T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARININ ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TESTİ ALTINDA DEFORMASYON DİRENCİNİN BELİRLENMESİ

Fatih KARAÇOR

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

AĞUSTOS-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARININ ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TESTİ ALTINDA DEFORMASYON DİRENCİNİN BELİRLENMESİ

Fatih KARAÇOR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2018, 68 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Kağan DEMİR

Asfalt kaplamaların, mühendislik özellikleri belirlenirken tek eksenli deneylerden yararlanılmaktadır. Gelişmekte olan test teknolojisi ile günümüzde üç eksenli deneyler yapılabilmektedir. Bu çalışmada, laboratuvarda hazırlanan numunelerin yerindeki yükleme özelliklerini daha iyi yansıtacağı düşüncesi ile tek eksenli ve üç eksenli olmak üzere statik ve dinamik deneyler yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın ilk bölümde, ağırlık olarak, % 3,0 - 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 – 6,5 oranlarında 50/70 ve 70/100 penetrasyon dereceli bitümlü bağlayıcılar kullanılarak toplamda 32 adet numune üretilmiştir. Üretilen numuneler kullanılarak Marshall tasarım yöntemi ile en uygun bitümlü bağlayıcı yüzdesi hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde belirlenen en uygun bitümlü bağlayıcı yüzdesi ve ± ‰ 5 olmak üzere 3 farklı oranda bağlayıcı kullanılarak 48 adet numune üretilmiştir. Bu numunelere tek eksenli statik, tek eksenli dinamik, üç eksenli statik, üç eksenli dinamik sünme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda üç eksenli testin daha düşük deformasyonlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü sıcak karışım, Deformasyon direnci, Marshall deneyi, Tek eksenli deneyi, Üç eksenli deneyi

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMİNATİON OF DEFORMATİON RESİSTANCE OF BİTUMİNOUS HOT MİXTURES BY TRİAXİAL COMPRESSİON TEST

Fatih KARAÇOR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

Year, 68 Pages

Jury
Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ
Asst. Prof. Dr. Yusuf Kağan DEMİR

Single-axle tests are utilized while determining engineering properties of asphalt pavements. But nowadays, triaxle tension test can be carried out with developing technology. In this study, considering that the asphalt samples will reflect the properties in situ behavior better, it is aimed to make static and dynamic experiments comparing the single axles and triaxle tests.

In first part of the study, 32 samples were produced using 50/70 and 70/100 penetration grade base bitumen in the rates of 3.0 - 3.5 - 4.0 - 4.5 - 5.0 - 5.5 - 6.0 - 6.5 % by weight. Optimum bitumen content was achieved by the Marshall Design method by using these samples.

In the second part of the study, 48 samples were produced in 3 different bitumen content, with the percentage of optimum bitumen content determined and ± 0.5%. These specimens were subjected to single axle static, single axle dynamic, three axle static, three axle dynamic creep tests. It has been observed that the triaxle test results in lower deformations.

Keywords: Bituminous hot mixture, Deformation resistance, Marshall test, Single axis compression, Triaxial compression

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanma aşamasında engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve yol gösteren çok değerli Hocam Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK' e,

Gerek laboratuvar çalışmalarında verdiği destek gerekse bilgi birikimiyle aktardığı deneyimleri nedeniyle çok kıymetli Hocam Öğr. Gör. Dr. Mehmet Ali LORASOKKAY' a,

Çalışmanın birçok safhasında yardımını gördüğüm değerli arkadaşım Safa MERCAN'a, mesai arkadaşım Haluk Görkem ALCAN'a manevi kardeşim Abdurrahim ALTUN'a

Manevi olarak hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen babam Halil KARAÇOR'a annem Gülveren KARAÇOR'a kardeşlerim Furkan KARAÇOR'a ve Betül KARAÇOR'a eşim Erzem KARAÇOR'a en kalbi duygularımla teşekkür ederim.

Fatih KARAÇOR
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

ŞEKİLLERİ DİZİNİ ..... **x**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **16**

3.1. Karayolu Üstyapısı 16
3.1.1. Esnek Üstyapılar 16
3.1.2. Rijit Üstyapılar 16
3.1.3. Yarı Rijit Üstyapılar 17
3.2. Asfalt Betonu Kaplamlarda Oluşan Bozulma Türleri 17
3.2.1. Oturmalar ve Çökmeler 17
3.2.2. Tekerlek İzi Oluşumu 17
3.2.3. Kabarmalar 18
3.2.4. Ondülasyonlar 18
3.2.5. Asfaltın Ayrışması ve Parçalanması 18
3.2.6. Çatlamalar 19
3.3. Kullanılan Malzemeler 19
3.3.1. Agrega 19
3.3.2. Bitümler 21
3.4. Bitümlü Sıcak Karışımların Tasarımı ve Numunelerin Üretim Şekli 23
3.4.1. Marshall Deneyi 23
3.5. Deney Gruplarının Oluşturulması ve Numunelerin Kodlaması 30
3.6. Deneyler ve Yapıldığı Üç Eksenli Test Cihazı 31
3.7. Deney Prosedürleri 32

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **33**

4.1. Marshall Deneyi 33
4.1.1. Briketlerin Ölçümü 34
4.1.2. Marshall Testi Sonuçları 34
4.1.3. Sonuç Grafikleri 36
4.2. Tek Eksenli Deneyi 39
4.2.1. Briketlerin Ölçümü 40

4.2.2. Tek Eksenli Deneyi Sonuç Grafikleri 41
4.3. Üç Eksenli Deneyi 44
4.3.1. Briketlerin Ölçümü 44
4.3.2. Üç Eksenli Deneyi Sonuç Grafikleri.....45
4.4. Deney Sonuçlarının Birbiri İçinde Kıyaslanması.....47

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 52

5.1 Sonuçlar 52
5.2 Öneriler 53

KAYNAKLAR 54

ÖZGEÇMİŞ.....56

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar	Açıklama
S	Sünme rijitliği
δ	Faz açısı
b	Çubuk uzunluğu
PI	Penetrasyon indeksi
g	Gram
G*	Kompleks kesme modülü
m	Sünme oranı
h	Numune kalınlığı
P	Uygulanan sabit yük
T	Burulma
ϒ	Kesme gerilmesi
ϴ	Dönme açısı
σ	Çekme gerilmesi
t	Zaman
μ	Viskozite
τ	Bitümlü sıcak karışımın kayma mukavemeti
Dp	Briketin hacim özgül ağırlığı
Dt	Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı
MFAC	Melas ve uçucu kül katkılı modifiye bitüm
AASHTO	Amerikan devlet otoyolları ve resmi taşımacılık birliği
ASTM	Amerikan test ve materyaller topluluğu
BBR	Çubuk eğme reometresi
DSR	Dinamik kesme reometresi
RTFO	Döner ince film ısıtma
RV	Dönel viskozimetre
PAV	Basınçlı oksidasyon kabı deneyi
RTFOT	Döner ince film ısıtma deneyi
SUPERPAVE	Yüksek performanslı asfalt kaplama
VMA	Agregalar arasında boşluk değeri
BSK	Bitümlü sıcak karışım

ŞEKİLLERİ DİZİNİ

Şekil 2.1. 60 °C'de ölçülen tekerlek izi ile hesaplanmış arasındaki karşılaştırmalar (Huang ve Zhang, 2010) 3
Şekil 2.2. Standart ve geliştirilmiş üç eksenli deneyleri arasındaki sonuç farkları (Hofko, 2015) 4
Şekil 2.3. Statik ve dinamik testleri sünme oranları (Dołżycki ve Judycki, 2008) 5
Şekil 2.4. Statik ve dinamik testleri kalıcı çekme sonuçları (Dołżycki ve Judycki, 2008) 5
Şekil 2.5. Hava boşluğu içeriği % 5,7 olan farklı yüksekliklerdeki numuneler için birim şekil değiştirme-zaman ve gerilme-zaman eğrileri (Zhang ve ark., 2015) 6
Şekil 2.6. (a) 90 mm, (b) 100 mm ve (c) 105 mm yükseklikleri için farklı boşluk oranlarında gerilme- birim şekil değiştirme eğrileri (Zhang ve ark., 2015) 6
Şekil 2.7. Tek eksenli deney sonuçları (Taherkhania, 2011) 7
Şekil 2.8. 20 °C'de üç farklı uzama oranında DBN modeli ve deneysel değerlerin gösterimi (Sohm ve ark., 2010) 8
Şekil 2.9. 10 °C'de üç farklı gerilme seviyesinde deneysel değerlerin ve DBN modeli gösterimi (Sohm ve ark., 2010) 9
Şekil 2.10. Farklı yanal basınçlarda Eksenel deformasyon - Süre ve Yanal deformasyon - Süre grafikleri (Blanc ve ark., 2015) 10
Şekil 2.11. Farklı yükleme frekanslarında Eksenel deformasyon – Süre ve Yanal deformasyon – Süre grafikleri (Blanc ve ark., 2015) 10
Şekil 2.12. Sol: Üç eksenli deneyi sonuçları – Sağ: Kısmi üç eksenli deneyi sonuçları (Xu ve ark., 2014) 11
Şekil 2.13. Tek eksenli deneyi farklı yüksekliklerdeki test sonuçları (Brown ve Foo, 1994) 13
Şekil 2.14. Üç eksenli deneyi farklı yüksekliklerdeki test sonuçları (Brown ve Foo, 1994) 14
Şekil 2.15. 60 °C'de üç farklı koşulda gerçekleştirilen testlerin sürünme eğrileri (Gayathri ve ark., 2016) 14
Şekil 2.16. 60 °C'de 600 kPA yükleme altında farklı sınırlama basınçları ile elde edilen sürünme eğrileri (Gayathri ve ark., 2016) 15
Şekil 3.1. Bitümün elde edilme aşamaları (Lav ve Lav, 2004) 22
Şekil 3.2. Marshall test cihazı 24
Şekil 3.3. Gruplandırılan agregalar 25
Şekil 3.4. Agrega gradasyon eğrisi 26
Şekil 3.5. Agregaların ısıtıldığı fırın 27
Şekil 3.6. Agrega ve bitümün karıştırıldığı cihaz 28
Şekil 3.7. Kalıplara yerleştirilip sıkıştırılmış numuneler 28
Şekil 3.8. Marshall tokmağına yerleştirilirken 29
Şekil 3.9. Kalıplardan çıkarılıp bekletilen numuneler 29
Şekil 4.1. Bitüm yüzdesi – Birim hacim ağırlık grafiği 36
Şekil 4.2. Stabilite - Bitüm yüzdesi grafiği 37
Şekil 4.3. Boşluk oranı – Bitüm yüzdesi grafiği 37
Şekil 4.4. VMA – Bitüm yüzdesi grafiği 38
Şekil 4.5. Akma – Bitüm yüzdesi grafiği 38
Şekil 4.6. Vfb - Bitüm yüzdesi grafiği 39
Şekil 4.7. Tek eksenli olarak ısıtmalı kabinde gerçekleştirilen deney 40
Şekil 4.8. Tek eksenli statik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme 42

Şekil 4.9. Tek eksenli statik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme.....42
Şekil 4.10. Tek eksenli dinamik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme.....43
Şekil 4.11. Tek eksenli dinamik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme.....43
Şekil 4.12. Üç eksenli olarak ısıtmalı kabinde gerçekleştirilen deney.....44
Şekil 4.13. Üç eksenli statik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme.....45
Şekil 4.14. Üç eksenli statik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme.....46
Şekil 4.15. Üç eksenli dinamik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme.....46
Şekil 4.16. Üç eksenli dinamik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme.....47
Şekil 4.17. 50/70 bitüm statik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları47
Şekil 4.18. 50/70 bitüm dinamik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları.....48
Şekil 4.19. 70/100 bitüm statik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları 48
Şekil 4.20. 70/100 bitüm dinamik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları.....49
Şekil 4.21. 50/70 bitüm statik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları.....49
Şekil 4.22. 50/70 bitüm dinamik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları.....50
Şekil 4.23. 70/100 bitüm statik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları.....50
Şekil 4.24. 70/100 bitüm dinamik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları.....51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 2.1. Tek eksenli ile yapılan test sonuçları (Brown ve Foo, 1994) 12
Tablo 2.2. Üç eksenli ile yapılan test sonuçları (Brown ve Foo, 1994) 13
Tablo 3.1. 50/70 Bitümün şartname limitleri 22
Tablo 3.2. 70/100 Bitümün şartname limitleri 23
Tablo 3.3. Aşınma tabakası Tip-1 agrega gradasyonu limitleri (Müdürlüğü, 2006).....25
Tablo 3.4. Agrega gradasyonu 26
Tablo 3.5. Numunelerin kodlaması 31
Tablo 4.1. Marshall deneyi için hazırlanan briketlerin ölçümü 34
Tablo 4.2. Briketlerin marshall deneyi sonuçları 35
Tablo 4.3. Tek eksenli statik yükleme deneyi numune ölçümleri.....40
Tablo 4.4. Tek eksenli dinamik yükleme deneyi numune ölçümleri.....41
Tablo 4.5. Üç eksenli statik yükleme deneyi numune ölçümleri 44
Tablo 4.6. Üç eksenli dinamik yükleme deneyi numune ölçümleri 45

1. GİRİŞ

Ulaşım, insanların ve eşyaların bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Ülkemizde birçok ulaşım sistemi bulunmakla birlikte karayolu ulaştırması % 95'lik bir payla en önemli yere sahiptir.

Karayolu kaplamaları taban zemininin üzerine esnek, rijit ve yarı rijit olarak inşa edilen farklı performans özellikleri olan üst yapılardır. Bu yapılar çeşitli olmasına rağmen en yaygın yol kaplaması esnek üst yapılardır.

Esnek üstyapı, gelen yüklerin çoğunluğunun üst yapıyı oluşturan bağlayıcılı ve bağlayıcı olmayan tabakalar tarafından karşılandığı, kalanının tabana iletildiği üstyapı tipidir. Esnek Üstyapı, yukarıdan aşağıya aşınma tabakası, binder, temel ve alttemelden oluşur. Her bir tabakanın kalınlıkları hizmet ömrü boyunca geçecek Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değerlerine göre belirlenir (Orhan, 2001). Bu tez çalışmasında bitüm içeren aşınma tabakası için deneyler yapılmıştır.

Aşınma tabakası, yüksek standartlı yollarda en üstte bağlayıcı içeren tabakadır. Yükün büyük bölümünü karşılamaktadır. Aşınma tabakası çeşitleri Karayolları tarafından aşınma tip 1 - tip 2 ve tip 3 olarak belirlenmiştir. Bunlar alt ve üst sınırları ile belirlenmiş gradasyon yüzdelerinde agrega ve yine alt - üst limitlerde bitüm içerir.

Agrega, belli gradasyonda ve kaliteye sahip kayaç parçaları, çakıl, kırmataş, kum vb. gibi mineral malzemeler ve bunların karışımıdır.

Bitüm, hidrokarbonlar ve türevlerinden oluşan oldukça yapışkan, katı forma yakın, karbon disülfür tarafından çözünen ve uçucu bileşenlerin buharlaştırılması ile elde edilen petrol kalıntısıdır (Çelik, 1996).

Agregaların iyi bir karıştırma ve işlenebilirlik için ısıtılması, bitümlü bağlayıcının ise uygun bir akıcılığa gelmesi amacıyla ısıtılmasından sonra, agrega ve bitümün bir tesiste karıştırılması ile hazırlanan karışımlara bitümlü sıcak karışım (BSK) denilmektedir.

Yol kaplaması tasarımının amacı, beklenen trafik için tatmin edici bir hizmet seviyesi sağlayacak en ekonomik katmanlı kaplama yapısını seçmektir. Bunu başarmak için tasarımcı, malzemeler, trafik, yerel çevre ve etkileşimleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmalıdır (Çelik, 1996).

Her geçen gün artan asfalt üretimi ve sınırlı ekonomik olanakları olan ülkemiz gibi kalkınmakta olan ülkeler için kaynakların kullanımı önem arz etmektedir. Tekrarlı trafik yükleri zamanla yol katmanlarında deformasyonlara sebep olmaktadır. Kaliteli bir

üstyapı tasarlamak için, kullandığımız malzemelerin performanslarını önceden bilmek önemlidir. Bu yüzden asfaltın yerinde maruz kaldığı yükler ve sıcaklıkları daha iyi temsil edecek performans esaslı deneyler ile tasarımların yapılması gerekmektedir.

Bitümlü Sıcak Karışımların laboratuvar performanslarının belirlemek için kullanılan birçok farklı deney türü vardır. Türkiye'de BSK için geliştirilmekte olan üç eksenli deneyinin diğer performans deneyleri ile kıyaslayabilmek ve farklarını görmek açısından tek eksenli deneyi ile elde edilen sonuçlar ile arasındaki farklılıklar yorumlanmıştır.

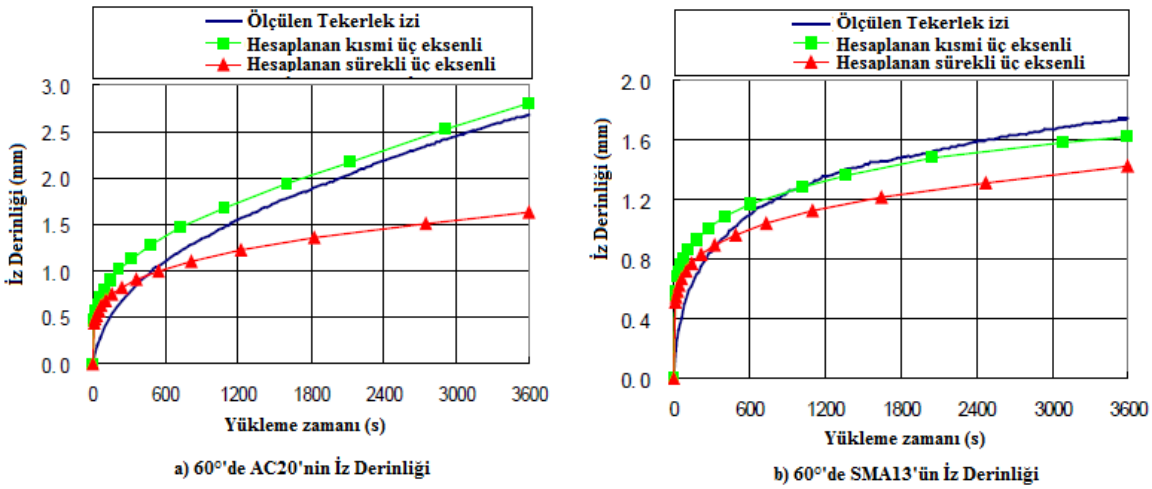
Tasarım yaparken kullanılan ampirik yöntemler sadece kabul-ret ölçütü olarak kullanılan yöntemlerdir. Bunlardan ziyade son yıllarda yapılan çalışmalarda daha gerçekçi sonuçlar veren deneylere yönelim artmıştır. Çevre koşullarını ve malzemenin yerindeki davranışını daha iyi temsil eden üç eksenli basınç deneyi bunlardan biridir. Tek boyutta yapılan deneylere kıyasla sağladığı yanal basınç malzemenin kaplama içindeki davranışını daha iyi temsil edeceği düşünülmektedir (Çetin, 2011).

