genel masraflar fiyata dahildir [37].

4265/1 Birim Fiyat Numarasına Göre;

1 ton kırılmış agrega hazırlama fiyatı: 16.10 YTL/ TN

4270 Birim Fiyat Numarasına Göre;

1 ton Mineral filler hazırlama fiyatı: 13.20 YTL/TN

Burada ilk olarak diatomitin ocaktan çıkarılıp, konkasörde kırılması çeşitli malzeme boylarına ayrıldığı düşünülmüş ve aynı malzemeden filler hazırlanması fiyatı ilave edilerek, 1 ton diatomit filleri hazırlama fiyatı $16.10 + 13.20 = 29.30$ YTL olarak geniş bir düşünce aralığı göz önünde tutularak alınmıştır.

TMA karışımların içine katılan elyaf malzemesi (bizim çalışmamızda Viatop 66 marka, yaygın kullanımı olan bir ürün) yurt dışından getirilmektedir. Bu malzemeyi yurt dışından getirerek yol yapacak firmalara temin eden şirketlerden aldığımız fiyatlarda elyaf markası ve tip çok önemli olmamakla beraber ülkemize 1.20 € / kg fiyatla getirildiği öğrenilmiştir.

Deneyssel çalışmalarımızda sonuç değerler olarak diatomit yüzdesi agrega karışımının % 3'ü oranında fiber yüzdesi ise % 0,45 oranında kullanılmıştır. O halde 1000 kg =1 ton miktarındaki agrega karışımında; diatomit kullanıldığı zaman 30 kg diatomit, fiber kullanıldığında ise 4,5 kg fiber kullanılmaktadır.

1 ton agrega + 64,5 kg bitümden oluşan TMA karışımının içindeki diatomitin fiyatı = $29.30(\text{YTL}) \times 30(\text{kg}) / 1000(\text{kg}) = 0.88 \text{ YTL}$ olarak hesaplanabilir. O halde 1,065 ton TMA karışımı içindeki diatomit fiyatı olarak 0.88 YTL alabiliriz.

1 ton agrega + 65,5 kg bitümden oluşan TMA karışımının içindeki fiberin fiyatı = $4,5(\text{kg}) \times 1.20(\text{€/kg}) \times 1.90(\text{YTL/€}) = 10.26 \text{ YTL}$ olarak hesaplanabilir. (1€=1.90 YTL olarak, kasım 2006 değeri alınmıştır.) O halde 1,066 ton TMA karışımı içindeki fiber fiyatı olarak 10.26 YTL alabiliriz.

Maliyet karşılaştırması yapma açısından 4 cm kalınlığında 12 metre genişliğinde ve 1 km uzunluğunda bir TMA karışımı kaplama yaptığımızı düşünelim.

Toplam malzeme miktarı= $0.04(\text{m}) \times 12(\text{m}) \times 1000(\text{m}) = 480 \text{ m}^3$ bulunur. Bunu Marshall dizaynı sonucu bulduğumuz pratik özgül ağırlık değeri olarak alabileceğimiz $2,465 \text{ TN/m}^3$ ile çarparsak $480 \times 2,465 = 1183,2 \text{ TN}$ karışıma ihtiyacımız ortaya çıkar.

O halde 1 km yol için kullanılan diatomit ve fiber için hesap yaparsak.

% 3 diatomit tutarı $1183,2(\text{TN}) \times 0.88(\text{YTL}) / 1,065(\text{TN}) = 977 \text{ YTL}$ ’dir.

% 0,45 fiber tutarı $1183,2(\text{TN}) \times 10.26(\text{YTL}) / 1066(\text{TN}) = 11\,378 \text{ YTL}$ ’dir.

Buradaki hesaplardan her 1 km TMA karışımı için $11\,378 - 977 = 10\,401 \text{ YTL}$ fazla tutar harcandığı 100 km’lik bir yol yapımı için hesabı genişletirsek yaklaşık olarak $1\,040\,100 \text{ YTL}$ (1 trilyon TL) fazla tutar harcandığı ortaya çıkmaktadır.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında; Avrupa’da ve dünyada gelişmiş ülkeler tarafından yaygın olarak kullanılan ve özellikle son 10 yıl içinde kullanım oranı artarak devam eden TMA yani Taş Mastik Asfalt karışımlar (Stone Mastic Asphalt) üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada endüstriyel bir hammadde olan ve kullanım alanları oldukça geniş olan diatomitin TMA karışımlar içinde kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Bu amaç dahilinde diatomitli ve fiber katkılı TMA karışımlar üzerinde 5 farklı performans deneyi yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan ve deney çıktılarından yola çıkarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1) Karayollarında; artan trafik hacmi, taşınan yüklerin artması, bunlara iklim ve yapım koşullarından gelen olumsuz etkilerin de katılmasıyla yorulma, tekerlek izi oluşumu ve ondülasyon gibi kalıcı deformasyonlar oluşmaktadır. Yolların bozulma sebeplerinin başında ağır taşıtların etkili olduğu aşırı yüklemekten kaynaklanan plastik bir deformasyon türü olan tekerlek izi oluşumları meydana gelmektedir. Bununla birlikte ağır taşıt trafiğinin bozulmalara etkisi, fazla yük taşımanın esnek üstyapılarda oluşturduğu bozulmalar gibi konulara değinilmiş bunları geciktirici karışım türü olarak TMA karışımlar ön plana çıktığı, TMA karışımların sadece TİO oluşumunu geciktirmesinden başka diğer özelliklerinin de iyi olduğu görülmüştür.

2) Yapılan çalışmada TMA karışımlara ait tarihi bilgiler, yüzey karakteristikleri, yapım şartları, bazı önemli kullanım alanları ve sağlanan faydalardan bahsedilerek önemi ortaya konmuştur.

3) TMA karışımların Avrupa ve dünyada kullanım oranları artmaktadır. Avrupa ve dünyada sıcak karışım imalatlarında yön TMA karışımlara doğru giderken ülkemizin de bu durumun dışında kalamayacağı ve kullanım oranının artacağı kesindir. Yatırımlarımızın büyük bir kısmını dışarıdan aldığımız borçlarla finanse ettiğimiz düşünülürse, yaptığımız her türlü mühendislik imalatlarında kalite, ekonomi ve uzun ömür üçlüsü ön planda olmalıdır. Bu amaçla yol imalatlarımızda özellikle trafiği yoğun olan, ağır taşıt trafiği ve taşınan yüklerin büyük değerlerde olan kesimlerde,

uzun ve büyük eğim değerlerine sahip yol kesimlerinde, ülke olarak, TMA karışım imalatlarının yapımını gerçekleştirecek planlamaları yapmalı ve uygulayıcı kararlar almalıyız.

Ancak TMA karışımlar zengin bitüm ve bitümün süzülmesini önleyen selülozik elyaf (fiber) türü malzemeler içerdiği için normal bitümlü karışımlara göre daha maliyetli bir imalat türüdür. Bu noktada TMA karışımlar içindeki bitüm oranını düşüremeyeceğimiz ortadadır. O halde TMA karışımlar içinde kullanılan fiber yerine geçebilecek bir malzeme düşünme durumu ortaya çıkmıştır. TMA karışımlar içinde kullanmayı düşündüğümüz, ülkemizde bol miktarda bulunan büyük rezervleri olan ve gösterdiği özellikler, kullanım alanları bakımından geniş bir yelpazeye sahip olan diatomit hammaddesine ait bilgiler ilgili bölümlerde verilmiştir. Diatomitin TMA karışımlar içinde kullanılıp, nasıl sonuçlar vereceğinin araştırılması amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4) Marshall metodu ile yaptığımız dizayn çalışmalarının sonucunda diatomit oranının çok fazla artmasının bitüm oranını artırdığı ayrıca karışımın işlenebilirliği bakımından bazı sıkıntılar çıkardığı, işlenebilirlik oranının düştüğü laboratuardaki çalışmalar sonucunda görülmüştür. Karışım içindeki optimum bitüm oranının artması istenilen bir şey değildir. Bu yüzden % 3 diatomit katkılı TMA dizaynına karar verilmiştir. Fiberli yapılan dizayn değerleriyle diatomitli dizayn değerlerini kıyaslayacak olursak; optimum bitüm oranı fiberli karışım için % 6,45 diatomitli karışım için % 6,55, boşluk oranı fiberli karışım için % 3,11 diatomitli için % 3,27, VMA değeri fiberli için % 16,74 diatomitli için % 16,55'dir. Diğer dizayn kriterlerinde de birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

5) Bitüm süzülme deney sonuçlarına göre selülozik fiber içeren karışım diatomitli karışımlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak diatomitli hazırlanan karışımında deney standardı olan maksimum bitüm süzülme miktarı % 0,3 değerinden düşük değerler vermiştir. Bu noktada diatomitin karışımın içindeki kullanım oranının artırılarak TMA karışımının daha iyi bir bitüm süzülme %'si değerine sahip olması

akla getirilebilir ama bununda karışım içindeki optimum bitüm oranını yükselteceği gerçeğini hatırlamamıza neden olmaktadır.

6) Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için uyguladığımız standart deney metodu sonuçlarına göre; fiberli TMA karışımı ile diatomitli TMA karışımı arasında çok önemli bir fark görülmemiştir. Koşullandırılmış diatomitli briketlerin İÇM değerinin koşullandırılmış fiberli briketlerin İÇM değerine oranına ve koşulsuz diatomitli briketlerin İÇM değerinin koşulsuz fiberli briketlerin İÇM değerine oranı sonucu çıkan veriler aşağıdaki gibidir.

Koşullu diatomitli briketlerin koşullu fiberli briketlere oranı 0,91'dir. Buna göre koşullandırılmış diatomitli briketler suyun karışımlar içindeki donma çözülme etkisiyle verdiği zarardan fiberli karışımlara göre yaklaşık % 9 daha fazla etkilenmektedir.

Koşulsuz diatomitli briketlerin koşulsuz fiberli briketlere göre oranı 0,94 civarındadır. Burada da koşulsuz diatomitli briketlerin fiberli briketlere göre yaklaşık % 6 kadar daha kötü davranış göstermiştir. Bu oranlar diatomitli briketlerin sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncinin çok kötü olmadığını kabul edilebilir seviyelerde olduğunu göstermektedir.

7) Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (rutting) sonuçlarına göre; diatomitli ve fiberli olarak hazırlanan iki TMA karışımı da deney sonucu olarak, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2006 yılı içinde hizmete sunduğu Karayolları Teknik Şartnamesi ilgili TMA bölümü dizayn kriterleri asında sayılan ve önemli bir dizayn kriteri olan 30 000 devirde oluşacak maksimum % 6 TİO değerinden küçük değerler vermiştir. Yapılan TİO deneyi sonuçlarına göre gerek fiberli karışım gerekse diatomitli karışım TİO oluşumlarına karşı iyi davranış göstermiştir. Burada diatomit veya fiber TİO oluşumunu önlemede ikinci planda kalmaktadır. TMA karışımların kesikli bir karışım gradasyonuna sahip olması TİO oluşumlarını geciktirmede ilk sıradadır. Kesikli gradasyona sahip TMA karışımlar; üzerine trafik etkisinden gelen

yükleri kaba agregaların birbirine temas ederek birbirlerine aktarması ile plastik deformasyon oluşumunu yani kalıcı tekerlek izi oluşumunu azaltmaktadır. Yine de deney sonuçlarına göre oluşan verilerden diatomitli TMA karışımların TİO karşı gösterdiği dayanımının iyi olması olumlu bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

8) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) deney sonuçlarına göre; hazırlanmış diatomitli ve fiberli tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (fatigue) numuneleri gruplara ayrılarak çeşitli strain değerlerinde deneye tabii tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden diatomitli TMA ve fiberli TMA karışımlarının sahip oldukları rijitlik %'si değerlerinin tekrarlı yük sayısına göre değişim %'si oranları, diatomitli ve fiberli TMA karışımlarının MPa olarak rijitlik değerlerinin azalması sırasında karışımların sönümlendiği enerji miktarları ve uygulanan tekrarlı yük sayısı değerlerinin değişimleri gibi sonuçlar elde edilmiştir.

Diatomitli ve fiberli hazırlanan numuneler üzerinde yapılan her farklı strain grubundaki değerler sonucunda fiberli karışımların diatomitli karışımlara göre daha fazla sayıda tekrarlı yük değerine karşı koyarak iyi değerler verdiği görülmüştür. Diatomitli karışımlar sahip oldukları rijitlik değerinin % 50'sini fiberli karışımlara göre daha kısa sürede kaybetmektedir. Ancak karışımların rijitlik değerlerinin fiberli karışımlara göre bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür.

Diatomitli ve fiberli karışımların farklı strain gruplarındaki sönümledikleri enerji miktarı kıyaslandığında da fiberli TMA karışımlarının, diatomitli TMA karışımlarına göre çok daha fazla enerjiyi üzerinde sönümleyebildiği görülmüştür. Başka bir deyişle fiberli TMA karışımlar rijitliğinin % 50'sini diatomitli karışımlara göre daha büyük enerji sönümleyerek kaybetmektedir.

9) Yukarıda bahsedilen deneylere ilaveten diatomit ile fiberin TMA karışımlarda kullanılması durumunda oluşacak maliyetler hesaplanmış ve 1 km TMA karışımı imalatı yapılması durumunda diatomit kullanılırsa 977 YTL/km, fiber kullanılırsa 11 378 YTL/km gibi değerler elde edilmiştir.

Buradaki değerleri birbirinden çıkardığımızda her 1 km TMA karışımı için fiber kullanılırsa diatomite göre $11\,378 - 977 = 10\,401$ YTL fazla tutar harcanacağı bu değeri de 100 km'lik bir yol yapımı için düşünürsek 1 040 100 YTL (1 trilyon TL) fazla tutar harcanacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Konunun geneli ve yukarıda bahsedilen maddelerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, TMA karışımlar Avrupa ve dünyada tekerlek izi oluşumuna karşı geleneksel karışım tiplerine göre daha fazla oranda kullanılacaktır ve oran ileriki yıllarda daha büyük miktarlara ulaşacaktır. Ülkemizi düşündüğümüzde yolcu taşımacılığının % 95' i ve yük taşımacılığının yaklaşık % 90' ı karayolları üzerinde yapılmaktadır. Ayrıca ülkemizde ağır taşıt trafiği fazla olduğu gibi, bir de diğer ülkelerle kıyaslanmayacak kadar aşırı yükleme değerleriyle yük taşınmaktadır. Bu nedenle yollarımızda tekerlek izinde oturma şeklinde bozulma türü yaygın olarak görülmektedir. Kısa vadede ağır taşıt trafiği sayısını düşürmek veya taşınan yüklerin yasal sınırlar içine çekilmesini sağlamak çok zor bir iş olarak görülmektedir. Bu yüzden yollarımızda oluşan TİO şeklindeki bozulmaları geciktirecek, TMA karışımların kullanımı artırmak zorundayız. Bunu yaparken ülkemiz şartlarını da göz önünde tutarak çalışmalarımızı yönlendirmeliyiz.

Bu tez çalışmasında diatomit ve fiber kullanılarak hazırlanmış TMA karışımlar üzerinde çeşitli deneyler yapılarak kıyaslama yoluna gidilmiştir. Laboratuvar ortamında yaptığımız deneylerin sonuçlarına göre yorulma (fatigue) dayanımı hariç sorun çıkartabilecek değerler elde edilmemiştir. Ama diatomitin TMA karışımlar içinde uygulanabilirliğinin kararını verebilmek için en güzel yol kısa deneme kesimi(ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu kesimlerde, uzun çıkışı olan ve eğimi artan rampa kesimlerinde, kavşak noktalarında vb.) uzun yıllar davranışının diğer fiberli TMA karışımlara göre kıyaslanarak görülmesidir. Maliyet kıyaslaması yapıldığında diatomit kullanımının büyük ekonomik katkılar sağlayacağını ve maliyet-etkin projeler üretilmesi açısından uygun olduğu düşünülebilir.

KAYNAKLAR

1. Orhan, F., “Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları” *T.C. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü*, Ankara, 2,4-6,19-20,28-29 (2006)
2. Önal, A. M., Kahramangil, M., “Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı” *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı*, Ankara 7, 16-18, 26-29,179-185 (1993)
3. Yıldız, K., “Marshall Dizayn Metodu İle Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deney Parametrelerinin Sonuca Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4,8,11,13,14,44,46 (2003)
4. Şiş, A., “Şartname Sınırlarındaki Agrega Granülometrisinin Asfalt Betonunun Fiziksel Özelliklerine ve Optimum Bitüm oranına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 35-55 (2000)
5. Tunç, A., “Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları”, *Asil Yayın Dağıtım*, Ankara, 199-206, 210-211, 213-216, 220-225, 232-236, 247-252 (2004)
6. Tunç, A., “Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı”, *Asil Yayın Dağıtım*, Ankara, 4-6,89,121-122,258 (2004)
7. Sağlık, A., Güngör, G. A., “Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi”, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Yayını*, Ankara, 29,57,95-111 (2006)
8. Umar, F., Ağar, E. “Yol Üstyapısı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını*, İstanbul, 146-165 (1991)
9. Karayolları Teknik Şartnamesi, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü*, Yayın No: 267, Ankara, 456-478, 531-536 (2006).
10. Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., Eren, K., “Asfalt ve Uygulamaları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını*, İstanbul, 22-27 (2001)
11. Bell, C. A., Sosnovske, D. ve Wieder J. A., “Aging, binder validation”, *National Research Council*, Washington D.C., 384-385 (1992)
12. Öztürk, A., Çubuk, K., M., “Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir Yöntem: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Ankara, 19(2): 175-184 (2004)
13. Çubuk, K., M., “Diatomit Katkılı Bitümlü Üst Yapıların Performans Analizleri” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Ankara, 14(1): 209-220 (2001)

14. Çubuk, K., M., “Katkı Maddesi Olarak Diatomit’in, Bitümlü Sıcak Karışımların Davranışları Üzerine Etkileri”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 2-4 (1998)
15. Çubuk, K., M., “Karayolu Üstyapısında Meydana Gelen Bozulmalar ve Çözüm Önerileri”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Ankara, 14(1): 221-230 (2001)
16. Kutluhan, S., Açar, E., “Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi oluşumunun İncelenmesi”, **4. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 213-223 (2004)
17. Tunç, A., “Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları”, **Asil Yayın Dağıtım**, Ankara, 22-23 (2004)
18. Karacasu, M., Bilgiç, Ş., “Taşıtlarda Aşırı Yükleme ve Hız Bağlamında Uygulamaya Yönelik Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, **TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi 3. Ulaşım ve Trafik Kongresi Sergisi 18-20 Mayıs**, 193-196 (2001)
19. Bulut, A., “Karayollarında Aşırı Yüklemenin araçlara Etkileri”, **TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Trafikte Güvenlik ve Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu Bildiriler Kitabı 26-28 Kasım**, 129-144 (1993)
20. Saltan, M., “Karayolu Üstyapı Tabaka Kalınlıklarını Artırmak Ağır Taşıt Yüklerinin Bozucu Etkisini Azaltır mı?”, **TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi 3. Ulaşım ve Trafik Kongresi Sergisi 18-20 Mayıs**, 237-241 (2001)
21. Kang, W., Y., “Multi-Frequency Backcalculation of Pavement-Layer Moduli”, **Journal of Transportation Engineering**, USA, 124(1): 73-81 (1998)
22. “Asfalt El Kitabı”, Editör Prof. Dr. Mehmet ULUÇAYLI, Çeviren Ayla YAVUZ, **İsfalt Yayın No.2**, İstanbul, 287, 434 (2002)
23. Tayfur S., “Taş Mastik Asfalt (SMA) Kaplamalar İçin Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 15,107 (2001)
24. Harris, B. M., Stuart, K. D., “Analysis of Mineral Fillers and Mastics Used in Stone Matrix Asphalt”, **Association of Asphalt Paving Technologists**, U.S.A., 64(1): 44-46 (1995)
25. “Heavy Duty Surfaces, The Arguments For SMA”, **EAPA**, The Netherlands, 14 (1998)
26. Scherocman, J. A., “Mix Design, Production and Placement and Compaction of Stone Mastic Asphalt Pavements”, **Annual Meeting of the American Association**, USA, 1-16 (1993)