Bu yüzden bu çalışmada Marshall metodu ile belirlenen en uygun ve ± % 0,5 bitüm yüzde ile hazırlanan Bitümlü Sıcak Karışım numuneleri üzerinde aşağıdaki deneyleri yapıp kıyaslamaları yapılmıştır.

- Tek Eksenli Statik Yükleme: Numune etrafında herhangi bir sınırlama olmadan tek eksende ve sabit bir yükleme altında numune davranışının gözlemlendiği bir testtir (Brown ve ark., 2001).
- Tek Eksenli Tekrarlı Yükleme: Numune etrafında herhangi bir sınırlama olmadan tek eksende ve yükle-boşalt tekrarlı yükleme altında numune davranışının gözlemlendiği bir testtir (Brown ve ark., 2001).
- Üç Eksenli Statik Yükleme: Numunenin etrafında hava kullanarak sağlayacağımız sınırlama ile iki eksende sabit yükleme ve dikey yönde sabit bir yükleme altında numune davranışının gözlemlendiği bir testtir (Brown ve ark., 2001).
- Üç Eksenli Tekrarlı Yükleme: Numunenin etrafında hava kullanarak sağlayacağımız sınırlama ile iki eksende sabit yükleme ve dikey yönde yükle-boşalt tekrarlı yükleme altında numune davranışının gözlemlendiği bir testtir (Brown ve ark., 2001).

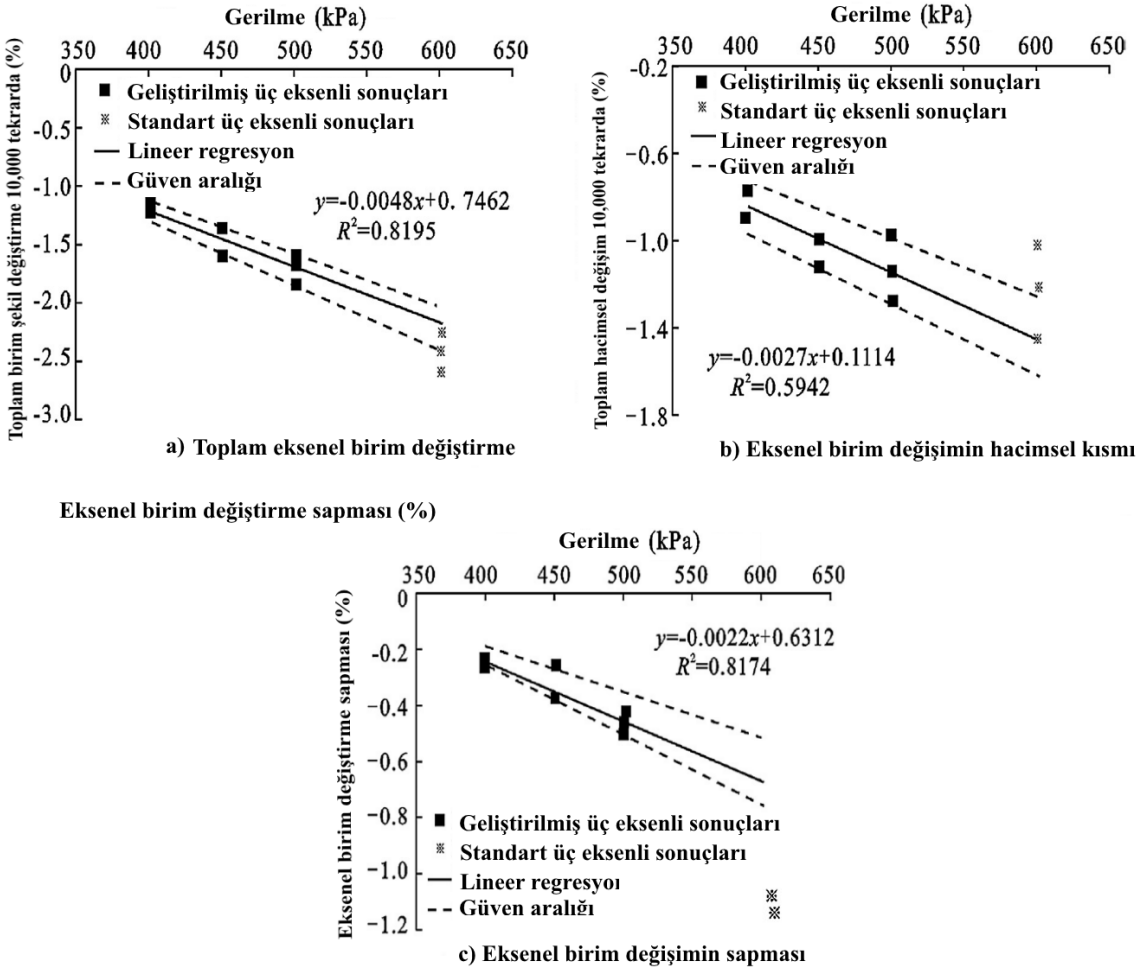
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Huang ve Zhang, 2010), yaptıkları çalışma sonucunda BSK numunelerinin deformasyon direncini belirlemek için yeni bir test tasarlamıştır. Bu test için numuneler 150 mm × H80 mm ve yükleme levhası çapı 75 mm olarak belirlemişlerdir. 40 °C ve 60 °C' de gerçekleşen deneyler sonucunda formül ile hesaplanan kısmi yüklemeli üç eksenli deney sonuçları, sürekli yüklemeli üç eksenli deney sonuçlarına göre gerçek değerlere daha yakın olduğu görülmüştür (Şekil 2.1.). Bunun sonucunda ekipmanlarının düşük maliyetli olması ve numunelerin kolay üretimi sebebiyle kısmi üç eksenli deneyinin kalıcı deformasyonu belirlemede kullanılabilecek bir test metodu olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.1. 60 °C'de ölçülen tekerlek izi ile hesaplanmış arasındaki karşılaştırmalar (Huang ve Zhang, 2010)

Üç eksenli dinamik yükleme altında BSK'nın deformasyon direnci test edilmiştir. Yüklenmenin dinamik olması, tekerlek taklidi yaparak trafik yükü altındaki malzeme davranışını daha iyi modellemektedir. Yapılan deneyler sonucunda değişken karışımlar için dinamik ve statik yükleme ve sınırlama basıncı altında üç eksenli deneyleri sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda üç eksenli dinamik yükleme testinin gerçekliğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 2.2) (Hofko, 2015).

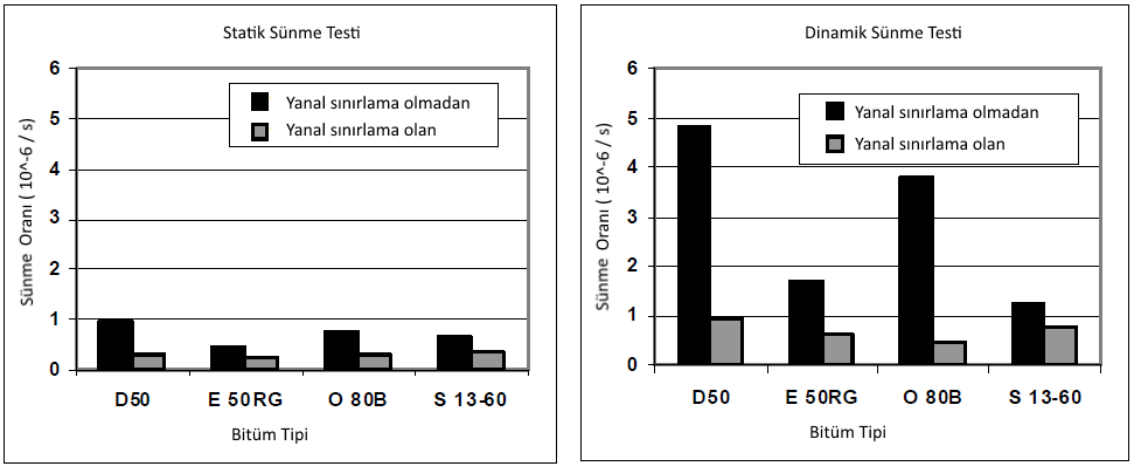


Şekil 2.2. Standart ve geliştirilmiş üç eksenli deneyleri arasındaki sonuç farkları (Hofko, 2015)

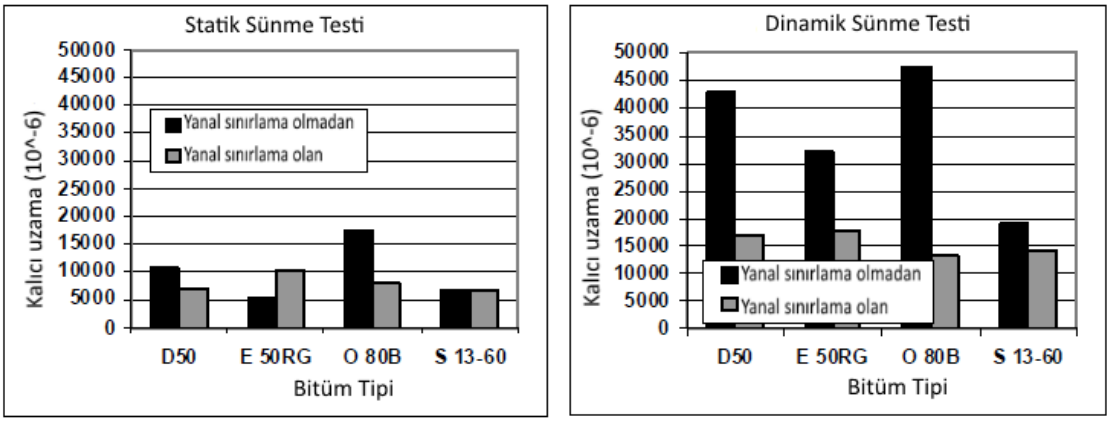
Bu konuda yapılan başka bir çalışmada, 10 °C ile 50 °C aralığında sıcaklıklarda ve 0,1 Hz ile 30 Hz frekans bandında deneyler gerçekleştirilmiştir. Standart test prosedüründe kontrolü basitleştirmek açısından yanal basınç sabit tutulmaktadır. Faz açısı ile değişken bir yanal basınç uygulamasının daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir. Çalışmada ise; sabit yanal basınç ile sinüzoidal yanal basınç sonuçları karşılaştırılmış ve tartışılmıştır (Hofko ve Blab, 2011).

Bu konuda yapılan başka bir çalışmada, yanal sınırlama olmadan yapılan deneylerde agreganın içsel sürtünmesinin görmezden gelindiği yanal sınırlamalı deneylerde ise bunun çok önemli rol oynadığı görülmüştür. Deneyler çoğunlukla yanal basınç olmaksızın tek eksenli şekilde yürütülmektedir. Tek eksenli yapılan deneylerde çoğunlukla agreganın iç sürtünmesi bitüm kohezyonu tarafından göz ardı edilir. Bu test uygulaması daha kolaydır fakat gerçek yüklere göre çok farklılık göstermesi dezavantajıdır. Yapılan deney sonuçlarında Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de görüleceği üzere

yanal basınçlı yapılan deneylerde numunelerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Dołżycki ve Judycki, 2008).



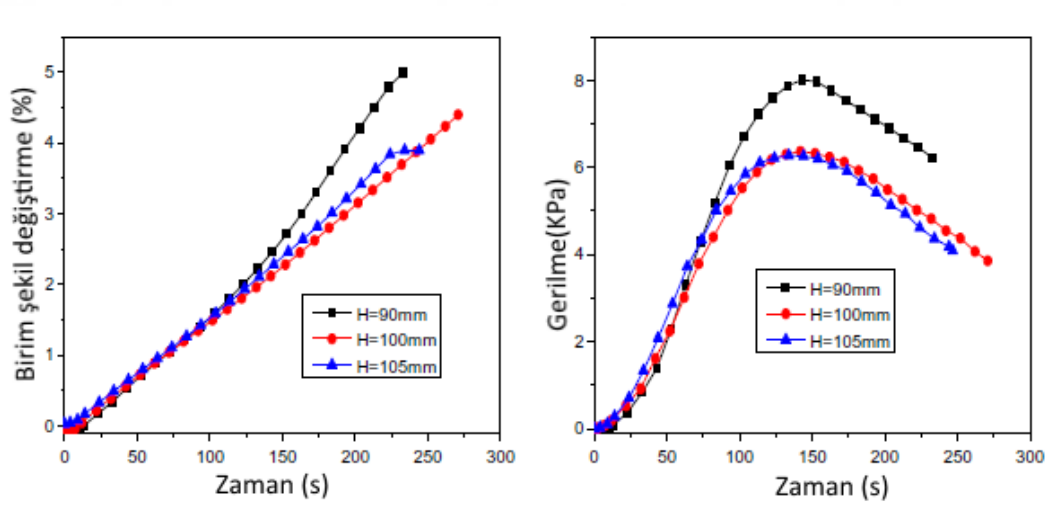
Şekil 2.3. Statik ve dinamik testleri sünme oranları (Dołżycki ve Judycki, 2008)



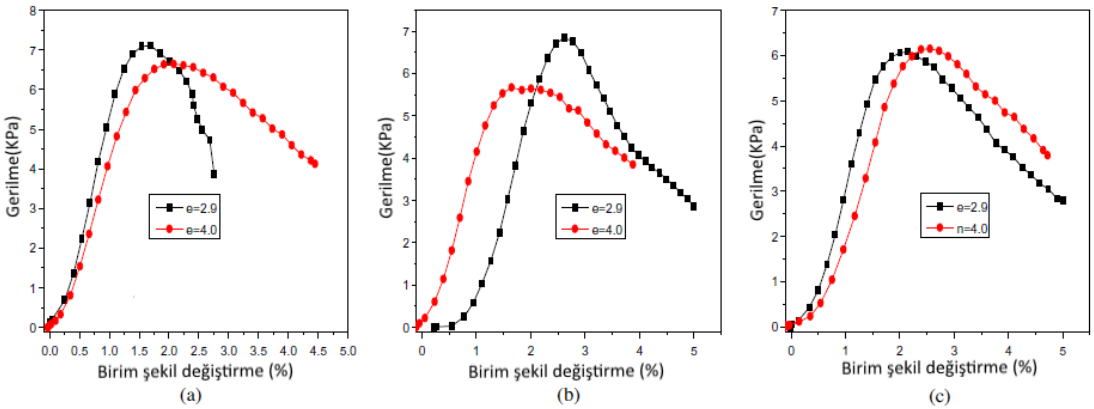
Şekil 2.4. Statik ve dinamik testleri kalıcı çekme sonuçları (Dołżycki ve Judycki, 2008)

BSK'nın mekanik davranışı trafik yüklerinin miktarına, sıklığına ve çevresel koşullara bağlıdır. BSK'nın malzeme özelliklerini değerlendirmek için tek eksenli basınç testleri kullanılma çabalarına rağmen daha gerçekçi sonuçlar için çok eksenli gerilme koşullarında test yapılması zorunludur. Yapılan çalışmada, 50 kN tekerlek yükünde 40 °C ve 50 °C sıcaklık kabulü yapılarak; sıcaklığın, yükleme hızının ve sınırlamanın BSK basınç dayanımı üzerindeki etkileri üç eksenli deneyi ile değerlendirilmiştir. Asfalt betonunun dayanma gücü ve sertliğinin, yükleme hızı ve sınırlama basıncı ile doğru orantılı sıcaklık ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır (Wang ve ark., 2016).

Yapılan bir başka çalışmada, numune yüksekliği ve boşluk oranının tekerlek izi üzerindeki etkileri kısmi üç eksenli deneyi incelenmiştir. Tekerlek izi mukavemeti boşluk oranı ile ters orantılı olduğu ve aynı boşluk oranında yükseklikle de ters orantılı değiştiği görülmüştür (Şekil 2.5). Farklı boşluk oranlarında gerçekleştirilen deneylerde ise düşük boşluk oranında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 2.6). Sonuç olarak kısmi üç eksenli deneyinin üç eksenli deneyin birçok avantajını sağladığı görülmüştür. Ayrıca yanal basınç kaynağının asfalt olması (numune çapının yükleme plakasının çapından geniş olup numunenin yük almayan kısımlarının deformasyon direncine yanal basınç olarak katkı sağlaması) yanal basıncın yükleme hızı ve sıcaklığa göre ayarlaması avantajını kazandırmaktadır (Zhang ve ark., 2015).



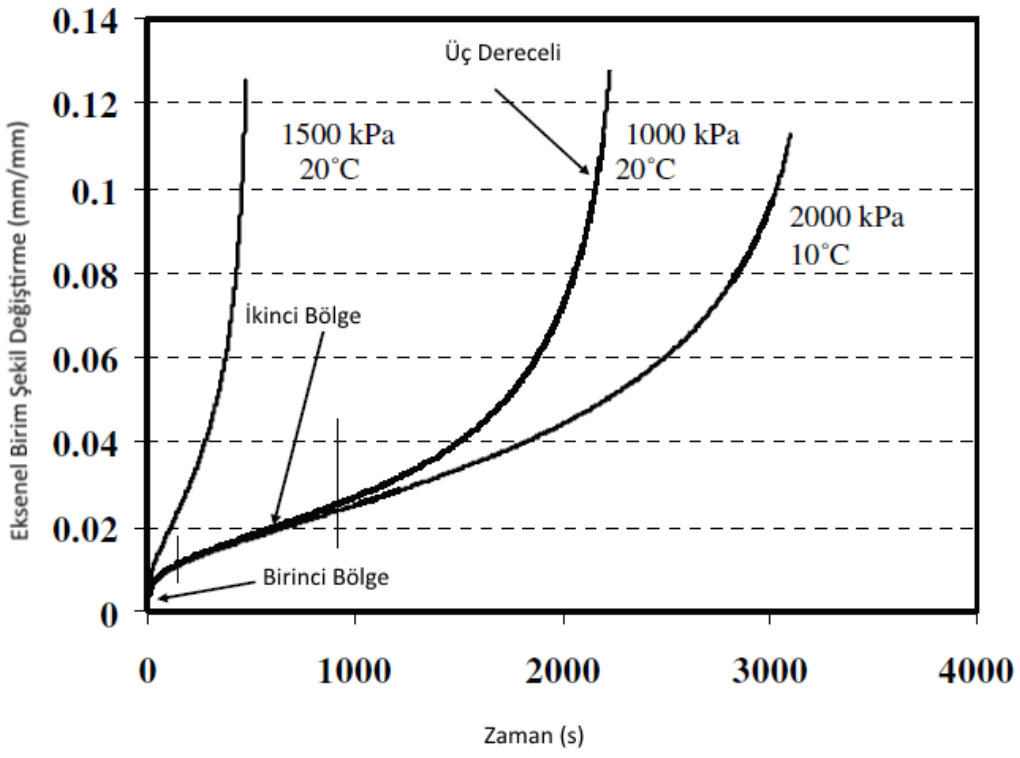
Şekil 2.5. Hava boşluğu içeriği % 5,7 olan farklı yüksekliklerdeki numuneler için birim şekil değiştirme-zaman ve gerilme-zaman eğrileri (Zhang ve ark., 2015)



Şekil 2.6. (a) 90 mm, (b) 100 mm ve (c) 105 mm yükseklikleri için farklı boşluk oranlarında gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri (Zhang ve ark., 2015)

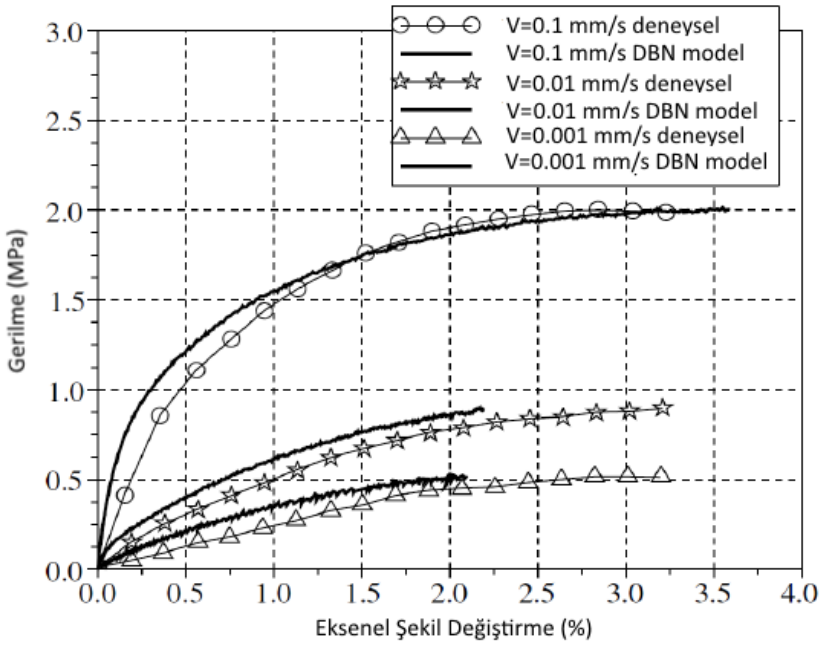
Gerçekte asfalt içindeki malzemeler üç boyutlu karmaşık bir yüklemeye maruz kalmaktadır. Bu yüklemeyi benzetmek zorudur. Bu yüzden sıklıkla tek eksenli ve üç eksenli deneyler yapılmaktadır. Yapılan çalışmada, tek eksenli ve üç eksenli kararlı deformasyon halleri incelenmiştir. Çeşitli yükleme hızları ve miktarlarında 10 °C ile 40 °C arasında değişen sıcaklıklarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında sıcaklığı korumak için numuneler sıcaklık kontrollü dolaplarda 12 saat süre ile bekletilmiştir. Hedef sınırlama basıncı numuneye uygulandıktan sonra ön gerilme uygulanarak izlenmiştir. Üç eksenli deneyler 35 °C' de yapılmıştır. Yüksek kilitlenmiş karışımlarda kararlı hal deformasyon davranışında sertleştirici bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur (Taherkhania, 2011).

Tek eksenli deney sonuçları Şekil 2.7'de görüldüğü üzere grafikler 3 parçada değerlendirilmiştir. Birinci bölümde uzama oranın düştüğü, ikinci bölgede uzama oranının sabit olduğu ve üçüncü bölgede ise uzama oranının hızla arttığı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere sıcaklık artışı ve yükleme hızının azalması kararlı durum gerilmesinde azalışa sebep olmaktadır. (Taherkhania, 2011).

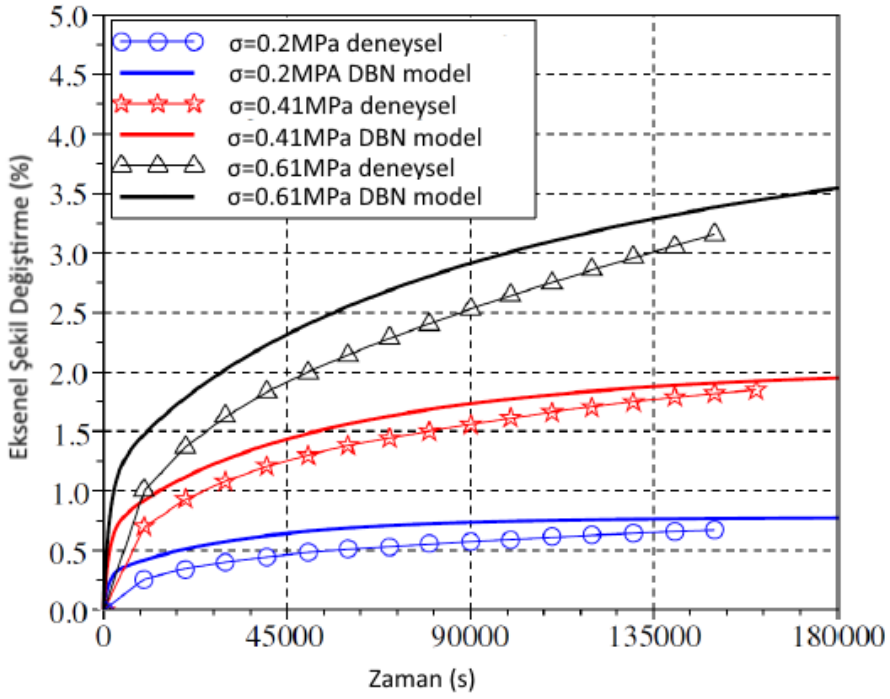


Şekil 2.7. Tek eksenli deney sonuçları (Taherkhania, 2011)

BSK'ın en önemli deformasyon biçimi tekerlek izidir. Üç eksenli deneyi gerçekçi gerilme durumlarını incelemek için yeni bir test metodudur. 0 °C ile 60 °C arasında sıcaklık kontrolü yapabilen ve 80 mm ve 100 mm çaplı numunelere gerilme uygulayabilen bir cihaz kullanılmıştır. Deneyler kamyon hızı (60 km/s) (10 Hz) döngüsünde sabit eksenel kısalma düzeyinden (0,1 mm/s, 0,01 mm/s, 0,001 mm/s) olmak üzere 20 °C'de ve sabit eksenel yükleme düzeyinde (0,2 MPa, 0,4 MPa, 0,6 MPa) olmak üzere 10 °C'de gerçekleştirilmiştir. Sabit eksenel deformasyonda beklendiği üzere yüksek deformasyonlarda daha yüksek eksenel yüklemeler oluşmaktadır (Şekil 2.8). Testlerde gerilme en üst seviyeye çıktıktan sonra deneyi durdurana kadar azalmaktadır. Bu düşüsün açıklaması testlerin sonunda kayma bantları görülmüştür. Sabit eksenel deformasyon testlerinde yine beklenildiği üzere gerilme arttıkça deformasyonlarda artışlar görülmüştür (Şekil 2.9). Doğru yükleme koşulları ve test sıcaklığında yapılan üç eksenli deneylerin gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır. *"DBN modeli ilk geliştirilen termo-visko-elasto-plastik yasadır. DBN modeli küçük gerilme genlikleri için doğrusal bir visko elastik davranış, daha yüksek gerilme seviyelerinde ise doğrusal olmayan viskoplastik akış gerektirmektedir. Bu iki davranış türü başlangıçta hiperbolik olarak seçilen bir ilişki aracılığıyla birbirine bağlanır"* (Sohm ve ark., 2010).

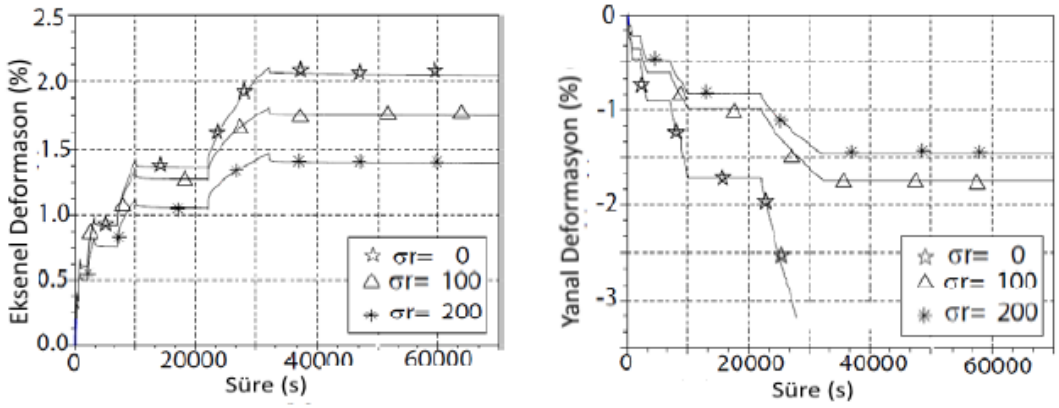


Şekil 2.8. 20 °C'de üç farklı uzama oranında DBN modeli ve deneysel değerlerin gösterimi (Sohm ve ark., 2010)

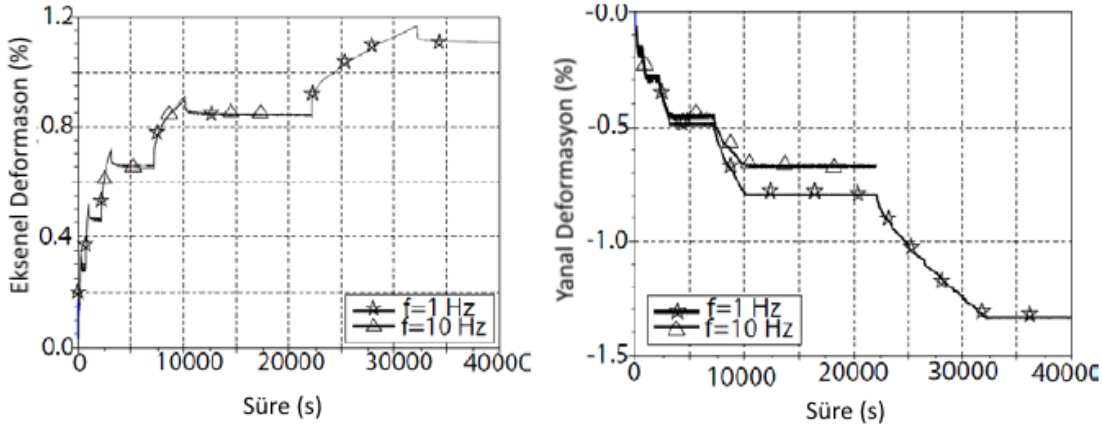


Şekil 2.9. 10 °C'de üç farklı gerilme seviyesinde deneysel değerlerin ve DBN modeli gösterimi (Sohm ve ark., 2010)

Bitümlü karışımların reolojik davranışlarını incelemek için en yaygın yöntem sıcaklık kontrollü, sabit veya döngüsel yüklemeli tek eksenli testlerdir. Fakat tekerlek izi açısından yanal basınçla üç eksenli testinin önemi vurgulanmıştır. Blanc ve ark. tarafından yapılan çalışmada, iki farklı test metodu geliştirilmiştir. Kalıcı deformasyon değerine, frekans ve yanal basıncın etkisini incelemek için test 1 (T1), aynı numune üzerinde farklı frekans ve yanal basınç değerleri uygulanarak incelemek için test 2 (T2) yapılmıştır (Şekil 2.10). Yapılan deneylerin sonucunda ise; yanal basınç ve yüklemenin frekansı kalıcı deformasyonla ters orantılı olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 2.11) (Blanc ve ark., 2015).



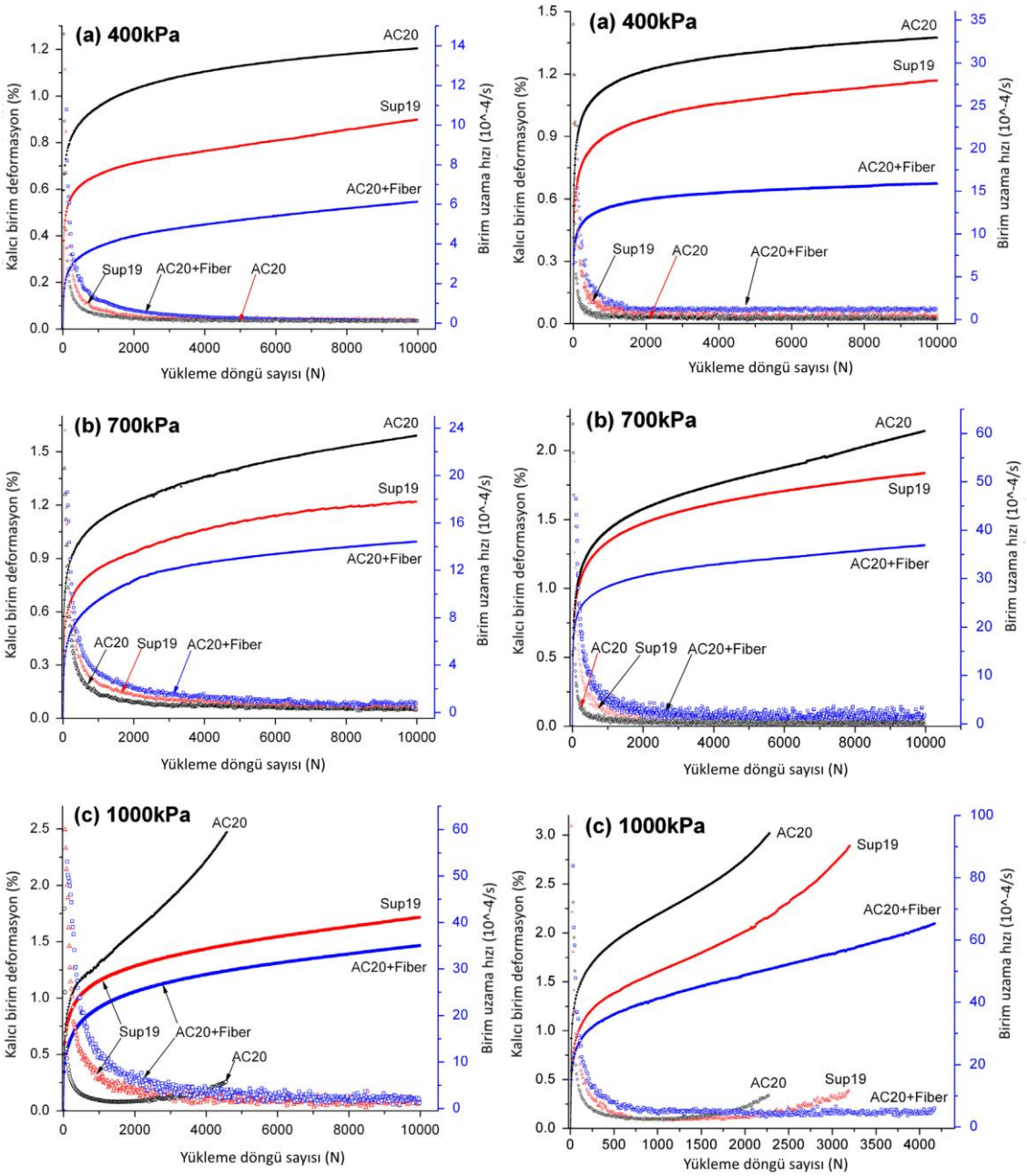
Şekil 2.10. Farklı yanal basınçlarda Eksenel deformasyon - Süre ve Yanal deformasyon - Süre grafikleri (Blanc ve ark., 2015)



Şekil 2.11. Farklı yükleme frekanslarında Eksenel deformasyon – Süre ve Yanal deformasyon – Süre grafikleri (Blanc ve ark., 2015)

Bu konuda yapılan başka bir çalışmada, polyester elyafın yüksek sıcaklıklardaki BSK numunelerinin kalıcı deformasyonu üzerine üç eksenli ve kısmı üç eksenli deneyleri yapılarak etkisini araştırmıştır. Üç eksenli testi 60 °C'de 138 kPa'lık sabit yanal basınç ile 400, 700 ve 1000 kPa'lık eksenel yüklemelerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler üçüncü kademede başarısız oluncaya veya 10000 döngüye kadar 0.1sn yükleme 0,9sn dinlenme süreleri ile test edilmiştir. Kısmi üç eksenli testi ise 60 °C'de 400, 700, 1000 kPa'lık eksenel yüklemelerde 150 mm numune çapı 75 mm yükleme plakası çapı olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları üç kademede değerlendirilmiştir. Şekil 2.12'de görüleceği üzere kısmi üç eksenli deneyinde kalıcı deformasyonlar üç eksenli deneyine göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi ise kısmi üç eksenlide numunedeki mikro hasarlar yanal basıncın değişmesine sebep olmaktadır. Üç eksenlide ise sabit sınırlama basıncı uygulanmaktadır. Uzama hızında ise birinci

bölümde hızla düşmektedir. İkinci bölümde ise kısmen sabittir ve bu karakterizedir. Üçüncül bölgede ise hız tekrar artmaktadır. Bunun sebebi ise numune fazla deformasyon aldığını ve agrega parçalarının birbirinden ayrı hareket ettiğini gösterir (Xu ve ark., 2014).