27. “Ağır Yüklere Maruz Üstyapılar Taş Mastik Asfalt-SMA”, Çeviri Editörü Zeliha Temren, *Asfalt Mütahhitleri Derneği*, Ankara, 5-10, 17-19 (2005)
28. Bates, R. L., “Geology Of The Industrial Rocks and Minerals”, *Dover Publications INC.*, New York, 360-363 (1969)
29. “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu”, *T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No: Dpt : 2421 ÖİK: 480, Cilt 2*, Ankara, 87-89 (1996)
30. Özbey, G., Atar, N., “Kiselgur(Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler”, *10. Türkiye madencilik Bilimsel Teknik Kongresi*, Ankara, 493-502 (1987)
31. Aruntaş, Y. H., Albayrak, M., Saka, A. H., Tokyay, M., “Ankara-Kızılcahamam Ve Çankırı-Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması”, *Tr.J.of Engineering and Environmental Science 22*, Ankara, 337-343 (1998)
32. TS 3720., “Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları Marshall ve Hubbart Field Metotları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1983)
33. “Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage” *AASHTO T 283 Standard*, (2003)
34. “P98-253-1 - Bituminous mixtures permanent deformation. Part 1 : wheel tracking test.”, *French Standard*, (1998)
35. “EN 12697-24 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 24: Resistance to fatigue”, *European Committee For Standardization*, (2004)
36. “Karayolları Genel Müdürlüğü 01.0.2002 Tarihinden Sonra İhale Edilecek İşler İçin Kullanılacak 2006 Yılı Yol, Köprü, Bitümlü Kaplamalar ve Trafik İşlerine Ait Birim Fiyat Listesi”, *Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı Keşif Şartname Şubesi Müdürlüğü Yayını*, Ankara, 27,28 (2006)
37. “Karayolları Genel Müdürlüğü Bitümlü Kaplamalar Birim Fiyat Tarifi Kitabı”, *Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını No.172/5*, Ankara, 33-35 (1990)
38. Deacon, J.A., “Fatigue of Asphalt Concrete, Graduate Report”, *The Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California, Berkeley*, 7-12 (1965)
39. Heukelom, W., Klomp, A. J. G., “The Behavior of Asphalt Pavements under Variable Repeated Loads”, *University of Michigan Ann Arbor*, August, 4-8 (1967)

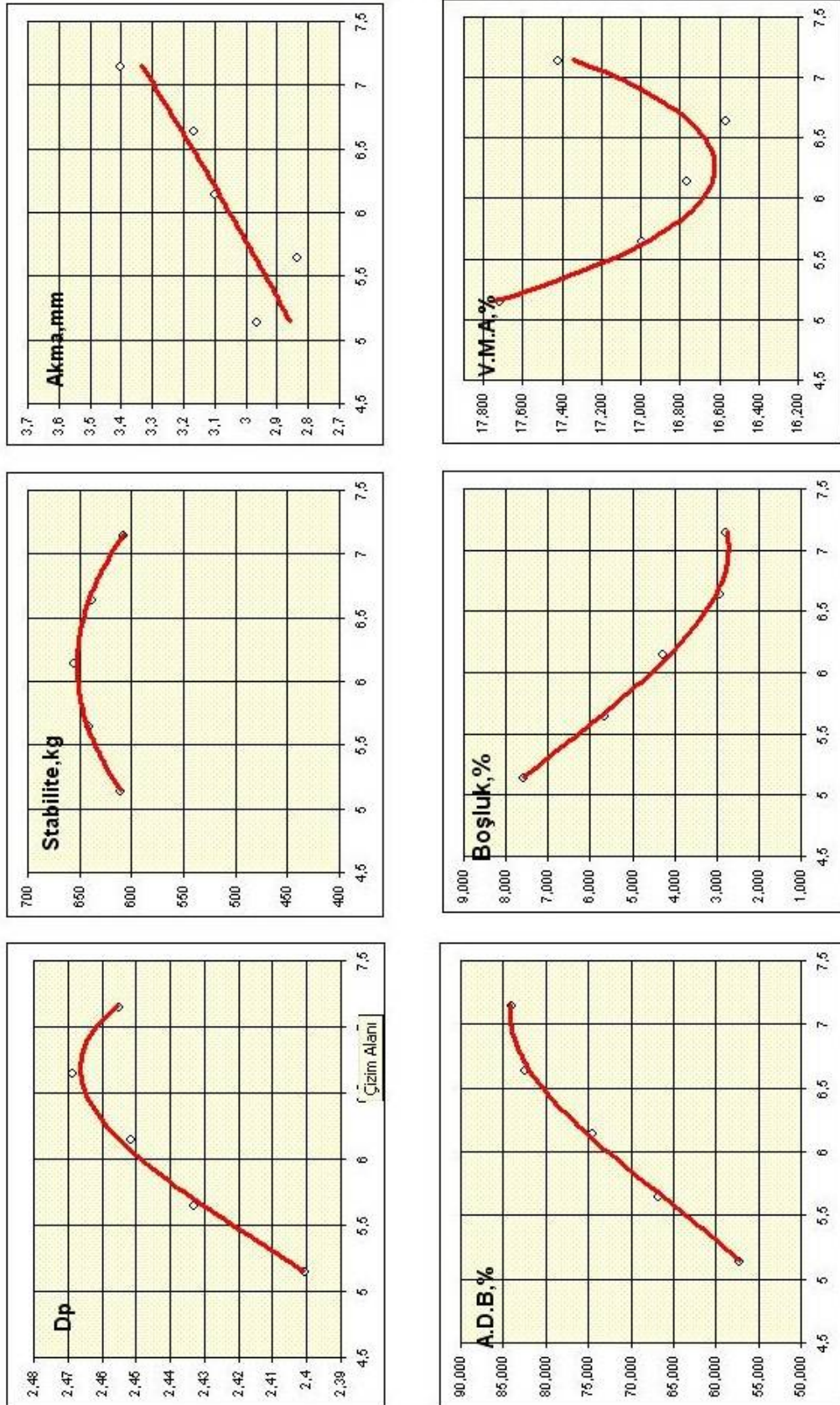
EKLER

EK-1 Marshall deneyi sonuçları

Çizelge 1.1. % 0,45 fiber katkılı Marshall dizaynı

Bitüm Penetrasyonu	: 70	Kaba Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, Gk-h	2,818	Gef-deney	: 2,820	Kar. Gradasyonu	
Bitüm Özgü Ağırlığı, Gb	: 1,024	Kaba Agreganın Zahir Özgü Ağırlığı, Gk-z	2,892	Gef-hesap	: 2,821	3/4"	100,0
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu Pba	: 0,61	Ince Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, Gi-h	2,676	Karışım. Mıdır	: 1150	gr	95,0
Agreganın Etketif Özg. Ağırlığı, Gef	: 2,821	Ince Agreganın Zahir Özgü Ağırlığı, Gi-z	2,854	Darbe Sayısı	: 50	3/8"	62,0
Agreganın Hacim Özg. Ağırlığı, Gsb	: 2,774	Fillerin Zahir Özgü Ağırlığı, Gf-z	2,728			No.4	33,0
Agreganın Zahir Özg. Ağırlığı, Gsa	: 2,867					No.10	23,0
						No.40	15,0
						No.80	12,0
						No.200	9,0
Formüller:							
V=B-C							Kaba %'si= 67,0
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							Ince %'si= 24,0
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							Filler %'si= 9,0
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1	2	3	ortlm	Ağırlık, g
1	5,15	59,2	148	63,6	64,3	64,1	1186,0
2	5,15	59,2	147	64,2	64,3	63,7	64,1
3	5,15	59,2	146	65,2	64,9	65,2	65,1
4	5,65	65,0	143	64,1	63,9	64,3	64,1
5	5,65	65,0	145	64,6	64,3	64,0	64,3
6	5,65	65,0	145	64,1	63,7	63,5	63,8
7	6,15	70,7	145	64,3	63,9	64,8	64,3
8	6,15	70,7	145	64,3	64,5	63,5	64,1
9	6,15	70,7	146	64,1	63,9	64,1	64,0
10	6,65	76,5	145	64,5	65,5	65,1	65,0
11	6,65	76,5	145	64,1	63,9	64,0	64,0
12	6,65	76,5	145	63,9	63,3	63,7	63,6
13	7,15	82,2	145	64,4	64,3	63,9	64,2
14	7,15	82,2	145	64,6	64,6	64,2	64,5
15	7,15	82,2	145	64,3	64,3	63,7	64,1
Formüller:							
V=B-C							
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1	2	3	ortlm	Ağırlık, g
1	5,15	59,2	148	63,6	64,3	64,1	1186,0
2	5,15	59,2	147	64,2	64,3	64,1	1189,6
3	5,15	59,2	146	65,2	64,9	65,2	1212,2
4	5,65	65,0	143	64,1	63,9	64,3	1200,1
5	5,65	65,0	145	64,6	64,3	64,0	1203,6
6	5,65	65,0	145	64,1	63,7	63,5	1201,5
7	6,15	70,7	145	64,3	63,9	64,8	1211,3
8	6,15	70,7	145	64,3	64,5	63,5	1212,3
9	6,15	70,7	146	64,1	63,9	64,1	1211,4
10	6,65	76,5	145	64,5	65,5	65,1	1216,1
11	6,65	76,5	145	64,1	63,9	64,0	1215,4
12	6,65	76,5	145	63,9	63,3	63,7	1215,6
13	7,15	82,2	145	64,4	64,3	63,9	1224,0
14	7,15	82,2	145	64,6	64,6	64,2	1225,0
15	7,15	82,2	145	64,3	64,3	63,7	1225,3
Formüller:							
V=B-C							
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1	2	3	ortlm	Ağırlık, g
1	5,15	59,2	148	63,6	64,3	64,1	1186,0
2	5,15	59,2	147	64,2	64,3	64,1	1189,6
3	5,15	59,2	146	65,2	64,9	65,2	1212,2
4	5,65	65,0	143	64,1	63,9	64,3	1200,1
5	5,65	65,0	145	64,6	64,3	64,0	1203,6
6	5,65	65,0	145	64,1	63,7	63,5	1201,5
7	6,15	70,7	145	64,3	63,9	64,8	1211,3
8	6,15	70,7	145	64,3	64,5	63,5	1212,3
9	6,15	70,7	146	64,1	63,9	64,1	1211,4
10	6,65	76,5	145	64,5	65,5	65,1	1216,1
11	6,65	76,5	145	64,1	63,9	64,0	1215,4
12	6,65	76,5	145	63,9	63,3	63,7	1215,6
13	7,15	82,2	145	64,4	64,3	63,9	1224,0
14	7,15	82,2	145	64,6	64,6	64,2	1225,0
15	7,15	82,2	145	64,3	64,3	63,7	1225,3
Formüller:							
V=B-C							
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1	2	3	ortlm	Ağırlık, g
1	5,15	59,2	148	63,6	64,3	64,1	1186,0
2	5,15	59,2	147	64,2	64,3	64,1	1189,6
3	5,15	59,2	146	65,2	64,9	65,2	1212,2
4	5,65	65,0	143	64,1	63,9	64,3	1200,1
5	5,65	65,0	145	64,6	64,3	64,0	1203,6
6	5,65	65,0	145	64,1	63,7	63,5	1201,5
7	6,15	70,7	145	64,3	63,9	64,8	1211,3
8	6,15	70,7	145	64,3	64,5	63,5	1212,3
9	6,15	70,7	146	64,1	63,9	64,1	1211,4
10	6,65	76,5	145	64,5	65,5	65,1	1216,1
11	6,65	76,5	145	64,1	63,9	64,0	1215,4
12	6,65	76,5	145	63,9	63,3	63,7	1215,6
13	7,15	82,2	145	64,4	64,3	63,9	1224,0
14	7,15	82,2	145	64,6	64,6	64,2	1225,0
15	7,15	82,2	145	64,3	64,3	63,7	1225,3
Formüller:							
V=B-C							
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1	2	3	ortlm	Ağırlık, g
1	5,15	59,2	148	63,6	64,3	64,1	1186,0
2	5,15	59,2	147	64,2	64,3	64,1	1189,6
3	5,15	59,2	146	65,2	64,9	65,2	1212,2
4	5,65	65,0	143	64,1	63,9	64,3	1200,1
5	5,65	65,0	145	64,6	64,3	64,0	1203,6
6	5,65	65,0	145	64,1	63,7	63,5	1201,5
7	6,15	70,7	145	64,3	63,9	64,8	1211,3
8	6,15	70,7	145	64,3	64,5	63,5	1212,3
9	6,15	70,7	146	64,1	63,9	64,1	1211,4
10	6,65	76,5	145	64,5	65,5	65,1	1216,1
11	6,65	76,5	145	64,1	63,9	64,0	1215,4
12	6,65	76,5	145	63,9	63,3	63,7	1215,6
13	7,15	82,2	145	64,4	64,3	63,9	1224,0
14	7,15	82,2	145	64,6	64,6	64,2	1225,0
15	7,15	82,2	145	64,3	64,3	63,7	1225,3
Formüller:							
V=B-C							
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1	2	3	ortlm	Ağırlık, g
1	5,15	59,2	148	63,6	64,3	64,1	1186,0
2	5,15	59,2	147	64,2	64,3	64,1	1189,6
3	5,15	59,2	146	65,2	64,9	65,2	1212,2
4	5,65	65,0	143	64,1	63,9	64,3	1200,1
5	5,65	65,0	145	64,6	64,3	64,0	1203,6
6	5,65	65,0	145	64,1	63,7	63,5	1201,5
7	6,15	70,7	145	64,3	63,9	64,8	1211,3
8	6,15	70,7	145	64,3	64,5	63,5	1212,3
9	6,15	70,7	146	64,1	63,9	64,1	1211,4
10	6,65	76,5	145	64,5	65,5	65,1	1216,1
11	6,65	76,5	145	64,1	63,9	64,0	1215,4
12	6,65	76,5	145	63,9	63,3	63,7	1215,6
13	7,15	82,2	145	64,4	64,3	63,9	1224,0
14	7,15	82,2	145	64,6	64,6	64,2	1225,0
15	7,15	82,2	145	64,3	64,3	63,7	1225,3
Formüller:							
V=B-C							
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1	2	3	ortlm	Ağırlık, g
1	5,15	59,2	148	63,6	64,3	64,1	1186,0
2	5,15	59,2	147	64,2	64,3	64,1	1189,6
3	5,15	59,2	146	65,2	64,9	65,2	1212,2
4	5,65	65,0	143	64,1	63,9	64,3	1200,1
5	5,65	65,0	145	64,6	64,3	64,0	1203,6
6	5,65	65,0	145	64,1	63,7	63,5	1201,5
7	6,15	70,7	145	64,3	63,9	64,8	1211,3
8	6,15	70,7	145	64,3	64,5	63,5	1212,3
9	6,15	70,7	146	64,1	63,9	64,1	1211,4
10	6,65	76,5	145	64,5	65,5	65,1	1216,1
11	6,65	76,5	145	64,1	63,9	64,0	1215,4
12	6,65	76,5	145	63,9	63,3	63,7	1215,6
13	7,15	82,2	145	64,4	64,3	63,9	1224,0
14	7,15	82,2	145	64,6	64,6	64,2	1225,0
15	7,15	82,2	145	64,3	64,3	63,7	1225,3
Formüller:							
V=B-C							
Dp=AV Dt=(100+WA)/(100/Geff+WA/Gb)							
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt							
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)							
% 0,45 fiberli karışım							
No	BITÜM	Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm	Havada	Sudaki	Doy. Yüz. Hacim	Hacim
	WA, %	g	1				

EK-1 (Devam) Marshall deneyi sonuçları



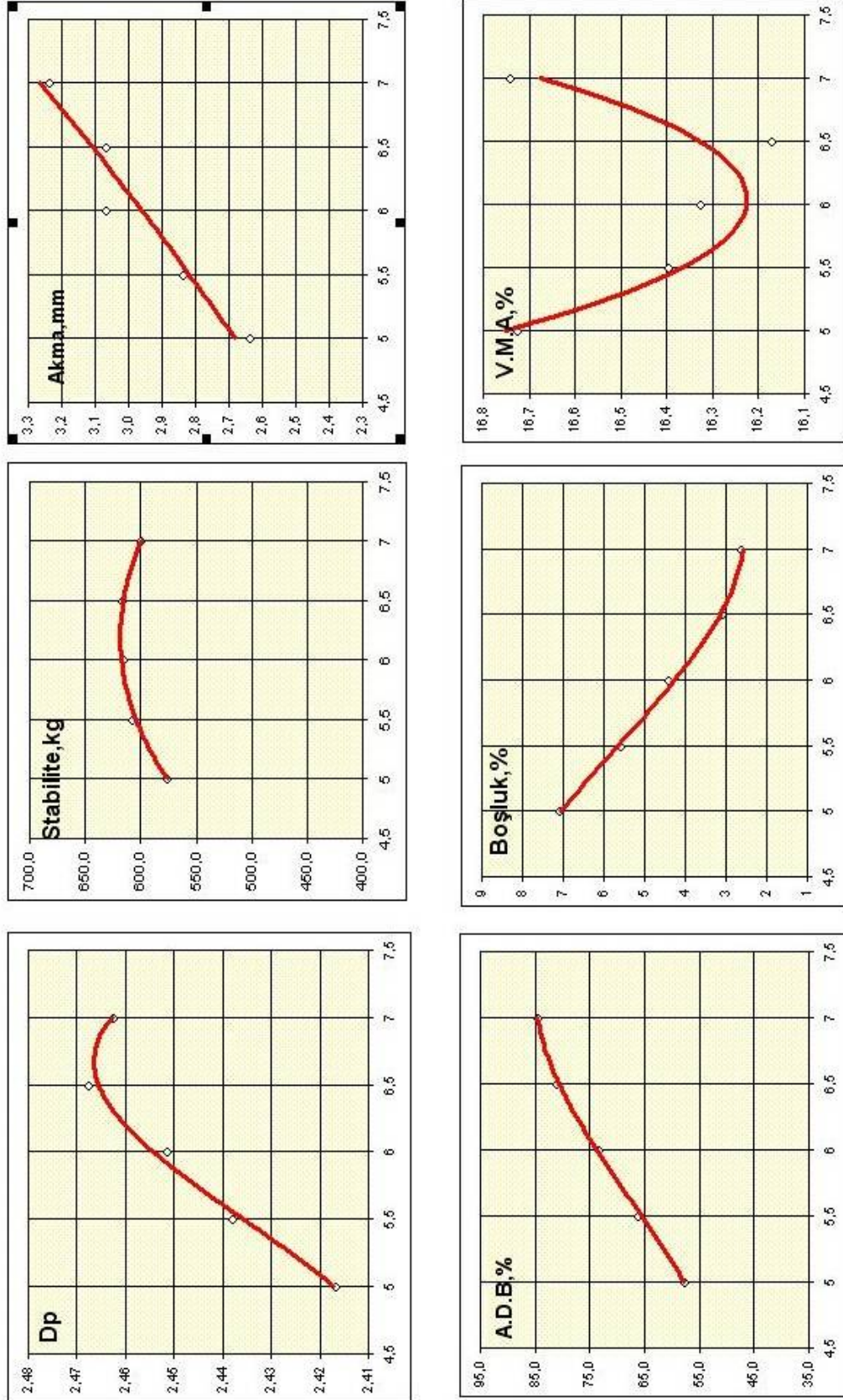
Şekil 1.1. % 0,45 Viatop 66 katkılı Marshall dizaynı grafikleri