Şekil 2.12. Sol: Üç eksenli deneyi sonuçları – Sağ: Kısmi üç eksenli deneyi sonuçları (Xu ve ark., 2014)

Bu konuda yapılan bir başla çalışmada, sınırlama ve sınırlamasız sünme testleri kıyaslanmıştır. Belirlenen optimum şartlarda (% 5,2 asfalt, % 4,0 hava boşluğu), iki farklı yükseklikte (50,8 mm ve 101,6 mm) ve 55,2 kPa yük artırımı olmak üzere tek

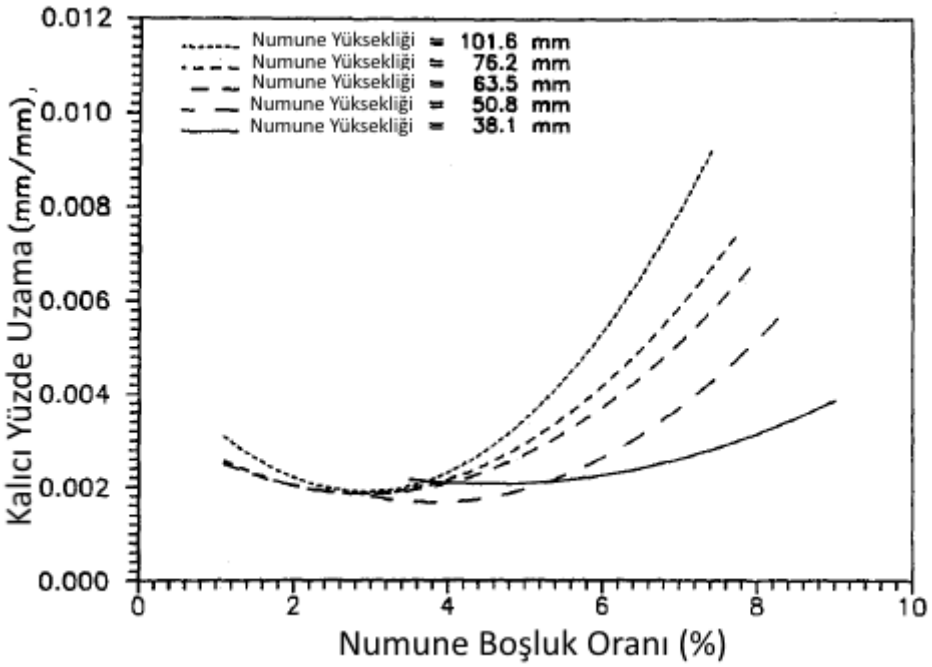
eksenli deneyi 828 kPa ve 60 °C'de sınırlama olmadan, üç eksenli deneyi 828 kPa, 60°C ve 138 kPa sınırlama basıncı ile test edildi. Tek eksenlide numuneler zayıf kaldı ve başarısız oldu bu yüzden 27,6 kPa yük artırımı ve 40 °C'de gerçekleştirildi. Tek eksenlide yüksek hava boşluklarında başarısızlık gerilmesinin düştüğü görülmektedir (Tablo 2.1). Üç eksenlide ise başarısızlık gerilmesinin 60 °C'de 828 kPa'dan büyük olduğu görülmektedir (Tablo 2.2). Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de görüleceği üzere numune boşluk oranı arttıkça daha yüksek kalıcı deformasyon oluşmakta ve numune yüksekliğinin önemi artmaktadır. Yüzde 3 ile 4 arasında boşluk oranlarında ise numune yüksekliğinin önemi azalmaktadır. Sonuç olarak üç eksenli deneyinin yerindeki şartları daha iyi yansıtacağı görülmüş ve uygun deney şartları için; test sıcaklığı: 60 °C, uygulanan eksenel gerilme:828 kPa, sınırlama basıncı: 138 kPa, yükleme süresi: 60 dk ve dinlenme süresi:15 dk olarak belirlenmiştir (Brown ve Foo, 1994).

Tablo 2.1. Tek eksenli ile yapılan test sonuçları (Brown ve Foo, 1994)

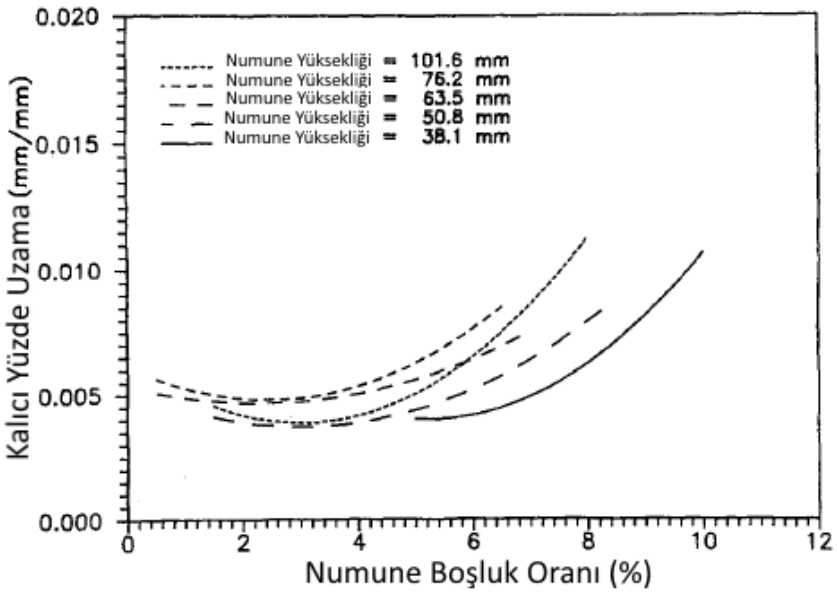
Sınırlanmamış Sürünme İçin İdeal Test Koşullarına Aşamalı Yüklenen Örnekler			
NUMUNE NUMARASI	YÜKSEKLİK(mm)	HAVA BOŞLUĞU(%)	BAŞARISIZ OLDUĞU YÜKLEME (kPa)
U2A	51,8	8,85	193,2
U2B	51,8	6,70	248,4
U2C	51,8	5,60	303,6
U2D	51,8	5,12	>331,2*
U2E	51,8	2,85	>331,2*
U4A	101,6	9,54	165,6
U4B	101,6	6,49	220,8
U4C	101,6	3,66	248,4
U4D	101,6	2,26	>331,2*
U4E	101,6	1,32	>331,2*
*Test durdurulduğunda numune başarısız olmamıştı.			

Tablo 2.2. Üç eksenli ile yapılan test sonuçları (Brown ve Foo, 1994)

Sınırlanmış Sürünme İçin İdeal Test Koşullarına Aşamalı Yüklenen Örnekler			
NUMUNE NUMARASI	YÜKSEKLİK(mm)	HAVA BOŞLUĞU(%)	BAŞARISIZ OLDUĞU YÜKLEME (kPa)
U2A	51,8	9,07	>828*
U2B	51,8	6,60	>828*
U2C	51,8	5,17	>828*
U2D	51,8	4,86	>828*
U2E	51,8	3,50	>828*
U4A	101,6	9,45	>828*
U4B	101,6	6,31	>828*
U4C	101,6	3,81	>828*
U4D	101,6	1,79	>828*
U4E	101,6	1,03	>828*
*Test durdurulduğunda numune başarısız olmamıştı.			

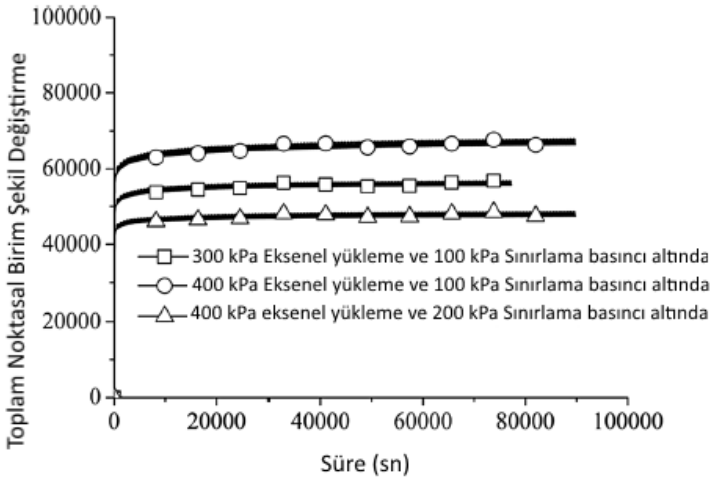


Şekil 2.13. Tek eksenli deneyi farklı yüksekliklerdeki test sonuçları (Brown ve Foo, 1994)

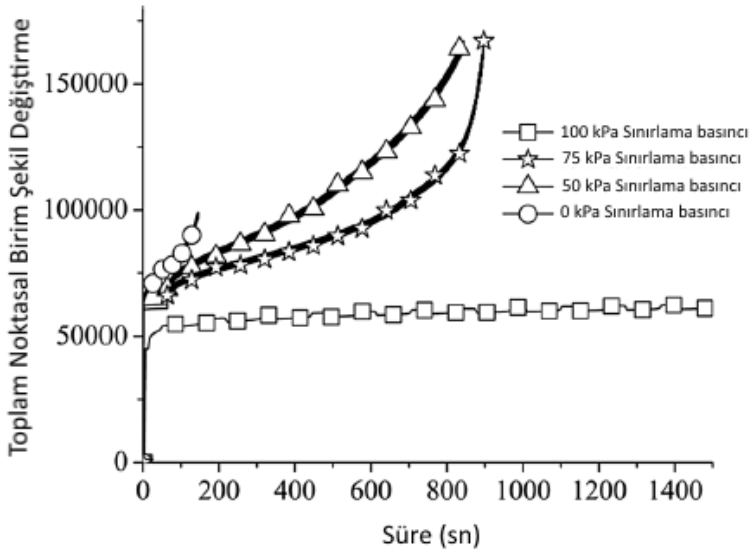


Şekil 2.14. Üç eksenli deneyi farklı yüksekliklerdeki test sonuçları (Brown ve Foo, 1994)

Bu konuda yapılan bir başka çalışmada, farklı deney şartlarında 1 sn yüklemeli 2 sn dinlendirmeli trapez dalga formu yüklemesinden oluşan üç eksenli deneyi yaparak üç aşamalı eğri elde edilmeye çalışılmıştır. Kalıcı deformasyonu karakterize eden üç aşamalı sünme eğrisi, tekerlek izi tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 2.15'de görüleceği üzere 3 farklı test şartlarında gerçekleştirilen deneylerde üç aşamalı eğri elde edilememiştir. Daha mukayeseli hale getirmek için 600 kPa düşey gerilme altında 60 °C'de 0-100 kPa yanal sınırlama altında gerçekleştirilen deneylerde (Şekil 2.16) ise 75 kPa yanal basınç durumunda üç aşamalı eğri elde edilmiştir (Gayathri ve ark., 2016).



Şekil 2.15. 60 °C'de üç farklı koşulda gerçekleştirilen testlerin sürünme eğrileri (Gayathri ve ark., 2016)



Şekil 2.16. 60 °C'de 600 kPA yükleme altında farklı sınırlama basınçları ile elde edilen sürünme eğrileri (Gayathri ve ark., 2016)

Asfalt yüzeyindeki kalıcı deformasyon en büyük sıkıntılardan biridir. Seviyeye bağlı olarak trafik güvenliği, sürüş konforu ve genel asfalt ömrü döngüsü için büyük sıkıntıdır. Miljković ve Radenberg'ın yaptığı çalışmada, BSK numuneleri üzerinde üç eksenli ve tek eksenli statik ve dinamik yüklemeler yapıp incelenmiştir. Bulunan sonuçlar itibariyle dinamik yüklemenin BSK numunelerinin yerinde karışım performansı hakkında iyi fikir verdiği sonucuna varılmıştır (Miljković ve Radenberg, 2011).

Yapılan yolların büyük çoğunluğunun asfalt kaplama olmasına rağmen tasarım metodunun hala eksiklikleri vardır. Tekerlek yükü altındaki BSK üç boyutlu karmaşık gerilme durumundadır. Tek boyutlu yapılan incelemeler başarısızlık özelliklerini ve BSK direncini belirlemez. Üç eksenli testi ise çekme dayanımının belirlenmesinde kullanılamamaktadır. 100 mm yüksekliğinde 100 mm çapında numunelerin içine 20 mm delik açılarak elde edilen yeni numunelerin kullanılacağı çekme dayanımını test edecek bir düzenek hazırlanmıştır. Sonuç olarak karmaşık gerilme durumunda asfalt karışımının başarısızlık şartları belirlenmiştir (Zheng ve Huang, 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deneylerde kullanılan malzemeler, numunelerin üretim şekli, karışım hesabı, numunelerin kodlanması, deneylerin yapıldığı cihazlar ve deney prosedürleri anlatılmıştır.

3.1. Karayolu Üstyapısı

Trafik yüklerini zemine aktaran ve kademeler halinde yapılan yapılara denir. Üstyapı, altyapı üstüne inşa edilen kaplama, temel ve alt temel katmanlarından oluşmaktadır. Taşıtların düzgün bir hareket yüzeyi sağlamak, gelen yükleri alt yapıya iletmek ve taşıyabileceği düzeye indirmek amacıyla inşa edilir (Umar ve Ağar, 1985).

Yol üst yapısı, uygulanacak güzergâhta iklim, trafik yoğunluğu ve zeminin özelliklerine göre rijit, esnek ve kompozit olmak üzere üç farklı şekilde yapılmaktadır. Rijit üstyapılar bağlayıcı olarak çimento ve su kullanılan beton yollardan oluşmaktadır. Esnek üstyapılarda ise bağlayıcı olarak bitüm kullanılmaktadır.

3.1.1. Esnek Üstyapılar

Esnek üstyapılar, dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan üstyapı çeşididir. Düşük standartlı ve yüksek standartlı olmak üzere iki tipte uygulanmaktadır. Trafik yoğunluğunun düşük olduğu ve ağır taşıtların bulunmadığı veya az bulunduğu durumlarda tercih edilmektedir. İlk yatırım maliyetleri düşüktür. Trafik yükünün ve ağır taşıt sayısın fazla olduğu yollarda ise yüksek standartlı esnek üst yapılar tercih edilmelidir (Arslan ve ark., 2011).

Maruz kaldığı trafik yükünü kendi içinde ileterek tabakalar aracılığıyla zemine aktarır. En alt tabakadan yukarıya doğru malzeme özellikleri iyileşmektedir.

3.1.2. Rijit Üstyapılar

Rijit üstyapılar, esnek üst yapılara göre daha uzun ömürlü, ekonomik ve dayanıklıdırlar. Günlük ağır taşıt/şerit sayısının fazla olduğu yollarda ve yıllık kalkış sayısının fazla olduğu yollarda kullanılmaktadır. Bağlayıcı olarak çimento ve su

karışımı kullanılmaktadır. Derzli donatısız, derzli donatılı ve derzsiz donatılı gibi çeşitleri vardır (Grubu, 2003).

3.1.3. Yarı Rijit Üstyapılar

Yarı rijit üstyapılarda, çimento bağlayıcılı granüler temel veya çimento ile stabilize edilmiş alttemel kullanılır. Daha sonra bitümlü temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakaları serilir. Yüksek standart dingil yüküne sahip yollarda dizayn trafik değerleri kullanılmaktadır (Önal ve Kahramangil, 1993).

3.2. Asfalt Betonu Kaplamlarda Oluşan Bozulma Türleri

Asfalt çeşitli bozulma türlerine sahiptir. Bunlardan bazıları oturma, çökme, tekerlek izi, kabarmalar, ondülasyonlar, asfaltın ayrışması ve çatlamalardır.

3.2.1. Oturmalar ve Çökmeler

Trafik yükünün beklenenden fazla olması veya alt yapının yeterince sıkıştırılmaması sonucu oluşan bozulmalardır.

Oturmalar; alt tabakaların kalınlıklarının yetersizliği, altyapının sıkıştırma eksikliği, üst yapı tabakasının taşıma gücünün zayıf olması, dolgu şevinde hatalar, yeraltı su seviyesi yüksekliği, drenaj eksikliği ve uygun olmayan bakım teknikleri gibi sebeplerden oluşan yarıçapı 2 m'yi, derinliği 100 mm'yi bulan bozulma türüdür (Güngör ve Sağlık, 2008).

Çökmeler; temel ve alt temelde meydana gelen stabilite yetersizliği, drenajın uygunsuzluğundan kaynaklı olarak temel altında su birikmesi, yapımda ya da işçilikte kusurların olması, altyapıyı oluşturan malzemede kil bulunması, altyapı katmanlarının yetersiz sıkıştırılması gibi sebeplerden oluşur. Derinlikleri 25 mm'den fazla ve yağış durumunda suyla dolan bozulma türüdür (Güngör ve Sağlık, 2008).

3.2.2. Tekerlek İzi Oluşumu

Tekerlek izi oluşumu (oluklanma); yol üst yapısındaki önemli bozulma türlerinden biridir. Ağır taşıt sayısındaki artış, ticari taşıtların yasal sınırların üzerinde

yük taşımaları, trafik yükünün tekrar sayısı, durağan yükler, malzeme seçiminin trafik yüklerine ve iklim koşullarına uygun olmaması ve yapım hataları gibi sebeplerden oluşur. Yolun enine düzgünlüğü bozulur bunun sonucu olarak şerit değiştirme zorlaşır, oluşan tekerlek izlerine yağışlı havalarda su birikmesi ve biriken suyun donması sonucu araçların kaymasına sebep olur (Kutluhan ve Ağar, 2011).

3.2.3. Kabarmalar

Kabarmalar; killi zeminlerin suya maruz kalması sonucu şişmesi veya zeminde bulunan suyun donması ve çözülmesi sonucu zemin şişmesi ile yukarıya doğru olan bozulmalardır.

3.2.4. Ondülasyonlar

Ondülasyonlar; belirli bir biçimde dalgaya benzer şekilde oluşan bozulmalardır. Tırmanma şeridi, kavşak ve otobüs duraklarında görülmektedir.

- Düşük stabiliteli karışım,
- Yetersiz tabaka kalınlığı,
- Düşük viskoziteli asfalt,
- Aşırı asfalt miktarı,
- Rutubet miktarı,
- Zayıf yapıştırma tabakası
- Ağır taşıtların yoğun durma-kalkma hareketi

gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır (Tunç, 2004).

3.2.5. Asfaltın Ayrışması ve Parçalanması

Asfaltın parçalanması; asfaltın soyulması, kusması, cilalanması gibi ayrışma çeşitlerini içeren agreganın kopmasıyla oluşan bozulmalardır. Trafik etkisiyle agrega ve bitümün ayrışması, kilden ve sudan kaynaklı olarak soyulma görülmesi, kimyasal etkilere sebep olan tuzlar ve yağlar, asfalt üretimi sırasında yüksek plent sıcaklığı, fazla kirli olan agregalar, düşük kaliteli karışımlar, karışımdaki filler oranının çok yüksek ya da çok düşük olması, yetersiz drenaj, yüzey kalınlığının uygunsuzluğu, kaplama ile alt

tabakanın iyi yapışmamış oluşu, asfaltta görülen kusma, agregada oluşan segregasyon (ayrışma) gibi sebeplerin birkaçının görünmesi sonucu oluşur (Umar ve Ağar, 1985).

3.2.6. Çatlamalar

Çatlamalar; trafik, çevre ve iklim etkileriyle genel olarak stabilite, yorulma ve yansıma çatlakları olarak çeşitli derinliklerde ve genişlikte oluşan bozulmalardır.

Stabilite çatlakları, kaplamaya gelen yüklerin tabanında oluşturduğu çekme gerilmesinin çekme mukavemetini geçtiği durumlarda tabakanın alt tarafında başlayıp zamanla yüzeyine çıkması sonucu oluşan bozulmadır.

Yorulma çatlakları; orta sıcaklıklarda ağır dingil yükleri ile asfalt kaplama tabakasının direncini kaybetmesi sonucu oluşan bozulmadır (Torun, 2015).

Yansıma çatlakları; bozulmuş bir yola yeni bir kaplama yapıldığında altında kalan tabakanın çatlaklarının yansıması sonucu tekrar bozulmasıdır.

Yükleme hızı ve sıcaklığa bağlı olan gerilme direnci çatlamaya karşı bitümün en önemli özelliğidir. Gerilme direnci sıcaklıkla ters, yükleme hızı ile doğru orantılıdır. Fakat çok düşük sıcaklıklar kırılganlığa sebep olduğundan gerilme direnci düşebilir (Çubuk, 2001).

3.3. Kullanılan Malzemeler

Bitümlü sıcak karışımların yapımında belirli gradasyonda agrega ve belirli oranlarda bitüm kullanılmaktadır.

3.3.1. Agrega

Hacimce ve ağırlıkça BSK'ın büyük bir yüzdesini oluşturan kum, çakıl, cüruf, kırmataş ve mineraller karışımından meydana gelir. Kaba, ince ve filler olmak üzere boyutlarına göre 3'e ayrılır.

- Kaba Agrega

Agrega dane boyutu belirleyen elek analizi deneyinde 4,75 mm'lik elek üzerinde kalan gruptur. Kaba agrega cinsi deformasyon direncini belirleyen bir faktördür.

- İnce Agrega

Boyutu 0,075 mm yani No.200 eleğinin üstünde kalan ve 4,75 mm'lik eleğin altında kalan agrega grubudur.

- Filler

0,075 mm elekten geçen malzemedir. Filler grubuna dahil olanlardan bazıları Silisli malzeme tozu, kalker tozu, portland çimentosudur. BSK hazırlanırken yüksek sıcaklıkta bitümlü malzemeyle kimyasal reaksiyon girmeden iyi bir yüzey adezyonu oluşturmalıdır.

Bitümlü Sıcak Karışım'ın % 90'dan ağırlıkça fazlasını, alt temel ve temel tabakalarının tamamını oluşturan agreganın her ne kökenden gelirse gelsin şartnamede istenilen özellikleri sağlaması gerekir. Yapılan dizayna ve tabakaya göre istenilen özellikler farklılık göstermektedir (Avcı, 2009).

3.3.1.1. Gradasyon

Gradasyon; agrega büyüklüklerine göre gösterdikleri dane dağılım oranıdır. Asfalt tabakalar halinde farklı kalınlıklardan oluştuğu için farklı maksimum dane boyutları ve farklı gradasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Esnek kaplamaların tabaka kalınlığı arttıkça kullanılacak agreganın maksimum dane boyutu da artmaktadır. Karışımda bulunan en büyük boyutlu danenin 1,5 katından az 3 katından fazla olmamak üzere tek seferde serilip sıkıştırılacak tabaka kalınlığı belirlenmektedir (Ilıcalı ve ark., 2001).

3.3.1.2. Sağlamlık

Agregalar sıkıştırma esnasında ve trafik yükleri altında kırılmaya, parçalanmaya ve gradasyonun bozulmasına karşı dirençli olmalıdır. Açık gradasyonlu agregalar yoğun gradasyonlu agregalara göre gradasyon bozulmasına uğraması daha yüksek ihtimaldir. Bu sebeple daha çok yüke maruz kalan üst tabakalar daha yoğun gradasyonlu yapılmaktadır (Tunç, 2004).

3.3.1.3. Dane şekli ve biçimi

Agreganın dane şekli, işlenebilirliği, sıkışabilirliği ve stabilitesini etkiler köşeli, kırılmış danelerin kullanımı tercih edilir. Dere malzemesi kullanılsa bile en az iki yüzeyi kırılmış olması gerekmektedir.

3.3.1.4. Porozite

Porozite; agreganın toplam hacminin içindeki boşluk hacminin yüzdesidir. Asfalt adezyonu için porozite en önemli özelliktir. Porozite ile asfalt adezyonu doğru orantılı olmasına rağmen % 2- % 2,5'den fazlası adezyonu arttırmamakla beraber bitüm ihtiyacını da arttırmaktadır.

3.3.1.5. Yüzey dokusu

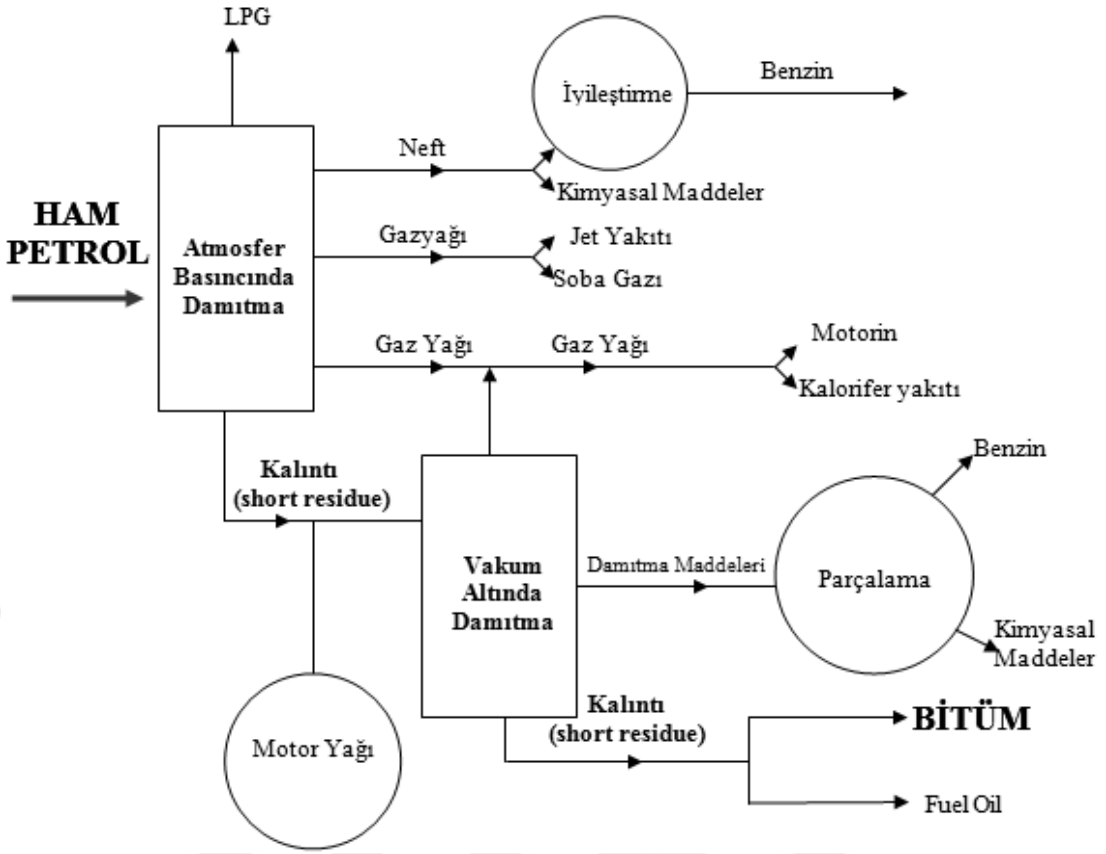
Yüzey dokusu agreganın yüzey pürüzlüğü ile belirlenir. Cilalanmış, az pürüzlü, pürüzlü, çok pürüzlü olarak sınıflandırılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü fazla olan agregaların kayma direnci fazladır.

3.3.1.6 Cilalanma direnci

Aşınma tabakasındaki agregaların trafik etkisi altında yüzey pürüzlülüğünün giderek cilalı bir biçime dönüşmesi ile yüzey sürtünme direncini azaltarak sürüş emniyetini düşürmektedir. Kullanılan agregaların cilalanmaya karşı dirençli olması önemlidir (Tunç, 2004).

3.3.2. Bitümler

Bitüm, hidrokarbonlar ve türevlerinden oluşan oldukça yapışkan, katı forma yakın, karbon disülfür tarafından çözünen ve uçucu bileşenleri buharlaştırılması ile elde edilen petrol kalıntısıdır (Çelik, 1996) (Şekil 3.1). Bitüm kısaca, bitümlü kaplamaların yapımında kullanılmak üzere kıvamlılık ve kalitesi bakımından özel olarak hazırlanmış olan yumuşatılmış veya yumuşatılmamış bir bağlayıcı olarak tanımlanabilir (Read ve Whiteoak, 2003). Deneylerde Kırıkkale rafinesinden alınmış iki tip bitüm kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Bitümün elde edilme aşamaları (Lav ve Lav, 2004)

Penetrasyon değeri 50-70 olan bitümdür. Karayolları şartname limitleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. 50/70 Bitümün şartname limitleri

Sıra No	Deneyin Adı	Standardı	B 50/70
1	Penetrasyon, (25 °C) 0,1mm	TS EN 1426	50-70
2	Yumuşama Noktası °C	TS EN 1427	46-54
3	Fraass Kırılma Noktası, °C	TS EN 12593	≤-8
4	Yaşlanmaya Karşı Dayanım	TS EN 12607-1	
4.1	Kütle Değişimi,%		≤0,5
4.2	Kalıcı Deformasyon,%	TS EN 1426	≥50
4.3	Yumuşama Noktası Yükselmesi, °C	TS EN 1427	≤9
5	Parlama Noktası, °C	TS EN ISO 2592	≥230
6	Çözünürlük, %	TS EN 12592	≥99,0
7	Parafinin Mumu İçeriği,%	TS EN 12606-1	≤2,2
		TS EN 12606-2	≤4,5

Penetrasyon değeri 70-100 olan bitümdür. Karayolları şartname limitleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. 70/100 Bitümün şartname limitleri

Sıra No	Deneyin Adı	Standardı	B 70/100
1	Penetrasyon, (25 °C) 0,1mm	TS EN 1426	70-100
2	Yumuşama Noktası °C	TS EN 1427	43-51
3	Frass Kırılma Noktası, °C	TS EN 12593	≤-10
4	Yaşlanmaya Karşı Dayanım	TS EN 12607-1	
4.1	Kütle Değişimi, %		≤0,8
4.2	Kalıcı Deformasyon, %	TS EN 1426	≥46
4.3	Yumuşama Noktası Yükseltmesi, °C	TS EN 1427	≤9
5	Parlama Noktası, °C	TS EN ISO 2592	≥230
6	Çözünürlük, %	TS EN 12592	≥99,0
7	Parafinin Mumu İçeriği,%	TS EN 12606-1	≤2,2
		TS EN 12606-2	≤4,5

3.4. Bitümlü Sıcak Karışımların Tasarımı ve Numunelerin Üretim Şekli

Bitümlü sıcak karışımlar belirli bir gradasyonda agrega ile bitümün karışımıdır. Asfalt kaplama tasarımının amacı iyi bir mukavemete sahip karışım için gerekli bitüm oranı, trafik dingil yükleri altında bozulmaya uğramayacak stabilite, stabiliteyi azaltmayacak şekilde boşluk oranını ve segregasyon olmayacak şekilde işlenebilirliğini belirlemektir.

Bitümlü sıcak karışım tasarımında birçok yöntem kullanılmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak Marshall Deneyi kullanılmakta ve yaptığımız bu çalışmada bu deney yönteminden faydalanılacaktır. Daha sonra belirlenen bitüm yüzdesinde üretilen numunelere üç eksenli deney cihazı ile testler gerçekleştirilecektir.

3.4.1. Marshall Deneyi

Marshall testi (Şekil 3.2), agrega granülometresinin belirlenmesi, agrega ve bitüm yüzdesi hesabı, briketlerle ilgili hesaplamalar ve boşluk analizleri, akma değeri ve stabilite belirlenmesi ve optimum bitüm yüzdesi tayini için kullanılmaktadır. Yapılan yüklemeyi ve deformasyonu gösteren cihaz numune başarısız olduğunda yüklemeyi bırakmaktadır. Bu son durumdaki yükleme ve deformasyon değerleri not edilir. Daha sonra yapılan işlemler sonucu çizilen grafiklerden optimum bitüm yüzdesi belirlenir. Dezavantajı bitümün sıcaklık ve yükleme şartlarında farklı davranışlar gösterilebileceği ihmal edilmektedir.



Şekil 3.2. Marshall test cihazı

3.4.1.1. Kullanılan Aletler

- Etüv: Agrega, bitüm ve işlemler sırasında kullanılacak malzemelerin ısıtılması için,
- Kaplar: gradasyona göre hazırlanan agrega karışımlarının etüvde ısıtılması için,
- Termometre: etüvün ve karışım sırasında sıcaklığı ölçmek için,
- Terazi: agrega ve bitümlü bağlayıcıyı ölçmek için,
- Elektrikli karıştırıcı: altında karışım sırasında sıcaklığını koruyan ısıtma düzeneği mevcuttur,
- Marshall kalıbı: bir taban levhası, şekil verme kalıbı ve sıkıştırma sırasında sıçramayı engelleyen üst koruma parçasından oluşur,
- Marshall tokmağı: numuneleri sıkıştırmak için,
- Kriko: sıkıştırma sonrası kalıplarda bekletilen numuneleri çıkarmak için,
- Su banyosu, deney öncesi istediğimiz sıcaklıkta numuneleri bekletmek için,

3.4.1.2. Karışımların Hazırlanması

Agregalar elek analizinden geçirilerek gruplandırıldı (Şekil 3.3). Deneylerin yapıldığı Aşınma Tip-1 için karayolları şartnamesi limitleri ise Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Aşınma tabakası Tip-1 agrega gradasyonu limitleri (Müdürlüğü, 2006)

Elek Boyu mm (in,No)	Aşınma Tabakası Tip-1
19 (3/4")	100
12,5 (1/2")	88-100
9,5 (3/8")	72-90
6 (1/4")	-
4,75 (No.4)	42-52
2,00 (No.10)	25-35
0,425 (No.40)	10-20
0,180 (No.80)	7-14
0,075 (No.200)	3-8



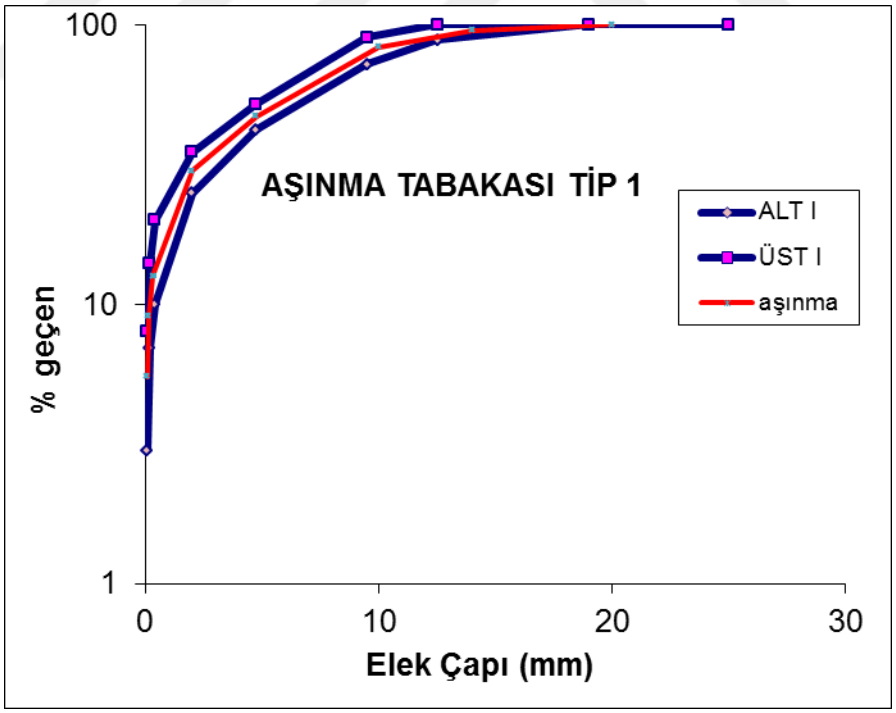
Şekil 3.3. Gruplandırılan agregalar

Daha sonra alt ve üst limitlerin ortalamaları alınıp ikisinin arasında bir gradasyon eğrisi elde edilmiştir. Farklı elek numaraları olduğundan dolayı regresyon ile onların geçen yüzdeleri belirlenmiş, Tablo 3.4'deki gradasyonda ve Şekil 3.4'deki

eğriye göre agrega karışımları elde edilmiştir. Karışımlar 2,4 kg'lık olarak yapılmıştır ve yapılan her karışımdan 2 adet numune çıkarılmıştır.