EK-1 (Devam) Marshall deneyi sonuçları

Çizelge 1.2. % 3 diatomit katkılı Marshall dizaynı

Bitüm Penetrasyonu : 50-70 Bitüm Özgü Ağırlığı, Gb : 1,025 Agreganın Bitüm Absorpsiyonu Pba : 0,70 Agreganın Etkif Özg. Ağırlığı, Gef : 2,817 Agreganın Hacim Özg. Ağırlığı, Gsb : 2,764 Agreganın Zahir Özg. Ağırlığı, Gsa : 2,871										Kaba Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, Gk-h : 2,818 Kaba Agreganın Zahir Özgü Ağırlığı, Gk-z : 2,892 İnce Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, Gi-h : 2,656 İnce Agreganın Zahir Özgü Ağırlığı, Gi-z : 2,893 Fillerin Zahir Özgü Ağırlığı, Gf-z : 2,670										Gef deney : 2,808 Gef hesap : 2,817 Karşım. Mıcr : 1100 gr Darbe Sayısı : 50 No.4 : No.4 No.10 : No.10 No.40 : No.40 No.80 : No.80 No.200 : No.200										Kar. Gradasyonu : 3/4" 100,0 1/2" 95,0 3/8" 62,0 No.4 33,0 No.10 23,0 No.40 15,0 No.80 12,0 No.200 9,0									
Formüller: V=B-C Dp=A/V Dt=(100+Wa)/(100/Geff+Wa/Gb) Vh=(Dt-Dp)×100/Dt Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)										Formüller: Gsa=100/(%K/Gk-z+%I/Gi-z+%F/Gf-z) VMA=100-(Dp×(100-Wa/(1+Wa/100)))/Gsb) Vf=(VMA-Vh)×100/VMA Pba=100×Gb×(Gef-Gsb)/(Gef×Gsb)										Kaba %'si= 67,0 İnce %'si= 24,0 Filler %'si= 9,0																			
%3 Diatomitli Karışım																																							
No	Bitüm	Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm			Havada Ağırlık, g	Sudaki Ağırlık, g	Doy. Yüz. Ağırlık, g	Hacim B	Hacim V	Hacim Dp	Hacim Dp	Maks. Teo Özgü Ağırlık, Dt	% Boşluk Vh	% V.M.A	Asf. Dol. Boşluk Vf	Akma mm	Stabilite kg	Düzl. Faktörü	Düzl. Stabilite																			
1	5,00	55,0	145	62,5	62,8	62,7	1142,6	674,5	1147,9	473,4	2,414	2,414					1,90	540	1,020	551																			
2	5,00	55,0		63,0	62,6	62,8	1144,5	679,1	1152,7	473,6	2,417	2,417					3,30	570	1,017	580																			
3	5,00	55,0		62,3	62,5	62,8	1145,0	680,1	1153,3	473,2	2,420	2,420					2,70	580	1,024	594																			
4	5,50	60,5	145	60,6	60,9	60,7	1151,2	685,4	1157,3	471,9	2,439	2,439					2,50	570	1,076	614																			
5	5,50	60,5		61,4	61,5	61,6	1152,8	685,7	1159,1	473,4	2,435	2,435					3,10	580	1,053	611																			
6	5,50	60,5		60,5	61,0	61,5	1153,9	686,9	1160,1	473,2	2,439	2,439					2,90	560	1,068	598																			
7	6,00	66,0	145	61,1	61,0	61,2	1159,9	691,0	1163,8	472,8	2,453	2,453					2,90	560	1,065	597																			
8	6,00	66,0		61,0	61,0	60,5	1159,1	690,3	1163,7	473,4	2,448	2,448					3,20	580	1,084	629																			
9	6,00	66,0		61,7	61,6	61,8	1159,4	690,6	1163,4	472,8	2,452	2,452					3,10	590	1,047	618																			
10	6,50	71,5	145	61,6	61,6	61,7	1164,8	695,5	1167,4	471,9	2,468	2,468					3,10	560	1,049	588																			
11	6,50	71,5		61,2	61,1	61,1	1164,9	695,4	1167,6	472,2	2,467	2,467					2,90	600	1,064	639																			
12	6,50	71,5		60,0	60,5	60,3	1165,0	695,2	1167,4	472,2	2,467	2,467					3,20	570	1,091	622																			
13	7,00	77,0	145	61,3	61,6	61,9	1169,0	697,7	1172,4	474,7	2,467	2,467					3,07	560	1,050	578																			
14	7,00	77,0		60,1	60,1	60,2	1169,8	698,1	1172,9	474,8	2,464	2,464					3,20	560	1,095	613																			
15	7,00	77,0		61,0	61,0	61,1	1169,1	697,6	1172,8	475,2	2,460	2,460					3,40	570	1,067	608																			
6,45				OPTIMUM BITÜM SONUÇLARI (Grafikten)																								Filler Bit											
6,45				OPTIMUM BITÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef deneyle)																								Filler Bit											
6,45				OPTIMUM BITÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef hesapla)																								Filler Bit											
TMA DIZAYN KRİTERLERİ																												(2-4)											

EK-1 (Devam) Marshall deneyi sonuçları



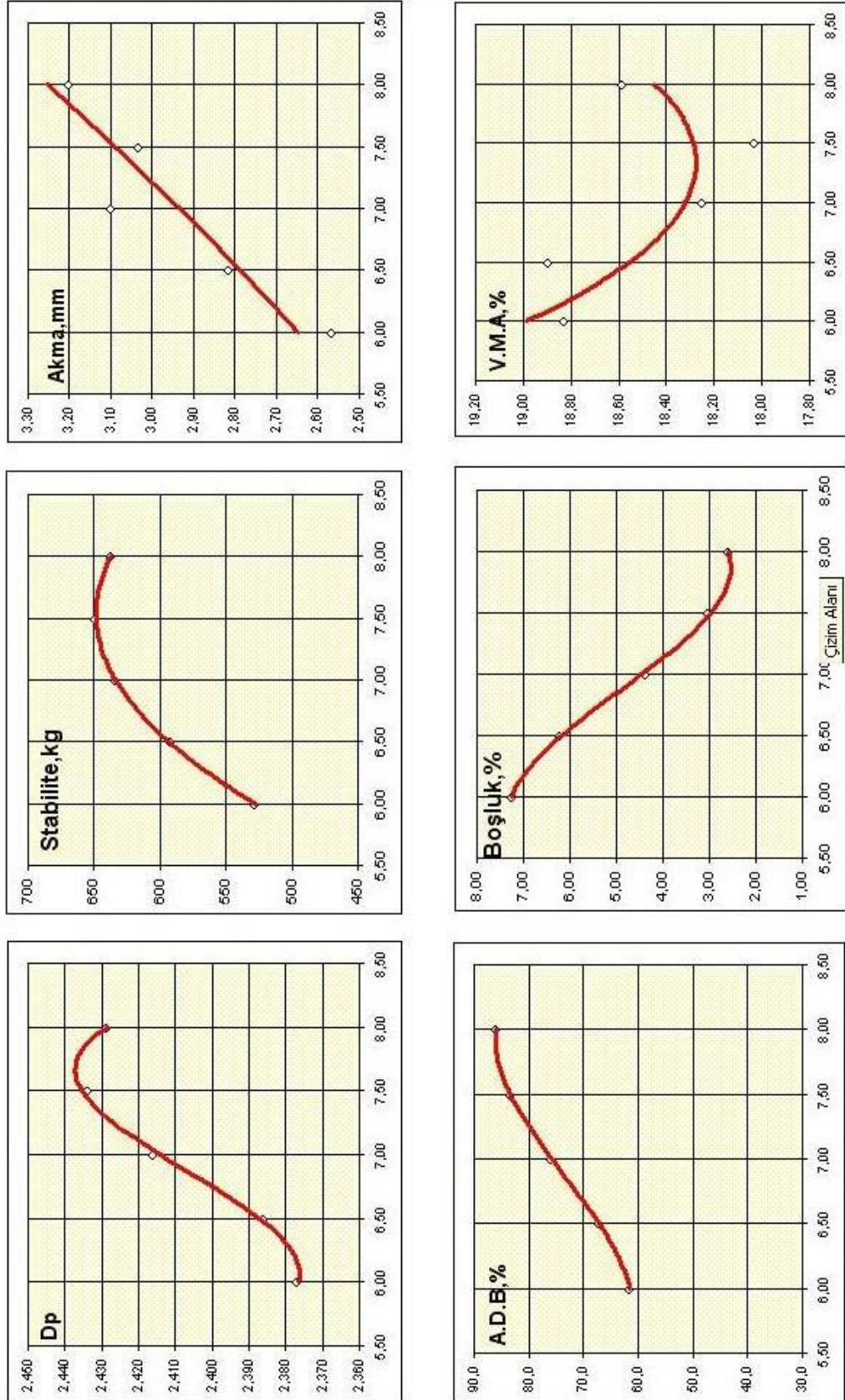
Şekil 1.2. % 3 diatomit katkılı Marshall dizaynı grafikleri

EK-1 (Devam) Marshall deneyi sonuçları

Çizelge 1.3. % 4 diatomit katkılı Marshall dizaynı

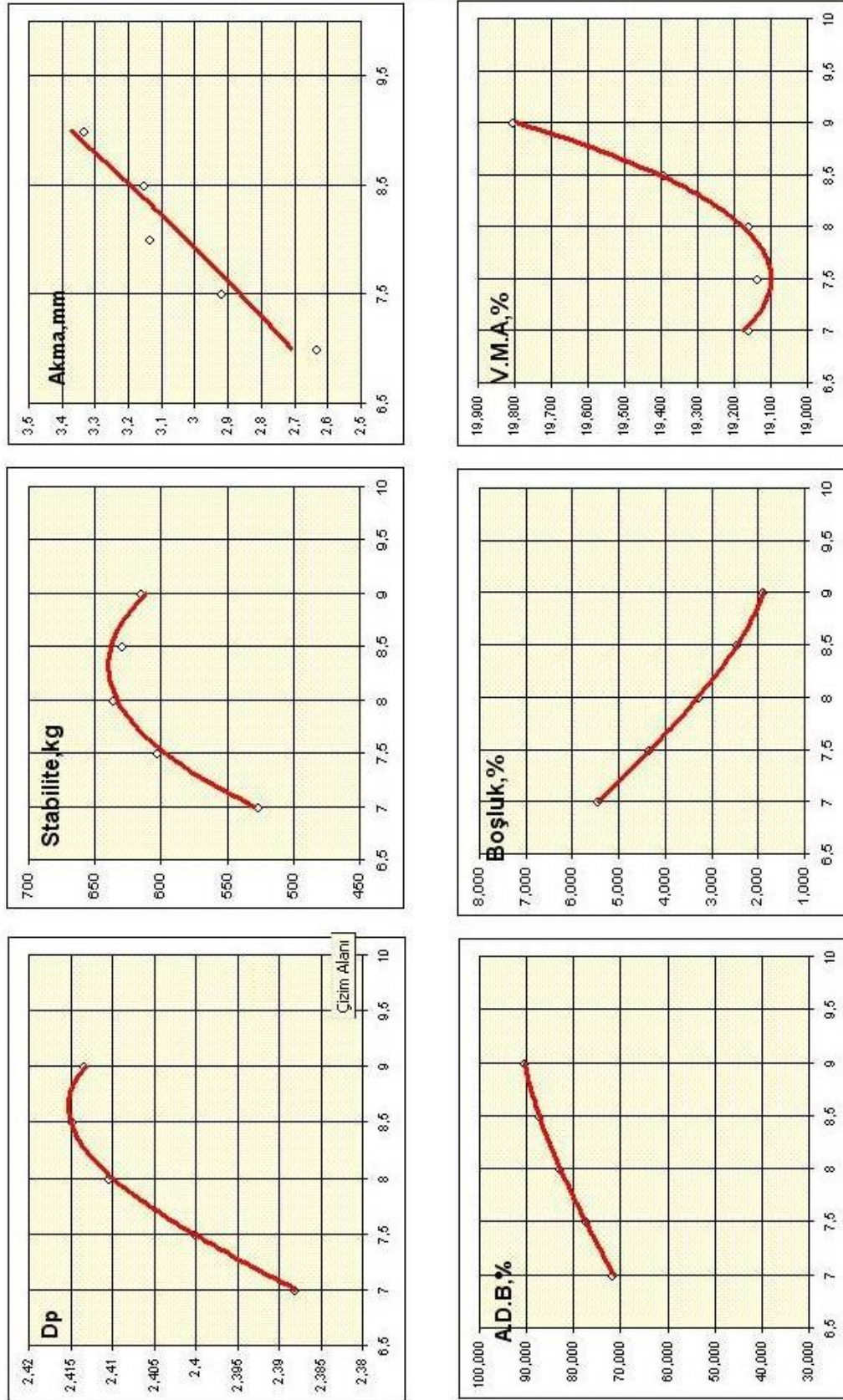
Bitüm Penetrasyonu										: 50-70		Kaba Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, Gk-h										2,818		Gef-deney : 2,808		Kar. Gradasyonu			
Bitüm Özgü Ağırlığı, Gb										: 1,025		Kaba Agreganın Zahiri Özgü Ağırlığı, Gk-z										2,892		Gef-hesap : 2,816		3/4" 100,0			
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu Pba										: 0,70		İnce Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, Gi-h										2,656		Karışım. Mıdır : 1100		gr 95,0			
Agreganın Etkif Özg. Ağırlığı, Gef										: 2,816		İnce Agreganın Zahiri Özgü Ağırlığı, Gi-z										2,893		Darbe Sayısı : 50		3/8" 62,0			
Agreganın Hacim Özg. Ağırlığı, Gsb										: 2,762		Fillerin Zahiri Özgü Ağırlığı, Gf-z										2,655				No.4 33,0			
Agreganın Zahiri Özg. Ağırlığı, Gsa										: 2,869																No.10 23,0			
																												No.40 15,0	
																												No.80 12,0	
																												No.200 9,0	
Formüller:																										Kaba %'si= 67,0			
V=B-C																										İnce %'si= 24,0			
Dp=AV Dt=(100+Wa)/(100/Geff+Wa/Gb)																										Filler %'si= 9,0			
Vh=(Dt-Dp)×100/Dt																													
Gsb=100/(%K/Gk-h+%I/Gi-h+%F/Gf-z)																													

EK-1 (Devam) Marshall deneyi sonuçları



Şekil 1.3. % 4 diatomit katkılı Marshall dizaynı grafikleri

EK-1 (Devam) Marshall deneyi sonuçları



Şekil 1.4. % 5 diatomit katkılı Marshall dizaynı grafikleri

EK-2 Bitüm süzülme deneyi sonuçları

Çizelge 2.1. Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçları

DENEY SONUÇLARI

Numune Adı:	% 2 Diatomitli Karışım	
No:	1	2
Boş beher ağırlığı, g (A)	219,0	279,3
Beher + karışım ağırlığı, g (B)	1221,7	1282,6
Beher + süzülme ağırlığı, g (C)	223,6	283,7
Karışım ağırlığı, g (D=B-A)	1002,7	1003,3
Süzülme %'si $(C-A)/D \times 100$	0,459	0,439

Ortalama: 0,449

Numune Adı:	% 3 Diatomitli Karışım	
No:	1	2
Boş beher ağırlığı, g (A)	219,0	279,3
Beher + karışım ağırlığı, g (B)	1222,3	1283,5
Beher + süzülme ağırlığı, g (C)	222,1	281,8
Karışım ağırlığı, g (D=B-A)	1003,3	1004,2
Süzülme %'si $(C-A)/D \times 100$	0,309	0,249

Ortalama: 0,279

Numune Adı:	Fiberli Karışım	
No:	1	2
Boş beher ağırlığı, g (A)	219,0	279,3
Beher + karışım ağırlığı, g (B)	1222,7	1287,0
Beher + süzülme ağırlığı, g (C)	219,7	280,7
Karışım ağırlığı, g (D=B-A)	1003,7	1007,7
Süzülme %'si $(C-A)/D \times 100$	0,070	0,139

Ortalama: 0,104

EK-3 Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deney metodu uygulaması sonuçları

Çizelge 3.1. Sıkıştırılmış bitümlü karışımların (fiberli) sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deney metodu sonuçları

Fiber Katkılı Briketler

	Briket No:	Dp	Boşluk %	% Doygunluk Oranı	Briket Kalınlığı (cm)	Yük (kg)	İÇM (kg / cm ²)	Çekme Mukavemeti Oranı
KOŞULLU	1	2,463	3,26	74,70	6,35	550	5,43	0,89
	2	2,461	3,34	75,00	6,36	540	5,32	
	3	2,463	3,26	73,00	6,40	560	5,48	
	4	2,464	3,22	71,00	6,30	565	5,62	
	5	2,463	3,26	74,00	6,30	555	5,52	
	6	2,457	3,50	73,50	6,40	525	5,14	
	7	2,458	3,46	74,50	6,45	535	5,20	
	8	2,464	3,22	72,50	6,30	590	5,87	
	9	2,462	3,30	73,00	6,30	575	5,72	
	10	2,461	3,34	71,00	6,35	560	5,53	
	Ort.	2,462	3,32	73,22	6,35	556	5,48	
KOŞULSUZ	11	2,462			6,15	630	6,42	0,89
	12	2,459			6,20	625	6,32	
	13	2,461			6,40	630	6,17	
	14	2,464			6,25	660	6,62	
	15	2,457			6,30	570	5,67	
	16	2,456			6,30	590	5,87	
	17	2,459			6,35	610	6,02	
	18	2,459			6,35	625	6,17	
	19	2,460			6,25	630	6,32	
	20	2,461			6,30	640	6,37	
	Ort.	2,460			6,29	621	6,19	

Dt= 2,546

EK-3 (Devam) Sıkıştırılmış bitümlü karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deney metodu uygulaması sonuçları

Çizelge 3.2. Sıkıştırılmış bitümlü karışımların (diatomitli) sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci için standart deney metodu sonuçları

Diatomit Katkılı Briketler

	Briket No:	Dp	Boşluk %	% Doygunluk Oranı	Briket Kalınlığı (cm)	Yük (kg)	İÇM (kg / cm ²)	Çekme Mukavemeti Oranı
KOŞULLU	1	2,458	3,49	74,70	6,10	495	5,08	0,86
	2	2,460	3,42	75,00	6,10	500	5,14	
	3	2,457	3,53	73,00	6,20	485	4,90	
	4	2,459	3,46	71,00	6,10	500	5,14	
	5	2,461	3,38	74,00	6,10	505	5,19	
	6	2,455	3,61	73,50	6,25	460	4,61	
	7	2,458	3,49	74,50	6,15	495	5,04	
	8	2,456	3,57	72,50	6,25	465	4,66	
	9	2,461	3,38	73,00	6,10	500	5,14	
	10	2,460	3,42	71,00	6,10	505	5,19	
	Ort.	2,459	3,47	73,22	6,15	491	5,01	
KOŞULSUZ	11	2,459			6,15	575	5,86	
	12	2,457			6,10	560	5,75	
	13	2,461			6,05	610	6,32	
	14	2,458			6,10	590	6,06	
	15	2,456			6,25	530	5,31	
	16	2,461			6,00	550	5,74	
	17	2,455			6,20	535	5,41	
	18	2,458			6,10	565	5,80	
	19	2,459			6,15	605	6,16	
	20	2,458			6,24	560	5,62	
	Ort.	2,458			6,13	568	5,80	

Dt= 2,547

EK-4 Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (RUTTING) sonuçları

Çizelge 4.1. Fiber katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sol tekerlek) deney sonuçları