Tablo 3.4. Agrega gradasyonu

Elek Boyu mm	Aşınma Tabakası Tip-1
19,000	100,0
14,000	95,4
12,500	92,0
10,000	83,2
9,500	81,0
6,000	-
4,750	47,0
2,000	30,0
0,425	15,0
0,180	10,5
0,150	9,1
0,075	5,5



Şekil 3.4. Agrega gradasyon eğrisi

Agregalar üretim öncesi 24 saat 165 °C' lik fırında, bitüm ise 6 saat 165 °C' lik fırında bekletildi (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Agregaların ısıtıldığı fırın

3.4.1.3. Numunelerin Hazırlanması

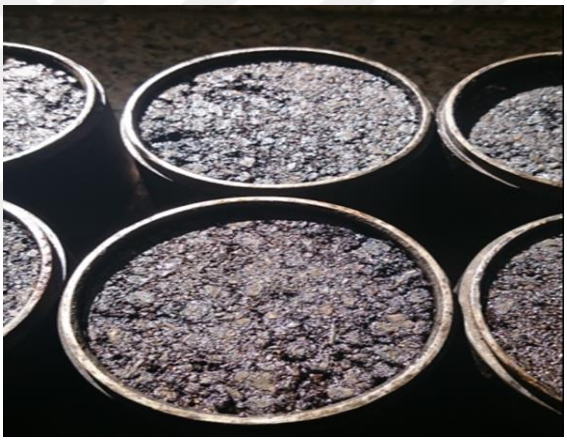
Numuneler tahmin edilen bitüm yüzdesinden en az % 2'den fazla ve en az % 2'den az olacak şekilde başlangıç ve bitiş noktaları belirlenir ve ‰5 arttırılarak her karışımdan en az 3'er adet numune hazırlanmalıdır (Taşcı, 2010).

Ağırlıkça % 3'den % 6,5'a kadar ‰5 arttırılarak (% 3, % 3,5, % 4, % 4,5, % 5, % 5,5, % 6, % 6,5) 8 farklı bitüm yüzdesinde 4'er tane numune karıştırıcıda (Şekil 3.6) karıştırıldıktan sonra Şekil 3.7'deki kalıplara konularak 25'er defa şişlendi.

Numuneler karıştırılırken sıcaklığın şartname limitleri altına düşmemesi önemlidir. Eğer düştüğü belirlenirse karışım atılarak yenisi yapılmalıdır (Ceylan, 2006).



Şekil 3.6. Agrega ve bitümün karıştırıldığı cihaz



Şekil 3.7. Kalıplara yerleştirilip sıkıştırılmış numuneler

Marshall tokmağında her iki yüzüne 75'er darbe ile sıkıştırılarak üretilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Marshall tokmağına yerleştirilirken

Üretilen numuneler kalıplarda bekletildikten sonra kriko yardımıyla kalıplardan çıkarılıp 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kalıplardan çıkarılıp bekletilen numuneler

3.4.1.4. Deneyin yapılışı

Deneyler Selçuk Üniversitesi Ulaştırma Bilim Dalı laboratuvarında yapılmıştır.

Numunelerin havadaki ve sudaki ağırlıkları, üç yerden yüksekliği ve çapları ölçülmüştür.

Üretilen numuneler test öncesi 60 °C su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Banyodan dikkatlice çıkarılıp marshall cihazına uygun şekilde konan numuneler test edilip stabilite ve akma değerleri kaydedilmiştir. Deney sonucunda;

a. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-birim ağırlık,

b. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-stabilite,

c. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-akma,

d. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-boşluk yüzdesi,

e. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-Vb/VMA,

f. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-VMA, eğrileri çizilmektedir.

Çizilen eğrilerden okunan;

a. Maksimum birim ağırlığının verdiği bitüm oranı,

b. Maksimum stabilitenin verdiği bitüm oranı,

c. % 4 boşluk oranının verdiği bitüm oranı,

d. % 80 Vb/VMA değerinin verdiği bitüm oranı,

e. Minimum VMA değerinin verdiği bitüm oranı

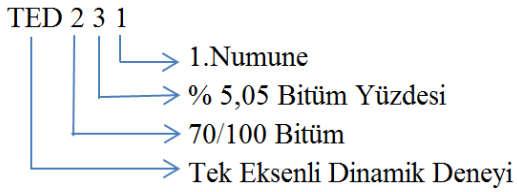
değerlerinin ortalaması ile optimum bitüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Yapılacak deneyler için hesaplanan yüzdede, ‰5 altı ve ‰5 üstü olmak üzere 3 farklı bitüm yüzdesinde 50/70 ve 70/100 bitüm kullanılarak 8'er adet numune toplamda 48 numune aynı metotla üretilmiştir.

3.5. Deney Gruplarının Oluşturulması ve Numunelerin Kodlaması

Numunelere tek eksenli statik, tek eksenli dinamik, üç eksenli statik, üç eksenli dinamik olmak üzere 4 farklı deney uygulanmıştır. 50/70 bitüm yüzdesinde her deney 3 farklı bitüm yüzdesinde 2'şer adet numune test edilmiştir. Aynı şekilde 70/100 bitüm içinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kodlaması Tablo 3.5'deki gibidir.

Tablo 3.5. Numunelerin kodlaması

Parametre		Kısaltma	Örnek
Deney Adı	Tek Eksenli Statik	TES	
	Tek Eksenli Dinamik	TED	
	Üç Eksenli Statik	ÜES	
	Üç Eksenli Dinamik	ÜED	
Bitüm Cinsi	50/70	1	
	70/100	2	
Bitüm Yüzdesi	4,05	1	
	4,55	2	
	4,95	3	
Numune Numarası	1. Numune	1	
	2. Numune	2	

3.6. Deneyler ve Yapıldığı Üç Eksenli Test Cihazı

Deneyler ısıtmalı kabin içerisinde üç eksen hücresi kullanılarak ve kullanılmadan olmak üzere sınırlamalı ve sınırlamasız olarak gerçekleştirilmiştir.

Üç eksenli test cihazında (Şekil 3.10) numuneye yanal basınç verilerek arazi şartlarının daha iyi sağlanması amaçlanmaktadır. BSK'ın yerinde uğradığı yanal yükler, eksenel yüklerde olduğu gibi dingil yüklerine bağlıdır. Bu sebeple önceden belirlenen yanal yük altında statik ve dinamik deneyler yapılacaktır. Yanal yükler sudan daha kullanışlı olan hava ile sağlanacaktır. Dinamik yükte ise yükleme ve dinlenme süreleri trafik yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmektedir.

Yapılan deneylerde hem esneklik modülü hem de plastik deformasyon belirlenecektir. Ayrıca LVDT'lerden alınan düşey ve yanal deformasyonlar sayesinde poisson oranıda (ν) belirlenebilmektedir.

Yük kontrolü yük hücresi aracılığıyla yapılmaktadır. Düşey yönde uygulanan tekrarlı yük yarım sinüs dalgası ((1-cosØ)/2), kare, üçgen ve buna benzer formlarda yükleme şekilleri de uygulanabilmektedir (YILMAZ ve ark., 2009).

Kullanılan test cihazındaki üç eksenli hücrenin çapı 22 cm, yüksekliği 32 cm'dir. Yükleme plakasının çapı 11 cm'dir.

Hücre içi basınç için kompresör yardımıyla regülatöre gelen hava dengeleyici sayesinde istediğimiz basınçta hücre içinde aktarılmaktadır.

Kabin içerisindeki fan ısıtıcı fan sayesinde kabin içerisi istenilen sıcaklığa ayarlanabilmektedir.

3.7. Deney Prosedürleri

Tek eksenli olarak yapılan deneyler statik ve dinamik olarak yapılmıştır. Statik deneyler 10 kPa eksenel yük altında 10 dk ön yükleme daha sonrasında 100 kPa eksenel yük altında 60 dk yükleme yapılarak 2 sn aralıklarla okuma alınmıştır. Deneyler 40°C'de gerçekleştirilmiştir. Dinamik deneyler ise aynı şartlarda 0,5 Hz.'de 1 sn yükleme, 1 sn dinlenme süresi ile 3600 tekrar olarak gerçekleştirilmiştir (EN).

Üç eksenli olarak yapılan deneyler statik ve dinamik olarak yapılmıştır. Statik deneyler 10 kPa eksenel yükleme altında 10 dk ön yükleme daha sonrasında 100 kPa eksenel yük altında 60 dk yükleme yapılarak 2 sn aralıklarla okuma alınmıştır. Yanal sınırlama basıncı 75 kPa olarak uygulanmıştır. Deneyler 40 °C'de gerçekleştirilmiştir. Dinamik deneyler ise aynı şartlarda 0,5 Hz.'de 1 sn yükleme, 1 sn dinlenme süresi ile 3600 tekrar olarak gerçekleştirilmiştir (EN).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Günümüzde artan trafik yüklerinden dolayı yeni tasarım yöntemleri aranmaktadır. Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerini belirleyen bazı deneyler gerçekleştirilerek birbirlerine göre kıyaslamalarının yapılması amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmada 50/70 ve 70/100 bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitüm Kırıkkale rafinesinden, agregalar ise Konya Büyük Şehir Belediyesi Asfalt Şantiyesinden temin edilmiştir. Üretilen numuneler karayolları şartnamesi aşınma tabakası Tip-1'e göre üretilmiştir.

Deneyler Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma A.D. laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada, tasarım için % 3,0 - 3,50 - 4,0 - 4,50 - 5,0 - 5,50 - 6,0 - 6,50 bitüm yüzdelerinde 4'er adet olmak üzere 32 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelere marshall testi uygulanarak optimum bitüm yüzdesi hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında hesaplanan optimum bitüm yüzdesi, ‰ 5 altında ve üstünde olmak üzere 50/70 ve 70/100 bitüm kullanarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere;

- Tek eksenli statik
- Tek eksenli dinamik
- Üç eksenli statik
- Üç eksenli dinamik

deneyleri yapılarak deney sonuçlarının bir biri arasında kıyaslamaları yapılmıştır.

4.1. Marshall Deneyi

Marshall deneyi öncesi üretilen numunelerin gerekli ölçümleri ve test sonrası veriler ve grafikler aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Briketlerin Ölçümü

Numunelerin havadaki ve sudaki ağırlıkları, üç yerden yüksekliği ve çapları ölçülmüştür (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Marshall deneyi için hazırlanan briketlerin ölçümü

Tablo 1 NUMUNE BOYUTLARININ VE AĞIRLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ (SAF BİTÜM)											
NUMUNE NO	BİTÜM ORANI	KURU AĞIRLIK	SUDAKİ AĞIRLIK	H1	H2	H3	R	H ort	DÜZELTME KATSAYISI	ORTALAMA DÜZELTME	BOŞLUK ORANI
	%	gr	gr	mm	mm	mm	cm	mm			(%)
1	3,0	1230,6	730,5	67,50	67,50	67,00	10,10	67,33	0,9145	0,8994	13,04
2		1231,9	730,0	68,50	69,00	68,50	10,15	68,67	0,8800		
3		1232,4	725,0	68,00	68,50	69,00	10,10	68,50	0,8849		6,40
4		1232,4	715,5	67,00	67,00	67,50	10,10	67,17	0,9183		
1	3,5	1240,9	740,0	64,00	64,00	64,00	10,10	64,00	0,9870	0,9506	8,43
2		1240,7	739,0	65,00	65,00	65,00	10,05	65,00	0,9644		
3		1240,0	734,5	67,00	67,00	66,50	10,10	66,83	0,9256		4,52
4		1241,7	733,5	67,00	67,00	66,50	10,15	66,83	0,9256		
1	4,0	1246,5	745,5	64,00	64,00	64,50	10,15	64,17	0,9831	0,9732	6,15
2		1245,9	745,0	64,00	64,00	64,00	10,10	64,00	0,9870		
3		1247,0	743,5	64,00	64,00	64,50	10,10	64,17	0,9831		3,29
4		1241,6	733,5	66,00	66,00	66,50	10,10	66,17	0,9398		
1	4,5	1249,0	751,5	63,00	63,00	65,00	10,15	63,67	0,9949	0,9870	4,04
2		1251,6	753,0	64,00	64,00	64,00	10,10	64,00	0,9870		
3		1252,3	752,0	64,00	64,00	64,00	10,10	64,00	0,9870		1,43
4		1253,3	749,0	64,00	64,00	65,00	10,10	64,33	0,9792		
1	5,0	1255,7	749,0	63,50	64,00	65,00	10,10	64,17	0,9831	0,9920	2,71
2		1259,0	751,0	64,00	63,00	64,00	10,10	63,67	0,9949		
3		1252,4	750,5	63,00	64,00	64,00	10,10	63,67	0,9949		1,30
4		1252,9	750,5	63,50	64,00	63,50	10,15	63,67	0,9949		
1	5,5	1259,3	750,0	65,00	65,00	65,00	10,10	65,00	0,9644	0,9591	3,51
2		1260,0	750,5	65,00	65,00	66,00	10,10	65,33	0,9573		
3		1261,0	748,0	65,00	65,00	66,00	10,10	65,33	0,9573		1,38
4		1261,5	748,5	65,00	66,00	65,00	10,10	65,33	0,9573		
1	6,0	1266,3	749,0	66,00	66,00	66,00	10,15	66,00	0,9433	0,9468	4,14
2		1266,0	749,5	65,00	65,00	65,50	10,15	65,17	0,9608		
3		1261,2	746,5	65,50	66,00	66,00	10,10	65,83	0,9467		1,70
4		1259,2	736,0	66,00	66,00	67,00	10,15	66,33	0,9363		
1	6,5	1266,4	751,0	66,00	66,50	67,00	10,10	66,50	0,9327	0,8684	6,23
2		1258,2	733,0	68,00	69,00	70,00	10,05	69,00	0,8697		
3		1347,0	792,5	70,00	71,00	71,00	10,10	70,67	0,8016		2,76
4		1205,9	697,0	69,00	69,00	69,00	9,95	69,00	0,8697		

4.1.2. Marshall Testi Sonuçları

Briketler ölçüm sonrası her biri sırayla 60 °C'lik banyoda 30 dk bekletildikten sonra yapılan marshall testinin stabilite ve akma sonuçları Tablo 4.2'de gösterilmiştir

NUMUNE NO	BİTÜM ORANI %	GERÇEK HACİM D2	BİRİM HAC. AĞIRLIĞI D1	ORT. KÜÇÜK BİRİM HACİM AĞIRLIK	TEORİK BİRİM HACİM AĞIRLIK	STABİLİTE (kN)	ORTALAMA STABİLİTE (kN)	DÜZELTİLMİŞ ORTALAMA STABİLİTE	BOŞLUK ORANI (%)	AKMA (mm)	ORTALAMA AKMA (mm)	VMA (%)	Vb	Vfb Voids Filled with Bitumen
1	3,0	2,282	2,461	2,260	2,598	13,80	12,620	11,809	13,035	2,92	2,943	19,62	7,09	0,36
2		2,218	2,454			13,20	11,616			3,02				
3		2,247	2,429	2,432		12,50	11,061		6,400	3,09				
4		2,291	2,384			13,00	11,937			2,74				
1	3,5	2,421	2,477	2,361	2,578	20,50	20,233	14,069	8,431	3,42	3,770	16,46	8,37	0,51
2		2,407	2,473			15,30	14,756			3,96				
3		2,317	2,453	2,462		11,80	10,922		4,516	4,01				
4		2,297	2,443			11,20	10,367			3,69				
1	4,0	2,402	2,488	2,401	2,558	14,20	13,959	13,534	6,150	2,64	2,823	15,48	9,62	0,62
2		2,431	2,487			14,60	14,410			2,85				
3		2,427	2,477	2,474		15,60	15,336		3,293	2,42				
4		2,343	2,444			11,10	10,431			3,38				
1	4,5	2,426	2,511	2,436	2,538	14,20	14,128	12,270	4,035	2,53	2,913	14,69	10,94	0,74
2		2,442	2,510			12,00	11,843			3,02				
3		2,444	2,503	2,502		12,70	12,534		1,427	3,36				
4		2,433	2,485			10,80	10,576			2,74				
1	5,0	2,444	2,478	2,451	2,519	11,10	10,912	11,036	2,714	3,62	3,378	14,62	12,08	0,83
2		2,469	2,478			10,10	10,049			2,69				
3		2,457	2,495	2,486		11,90	11,840		1,299	3,52				
4		2,433	2,494			11,40	11,342			3,68				
1	5,5	2,419	2,473	2,412	2,500	10,00	9,644	8,952	3,511	3,74	3,528	16,40	13,18	0,80
2		2,408	2,473			9,71	9,295			4,02				
3		2,410	2,458	2,466		9,27	8,874		1,376	3,13				
4		2,411	2,459			8,35	7,993			3,22				
1	6,0	2,372	2,448	2,379	2,481	8,10	7,640	8,075	4,142	3,75	3,785	18,01	14,22	0,79
2		2,402	2,451			8,20	7,879			3,63				
3		2,392	2,450	2,439		10,90	10,319		1,705	3,54				
4		2,347	2,407			6,90	6,460			4,22				
1	6,5	2,378	2,457	2,327	2,481	10,70	9,980	8,906	6,229	4,28	3,820	20,93	15,24	0,73
2		2,300	2,396			9,64	8,384			3,43				
3		2,380	2,429	2,413		10,90	8,737		2,758	3,56				
4		2,249	2,370			9,80	8,523			4,01				

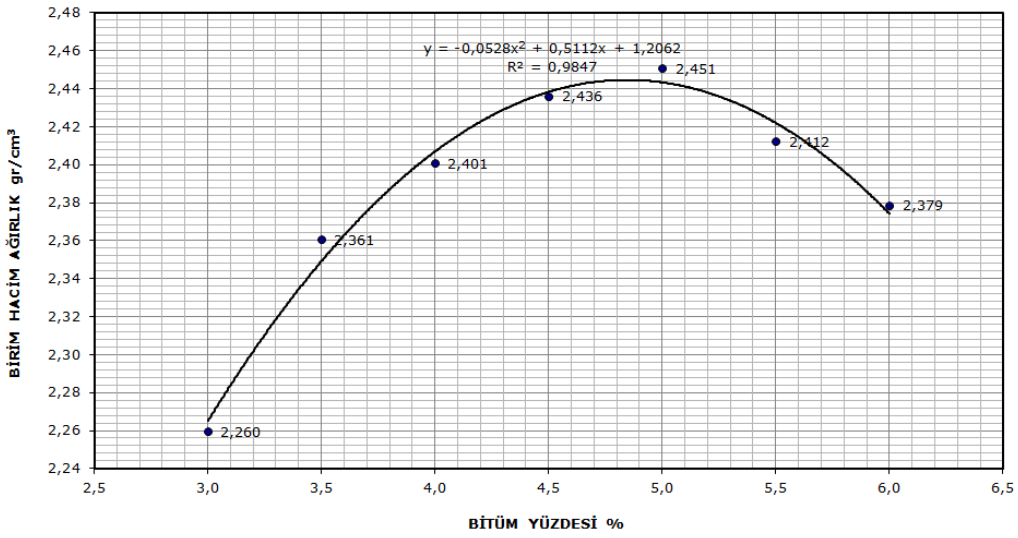
Tablo 4.2. Briketlerin marshall deneyi sonuçları

4.1.3. Sonuç Grafikleri

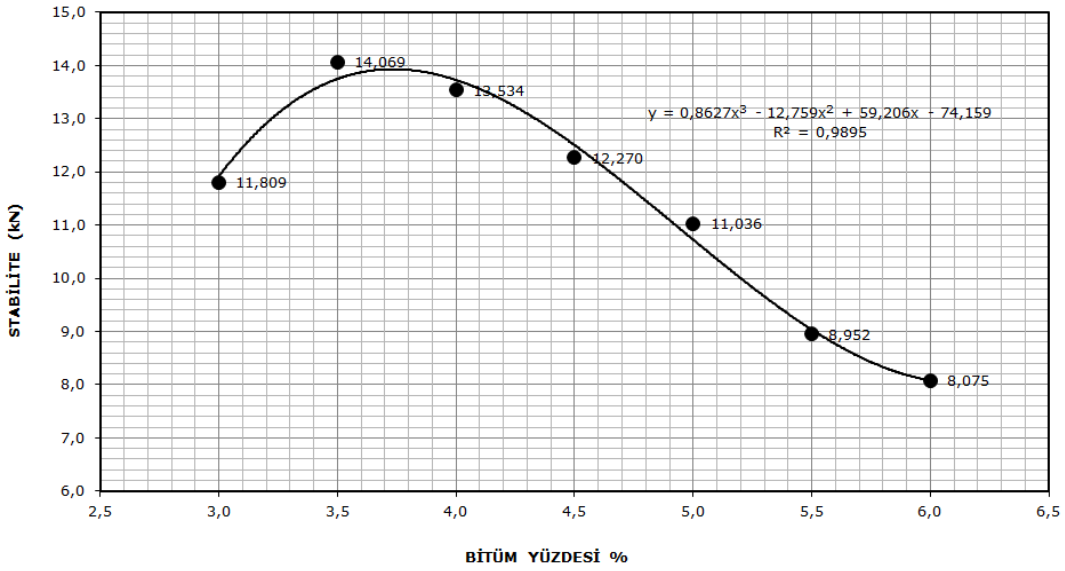
Marshall testi sonucunda hesaplanan değerlere göre;

- Bitüm yüzdesi – Birim hacim ağırlık (Şekil 4.1),
- Bitüm yüzdesi – Stabilite (Şekil 4.2),
- Bitüm yüzdesi – boşluk oranı (Şekil 4.3),
- Bitüm yüzdesi – VMA (Şekil 4.4),
- Bitüm yüzdesi – Akma (Şekil 4.5),
- Bitüm yüzdesi – Vfb (Şekil 4.6)

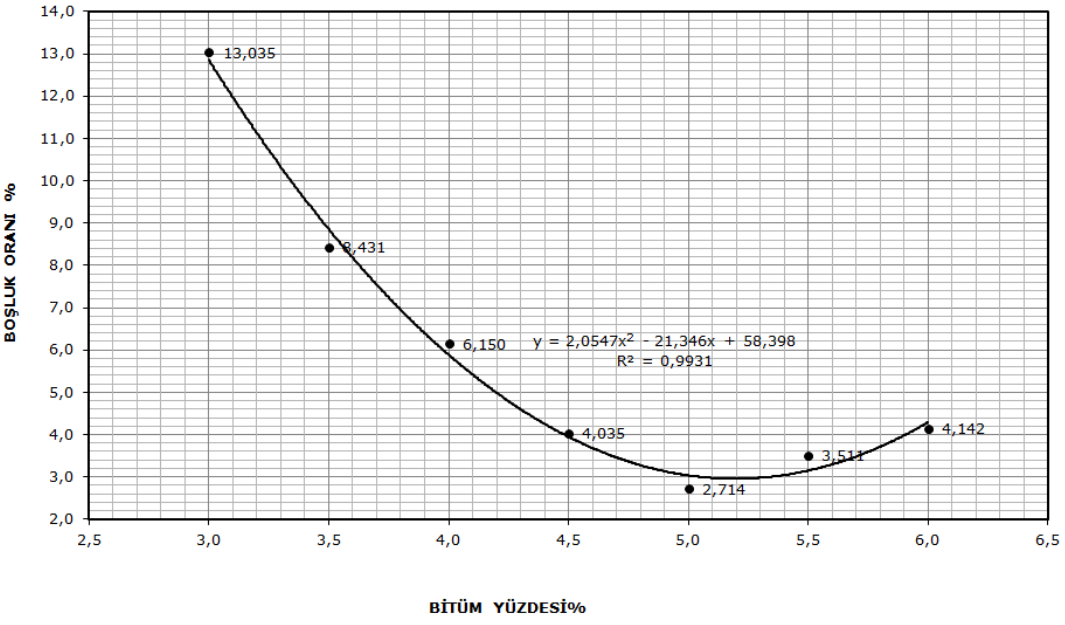
grafikleri çizilmiştir.



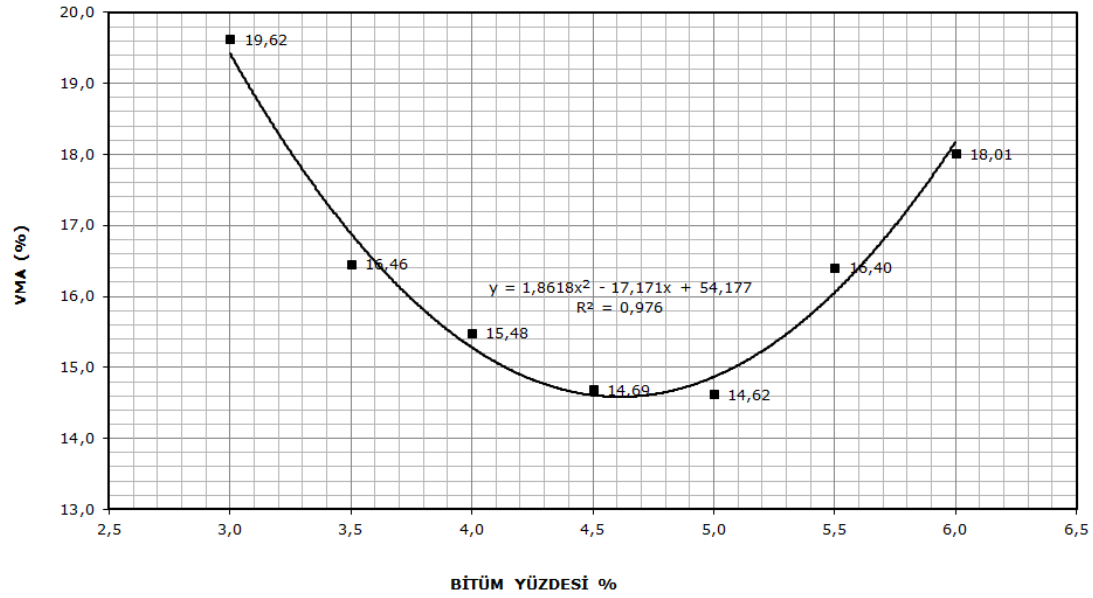
Şekil 4.1. Bitüm yüzdesi – Birim hacim ağırlık grafiği



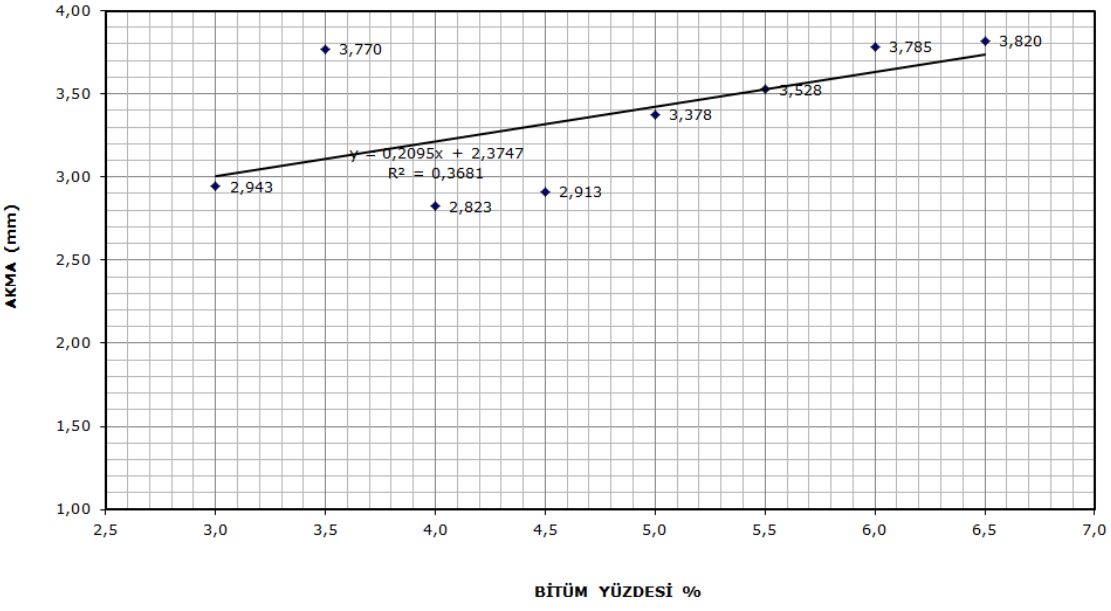
Şekil 4.2. Stabilite - Bitüm yüzdesi grafiği



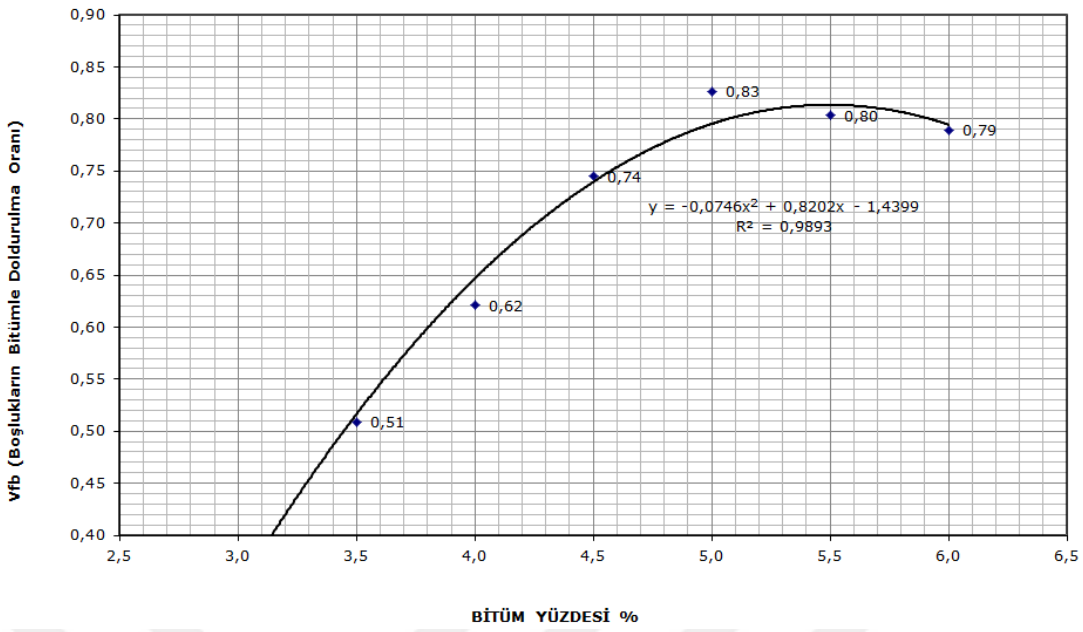
Şekil 4.3. Boşluk oranı – Bitüm yüzdesi grafiği



Şekil 4.4. VMA – Bitüm yüzdesi grafiği



Şekil 4.5. Akma – Bitüm yüzdesi grafiği



Şekil 4.6. Vfb - Bitüm yüzdesi grafiği

Çizilen grafiklerden;

- Maksimum birim ağırlığının verdiği bitüm oranı: % 4,84
- Maksimum stabilitenin verdiği bitüm oranı: % 3,74
- % 4 boşluk oranının verdiği bitüm oranı: % 4,48
- % 80 Vb/VMA değerinin verdiği bitüm oranı: % 5,06
- minimum VMA değerinin verdiği bitüm oranı: % 4,61

değerleri okunmuştur. Okunan değerlerin ortalaması ile optimum bitüm yüzdesi hesaplanmıştır.

$$Optimum\ Bitüm\ Yüzdesi = \frac{\%4{,}84 + \%3{,}74 + \%4{,}48 + \%5{,}06 + \%4{,}61}{5} = \%4{,}55$$

4.2. Tek Eksenli Deneyi

Tek eksenli deneyinde kullanılacak malzemelerin deney öncesi ölçümleri ve deney sonuçları aşağıda verilmiştir. Tek eksenli olarak yapılan deneyin fotoğrafı Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Tek eksenli olarak ısıtmalı kabinde gerçekleştirilen deney

4.2.1. Briketlerin Ölçümü

Marshall deneyi ile belirlediğimiz bitüm yüzdesini referans alarak hazırlanmış numunelerin ölçümleri yapılmıştır. Deney öncesinde tek eksenli statik yükleme deneyinde kullanılacak numunelerin ölçümleri Tablo 4.3'de, tek eksenli dinamik yükleme deneyinde kullanılacak numunelerin ölçümleri ise Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Tek eksenli statik yükleme deneyi numune ölçümleri

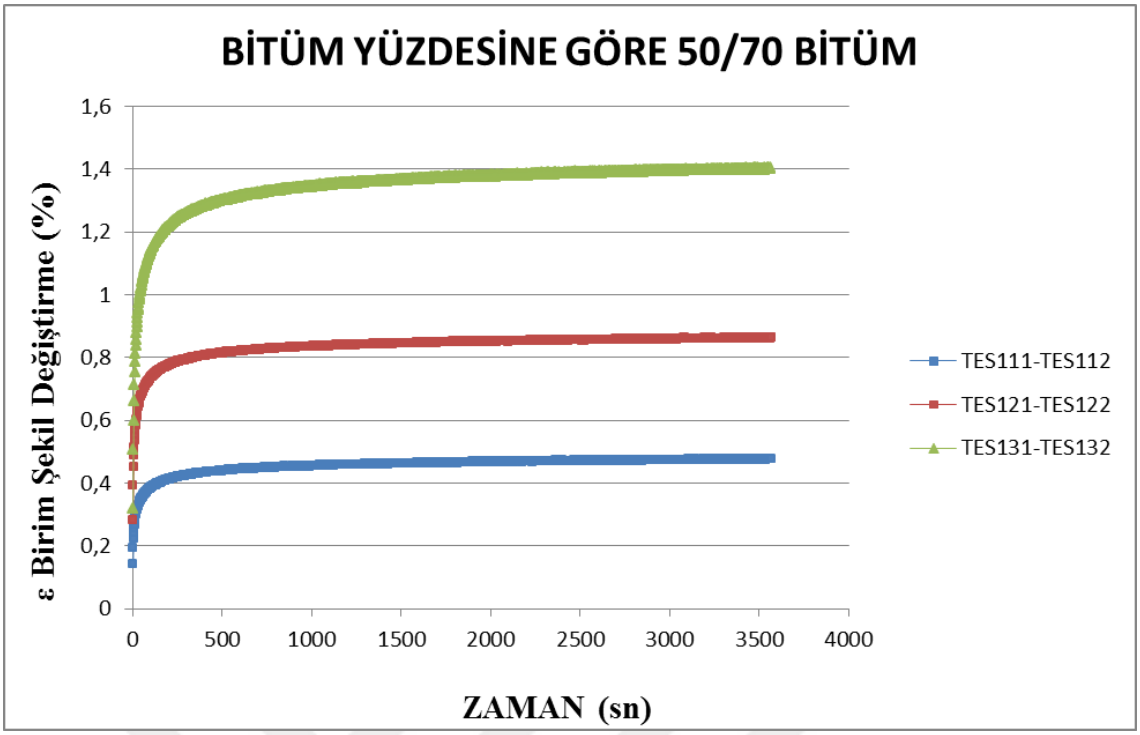
Yapılan Ölçüm / Numune Kodu	KURU AĞIRLIK gr	SUDAKİ AĞIRLIK gr	H1 mm	H2 mm	H3 mm	R cm	H ort mm	BOŞLUK ORANI (%)
TES111	1245,1	744	64,23	64,29	63,93	10,18	64,15	6,66
TES112	1246,7	743,5	65,17	64,97	64,91	10,20	65,02	8,15
TES121	1250	748	62,94	62,89	62,95	10,18	62,93	3,64
TES121	1250	748	62,94	62,89	62,95	10,18	62,93	3,64
TES131	1258,6	750	64,39	65,35	64,4	10,15	64,71	4,46
TES132	1256,3	751	64,67	64,67	64,52	10,10	64,62	3,55
TES211	1248,4	746,5	64,7	64,5	64,11	10,19	64,44	7,01
TES212	1250,7	743	64,85	64,54	64,63	10,16	64,67	6,64
TES221	1250,6	750,5	62,95	62,9	63,11	10,17	62,99	3,50
TES222	1252	749,5	63,86	64,07	64,15	10,15	64,03	4,68
TES231	1253,3	749,5	63,66	63,72	64,06	10,17	63,81	3,90
TES232	1257,2	752	63,35	64,34	63,61	10,16	63,77	3,34