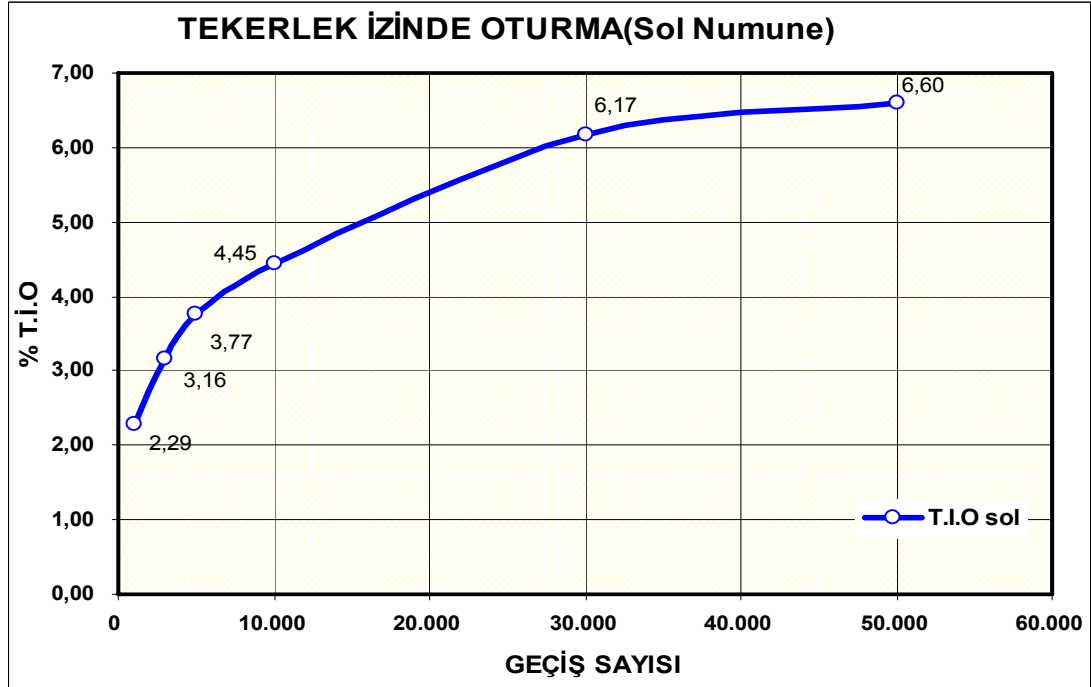
Fiber Katkılı Tekerlek İzinde Oturma Numuneleri									
SOL TEKERLEK NUMUNESİ		Dp= 2,382		Vh%= 6,44					
		Dp _(dizayn) = 2,467		D _T = 2,546					
		Sıkışma %'si= Dp/Dp _(dizayn) x100 = 96,6							
Ölçüm Noktaları ve Deformasyon Miktarları	DEVİR	1.000	1.000	3.000	5.000	10.000	30.000	50.000	
	°C	24°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	
	A1	8,84	10,95	13,10	13,32	13,93	15,31	15,41	
	A2	10,12	12,76	13,29	13,61	13,64	15,10	15,30	
	A3	9,91	12,03	12,90	13,89	14,05	15,00	15,10	
	B1	12,27	14,37	14,93	15,04	15,79	17,94	18,21	
	B2	12,84	15,85	16,48	17,48	18,35	20,15	20,55	
	B3	12,35	14,55	14,59	15,97	16,67	18,57	18,92	
	C1	11,87	14,62	14,87	15,31	16,67	18,48	18,75	
	C2	12,75	15,72	16,47	17,56	18,11	20,11	20,50	
	C3	12,44	13,67	15,16	16,40	16,41	18,98	19,37	
	D1	11,22	15,09	15,10	15,14	15,25	17,40	18,50	
	D2	11,04	14,82	14,97	15,00	15,09	17,39	18,00	
	D3	11,41	14,07	14,59	16,27	17,05	19,00	19,35	
	E1	9,67	11,96	12,68	12,90	13,36	14,41	14,71	
	E2	10,95	11,50	13,70	13,92	14,39	15,40	15,68	
	E3	10,20	10,32	12,39	12,61	15,92	17,13	18,47	
	ORTL =		11,19	13,49	14,35	14,96	15,65	17,36	17,79
	%TİO =		-	2,29	3,16	3,77	4,45	6,17	6,60

EK-4 (Devam)Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (RUTTING) sonuçları

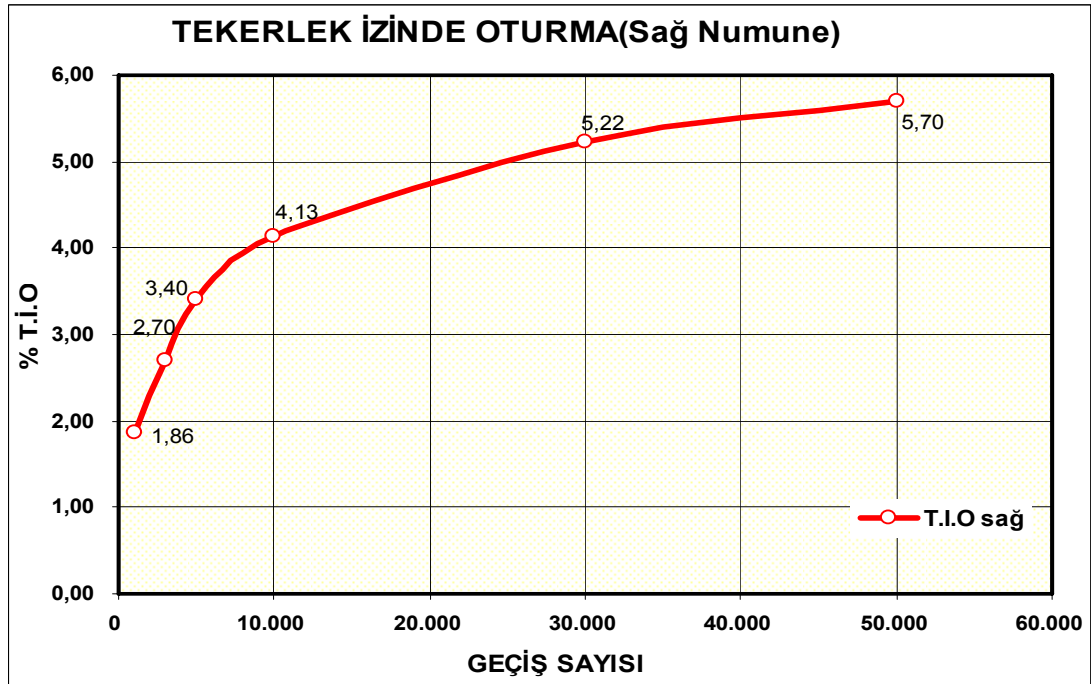
Çizelge 4.2. Fiber katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sağ tekerlek) deney sonuçları

Fiber Katkılı Tekerlek İzinde Oturma Numuneleri									
SAĞ TEKERLEK NUMUNESİ		Dp= 2,402			Vh% = 5,66				
		Dp _(dizayn) = 2,467			D _T = 2,546				
		Sıkışma %'si= Dp/Dp _(dizayn) x100 = 97,4							
Ölçüm Noktaları ve Deformasyon Miktarları	DEVİR	1.000	1.000	3.000	5.000	10.000	30.000	50.000	
	°C	24°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	
	E3	9,31	11,75	11,75	12,15	12,34	12,40	12,67	
	E2	9,72	13,13	13,20	13,35	14,13	14,86	15,28	
	E1	10,76	12,08	12,43	13,78	14,20	14,94	15,47	
	D3	12,56	13,01	14,51	15,47	16,60	18,07	18,56	
	D2	12,08	13,16	15,57	16,48	17,44	19,15	19,82	
	D1	12,97	13,36	14,90	15,61	16,23	17,29	17,82	
	C3	12,77	14,45	14,51	14,71	15,56	16,83	17,34	
	C2	14,07	15,81	16,18	16,84	17,82	19,36	20,02	
	C1	13,39	14,28	14,87	15,43	16,29	17,53	18,00	
	B3	12,41	13,83	14,94	15,71	16,41	17,93	18,50	
	B2	13,11	15,51	16,43	17,32	18,06	19,67	20,29	
	B1	13,32	14,43	16,19	16,87	17,47	18,85	19,27	
	A3	9,48	12,39	13,91	14,74	15,43	16,13	16,47	
	A2	9,51	12,79	13,23	14,01	14,55	15,68	16,31	
	A1	9,49	12,82	12,90	13,43	14,38	14,61	14,64	
	ORTL =		11,66	13,52	14,37	15,06	15,79	16,89	17,36
	%TiO =		-	1,86	2,70	3,40	4,13	5,22	5,70

EK-4 (Devam)Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (RUTTING) sonuçları



Şekil 4.1. Fiber katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sol tekerlek) üzerinde oluşan TİO %'si miktarı



Şekil 4.2. Fiber katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sağ tekerlek) üzerinde oluşan TİO %'si miktarı

EK-4 (Devam)Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (RUTTING) sonuçları

Çizelge 4.3. Diatomit katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sol tekerlek)
deney sonuçları

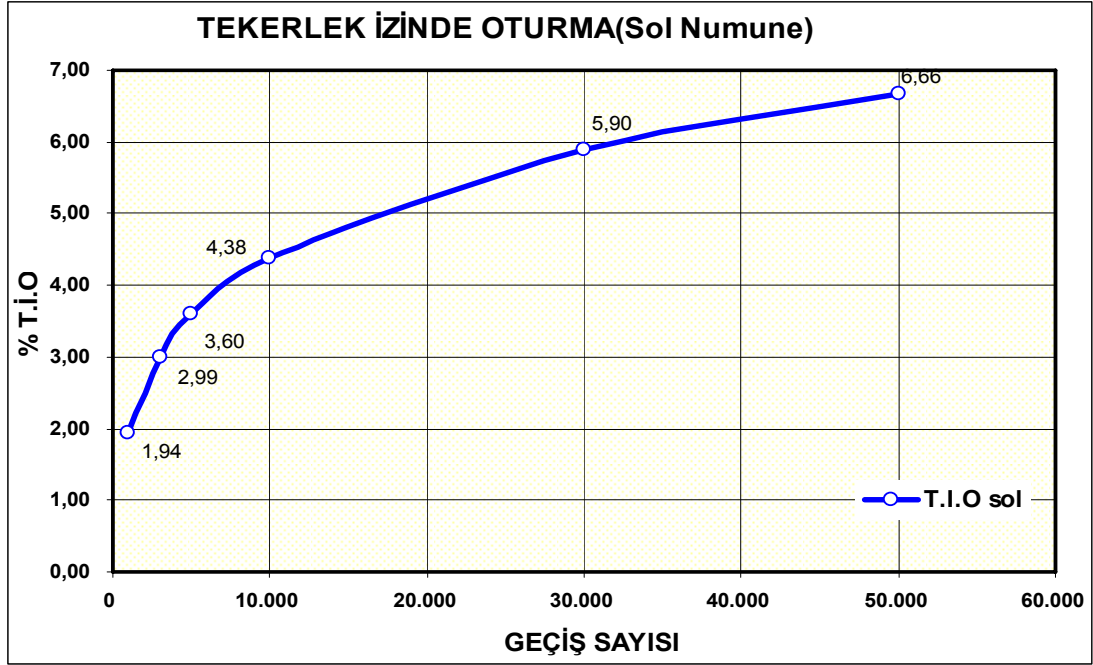
Diatomit Katkılı Tekerlek İzinde Oturma Numuneleri								
SOL TEKERLEK NUMUNESİ		Dp= 2,389			Vh% = 6,20			
		Dp(dizayn)= 2,464			D _T = 2,547			
		Sıkışma %'si= Dp/Dp(dizayn)x100 = 97,0						
Ölçüm Noktaları ve Deformasyon Miktarları	DEVİR	1.000	1.000	3.000	5.000	10.000	30.000	50.000
	°C	24°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C
	A1	8,29	9,53	11,37	11,45	12,34	14,21	14,79
	A2	6,28	8,54	10,18	11,61	12,31	12,41	13,63
	A3	6,51	7,75	8,55	8,86	9,51	11,11	12,51
	B1	9,24	11,78	14,12	14,51	14,92	17,25	17,56
	B2	10,54	13,02	13,51	14,09	15,17	17,66	17,94
	B3	10,25	12,40	13,71	14,40	14,48	15,68	15,89
	C1	11,16	12,81	13,00	13,40	14,31	15,72	16,91
	C2	9,76	12,07	13,60	14,55	14,98	16,17	17,87
	C3	11,65	13,13	14,35	14,38	15,00	16,09	17,98
	D1	9,85	11,40	12,02	12,53	13,47	15,32	15,48
	D2	10,07	12,46	13,46	14,32	15,53	17,84	17,92
	D3	11,35	13,32	14,24	15,76	17,23	17,32	18,81
	E1	9,09	10,91	10,99	11,23	11,90	12,98	13,03
	E2	9,60	11,56	12,24	12,72	13,76	15,43	15,76
	E3	7,77	9,80	10,90	11,60	12,20	14,75	15,26
	ORTL =	9,43	11,37	12,42	13,03	13,81	15,33	16,09
	%TiO =	-	1,94	2,99	3,60	4,38	5,90	6,66

EK-4 (Devam)Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (RUTTING) sonuçları

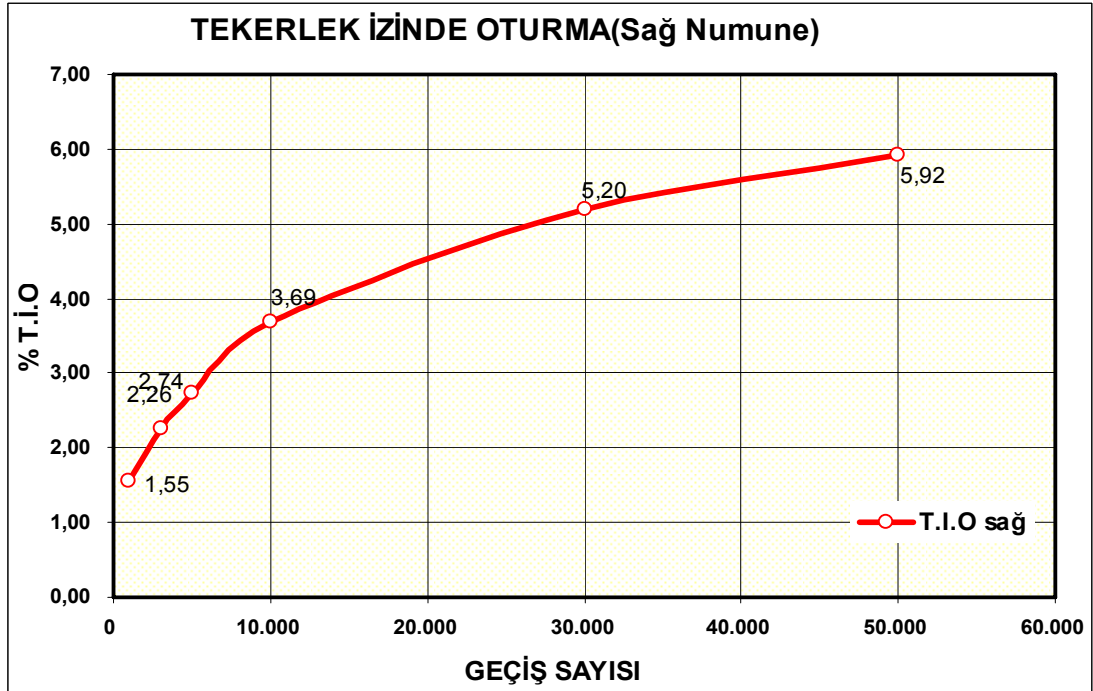
Çizelge 4.4. Diatomit katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sağ tekerlek)
deney sonuçları

Diatomit Katkılı Tekerlek İzinde Oturma Numuneleri								
SAĞ TEKERLEK NUMUNESİ		Dp= 2,403				Vh%= 5,54		
		Dp _(dizayn) = 2,463				D _T = 2,544		
		Sıkışma %'si= Dp/Dp _(dizayn) x100= 97,6						
Ölçüm Noktaları ve Deformasyon Miktarları	DEVİR	1.000	1.000	3.000	5.000	10.000	30.000	50.000
	°C	24°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C
	E3	5,57	7,19	8,28	8,67	10,35	10,95	12,13
	E2	5,50	7,46	8,57	9,17	10,19	11,64	12,90
	E1	5,90	8,06	8,80	9,28	9,62	11,98	13,09
	D3	8,62	10,76	11,46	12,11	12,87	14,89	15,77
	D2	8,64	10,83	11,77	12,34	13,54	15,16	16,45
	D1	9,63	10,89	11,51	11,90	13,16	14,35	15,31
	C3	10,59	11,85	12,66	12,92	14,12	15,40	15,81
	C2	12,09	13,84	14,63	15,12	16,14	17,95	18,30
	C1	12,29	13,58	14,23	14,89	15,74	17,45	17,80
	B3	11,40	12,81	13,25	13,76	15,20	16,54	17,30
	B2	12,07	14,31	14,93	15,24	16,30	17,58	18,15
	B1	11,10	12,04	12,49	12,90	13,72	14,86	15,34
	A3	9,28	10,37	11,15	11,72	12,11	14,05	14,33
	A2	11,11	12,91	13,51	13,83	14,17	15,86	16,12
	A1	10,70	10,87	11,21	11,77	12,54	13,80	14,51
	ORTL =	9,63	11,18	11,90	12,37	13,32	14,83	15,55
	%TiO =	-	1,55	2,26	2,74	3,69	5,20	5,92

EK-4 (Devam)Tekerlek izinde oturma tayini deneyi (RUTTING) sonuçları



Şekil 4.3. Diatomit katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sol tekerlek) üzerinde oluşan TİO %'si miktarı



Şekil 4.4. Diatomit katkılı tekerlek izinde oturma numunesi(sağ tekerlek) üzerinde oluşan TİO %'si miktarı

EK-5 Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.1. Fiberli grup No:1, (500 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: fiber no_1											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 49,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 500,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
	%		P-P	P-P	P-P			Cumulative			
	Initial	Stiffness	Strain	Stress	Load	Defn	Dissipated	Dissipated	Phase	RTD	RTD
Cycles	Stiffness	(MPa)	x10e-6	(KPa)	(Kn)	(mm)	Energy	Energy	Angle	1	2
							(MJ/m^3)	(MJ/m^3)	(°)	(° C)	(° C)
401	99,6	3521	491	1727	0,6	0,130900	0,000431	0,116859	40,4	21,0	19,0
501	98,1	3468	507	1758	0,61	0,135300	0,000466	0,163047	41,7	21,0	18,0
601	95,6	3376	519	1753	0,61	0,138600	0,000480	0,211927	42,1	21,0	18,0
702	95,6	3377	514	1736	0,6	0,137200	0,000474	0,260028	42,5	20,0	18,0
803	95,3	3369	505	1701	0,59	0,134800	0,000458	0,306714	42,7	20,0	18,0
903	93,2	3294	513	1690	0,58	0,136900	0,000465	0,353991	43,0	20,0	18,0
1403	91,1	3220	502	1616	0,56	0,134000	0,000436	0,573252	43,2	20,0	18,0
1903	89,1	3148	503	1584	0,55	0,134300	0,000431	0,793973	43,5	20,0	18,0
2404	86,6	3061	501	1533	0,53	0,133700	0,000429	1,002475	45,4	19,0	18,0
2904	87,3	3083	498	1536	0,53	0,132900	0,000430	1,220922	45,6	19,0	18,0
3405	88,4	3125	504	1575	0,54	0,134500	0,000459	1,440467	47,5	19,0	18,0
3905	86,7	3062	497	1521	0,53	0,132500	0,000456	1,672901	50,2	20,0	19,0
4406	81,1	2867	498	1429	0,49	0,133000	0,000421	1,890608	48,8	20,0	19,0
4906	79,2	2799	498	1394	0,48	0,132900	0,000415	2,093486	49,6	20,0	19,0
5407	77,7	2747	499	1371	0,47	0,133200	0,000413	2,304994	50,3	20,0	19,0
5907	76	2686	502	1348	0,47	0,133900	0,000399	2,508173	48,7	20,0	19,0
6408	74,7	2640	501	1324	0,46	0,133800	0,000401	2,702147	50,2	20,0	19,0
21420	62,1	2195	496	1089	0,38	0,132400	0,000337	8,328926	52,4	21,0	19,0
21921	60,8	2148	498	1070	0,37	0,132900	0,000332	8,499370	52,6	21,0	20,0
22421	60,3	2132	502	1070	0,37	0,133900	0,000336	8,668105	52,8	21,0	19,0
22921	60,2	2127	499	1062	0,37	0,133300	0,000332	8,829354	52,9	21,0	19,0
23421	60,7	2144	496	1063	0,37	0,132300	0,000331	8,995281	53,1	21,0	20,0
23921	59,7	2110	500	1055	0,36	0,133400	0,000329	9,163917	52,7	21,0	20,0
24421	59,6	2107	497	1046	0,36	0,132500	0,000324	9,324279	52,5	21,0	19,0
24922	58,7	2076	503	1043	0,36	0,134200	0,000326	9,488510	52,3	21,0	19,0
25422	58,7	2076	498	1034	0,36	0,132900	0,000320	9,650571	52,3	21,0	19,0
27923	58,7	2075	500	1036	0,36	0,133300	0,000315	10,443331	50,8	21,0	20,0
28423	56,5	1997	500	999	0,35	0,133500	0,000309	10,600622	51,8	21,0	20,0
28923	56,2	1984	498	989	0,34	0,133000	0,000303	10,749299	51,6	21,0	20,0
29423	55,9	1975	500	988	0,34	0,133500	0,000302	10,902880	51,0	21,0	20,0
29924	56,7	2002	490	982	0,34	0,130900	0,000295	11,056459	51,4	21,0	20,0
30424	54,9	1941	502	974	0,34	0,133900	0,000298	11,203479	51,0	21,0	19,0
30925	56,1	1983	491	973	0,34	0,131000	0,000294	11,354350	51,6	21,0	19,0
31425	55,1	1948	497	968	0,33	0,132600	0,000294	11,504579	51,1	21,0	20,0
31926	54,6	1929	501	967	0,33	0,133700	0,000294	11,649368	50,5	21,0	19,0
39928	50,9	1800	502	904	0,31	0,134100	0,000269	13,847493	49,0	21,0	19,0
40929	51	1802	498	898	0,31	0,132900	0,000264	14,119571	48,7	21,0	19,0
41429	50,3	1778	506	901	0,31	0,135100	0,000270	14,249725	48,8	21,0	19,0
41774	50,7	1792	498	893	0,31	0,133000	0,000262	14,340600	48,5	21,0	19,0
41852	50,1	1770	503	891	0,31	0,134300	0,000263	14,362063	48,4	21,0	19,0
41856	49,9	1763	504	889	0,31	0,134500	0,000263	14,362063	48,4	21,0	19,0
Test ended after 41856 cycles Due to											
% initial stiffness being lower than 50 %											
Final stiffness = 1763MPa											

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: fiber no_4											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 50,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 500,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
	%		P-P	P-P	P-P			Cumulative			
	Initial	Stiffness	Strain	Stress	Load	Defn	Dissipated	Dissipated	Phase	RTD	RTD
Cycles	Stiffness	(MPa)	x10e-6	(KPa)	(Kn)	(mm)	Energy	Energy	Angle	1	2
							(MJ/m^3)	(MJ/m^3)	(°)	(° C)	(° C)
400	99,7	3649	495	1807	0,6	0,129600	0,000437	0,123847	38,4	21,0	20,0
501	99,5	3640	492	1791	0,59	0,128800	0,000438	0,168192	39,2	21,0	19,0
603	98	3585	498	1787	0,59	0,130400	0,000447	0,213237	39,7	21,0	19,0
706	97,6	3571	498	1779	0,59	0,130400	0,000450	0,258632	40,3	21,0	19,0
807	97,5	3565	497	1772	0,59	0,130000	0,000447	0,304370	40,3	21,0	19,0
907	96,8	3541	496	1757	0,58	0,129900	0,000447	0,350610	40,7	21,0	19,0
1407	94,1	3443	500	1723	0,57	0,130900	0,000446	0,578693	41,2	20,0	18,0
1909	92,4	3380	498	1684	0,56	0,130300	0,000435	0,793508	41,3	20,0	18,0
2409	90,5	3311	497	1645	0,54	0,130000	0,000428	1,015206	41,8	20,0	18,0
2909	88	3219	500	1611	0,53	0,130900	0,000426	1,226196	42,2	20,0	18,0
3410	86,1	3149	515	1622	0,54	0,134800	0,000445	1,440218	42,7	20,0	18,0
3910	85,6	3132	499	1563	0,52	0,130600	0,000417	1,660190	42,9	20,0	19,0
4410	84	3074	499	1532	0,51	0,130400	0,000410	1,863688	43,1	20,0	19,0
4911	83,2	3044	498	1517	0,5	0,130400	0,000406	2,073871	43,2	20,0	19,0
5411	82	3000	499	1498	0,5	0,130700	0,000405	2,272519	43,5	20,0	19,0
5912	80,9	2958	499	1478	0,49	0,130700	0,000400	2,476170	43,7	20,0	19,0
6412	80,5	2943	498	1465	0,48	0,130300	0,000397	2,677765	43,9	20,0	19,0
6912	79	2889	498	1440	0,48	0,130400	0,000393	2,870671	44,1	20,0	19,0
7413	78,3	2866	498	1428	0,47	0,130400	0,000391	3,070795	44,3	20,0	19,0
7913	77,8	2844	499	1418	0,47	0,130400	0,000388	3,267737	44,3	20,0	19,0
8413	77	2815	499	1405	0,46	0,130600	0,000387	3,456159	44,6	20,0	19,0
8913	76,4	2797	499	1395	0,46	0,130500	0,000384	3,651889	44,6	20,0	19,0
9413	75,1	2747	510	1401	0,46	0,133500	0,000392	3,851283	44,3	20,0	19,0
9913	74,7	2733	500	1367	0,45	0,130900	0,000380	4,048417	45,1	20,0	19,0
10413	74,3	2718	498	1353	0,45	0,130200	0,000376	4,231023	45,3	20,0	19,0
11413	72,9	2666	500	1333	0,44	0,130800	0,000373	4,610743	45,4	20,0	19,0
11913	72,6	2656	499	1326	0,44	0,130700	0,000371	4,790787	45,5	20,0	19,0
12414	72,2	2641	499	1318	0,44	0,130500	0,000371	4,979540	45,9	20,0	19,0
12914	71,4	2611	501	1308	0,43	0,131000	0,000370	5,165206	45,9	20,0	19,0
13414	71,2	2605	499	1299	0,43	0,130400	0,000366	5,350732	46,0	20,0	19,0
13915	70,8	2589	499	1293	0,43	0,130600	0,000365	5,528208	46,0	20,0	19,0
14416	70,4	2576	500	1287	0,43	0,130700	0,000365	5,713186	46,3	20,0	19,0
48445	54,5	1994	498	993	0,33	0,130300	0,000297	16,956318	49,9	21,0	19,0
48946	53,8	1967	498	979	0,32	0,130300	0,000294	17,105318	50,1	20,0	19,0
50947	52,8	1930	499	964	0,32	0,130600	0,000291	17,689095	50,3	21,0	19,0
51447	52,6	1923	500	962	0,32	0,130800	0,000292	17,833186	50,5	21,0	19,0
51947	52,4	1918	499	957	0,32	0,130500	0,000289	17,980647	50,5	21,0	19,0
52447	52,4	1916	501	959	0,32	0,131000	0,000292	18,122599	50,7	21,0	19,0
52947	52	1902	500	950	0,31	0,130700	0,000288	18,270500	50,7	21,0	19,0
54526	49,6	1816	507	921	0,3	0,132600	0,000290	18,724494	52,4	21,0	19,0
Test ended after 54526 cycles Due to											
% initial stiffness being lower than 50 %											
Final stiffness = 1816MPa											

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.3. Fiberli grup No:2, (300 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: fiberli no_2											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 50,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 300,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
401	100,9	3685	295	1085	0,4	0,078600	0,000140	0,040219	33,8	21,0	19,0
501	101,5	3707	293	1085	0,4	0,078100	0,000140	0,054721	34,2	21,0	19,0
602	100,5	3672	295	1083	0,4	0,078700	0,000142	0,069035	34,5	21,0	19,0
703	101,1	3693	296	1092	0,4	0,078900	0,000144	0,083651	34,5	21,0	19,0
803	100,6	3674	293	1075	0,39	0,078100	0,000140	0,098192	34,4	21,0	19,0
903	100,6	3676	297	1091	0,4	0,079200	0,000144	0,112671	34,5	21,0	19,0
1403	102,3	3737	293	1096	0,4	0,078300	0,000143	0,183046	34,4	20,0	19,0
1903	102,8	3756	302	1136	0,42	0,080700	0,000151	0,259651	34,0	20,0	19,0
2403	101,7	3715	300	1116	0,41	0,080100	0,000148	0,333078	34,1	20,0	20,0
2903	100,3	3662	299	1096	0,4	0,079800	0,000146	0,406101	34,5	20,0	20,0
3403	100,7	3679	298	1097	0,4	0,079600	0,000146	0,479577	34,7	20,0	20,0
3904	99,8	3644	299	1090	0,4	0,079900	0,000145	0,552526	34,5	20,0	20,0
4404	100	3654	299	1091	0,4	0,079700	0,000146	0,625454	34,7	20,0	20,0
4905	99,7	3640	299	1088	0,4	0,079800	0,000146	0,698720	34,9	20,0	20,0
5406	99,3	3628	298	1081	0,4	0,079500	0,000145	0,772226	35,0	20,0	21,0
5906	98,8	3607	299	1079	0,4	0,079900	0,000145	0,845594	34,8	21,0	21,0
6406	98,7	3606	299	1077	0,4	0,079700	0,000144	0,918476	34,7	21,0	21,0
6906	98,4	3594	300	1077	0,4	0,079900	0,000145	0,988656	34,9	21,0	21,0
7406	98	3579	299	1070	0,39	0,079700	0,000144	1,061775	35,0	21,0	21,0
7906	96,8	3535	299	1058	0,39	0,079900	0,000143	1,134528	35,0	21,0	21,0
8406	97,6	3564	296	1054	0,39	0,078900	0,000142	1,204760	35,4	21,0	21,0
8906	96,5	3523	299	1054	0,39	0,079800	0,000143	1,277099	35,4	21,0	21,0
9406	95,5	3489	306	1068	0,39	0,081700	0,000146	1,348828	34,8	21,0	21,0
9906	92,9	3394	314	1065	0,39	0,083700	0,000148	1,424155	34,2	21,0	21,0
10406	95,1	3472	297	1030	0,38	0,079200	0,000137	1,493283	34,9	21,0	21,0
10906	94,8	3461	298	1031	0,38	0,079500	0,000138	1,562688	34,8	21,0	21,0
11406	94,4	3448	298	1028	0,38	0,079600	0,000138	1,632277	35,1	21,0	21,0
11906	94,1	3436	298	1025	0,38	0,079700	0,000138	1,702801	35,1	21,0	21,0
12406	93,9	3429	299	1025	0,38	0,079800	0,000139	1,770444	35,3	21,0	21,0
12906	93,5	3415	299	1021	0,38	0,079800	0,000141	1,841165	36,0	21,0	21,0
13406	93,3	3409	299	1019	0,37	0,079800	0,000139	1,910905	35,4	21,0	21,0
13906	92,9	3392	299	1015	0,37	0,079900	0,000139	1,980880	35,6	21,0	21,0
14406	92,8	3390	300	1015	0,37	0,079900	0,000139	2,050747	35,5	21,0	20,0
14906	92,3	3370	299	1009	0,37	0,079900	0,000136	2,119823	35,0	21,0	20,0
15407	92,5	3379	299	1009	0,37	0,079700	0,000139	2,186974	35,9	21,0	21,0
15907	92,7	3384	298	1010	0,37	0,079700	0,000139	2,257479	35,9	21,0	21,0
16407	92,5	3378	299	1011	0,37	0,079900	0,000140	2,327835	36,0	21,0	21,0
17408	92,1	3364	309	1038	0,38	0,082400	0,000147	2,468317	35,8	21,0	20,0
17909	91,5	3341	302	1008	0,37	0,080600	0,000139	2,540711	35,5	21,0	20,0
18409	91,3	3336	298	994	0,37	0,079600	0,000136	2,609957	35,7	21,0	21,0
18909	91,1	3326	298	992	0,36	0,079600	0,000137	2,678701	36,0	21,0	21,0
19409	90,9	3322	299	992	0,36	0,079700	0,000137	2,745214	36,1	21,0	21,0
19909	90,4	3303	300	990	0,36	0,080000	0,000138	2,813745	36,1	21,0	21,0
20409	90,7	3314	299	991	0,36	0,079800	0,000137	2,882518	36,0	21,0	21,0
20909	90,7	3313	299	989	0,36	0,079700	0,000137	2,951414	36,1	21,0	20,0
21411	90,3	3298	300	988	0,36	0,080000	0,000137	3,019988	35,9	21,0	20,0

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.4. Fiberli grup No:5, (300 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: fiberli no_5											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 51,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 300,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
400	99,9	3754	287	1079	0,42	0,076700	0,000142	0,033724	35,6	19,0	20,0
500	96,6	3631	306	1111	0,43	0,081600	0,000158	0,048572	36,2	18,0	20,0
600	95,9	3605	314	1132	0,44	0,083800	0,000167	0,065706	36,7	18,0	19,0
700	96,1	3611	315	1137	0,44	0,084000	0,000168	0,082890	36,7	18,0	19,0
800	97,8	3673	308	1132	0,44	0,082200	0,000163	0,099244	36,5	18,0	19,0
900	95,1	3575	311	1113	0,43	0,083100	0,000163	0,112445	36,8	18,0	19,0
1000	93,5	3515	312	1098	0,43	0,083300	0,000163	0,128984	37,2	18,0	19,0
1500	92,7	3482	296	1031	0,4	0,079000	0,000144	0,206787	37,0	17,0	19,0
2001	90,1	3384	300	1014	0,39	0,080000	0,000142	0,277646	36,4	18,0	20,0
2501	92,7	3483	297	1035	0,4	0,079300	0,000142	0,349096	36,1	20,0	20,0
3001	93,6	3516	300	1054	0,41	0,080000	0,000146	0,419923	36,0	24,0	21,0
3501	94,8	3564	299	1065	0,41	0,079800	0,000148	0,495163	36,2	22,0	20,0
4001	95,3	3582	300	1073	0,42	0,080000	0,000149	0,567222	36,0	21,0	20,0
4501	94,8	3564	299	1067	0,41	0,079900	0,000147	0,642288	35,9	21,0	19,0
5001	94,8	3563	300	1067	0,41	0,079900	0,000148	0,714182	36,1	20,0	19,0
5502	94,5	3550	298	1059	0,41	0,079600	0,000147	0,788417	36,3	20,0	19,0
6003	95,1	3574	298	1065	0,41	0,079500	0,000147	0,861818	36,2	20,0	19,0
6503	94,8	3564	300	1069	0,42	0,080100	0,000149	0,936004	36,3	20,0	19,0
7004	94,3	3544	300	1062	0,41	0,080000	0,000148	1,010449	36,3	20,0	19,0
7504	94,2	3539	312	1105	0,43	0,083300	0,000161	1,087110	36,4	20,0	19,0
8005	94,1	3536	306	1084	0,42	0,081800	0,000156	1,163860	36,8	20,0	19,0
8506	93,4	3510	299	1049	0,41	0,079700	0,000147	1,239466	36,6	20,0	19,0
9007	94	3532	298	1054	0,41	0,079600	0,000147	1,313213	36,6	20,0	19,0
9508	94,7	3558	297	1056	0,41	0,079200	0,000147	1,387394	36,6	20,0	19,0
10008	94,5	3551	298	1057	0,41	0,079500	0,000147	1,461374	36,5	20,0	19,0
10509	94,9	3566	297	1058	0,41	0,079200	0,000147	1,535779	36,6	20,0	19,0
11009	94,2	3539	300	1062	0,41	0,080100	0,000149	1,610047	36,6	20,0	19,0
11510	93,4	3510	299	1051	0,41	0,079900	0,000147	1,684201	36,5	20,0	19,0
12011	93,9	3529	299	1057	0,41	0,079900	0,000148	1,758619	36,7	20,0	19,0
12512	93,9	3529	300	1059	0,41	0,080000	0,000149	1,832872	36,8	20,0	19,0
13012	94,7	3560	300	1067	0,41	0,080000	0,000150	1,904975	36,6	20,0	19,0
13513	94,5	3551	301	1069	0,42	0,080300	0,000151	1,980176	36,6	20,0	19,0
14014	94,6	3556	309	1097	0,43	0,082400	0,000159	2,056122	36,7	20,0	19,0
14515	93,5	3514	307	1079	0,42	0,081900	0,000157	2,136534	37,0	20,0	19,0
15015	94,3	3542	295	1045	0,41	0,078700	0,000146	2,212613	37,0	20,0	20,0
15515	95,2	3576	296	1058	0,41	0,078900	0,000148	2,286940	36,9	20,0	19,0
16016	94,6	3555	298	1059	0,41	0,079500	0,000149	2,361938	36,9	20,0	20,0
16516	93,9	3530	298	1052	0,41	0,079500	0,000148	2,436382	37,0	20,0	20,0
17016	93,6	3517	300	1057	0,41	0,080200	0,000150	2,508358	36,9	20,0	20,0
18516	94,4	3547	298	1058	0,41	0,079600	0,000150	2,735076	37,2	20,0	20,0
19017	93,7	3519	299	1052	0,41	0,079700	0,000149	2,810362	37,1	20,0	20,0
19517	93,3	3505	300	1050	0,41	0,079900	0,000149	2,884970	37,0	20,0	20,0
20017	93,1	3498	300	1051	0,41	0,080200	0,000150	2,959386	37,1	20,0	20,0
20517	92,4	3474	312	1083	0,42	0,083200	0,000162	3,035298	37,7	20,0	20,0

...											
434789	55,1	2072	302	626	0,24	0,080600	0,000098	50,773581	41,2	20,0	20,0
435290	53,8	2020	299	604	0,23	0,079700	0,000094	50,822033	41,5	20,0	20,0
435790	53,8	2023	298	603	0,23	0,079600	0,000094	50,869205	41,7	20,0	20,0
436291	53,3	2004	299	600	0,23	0,079800	0,000094	50,915090	41,9	20,0	20,0
436791	53,5	2010	299	602	0,23	0,079900	0,000094	50,962560	41,8	20,0	20,0
437291	53,9	2025	299	605	0,24	0,079700	0,000094	51,010033	41,4	20,0	20,0
437791	54,1	2034	297	603	0,23	0,079200	0,000094	51,057811	41,8	20,0	20,0
438291	53,7	2019	298	603	0,23	0,079700	0,000094	51,103629	41,5	20,0	20,0
438791	53,6	2016	299	603	0,23	0,079900	0,000094	51,150932	41,4	20,0	20,0
439291	53,6	2013	298	600	0,23	0,079600	0,000093	51,198465	41,3	20,0	20,0
439791	53,8	2023	298	602	0,23	0,079500	0,000093	51,245494	41,2	20,0	20,0
440291	53,1	1997	300	599	0,23	0,080000	0,000093	51,290758	41,4	20,0	20,0
440791	53,8	2022	297	601	0,23	0,079300	0,000093	51,337927	41,4	20,0	20,0
441291	53,4	2006	300	601	0,23	0,080000	0,000094	51,385200	41,6	20,0	20,0
441791	53,4	2006	300	601	0,23	0,079900	0,000095	51,432715	42,0	20,0	20,0
442292	53,1	1995	300	599	0,23	0,080100	0,000093	51,478306	41,5	20,0	20,0
442458	50,6	1902	303	577	0,22	0,081000	0,000090	51,495148	40,8	20,0	20,0
442792	51,9	1949	308	601	0,23	0,082300	0,000098	51,526292	42,2	20,0	20,0
443293	53,8	2021	302	611	0,24	0,080600	0,000096	51,575470	41,7	20,0	20,0
443793	53,2	1999	299	598	0,23	0,079800	0,000093	51,622970	41,7	20,0	20,0
444293	52,8	1983	301	597	0,23	0,080300	0,000094	51,669773	41,9	20,0	20,0
444794	52,5	1974	302	596	0,23	0,080600	0,000095	51,716946	41,9	20,0	20,0
445294	53,1	1995	297	593	0,23	0,079400	0,000092	51,763628	41,5	20,0	20,0
445794	52,5	1973	301	595	0,23	0,080500	0,000093	51,808635	41,6	20,0	20,0
446295	52,9	1986	300	596	0,23	0,080000	0,000093	51,855202	41,7	20,0	20,0
446795	53	1990	300	596	0,23	0,079900	0,000093	51,901985	41,8	20,0	20,0
447295	53	1993	298	595	0,23	0,079700	0,000092	51,949174	41,4	20,0	20,0
447795	53,2	2001	299	598	0,23	0,079700	0,000093	51,995641	41,5	20,0	20,0
448295	53	1992	299	595	0,23	0,079800	0,000093	52,042420	41,6	20,0	20,0
448796	53	1993	300	597	0,23	0,080000	0,000093	52,087469	41,6	20,0	20,0
449297	52,6	1975	300	593	0,23	0,080100	0,000093	52,134091	41,9	20,0	20,0
449798	52,8	1982	299	592	0,23	0,079800	0,000092	52,180923	41,5	20,0	20,0
450298	52,8	1983	299	592	0,23	0,079700	0,000092	52,227269	41,6	20,0	20,0
450798	54,4	2044	304	621	0,24	0,081100	0,000100	52,274028	42,4	20,0	20,0
451298	54,1	2033	301	612	0,24	0,080400	0,000095	52,323092	41,2	20,0	20,0
451798	52,7	1979	299	591	0,23	0,079700	0,000092	52,370287	41,7	20,0	20,0
452298	52,5	1973	300	592	0,23	0,080100	0,000092	52,416828	41,6	20,0	20,0
452798	53	1990	298	594	0,23	0,079600	0,000092	52,463398	41,4	20,0	20,0
453298	52,8	1985	299	594	0,23	0,079800	0,000092	52,509775	41,4	20,0	20,0
453799	52,7	1982	299	592	0,23	0,079700	0,000092	52,554485	41,4	20,0	20,0
454299	52,6	1976	299	591	0,23	0,079800	0,000091	52,601068	41,3	20,0	20,0
454799	52,8	1986	299	594	0,23	0,079800	0,000092	52,647256	41,5	20,0	20,0
455300	52,6	1977	300	593	0,23	0,080000	0,000092	52,693911	41,5	20,0	20,0
455800	52,6	1978	300	593	0,23	0,080000	0,000093	52,738723	41,6	20,0	20,0
456301	52,3	1966	299	589	0,23	0,079900	0,000092	52,785195	41,6	20,0	20,0
456801	52,2	1960	298	584	0,23	0,079600	0,000091	52,831861	41,5	20,0	20,0
457302	52	1953	299	584	0,23	0,079800	0,000091	52,876176	41,7	20,0	20,0
457803	52,1	1959	298	584	0,23	0,079500	0,000091	52,922271	41,7	20,0	20,0
458304	51,8	1948	300	584	0,23	0,080000	0,000091	52,968276	41,7	20,0	20,0
458804	52,3	1967	298	586	0,23	0,079500	0,000091	53,014321	41,6	20,0	20,0
458914	49,2	1850	306	565	0,22	0,081600	0,000091	53,023664	41,9	20,0	20,0
Test ended after 458914 cycles Due to % initial stiffness being lower than 50 % Final stiffness = 1850MPa											

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.5. Fiberli grup No:3, (200 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test												
Test Frequency(Hz): 20												
Specimen Name: fiberli no_3												
Specimen Height (mm): 50,0												
Specimen Width (mm): 50,0												
Beam Span (mm): 354,0												
Target p-p strain: 200,000000												
Test temperature(deg.C): 20												
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)	
401	100,5	3843	193	743	0,28	0,050600	0,000061	0,013833	33,0	21,0	19,0	
502	100,2	3831	196	752	0,29	0,051300	0,000063	0,020208	33,0	21,0	19,0	
602	100,6	3844	197	756	0,29	0,051400	0,000063	0,026566	32,8	21,0	19,0	
702	100,5	3840	197	758	0,29	0,051700	0,000064	0,032973	32,8	21,0	19,0	
802	100,4	3838	198	760	0,29	0,051800	0,000064	0,039505	33,0	21,0	19,0	
903	100,5	3843	198	760	0,29	0,051700	0,000064	0,046049	32,8	21,0	18,0	
1404	100,8	3854	199	766	0,29	0,052000	0,000065	0,077728	32,9	20,0	18,0	
1904	100,3	3833	199	761	0,29	0,052000	0,000065	0,110865	32,9	20,0	18,0	
2405	99,6	3809	199	759	0,29	0,052100	0,000065	0,142708	32,9	20,0	18,0	
2906	99	3783	200	756	0,29	0,052300	0,000065	0,175471	33,3	20,0	18,0	
3406	97,4	3724	210	781	0,3	0,054900	0,000071	0,209312	33,5	20,0	18,0	
3906	98,8	3776	204	769	0,29	0,053300	0,000068	0,244754	33,4	20,0	18,0	
4406	99,2	3792	199	754	0,29	0,052000	0,000065	0,276131	33,8	20,0	19,0	
4906	99,4	3801	198	754	0,29	0,051900	0,000065	0,308867	33,5	20,0	19,0	
5407	98,2	3755	200	751	0,29	0,052300	0,000065	0,341690	33,7	20,0	19,0	
5907	99,1	3788	199	753	0,29	0,052000	0,000065	0,374434	33,4	20,0	19,0	
6407	98,6	3769	199	751	0,29	0,052100	0,000066	0,407260	34,0	20,0	19,0	
6907	98,1	3750	200	750	0,29	0,052400	0,000066	0,439185	34,3	20,0	19,0	
7407	100,7	3850	196	753	0,29	0,051200	0,000064	0,472191	33,3	20,0	19,0	
7907	97,4	3725	201	747	0,29	0,052500	0,000066	0,505121	33,9	20,0	19,0	
8407	98,3	3758	198	745	0,28	0,051900	0,000064	0,538006	33,4	20,0	19,0	
8907	99,3	3796	197	747	0,29	0,051500	0,000062	0,570495	32,4	20,0	19,0	
9408	97,1	3712	201	746	0,28	0,052600	0,000064	0,602668	33,0	20,0	19,0	
9908	96,7	3698	200	739	0,28	0,052300	0,000065	0,635318	34,1	20,0	19,0	
10409	95,8	3664	201	736	0,28	0,052500	0,000065	0,666854	34,3	21,0	20,0	
10909	95,6	3653	202	739	0,28	0,053000	0,000064	0,698969	33,1	21,0	20,0	
11409	97,8	3739	198	740	0,28	0,051800	0,000064	0,731211	33,7	21,0	20,0	
11910	95,4	3648	201	735	0,28	0,052700	0,000065	0,763911	33,7	21,0	20,0	
12410	95,9	3666	199	731	0,28	0,052200	0,000064	0,796632	34,2	21,0	20,0	
12910	97	3706	201	746	0,28	0,052600	0,000065	0,828731	33,6	21,0	20,0	
13410	94,6	3616	208	751	0,29	0,054400	0,000068	0,862890	33,8	21,0	20,0	
13910	95,4	3648	200	731	0,28	0,052400	0,000064	0,895139	33,8	21,0	20,0	
14411	94,3	3606	201	724	0,28	0,052500	0,000065	0,927449	34,5	21,0	20,0	
14912	95,9	3664	199	728	0,28	0,052000	0,000065	0,959822	35,2	21,0	20,0	
15413	95,5	3650	199	727	0,28	0,052100	0,000064	0,992168	34,3	21,0	20,0	
15913	94,3	3603	202	727	0,28	0,052800	0,000065	1,024270	34,0	21,0	20,0	
16414	96,6	3692	198	733	0,28	0,051900	0,000063	1,056393	33,6	21,0	20,0	
16914	95,7	3658	199	727	0,28	0,052000	0,000063	1,088461	33,8	21,0	20,0	
17414	97,2	3717	195	726	0,28	0,051100	0,000063	1,120495	34,4	21,0	20,0	
17914	96,7	3698	196	726	0,28	0,051400	0,000062	1,152802	33,8	21,0	20,0	
18414	96,2	3678	197	723	0,28	0,051400	0,000062	1,183622	34,0	21,0	20,0	
19414	93,7	3581	203	726	0,28	0,053000	0,000065	1,248098	34,1	21,0	20,0	
19914	95	3633	200	726	0,28	0,052300	0,000065	1,280142	34,5	21,0	20,0	
20414	94	3593	202	726	0,28	0,052900	0,000065	1,312416	34,6	21,0	20,0	
20916	96,3	3682	197	725	0,28	0,051500	0,000063	1,344694	34,5	21,0	20,0	

...											
1971845	68,8	2632	201	528	0,2	0,052500	0,000049	108,991506	36,4	21,0	20,0
1972345	69,2	2644	199	527	0,2	0,052200	0,000049	109,015276	36,4	21,0	20,0
1972845	68,6	2621	200	526	0,2	0,052500	0,000049	109,040176	36,4	21,0	20,0
1973345	69,2	2645	199	527	0,2	0,052100	0,000049	109,064824	36,8	21,0	20,0
1973846	69,1	2641	199	525	0,2	0,052100	0,000048	109,089487	36,1	21,0	20,0
1974346	68,5	2617	200	523	0,2	0,052300	0,000049	109,113994	36,5	21,0	19,0
1974846	68,7	2624	201	527	0,2	0,052500	0,000049	109,138603	36,3	21,0	19,0
1975347	69,5	2658	198	526	0,2	0,051700	0,000049	109,163271	36,5	21,0	20,0
1975847	69,1	2640	200	527	0,2	0,052200	0,000049	109,186905	36,3	21,0	20,0
1976347	69,2	2645	198	523	0,2	0,051800	0,000049	109,211631	36,7	21,0	20,0
1976847	68	2599	208	541	0,21	0,054400	0,000053	109,236935	36,5	21,0	20,0
1977348	68,6	2623	204	536	0,2	0,053500	0,000048	109,263098	33,8	21,0	20,0
1977848	68,8	2630	198	520	0,2	0,051700	0,000048	109,287910	36,3	21,0	20,0
1978348	68,7	2627	199	523	0,2	0,052100	0,000049	109,312252	36,6	21,0	19,0
1978849	68,2	2608	200	523	0,2	0,052400	0,000048	109,336368	36,1	21,0	20,0
1979349	69,3	2649	198	524	0,2	0,051700	0,000048	109,360393	36,5	21,0	20,0
1979849	69,4	2652	198	526	0,2	0,051900	0,000050	109,385471	37,2	21,0	20,0
1980349	68,3	2612	201	525	0,2	0,052600	0,000050	109,409353	37,0	21,0	19,0
1980850	68,3	2610	201	525	0,2	0,052700	0,000049	109,434353	36,0	21,0	19,0
1981350	69,4	2652	199	527	0,2	0,052000	0,000049	109,458413	36,4	21,0	19,0
1981850	68,6	2622	200	526	0,2	0,052400	0,000049	109,483453	36,3	21,0	19,0
1982350	69,1	2643	198	525	0,2	0,051900	0,000049	109,507478	36,6	21,0	20,0
1982850	68,9	2635	198	523	0,2	0,051900	0,000049	109,531690	36,8	21,0	20,0
1983351	68,3	2610	201	525	0,2	0,052700	0,000049	109,556601	36,1	21,0	20,0
1983852	68,4	2615	201	526	0,2	0,052700	0,000049	109,580653	36,1	21,0	20,0
1984352	69	2636	199	526	0,2	0,052200	0,000049	109,605626	36,4	21,0	20,0
1984852	69	2639	199	526	0,2	0,052100	0,000049	109,629400	36,5	21,0	20,0
1985353	68,8	2630	200	525	0,2	0,052300	0,000049	109,654406	36,5	21,0	20,0
1985854	69,1	2642	199	525	0,2	0,052000	0,000049	109,678519	36,7	21,0	20,0
1986354	68,8	2629	200	525	0,2	0,052300	0,000049	109,703451	36,2	21,0	20,0
1986854	67,4	2575	208	535	0,2	0,054400	0,000050	109,727474	35,2	21,0	20,0
1987355	68,6	2621	203	533	0,2	0,053200	0,000051	109,753804	36,7	21,0	20,0
1987856	68,8	2630	197	518	0,2	0,051500	0,000048	109,778872	36,8	21,0	20,0
1988356	68,6	2621	199	520	0,2	0,051900	0,000049	109,803305	36,9	21,0	20,0
1988857	68,2	2608	201	524	0,2	0,052600	0,000049	109,826881	36,6	21,0	20,0
1989357	69	2636	199	523	0,2	0,052000	0,000049	109,851643	36,9	21,0	20,0
1989858	68,8	2630	200	526	0,2	0,052300	0,000049	109,876424	36,4	21,0	20,0
1990358	69,3	2650	198	525	0,2	0,051900	0,000049	109,900853	36,4	21,0	19,0
1990858	69	2639	198	523	0,2	0,051800	0,000048	109,924588	36,6	21,0	19,0
1991359	68,2	2607	200	522	0,2	0,052400	0,000049	109,949194	36,3	21,0	20,0
1991859	68	2598	201	522	0,2	0,052600	0,000049	109,973894	36,3	21,0	20,0
1992359	68,8	2628	198	521	0,2	0,051900	0,000048	109,998592	36,3	21,0	20,0
1993360	68,2	2608	200	522	0,2	0,052400	0,000050	110,047815	37,1	21,0	20,0
1993860	68,7	2626	198	521	0,2	0,051900	0,000049	110,071706	36,8	21,0	20,0
1995360	68,4	2615	200	524	0,2	0,052400	0,000049	110,145108	36,7	21,0	20,0
1995861	67,8	2594	201	521	0,2	0,052500	0,000049	110,169796	36,7	21,0	20,0
1996362	68,3	2610	200	522	0,2	0,052300	0,000048	110,194331	36,0	21,0	20,0
1996862	68,7	2628	199	524	0,2	0,052200	0,000049	110,218207	36,4	21,0	20,0
1997363	70,8	2707	204	551	0,21	0,053300	0,000052	110,244359	36,2	21,0	20,0
1997865	68,3	2610	199	520	0,2	0,052100	0,000049	110,269400	36,6	21,0	20,0
1998366	68,3	2611	199	519	0,2	0,052000	0,000048	110,294092	36,7	21,0	20,0
1998866	68	2598	200	521	0,2	0,052500	0,000049	110,317792	36,7	21,0	20,0
1999867	68	2599	201	521	0,2	0,052500	0,000049	110,367394	36,4	21,0	20,0
2000367	69,1	2642	198	523	0,2	0,051800	0,000048	110,391132	36,5	21,0	20,0
2000868	68,8	2632	199	523	0,2	0,052000	0,000049	110,415936	36,8	21,0	20,0
Test ended after 2001061 cycles Due to Test stopped by user											
Final stiffness = 2598MPa											

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.6. Fiberli grup No:6, (200 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: fiberli no_6											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 50,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 200,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
400	100	3131	196	615	0,22	0,051400	0,000056	0,013839	36,0	21,0	20,0
501	99,6	3119	199	620	0,22	0,052000	0,000059	0,019607	37,2	21,0	20,0
601	99,4	3113	201	624	0,22	0,052500	0,000059	0,025471	36,9	21,0	20,0
701	100,9	3158	198	627	0,23	0,051900	0,000058	0,031370	36,6	21,0	20,0
802	101,1	3163	198	628	0,23	0,051900	0,000059	0,037267	36,7	21,0	20,0
902	101,6	3180	198	630	0,23	0,051800	0,000059	0,043198	36,8	21,0	20,0
1402	102,6	3213	198	636	0,23	0,051800	0,000059	0,073312	36,7	21,0	20,0
1902	103,3	3235	199	643	0,23	0,052000	0,000060	0,102597	36,7	20,0	20,0
2402	103,5	3240	199	644	0,23	0,052000	0,000060	0,132134	36,8	20,0	20,0
2903	104,2	3262	199	649	0,23	0,052100	0,000061	0,163056	36,9	20,0	20,0
3403	103,9	3253	200	649	0,23	0,052200	0,000061	0,194001	36,7	21,0	20,0
3903	104,2	3261	198	644	0,23	0,051700	0,000059	0,223283	36,3	21,0	20,0
4404	103,7	3247	199	648	0,23	0,052200	0,000061	0,253644	36,9	21,0	20,0
4904	103,2	3230	200	646	0,23	0,052300	0,000061	0,284145	36,7	21,0	20,0
5404	102,7	3214	200	644	0,23	0,052400	0,000061	0,314724	36,7	21,0	20,0
5905	103,2	3231	199	643	0,23	0,052000	0,000060	0,343582	36,6	21,0	20,0
6405	102,9	3222	199	642	0,23	0,052200	0,000060	0,374035	36,3	21,0	20,0
6905	104,9	3284	204	670	0,24	0,053400	0,000063	0,405128	36,1	21,0	20,0
7406	103,9	3253	202	657	0,24	0,052800	0,000062	0,437073	36,6	21,0	20,0
7906	102,9	3220	198	638	0,23	0,051900	0,000061	0,467099	38,0	21,0	21,0
8407	100,8	3156	202	636	0,23	0,052700	0,000058	0,496683	34,9	21,0	21,0
8908	102,6	3210	200	641	0,23	0,052200	0,000060	0,525891	36,6	21,0	21,0
9409	102,3	3201	200	640	0,23	0,052300	0,000060	0,556278	36,7	21,0	20,0
9909	102,6	3213	200	641	0,23	0,052200	0,000060	0,586592	36,7	21,0	21,0
10409	102,5	3209	200	640	0,23	0,052200	0,000060	0,616817	36,7	21,0	20,0
10909	102,4	3207	200	640	0,23	0,052200	0,000060	0,645887	36,8	21,0	20,0
11409	102,8	3217	199	640	0,23	0,052100	0,000060	0,676325	37,1	21,0	20,0
11910	101,2	3167	201	636	0,23	0,052500	0,000061	0,706544	37,2	21,0	20,0
12410	102,3	3202	200	640	0,23	0,052300	0,000060	0,736724	36,4	21,0	20,0
12910	100	3131	202	634	0,23	0,053000	0,000059	0,766265	35,8	21,0	20,0
13411	102,3	3203	200	640	0,23	0,052300	0,000060	0,794964	36,9	21,0	20,0
13912	102,4	3205	199	639	0,23	0,052200	0,000060	0,825351	36,6	21,0	20,0
14412	102,7	3214	200	643	0,23	0,052300	0,000061	0,855456	36,9	21,0	20,0
14912	102,1	3197	200	639	0,23	0,052300	0,000060	0,885809	36,5	21,0	20,0
15413	102,5	3208	200	641	0,23	0,052300	0,000060	0,915257	36,8	21,0	20,0
15913	102,3	3203	200	639	0,23	0,052200	0,000060	0,945731	36,7	21,0	20,0
16413	103	3224	199	643	0,23	0,052200	0,000060	0,976146	36,7	21,0	20,0
17413	100	3132	207	647	0,23	0,054100	0,000063	1,037449	36,8	21,0	20,0
17914	102,8	3219	198	638	0,23	0,051900	0,000060	1,068790	36,9	21,0	20,0
18414	102,8	3219	198	637	0,23	0,051700	0,000060	1,099299	37,3	21,0	20,0
18914	103,1	3228	197	635	0,23	0,051400	0,000059	1,128663	36,9	21,0	20,0
19414	102,9	3221	199	641	0,23	0,052100	0,000060	1,159157	36,9	21,0	20,0
19914	102,2	3199	200	641	0,23	0,052400	0,000060	1,189299	36,4	21,0	20,0
20414	102,3	3203	199	638	0,23	0,052100	0,000058	1,217903	35,7	21,0	20,0

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: diatomit no_1											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 51,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 500,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
400	100,2	3103	497	1541	0,58	0,1326000	0,0003913	0,1200963	40,6	20,0	20,0
501	98,9	3062	500	1530	0,57	0,1334000	0,0003938	0,1602021	41,0	20,0	20,0
601	98,5	3051	498	1520	0,57	0,1329000	0,0003920	0,2007111	41,3	20,0	19,0
702	98,2	3041	498	1515	0,57	0,1329000	0,0003918	0,2402379	41,4	20,0	19,0
802	98,2	3040	496	1509	0,56	0,1325000	0,0003905	0,2797638	41,6	20,0	19,0
902	97,4	3016	496	1496	0,56	0,1324000	0,0003890	0,3117773	41,9	20,0	19,0
1402	93,4	2893	500	1447	0,54	0,1335000	0,0003830	0,5089172	42,4	20,0	19,0
1903	90,6	2806	503	1411	0,53	0,1342000	0,0003783	0,7018527	42,7	19,0	19,0
2404	89	2754	505	1392	0,52	0,1349000	0,0003791	0,8868650	43,3	19,0	19,0
2904	88,4	2736	503	1377	0,52	0,1343000	0,0003737	1,0681769	43,3	19,0	19,0
3404	88,3	2735	498	1361	0,51	0,1328000	0,0003658	1,2576802	43,5	19,0	19,0
3904	88,6	2742	496	1360	0,51	0,1323000	0,0003634	1,4370857	43,3	19,0	19,0
4404	86,3	2673	497	1329	0,5	0,1327000	0,0003577	1,6192316	43,6	20,0	19,0
4904	85,8	2656	497	1320	0,49	0,1327000	0,0003562	1,8024704	43,7	20,0	19,0
5404	84,8	2624	499	1310	0,49	0,1332000	0,0003577	1,9751401	44,2	20,0	19,0
5904	83,4	2583	506	1308	0,49	0,1351000	0,0003612	2,1587097	44,0	20,0	19,0
6404	82,2	2545	499	1270	0,48	0,1331000	0,0003472	2,3379492	44,2	20,0	19,0
6904	81,3	2519	498	1255	0,47	0,1329000	0,0003418	2,5108898	44,1	20,0	20,0
7405	80,5	2492	500	1245	0,47	0,1333000	0,0003415	2,6829862	44,4	20,0	20,0
7906	80	2476	499	1236	0,46	0,1332000	0,0003391	2,8536165	44,4	20,0	19,0
8406	79,2	2451	500	1227	0,46	0,1335000	0,0003391	3,0173769	44,7	20,0	19,0
8906	78,5	2431	499	1213	0,45	0,1332000	0,0003342	3,1871432	44,7	20,0	19,0
9407	78,4	2428	499	1212	0,45	0,1333000	0,0003368	3,3567561	45,1	20,0	19,0
9907	76,9	2382	498	1185	0,44	0,1328000	0,0003294	3,5251333	45,3	20,0	19,0
10408	76,1	2355	500	1177	0,44	0,1334000	0,0003292	3,6919812	45,5	20,0	19,0
10909	75,2	2329	498	1161	0,43	0,1330000	0,0003248	3,8560251	45,6	20,0	19,0
11409	74,1	2295	500	1146	0,43	0,1333000	0,0003208	4,0121406	45,5	20,0	19,0
11910	73,3	2269	499	1132	0,42	0,1331000	0,0003164	4,1725312	45,5	20,0	19,0
12410	71,8	2222	510	1134	0,42	0,1362000	0,0003227	4,3351266	45,2	20,0	19,0
12910	71,5	2213	501	1110	0,42	0,1338000	0,0003116	4,4950200	45,5	20,0	19,0
13411	70,3	2177	498	1083	0,41	0,1328000	0,0003030	4,6486672	45,7	20,0	19,0
24423	56,7	1755	501	879	0,33	0,1336000	0,0002574	7,7462268	48,2	20,0	20,0
24923	56,4	1746	498	869	0,33	0,1328000	0,0002529	7,8750053	48,1	20,0	20,0
25423	55,3	1711	498	852	0,32	0,1329000	0,0002495	8,0018340	48,5	21,0	20,0
25924	55,2	1710	502	859	0,32	0,1340000	0,0002532	8,1234459	48,4	21,0	20,0
26926	52,9	1637	497	813	0,3	0,1326000	0,0002384	8,3743696	48,7	21,0	20,0
27426	52,1	1612	499	804	0,3	0,1332000	0,0002377	8,4939658	49,0	20,0	20,0
27926	50,9	1577	500	788	0,29	0,1334000	0,0002333	8,6115726	49,0	20,0	20,0
28426	50,3	1556	501	780	0,29	0,1338000	0,0002326	8,7282710	49,2	20,0	20,0
28468	50	1547	503	778	0,29	0,1342000	0,0002326	8,7374816	49,2	20,0	20,0
Test ended after 28468 cycles Due to % initial stiffness being lower than 50 % Final stiffness = 1547MPa											

BeamFlex Test

Test Frequency(Hz): 20

Specimen Name: diatomit no_4

Specimen Height (mm): 50,0

Specimen Width (mm): 51,0

Beam Span (mm): 354,0

Target p-p strain: 500,000000

Test temperature(deg.C): 20

	%		P-P	P-P	P-P			Cumulative				
	Initial	Stiffness	Strain	Stress	Load	Defn	Dissipated	Dissipated	Phase	RTD	RTD	
Cycles	Stiffness	(MPa)	x10e-6	(KPa)	(Kn)	(mm)	Energy	Energy	Angle	1	2	
							(MJ/m^3)	(MJ/m^3)	(°)	(° C)	(° C)	
400	100,2	2892	504	1458	0,51	0,1294000	0,0003637	0,1115037	39,0	22,0	20,0	
501	99,1	2859	499	1428	0,5	0,1281000	0,0003541	0,1485692	39,2	22,0	20,0	
601	97,6	2818	498	1404	0,49	0,1278000	0,0003503	0,1850568	39,6	22,0	20,0	
701	96,4	2781	499	1388	0,49	0,1281000	0,0003495	0,2210675	40,0	22,0	20,0	
802	95,6	2759	499	1376	0,48	0,1280000	0,0003453	0,2495387	39,9	22,0	20,0	
903	94,2	2717	502	1364	0,48	0,1288000	0,0003498	0,2854481	40,6	22,0	20,0	
1404	91,8	2649	500	1325	0,47	0,1283000	0,0003390	0,4586915	40,6	21,0	20,0	
1905	88,8	2562	498	1277	0,45	0,1279000	0,0003265	0,6276724	40,8	21,0	20,0	
2405	86,8	2504	498	1248	0,44	0,1279000	0,0003218	0,7890935	41,2	21,0	20,0	
2906	85,2	2458	499	1226	0,43	0,1281000	0,0003209	0,9447683	41,9	21,0	20,0	
3407	83,5	2408	498	1199	0,42	0,1277000	0,0003097	1,1058161	41,4	21,0	20,0	
3909	82,3	2375	499	1185	0,42	0,1280000	0,0003078	1,2628908	41,5	21,0	20,0	
4409	80,9	2333	500	1166	0,41	0,1282000	0,0003038	1,4127640	41,6	21,0	20,0	
4909	80,8	2332	507	1182	0,42	0,1301000	0,0003134	1,5668755	41,8	21,0	20,0	
5409	77,9	2248	507	1140	0,4	0,1301000	0,0003038	1,7219647	42,0	21,0	20,0	
5910	77,4	2233	498	1113	0,39	0,1279000	0,0002913	1,8704663	42,0	21,0	20,0	
6410	77	2222	499	1108	0,39	0,1280000	0,0002906	2,0118416	42,0	21,0	20,0	
6911	76,2	2198	499	1096	0,39	0,1280000	0,0002887	2,1585162	42,2	21,0	20,0	
7411	75,2	2172	499	1084	0,38	0,1280000	0,0002874	2,3004782	42,6	21,0	20,0	
7911	74,6	2153	496	1067	0,37	0,1272000	0,0002833	2,4461796	43,0	21,0	20,0	
16415	61,5	1776	501	889	0,31	0,1285000	0,0002478	4,7117619	45,1	21,0	20,0	
16915	60,8	1754	499	876	0,31	0,1282000	0,0002443	4,8327050	45,3	21,0	20,0	
17415	59,8	1726	499	862	0,3	0,1281000	0,0002408	4,9552005	45,5	21,0	20,0	
17916	58,7	1695	501	848	0,3	0,1285000	0,0002385	5,0779393	45,6	21,0	20,0	
18416	58	1675	500	837	0,29	0,1283000	0,0002358	5,1963200	45,8	21,0	20,0	
18916	57,5	1660	500	830	0,29	0,1283000	0,0002337	5,3115541	45,8	21,0	20,0	
22917	52,2	1506	500	752	0,26	0,1282000	0,0002157	6,2131801	47,0	21,0	20,0	
23417	51,5	1486	499	742	0,26	0,1281000	0,0002128	6,3214532	47,1	21,0	20,0	
23918	50,6	1461	500	730	0,26	0,1282000	0,0002102	6,4285848	47,2	21,0	20,0	
24234	50,1	1447	500	724	0,25	0,1284000	0,0002092	6,4921693	47,3	21,0	20,0	
24279	50,2	1449	499	723	0,25	0,1281000	0,0002085	6,5046963	47,4	21,0	20,0	
24306	50	1442	501	722	0,25	0,1285000	0,0002090	6,5088838	47,4	21,0	20,0	

Test ended after 24306 cycles Due to

% initial stiffness being lower than 50 %

Final stiffness = 1442MPa

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.9. Diatomitli grup No:2, (300 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: diatomit no_2											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 51,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 300,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
400	100,1	4689	297	1395	0,52	0,0778000	0,0001736	0,0465905	32,2	21,0	21,0
500	99	4639	299	1385	0,52	0,0781000	0,0001732	0,0644314	32,2	21,0	21,0
601	97,4	4564	299	1365	0,51	0,0783000	0,0001711	0,0820829	32,2	21,0	21,0
702	96	4502	300	1352	0,51	0,0786000	0,0001701	0,0995228	32,2	21,0	21,0
802	95,1	4457	299	1332	0,5	0,0782000	0,0001666	0,1166319	32,2	21,0	21,0
902	94,2	4414	298	1314	0,49	0,0779000	0,0001646	0,1338435	32,4	21,0	21,0
1402	92,1	4318	299	1293	0,48	0,0783000	0,0001647	0,2152715	32,8	21,0	20,0
1902	90,9	4263	298	1270	0,48	0,0780000	0,0001623	0,2946961	33,1	21,0	20,0
2403	90,8	4254	298	1269	0,48	0,0781000	0,0001626	0,3769869	33,1	20,0	20,0
2903	90,1	4222	298	1259	0,47	0,0780000	0,0001609	0,4591223	33,1	21,0	20,0
3403	89,8	4209	299	1260	0,47	0,0783000	0,0001629	0,5381483	33,4	21,0	20,0
3904	90,4	4237	297	1258	0,47	0,0777000	0,0001620	0,6214351	33,5	21,0	20,0
4405	89,4	4190	299	1255	0,47	0,0783000	0,0001643	0,7019717	33,8	21,0	20,0
4905	90,4	4236	296	1255	0,47	0,0775000	0,0001633	0,7859804	34,0	21,0	20,0
5405	89,8	4209	299	1261	0,47	0,0784000	0,0001685	0,8701896	34,6	21,0	20,0
5905	89,4	4189	299	1253	0,47	0,0782000	0,0001673	0,9513106	34,6	21,0	20,0
6406	88,9	4167	298	1242	0,47	0,0780000	0,0001642	1,0363158	34,4	21,0	20,0
6906	87,5	4101	313	1282	0,48	0,0818000	0,0001807	1,1221366	35,0	21,0	20,0
7407	88,2	4132	301	1243	0,47	0,0787000	0,0001682	1,2101537	35,0	21,0	20,0
7907	88,3	4141	298	1234	0,46	0,0779000	0,0001652	1,2953090	34,9	21,0	20,0
8408	88,2	4132	297	1227	0,46	0,0777000	0,0001634	1,3757976	34,8	21,0	20,0
8908	87,9	4121	298	1229	0,46	0,0781000	0,0001654	1,4589934	35,0	21,0	20,0
9408	88	4123	296	1220	0,46	0,0774000	0,0001622	1,5413758	34,9	21,0	20,0
9908	86,9	4071	300	1222	0,46	0,0786000	0,0001669	1,6237198	35,4	21,0	20,0
10409	87,1	4080	299	1221	0,46	0,0783000	0,0001649	1,7071621	35,1	21,0	21,0
10909	87	4078	300	1222	0,46	0,0784000	0,0001650	1,7905590	35,0	21,0	21,0
11409	85,7	4016	301	1211	0,45	0,0789000	0,0001653	1,8701490	35,2	21,0	21,0
11909	86,7	4062	300	1217	0,46	0,0784000	0,0001651	1,9531614	35,2	21,0	21,0
12409	86,5	4053	300	1215	0,46	0,0784000	0,0001645	2,0366586	35,1	21,0	21,0
12910	86,5	4056	298	1211	0,45	0,0781000	0,0001635	2,1158325	35,2	21,0	21,0
13411	85,9	4025	300	1206	0,45	0,0784000	0,0001639	2,1993608	35,2	21,0	21,0
13911	85	3982	313	1245	0,47	0,0818000	0,0001772	2,2836879	35,4	21,0	21,0
14411	86,4	4050	305	1234	0,46	0,0797000	0,0001704	2,3683268	35,2	21,0	20,0
14911	85,1	3990	299	1192	0,45	0,0782000	0,0001613	2,4514438	35,2	21,0	21,0
15411	85,4	4005	298	1194	0,45	0,0780000	0,0001602	2,5331245	35,0	21,0	20,0
15911	84,3	3953	300	1187	0,44	0,0786000	0,0001605	2,6137719	34,9	21,0	20,0
16411	85,2	3994	298	1190	0,45	0,0780000	0,0001561	2,6938510	34,1	21,0	21,0
16911	84,5	3961	300	1189	0,45	0,0785000	0,0001614	2,7717141	35,2	21,0	21,0
17411	84,4	3954	300	1186	0,44	0,0785000	0,0001594	2,8523573	34,8	21,0	21,0
17912	84,3	3953	300	1186	0,44	0,0785000	0,0001599	2,9329199	34,9	21,0	21,0
18412	83,9	3932	300	1178	0,44	0,0784000	0,0001596	3,0119232	35,1	21,0	21,0
18912	84,2	3945	298	1176	0,44	0,0780000	0,0001583	3,0916406	35,1	21,0	21,0
19913	83,7	3922	299	1172	0,44	0,0782000	0,0001589	3,2507337	35,3	21,0	20,0
20413	84,6	3964	297	1178	0,44	0,0778000	0,0001577	3,3306324	35,0	21,0	21,0
20913	84	3938	298	1176	0,44	0,0781000	0,0001586	3,4106725	35,1	21,0	20,0
21414	82,2	3854	311	1199	0,45	0,0814000	0,0001695	3,4956568	35,4	21,0	21,0
21914	83,7	3921	297	1163	0,44	0,0776000	0,0001552	3,5781779	34,9	21,0	20,0

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.9. (Devam) Diatomitli grup No:2, (300 strain) deney sonuçları

...											
338578	53,3	2496	295	735	0,28	0,0771000	0,0001054	45,0663062	38,3	21,0	20,0
339078	52,2	2445	302	737	0,28	0,0789000	0,0001084	45,1203802	38,3	21,0	20,0
339579	52,1	2442	302	737	0,28	0,0790000	0,0001087	45,1729595	38,4	21,0	20,0
340079	52,6	2464	298	735	0,28	0,0780000	0,0001070	45,2278624	38,4	21,0	20,0
340579	52,2	2444	301	735	0,28	0,0786000	0,0001077	45,2803174	38,4	21,0	20,0
341079	52,4	2457	300	736	0,28	0,0784000	0,0001078	45,3349939	38,5	21,0	20,0
341579	52	2436	302	735	0,28	0,0789000	0,0001077	45,3881400	38,2	21,0	20,0
342079	52,4	2456	300	737	0,28	0,0785000	0,0001079	45,4428448	38,4	21,0	20,0
342579	52,6	2465	298	734	0,28	0,0779000	0,0001070	45,4954454	38,5	21,0	20,0
343079	52,4	2458	299	735	0,28	0,0782000	0,0001071	45,5501380	38,4	21,0	20,0
343580	53,2	2496	305	760	0,28	0,0797000	0,0001127	45,6038466	38,3	21,0	20,0
344081	52,7	2472	300	740	0,28	0,0784000	0,0001078	45,6604747	38,2	21,0	20,0
344581	52,7	2471	297	734	0,27	0,0777000	0,0001059	45,7147321	38,3	21,0	20,0
345081	52,1	2442	300	733	0,27	0,0785000	0,0001069	45,7667035	38,3	21,0	20,0
345581	52,2	2445	299	732	0,27	0,0783000	0,0001063	45,8205465	38,1	21,0	20,0
346081	52,3	2452	300	736	0,28	0,0785000	0,0001078	45,8748295	38,4	21,0	20,0
346581	52,2	2445	300	735	0,28	0,0786000	0,0001074	45,9273125	38,3	21,0	20,0
347082	52,3	2451	299	732	0,27	0,0781000	0,0001067	45,9814156	38,4	21,0	20,0
347583	52,2	2445	299	731	0,27	0,0782000	0,0001063	46,0338330	38,3	21,0	20,0
348083	51,9	2434	301	732	0,27	0,0787000	0,0001072	46,0875934	38,4	21,0	20,0
348583	52,4	2458	298	733	0,27	0,0780000	0,0001062	46,1416870	38,3	21,0	20,0
349084	52,3	2453	298	732	0,27	0,0781000	0,0001063	46,1958361	38,3	21,0	20,0
349584	52,2	2449	299	733	0,27	0,0783000	0,0001069	46,2479175	38,4	21,0	20,0
350084	52,2	2447	299	731	0,27	0,0782000	0,0001067	46,3022004	38,4	21,0	20,0
350585	52,1	2440	300	731	0,27	0,0784000	0,0001068	46,3548644	38,4	21,0	20,0
351085	52	2437	300	731	0,27	0,0785000	0,0001064	46,4093295	38,2	21,0	20,0
351585	50,4	2363	312	737	0,28	0,0816000	0,0001123	46,4630137	38,4	21,0	20,0
352085	51,9	2434	303	739	0,28	0,0794000	0,0001093	46,5190728	38,4	21,0	20,0
352585	52,3	2451	298	731	0,27	0,0780000	0,0001054	46,5731463	38,0	21,0	20,0
353085	52,1	2443	299	731	0,27	0,0783000	0,0001055	46,6250214	37,9	21,0	20,0
353585	52,2	2448	298	730	0,27	0,0780000	0,0001052	46,6788458	38,0	21,0	20,0
354086	52,2	2446	300	735	0,28	0,0786000	0,0001061	46,7304898	37,7	21,0	20,0
354587	52,2	2447	299	731	0,27	0,0781000	0,0001061	46,7852159	38,3	21,0	20,0
355087	52,2	2446	299	730	0,27	0,0781000	0,0001060	46,8374612	38,2	21,0	20,0
355588	52,1	2444	299	731	0,27	0,0783000	0,0001066	46,8914769	38,3	21,0	20,0
356089	52,1	2441	300	732	0,27	0,0785000	0,0001067	46,9435386	38,2	21,0	20,0
356589	52	2437	300	731	0,27	0,0785000	0,0001068	46,9973658	38,4	21,0	20,0
357089	52,2	2446	299	731	0,27	0,0782000	0,0001065	47,0511481	38,4	21,0	20,0
357590	52	2438	299	730	0,27	0,0783000	0,0001063	47,1032447	38,3	21,0	20,0
358090	51,8	2429	300	729	0,27	0,0785000	0,0001066	47,1574043	38,3	21,0	20,0
358590	52,1	2443	300	732	0,27	0,0784000	0,0001070	47,2094215	38,4	21,0	20,0
359090	50,2	2352	304	716	0,27	0,0796000	0,0001073	47,2642380	38,9	21,0	20,0
359301	50,5	2366	312	738	0,28	0,0817000	0,0001122	47,2863678	38,3	21,0	20,0
359591	50,9	2386	309	738	0,28	0,0809000	0,0001111	47,3187386	38,3	21,0	20,0
359729	50,5	2367	309	731	0,27	0,0808000	0,0001111	47,3344079	38,8	21,0	20,0
362593	51,9	2435	299	728	0,27	0,0782000	0,0001055	47,6368880	38,1	21,0	20,0
363093	51,9	2434	299	727	0,27	0,0781000	0,0001054	47,6908873	38,2	21,0	20,0
363594	51,6	2420	300	726	0,27	0,0785000	0,0001061	47,7427345	38,3	21,0	20,0
364095	51,9	2431	298	726	0,27	0,0781000	0,0001053	47,7969189	38,2	21,0	20,0
364595	51,8	2426	299	727	0,27	0,0784000	0,0001057	47,8484296	38,2	21,0	20,0
365095	51,8	2427	299	725	0,27	0,0782000	0,0001051	47,9019278	38,1	21,0	20,0
366095	51,9	2435	299	728	0,27	0,0783000	0,0001056	48,0065580	38,1	21,0	20,0
366595	51,7	2423	300	726	0,27	0,0784000	0,0001054	48,0598209	38,1	21,0	20,0
366977	50,1	2349	303	712	0,27	0,0793000	0,0001058	48,1010223	38,7	21,0	20,0
367023	51,2	2398	304	729	0,27	0,0795000	0,0001079	48,1053446	38,4	21,0	20,0
367040	49,9	2337	309	723	0,27	0,0809000	0,0001090	48,1075251	38,4	21,0	20,0

Test ended after 367040 cycles Due to
% initial stiffness being lower than 50 %
Final stiffness = 2337MPa

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.10. Diatomitli grup No:5, (300 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: diatomit no_5											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 51,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 300,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	% Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
401	100,4	4110	305	1254	0,45	0,0798000	0,0001568	0,0359196	31,5	22,0	21,0
501	100,3	4103	312	1279	0,46	0,0816000	0,0001648	0,0521330	31,8	22,0	21,0
601	99,7	4080	309	1261	0,45	0,0809000	0,0001609	0,0688322	31,7	22,0	21,0
701	97,6	3996	311	1242	0,45	0,0813000	0,0001622	0,0855004	32,4	22,0	21,0
801	99,9	4089	304	1242	0,45	0,0795000	0,0001593	0,1019038	32,5	22,0	21,0
901	97	3970	308	1222	0,44	0,0806000	0,0001611	0,1178850	33,0	21,0	21,0
1402	96,6	3953	297	1175	0,42	0,0778000	0,0001536	0,1947525	34,0	21,0	21,0
1903	95,5	3908	299	1169	0,42	0,0783000	0,0001540	0,2734827	34,1	21,0	21,0
2403	95,2	3894	299	1163	0,42	0,0781000	0,0001545	0,3483511	34,5	21,0	20,0
2903	94,1	3850	301	1158	0,42	0,0787000	0,0001567	0,4270560	35,0	21,0	20,0
3403	94,2	3855	299	1152	0,41	0,0782000	0,0001556	0,5059243	35,1	21,0	20,0
3903	93,8	3836	298	1144	0,41	0,0780000	0,0001549	0,5816326	35,3	21,0	20,0
4403	93	3805	299	1138	0,41	0,0782000	0,0001538	0,6590052	35,1	21,0	20,0
4904	91,6	3748	301	1128	0,41	0,0788000	0,0001544	0,7359990	35,4	21,0	20,0
5404	91,4	3738	299	1119	0,4	0,0783000	0,0001500	0,8123384	34,8	21,0	20,0
5905	90,1	3686	301	1108	0,4	0,0786000	0,0001474	0,8854501	34,3	21,0	21,0
6405	90,1	3689	299	1103	0,4	0,0782000	0,0001478	0,9600838	34,8	21,0	21,0
6905	89,7	3672	299	1097	0,4	0,0782000	0,0001482	1,0353848	35,1	21,0	21,0
7405	89,4	3660	298	1092	0,39	0,0780000	0,0001477	1,1075538	35,3	21,0	21,0
7906	88,3	3614	299	1081	0,39	0,0782000	0,0001440	1,1828622	34,6	21,0	21,0
8406	87,8	3591	310	1112	0,4	0,0811000	0,0001592	1,2620854	36,0	21,0	21,0
8906	88,1	3605	298	1073	0,39	0,0779000	0,0001460	1,3391271	35,6	21,0	21,0
9407	87,8	3592	298	1072	0,39	0,0781000	0,0001476	1,4132514	36,0	21,0	21,0
9908	87,6	3583	299	1070	0,39	0,0782000	0,0001478	1,4853741	36,0	21,0	21,0
10409	87,4	3578	298	1067	0,38	0,0780000	0,0001467	1,5610427	36,0	21,0	21,0
10909	86,9	3556	299	1062	0,38	0,0782000	0,0001463	1,6333340	35,9	21,0	21,0
11410	86,9	3554	299	1064	0,38	0,0783000	0,0001462	1,7051217	35,8	21,0	21,0
11911	86,6	3543	299	1058	0,38	0,0781000	0,0001442	1,7787181	35,5	21,0	21,0
12411	86,4	3534	300	1058	0,38	0,0784000	0,0001455	1,8527980	35,8	21,0	21,0
12911	85,9	3516	300	1054	0,38	0,0784000	0,0001450	1,9236291	35,8	21,0	21,0
13411	85,6	3501	300	1050	0,38	0,0785000	0,0001446	1,9972048	35,8	21,0	21,0
13911	85,5	3499	300	1048	0,38	0,0784000	0,0001417	2,0699419	35,1	21,0	21,0
14412	85,8	3512	299	1049	0,38	0,0782000	0,0001432	2,1397513	35,6	21,0	21,0
14912	85	3478	300	1045	0,38	0,0786000	0,0001437	2,2127580	35,6	21,0	21,0
15413	83,5	3415	310	1060	0,38	0,0812000	0,0001531	2,2828096	36,3	21,0	21,0
15913	85,3	3492	306	1070	0,39	0,0802000	0,0001501	2,3593768	35,7	21,0	20,0
16413	84,5	3459	298	1030	0,37	0,0779000	0,0001411	2,4328742	35,9	21,0	21,0
16913	84,1	3443	299	1030	0,37	0,0783000	0,0001415	2,5017482	35,8	21,0	21,0
17413	84,2	3445	298	1026	0,37	0,0779000	0,0001416	2,5739091	36,2	21,0	21,0
17913	84	3437	299	1029	0,37	0,0783000	0,0001418	2,6429344	35,9	21,0	21,0
18415	83,7	3423	298	1021	0,37	0,0780000	0,0001404	2,7159021	35,9	21,0	21,0
18915	83,9	3433	298	1023	0,37	0,0780000	0,0001406	2,7858064	36,0	21,0	21,0
19415	83,1	3401	299	1017	0,37	0,0782000	0,0001391	2,8542968	35,6	21,0	21,0
19915	82,5	3376	301	1018	0,37	0,0789000	0,0001397	2,9252495	35,4	21,0	20,0
20415	82,8	3387	299	1014	0,36	0,0783000	0,0001380	2,9925294	35,4	21,0	20,0
20915	82,3	3366	301	1012	0,36	0,0786000	0,0001384	3,0618501	35,4	21,0	20,0

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.11. Diatomitli grup No:3, (200 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: diatomit no_3											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 51,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 200,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
400	100,4	3939	196	773	0,29	0,051400	0,0000615	0,0152956	31,0	22,0	20,0
500	100,6	3947	196	775	0,29	0,051400	0,0000616	0,0217162	31,1	22,0	20,0
600	100,7	3951	195	772	0,29	0,051100	0,0000616	0,0269238	31,3	22,0	20,0
700	100,6	3946	197	779	0,29	0,051600	0,0000634	0,0333371	31,7	22,0	20,0
801	100,2	3930	198	780	0,29	0,051900	0,0000645	0,0399943	32,0	22,0	20,0
901	99,4	3897	199	777	0,29	0,052200	0,0000650	0,0465658	32,3	22,0	20,0
1401	99,5	3904	198	774	0,29	0,051900	0,0000639	0,0791803	32,0	21,0	19,0
1901	97,3	3815	199	757	0,28	0,051900	0,0000643	0,1106487	33,0	21,0	19,0
2402	95,4	3741	200	748	0,28	0,052300	0,0000619	0,1427860	31,8	21,0	19,0
2902	95,9	3763	199	749	0,28	0,052100	0,0000632	0,1734606	32,7	21,0	19,0
3403	95,6	3751	200	749	0,28	0,052200	0,0000625	0,2046141	32,2	21,0	19,0
3904	94,8	3717	199	741	0,28	0,052200	0,0000634	0,2362829	33,1	21,0	19,0
4405	94,4	3702	200	740	0,28	0,052300	0,0000632	0,2679148	32,9	21,0	20,0
4906	93,3	3661	200	732	0,27	0,052300	0,0000624	0,2997194	32,9	21,0	20,0
5406	92,8	3641	199	723	0,27	0,052000	0,0000609	0,3298775	32,7	21,0	20,0
5906	94,2	3693	199	734	0,27	0,052000	0,0000624	0,3606410	33,0	21,0	20,0
6406	94,1	3691	199	736	0,28	0,052200	0,0000630	0,3912823	33,1	21,0	20,0
6907	94,5	3706	208	769	0,29	0,054300	0,0000672	0,4248360	32,4	21,0	20,0
7407	95,9	3760	202	761	0,29	0,053000	0,0000660	0,4587670	33,1	21,0	20,0
7908	94,3	3700	199	736	0,28	0,052000	0,0000635	0,4897956	33,5	21,0	20,0
8408	93,8	3680	200	736	0,28	0,052300	0,0000632	0,5216667	33,1	21,0	20,0
8909	94,5	3706	199	739	0,28	0,052100	0,0000633	0,5523768	33,2	21,0	20,0
9409	95,9	3760	195	733	0,27	0,051000	0,0000599	0,5840329	32,3	21,0	20,0
9909	94,3	3698	199	736	0,28	0,052100	0,0000632	0,6154650	33,3	21,0	20,0
10409	94,6	3711	199	740	0,28	0,052200	0,0000635	0,6475563	33,2	21,0	20,0
10909	95	3726	198	738	0,28	0,051800	0,0000630	0,6784684	33,3	21,0	20,0
11409	94,7	3714	199	740	0,28	0,052100	0,0000632	0,7105439	33,1	21,0	20,0
11909	94,8	3719	199	741	0,28	0,052100	0,0000634	0,7425217	33,1	21,0	20,0
12409	95,1	3730	199	742	0,28	0,052100	0,0000630	0,7733871	32,9	21,0	20,0
12910	94,6	3712	200	743	0,28	0,052400	0,0000637	0,8057379	33,0	21,0	20,0
13410	93,9	3683	200	738	0,28	0,052400	0,0000627	0,8363128	32,7	21,0	20,0
13910	95,2	3733	199	744	0,28	0,052100	0,0000624	0,8679001	32,4	21,0	20,0
14410	95,4	3741	199	746	0,28	0,052200	0,0000624	0,8994105	32,3	21,0	20,0
14910	94,9	3721	200	744	0,28	0,052300	0,0000622	0,9298041	32,1	21,0	20,0
15410	93,5	3667	202	741	0,28	0,052800	0,0000609	0,9608511	31,2	21,0	20,0
15911	95,3	3739	200	746	0,28	0,052200	0,0000622	0,9918436	32,2	21,0	20,0
16411	94,5	3706	201	743	0,28	0,052500	0,0000626	1,0233967	32,3	21,0	20,0
16911	95,2	3733	200	746	0,28	0,052300	0,0000628	1,0535430	32,5	21,0	20,0
17411	95,2	3734	207	774	0,29	0,054200	0,0000684	1,0862422	32,9	21,0	20,0
17911	94,7	3716	204	757	0,28	0,053300	0,0000650	1,1200097	32,4	21,0	20,0
18412	95,4	3741	198	741	0,28	0,051800	0,0000617	1,1517355	32,4	21,0	20,0
18912	95,4	3740	199	744	0,28	0,052100	0,0000621	1,1829967	32,3	21,0	20,0
19412	95,1	3728	199	742	0,28	0,052000	0,0000620	1,2134511	32,3	21,0	20,0
19913	94	3685	201	740	0,28	0,052500	0,0000626	1,2450089	32,4	21,0	20,0
20414	94,5	3705	200	741	0,28	0,052300	0,0000624	1,2762511	32,4	21,0	20,0

EK-5 (Devam) Tekrarlı yük altında yorulmaya karşı direnç dayanımı (FATIGUE) sonuçları

Çizelge 5.12. Diatomitli grup No:6, (200 strain) deney sonuçları

BeamFlex Test											
Test Frequency(Hz): 20											
Specimen Name: diatomit no_6											
Specimen Height (mm): 50,0											
Specimen Width (mm): 51,0											
Beam Span (mm): 354,0											
Target p-p strain: 200,000000											
Test temperature(deg.C): 20											
Cycles	% Initial Stiffness	Stiffness (MPa)	P-P Strain x10e-6	P-P Stress (KPa)	P-P Load (Kn)	Defn (mm)	Dissipated Energy (MJ/m^3)	Cumulative Dissipated Energy (MJ/m^3)	Phase Angle (°)	RTD 1 (° C)	RTD 2 (° C)
402	95,8	4193	224,1	938,78	0,34	0,052897	0,0000724	0,0150562	29,0	21,1	22,5
501	97	4249	226,46	961,1	0,35	0,053513	0,0000744	0,0195655	28,8	21,0	22,3
600	95,3	4168	231,16	966,2	0,35	0,054745	0,0000775	0,0241520	29,2	20,8	22,3
700	97,1	4256	227,17	965,76	0,35	0,053699	0,0000756	0,0302245	29,0	20,7	22,1
800	98,9	4341	222,29	959,96	0,35	0,052423	0,0000719	0,0377890	28,4	20,6	22,1
900	96,5	4223	227,2	959,33	0,35	0,053708	0,0000737	0,0435708	28,5	20,5	21,9
1000	98,5	4323	223,77	963,32	0,35	0,052809	0,0000717	0,0493080	28,0	20,4	21,8
1100	97,4	4266	224,69	956,31	0,35	0,053051	0,0000709	0,0550932	27,7	20,4	21,8
1200	96,4	4220	225,56	951,01	0,35	0,053279	0,0000724	0,0607873	28,4	20,3	21,7
1300	98,3	4311	223,4	959,23	0,35	0,052713	0,0000716	0,0664758	28,1	20,2	21,6
1400	96,4	4218	225,17	948,72	0,35	0,053177	0,0000716	0,0722218	28,2	20,2	21,6
1500	94,5	4127	223,33	921,88	0,34	0,052695	0,0000712	0,0779225	29,2	20,1	21,4
1600	95,4	4172	220,33	916,94	0,34	0,051910	0,0000729	0,0836709	30,7	20,1	21,4
1700	95	4154	220,69	915,02	0,34	0,052005	0,0000717	0,0908502	30,1	20,1	21,4
1801	95,1	4157	219,98	912,32	0,34	0,051818	0,0000714	0,0965840	30,2	20,1	21,2
1901	94,6	4132	221,05	912,33	0,34	0,052100	0,0000713	0,1023112	30,0	20,0	21,2
2002	95,4	4170	219,11	911,01	0,33	0,051591	0,0000705	0,1080391	30,0	20,0	21,2
2102	94,2	4116	221,36	910,58	0,33	0,052179	0,0000716	0,1137898	30,2	20,0	21,1
2202	94,5	4128	220,87	910,84	0,33	0,052052	0,0000718	0,1195308	30,3	20,0	21,1
2302	94,4	4123	220,88	909,78	0,33	0,052055	0,0000722	0,1238573	30,5	20,0	21,0
2402	94	4102	221,52	908,62	0,33	0,052222	0,0000718	0,1296395	30,3	20,0	20,9
2502	94,8	4144	220,27	911,13	0,33	0,051895	0,0000718	0,1339560	30,4	20,1	21,0
2602	94,3	4118	221,21	910,41	0,33	0,052141	0,0000727	0,1368484	30,7	20,1	20,9
2703	94,2	4115	221,23	909,74	0,33	0,052147	0,0000723	0,1440480	30,5	20,1	20,9
2803	94,4	4124	220,79	909,62	0,33	0,052031	0,0000720	0,1498086	30,4	20,2	20,9
2903	93,6	4083	221,55	904,87	0,33	0,052230	0,0000718	0,1570053	30,4	20,2	20,9
3004	93,6	4086	221,22	904	0,33	0,052143	0,0000716	0,1613110	30,4	20,3	20,9
3104	93,3	4068	222,01	903,89	0,33	0,052350	0,0000721	0,1670549	30,5	20,3	20,9
3205	93,2	4065	221,75	902,24	0,33	0,052282	0,0000710	0,1713619	30,1	20,3	20,8
3304	93,2	4067	221,92	903,46	0,33	0,052327	0,0000722	0,1771030	30,6	20,4	20,8
3405	93,6	4086	220,74	901,74	0,33	0,052018	0,0000718	0,1828466	30,7	20,5	20,8
3504	92,2	4018	223,35	899,94	0,33	0,052700	0,0000722	0,1899968	30,5	20,5	20,8
3604	92,7	4039	221,74	896,97	0,33	0,052280	0,0000712	0,1957474	30,4	20,5	20,7
3704	92,6	4035	221,76	896,2	0,33	0,052285	0,0000721	0,2028874	30,8	20,6	20,8
3804	92,7	4040	221,83	897,67	0,33	0,052304	0,0000713	0,2071479	30,4	20,6	20,7
3907	93,2	4063	221,41	900,35	0,33	0,052193	0,0000721	0,2114437	30,7	20,7	20,7
4007	93	4055	221,28	898	0,33	0,052158	0,0000720	0,2172742	30,8	20,7	20,8
4106	92,5	4032	222,18	897,49	0,33	0,052394	0,0000716	0,2230527	30,5	20,7	20,8
4206	92,3	4024	222,51	897,29	0,33	0,052480	0,0000731	0,2288805	31,1	20,7	20,8
4307	92,1	4009	222,42	894,06	0,33	0,052456	0,0000726	0,2332276	31,1	20,8	20,8
4406	93,2	4064	220,69	897,24	0,33	0,052003	0,0000713	0,2375459	30,6	20,8	20,8
4507	93,5	4077	220,43	898,7	0,33	0,051937	0,0000717	0,2418339	30,8	20,8	20,7
4710	92,6	4036	221,55	895,43	0,33	0,052229	0,0000724	0,2533667	31,0	20,8	20,8
4808	92,5	4033	221,14	893,13	0,33	0,052121	0,0000715	0,2576920	30,8	20,8	20,8

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAŞAK, Serdar
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.05.1976 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 415 85 67
 Faks : 0 (312) 419 16 67
 e-mail : skasak@kgm.gov.tr

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	19 Mayıs Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	1998
Lise	Ankara Gazi Teknik Lisesi / Bilgisayar Bölümü	1994

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

1998-2001	Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği / Van,	Üstyapı Mühendisi
2001-2002	K.G.M. Teknik Araştırma D.B. Üstyapı Şubesi Müdürlüğü /Ankara,	Üstyapı Etüt Proje Mühendisi
2002-2004	K.G.M. Teknik Araştırma D.B. Üstyapı Şubesi Müdürlüğü /Ankara,	Üstyapı Yönetim Sistemi Mühendisi
2004-	K.G.M. Teknik Araştırma D.B. Üstyapı Şubesi Müdürlüğü /Ankara,	Bitümlü Karışımlar Lab. Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Sinema, Ekonomi