Tablo 4.4. Tek eksenli dinamik yükleme deneyi numune ölçümleri

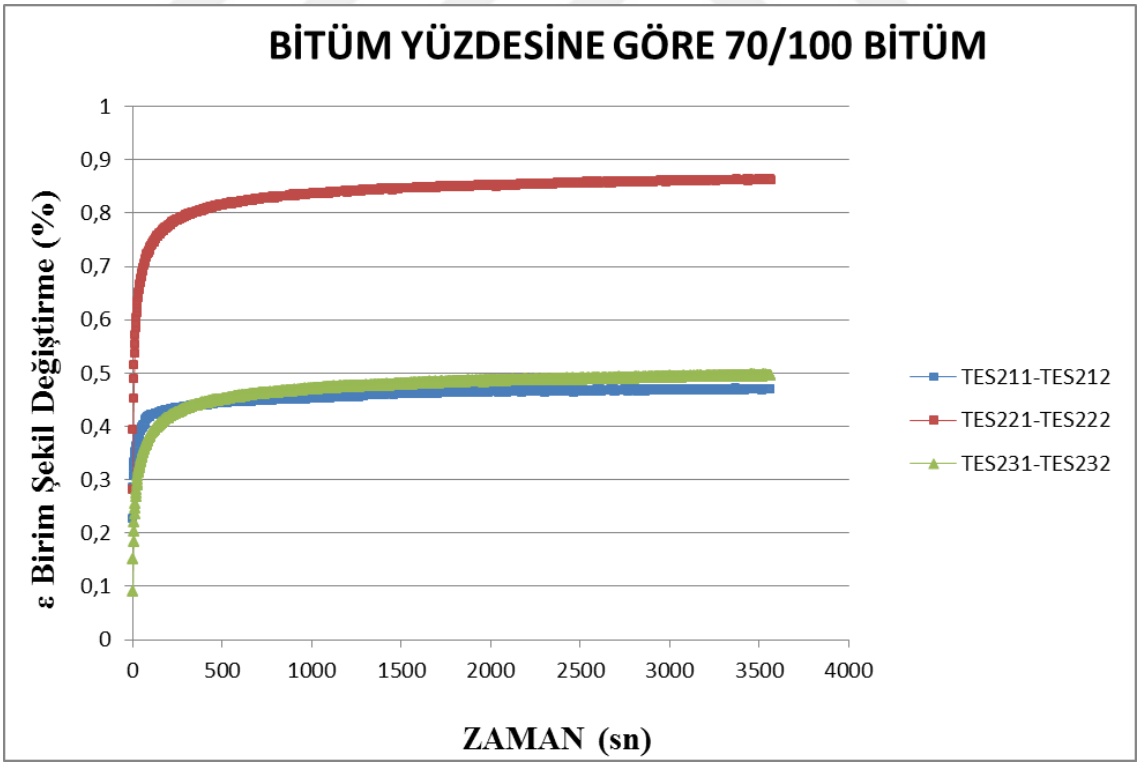
Yapılan Ölçüm / Numune Kodu	KURU AĞIRLIK gr	SUDAKİ AĞIRLIK gr	H1 mm	H2 mm	H3 mm	R cm	H ort mm	BOŞLUK ORANI (%)
TED111	1247,4	745,5	64,01	63,78	64,46	10,14	64,08	5,65
TED112	1249,6	749	71,65	71,86	71,46	10,14	71,66	15,39
TED121	1252,2	750,5	62,9	63,07	63	10,16	62,99	3,19
TED122	1249,8	747,5	63,54	63,19	63,36	10,15	63,36	3,85
TED131	1261,4	854	65,16	65	64,91	10,13	65,02	4,33
TED132	1255	752	64	63,75	63,9	10,15	63,88	3,50
TED211	1249	745	64,35	64,26	64,38	10,15	64,33	6,08
TED212	1252,9	745	65,01	65,62	65,52	10,17	65,38	7,58
TED221	1257,1	753	63,98	63,41	63,91	10,17	63,77	4,28
TED222	1264,2	751,5	65,41	65,64	65,41	10,19	65,49	6,54
TED231	1160,4	690,5	59,53	59,07	59,08	10,12	59,23	3,19
TED232	1257,5	750	63,97	64,28	63,81	10,17	64,02	3,89

4.2.2. Tek Eksenli Deneyi Sonuç Grafikleri

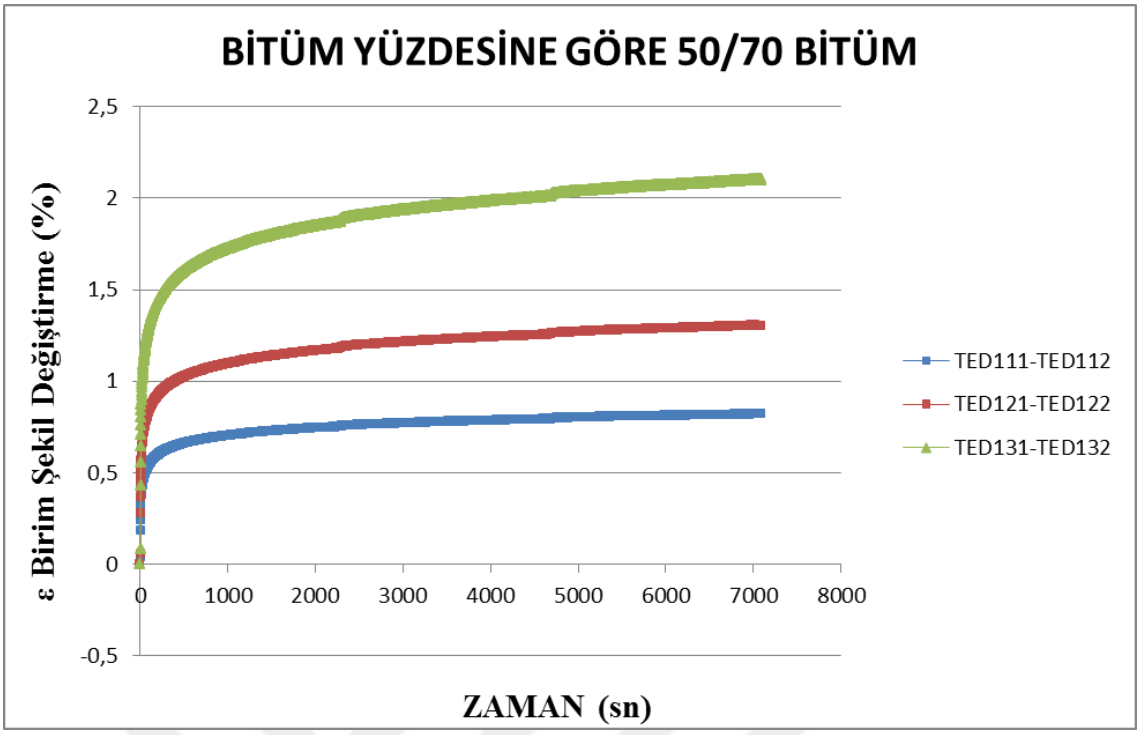
Tek eksenli statik olarak yapılan deneylerin Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'de, tek eksenli dinamik deneylerin Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de bitüm tipine göre sonuçları gösterilmektedir.



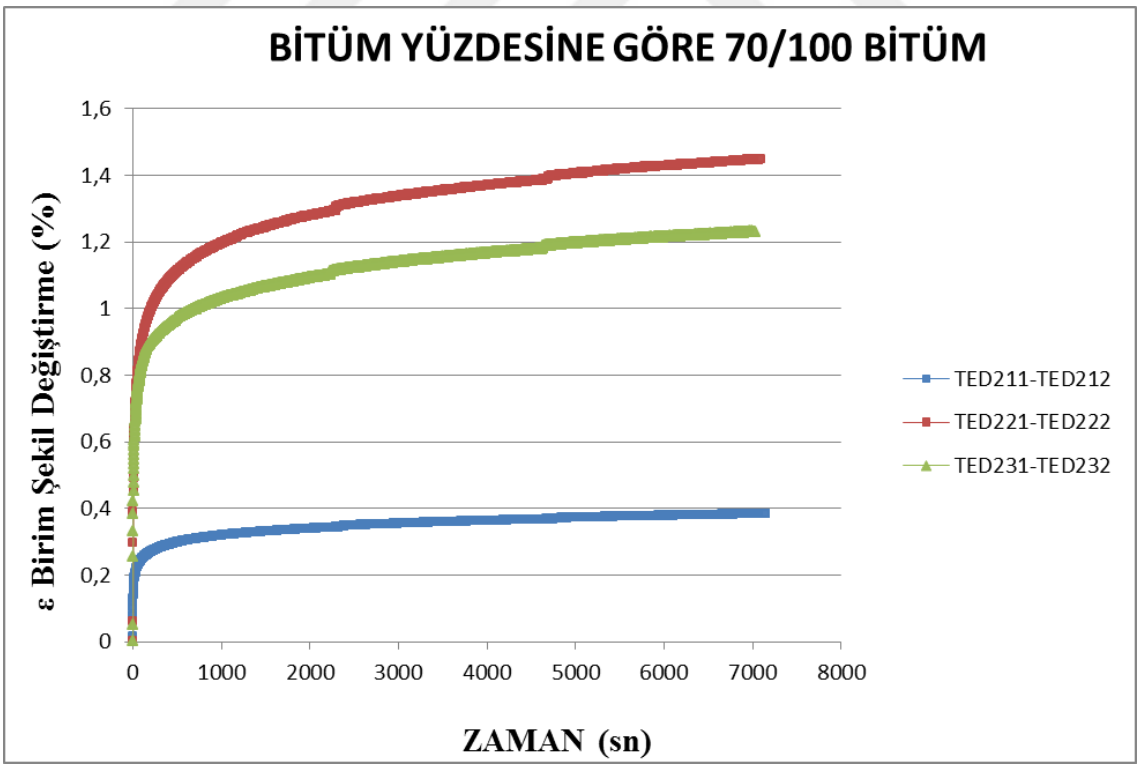
Şekil 4.8. Tek eksenli statik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme



Şekil 4.9. Tek eksenli statik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme



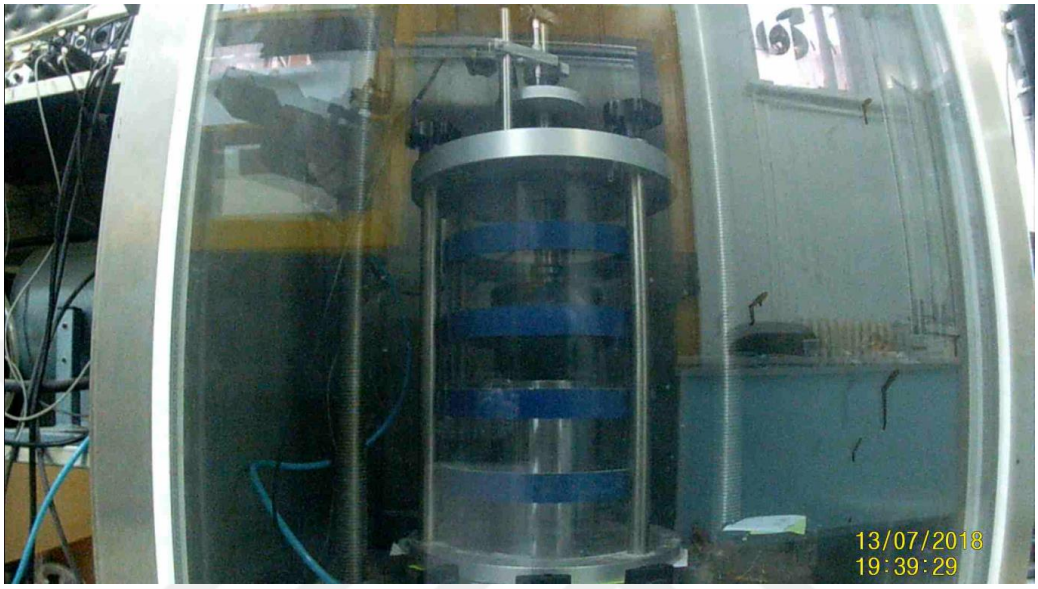
Şekil 4.10. Tek eksenli dinamik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme



Şekil 4.11. Tek eksenli dinamik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme

4.3. Üç Eksenli Deneyi

Tek eksenli deneyinde kullanılacak malzemelerin deney öncesi ölçümleri ve deney sonuçları aşağıda verilmiştir. Üç eksenli olarak yapılan deneyin fotoğrafı Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Üç eksenli olarak ısıtmalı kabinde gerçekleştirilen deney

4.3.1. Briketlerin Ölçümü

Deney öncesinde üç eksenli statik yükleme deneyinde kullanılacak numunelerin ölçümleri Tablo 4.5'de, üç eksenli dinamik yükleme deneyinde kullanılacak numunelerin ölçümleri ise Tablo 4.6'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Üç eksenli statik yükleme deneyi numune ölçümleri

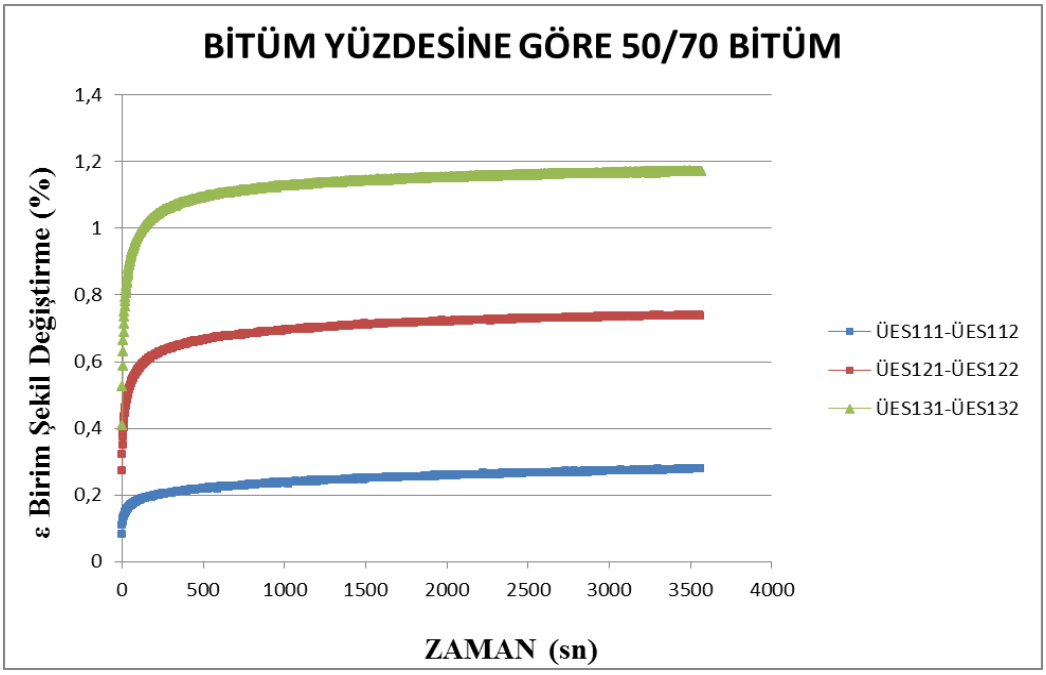
Yapılan Ölçüm / Numune Kodu	KURU AĞIRLIK	SUDAKİ AĞIRLIK	H1	H2	H3	R	H ort	BOŞLUK ORANI
	gr	gr	mm	mm	mm	cm	mm	(%)
ÜES111	1256,4	748	63,8	64,09	64,18	10,16	64,02	5,26
ÜES112	1140,5	681,5	56,33	58,68	58,58	10,18	57,86	5,22
ÜES121	1250,1	750	63,58	63,3	63,67	10,14	63,52	3,87
ÜES122	1254,7	749	63,6	63,59	63,77	10,16	63,65	4,01
ÜES131	1262,2	751	64,9	64,4	64,71	10,17	64,67	4,50
ÜES132	1261,6	752,5	64,55	64,12	64,41	10,16	64,36	3,80
ÜES211	1249,4	746	64,53	64,96	64,44	10,15	64,64	6,51
ÜES212	1250,3	746	64,71	64,48	64,33	10,19	64,51	6,88
ÜES221	1253,2	751	62,92	63,08	62,91	10,18	62,97	3,56
ÜES222	1247,5	746,5	63,74	64,49	63,7	10,13	63,98	4,57
ÜES231	1255,5	751	63,54	63,49	63,82	10,19	63,62	3,82
ÜES232	1257,4	752,5	63,3	64,05	63,63	10,17	63,66	3,26

Tablo 4.6. Üç eksenli dinamik yükleme deneyi numune ölçümleri

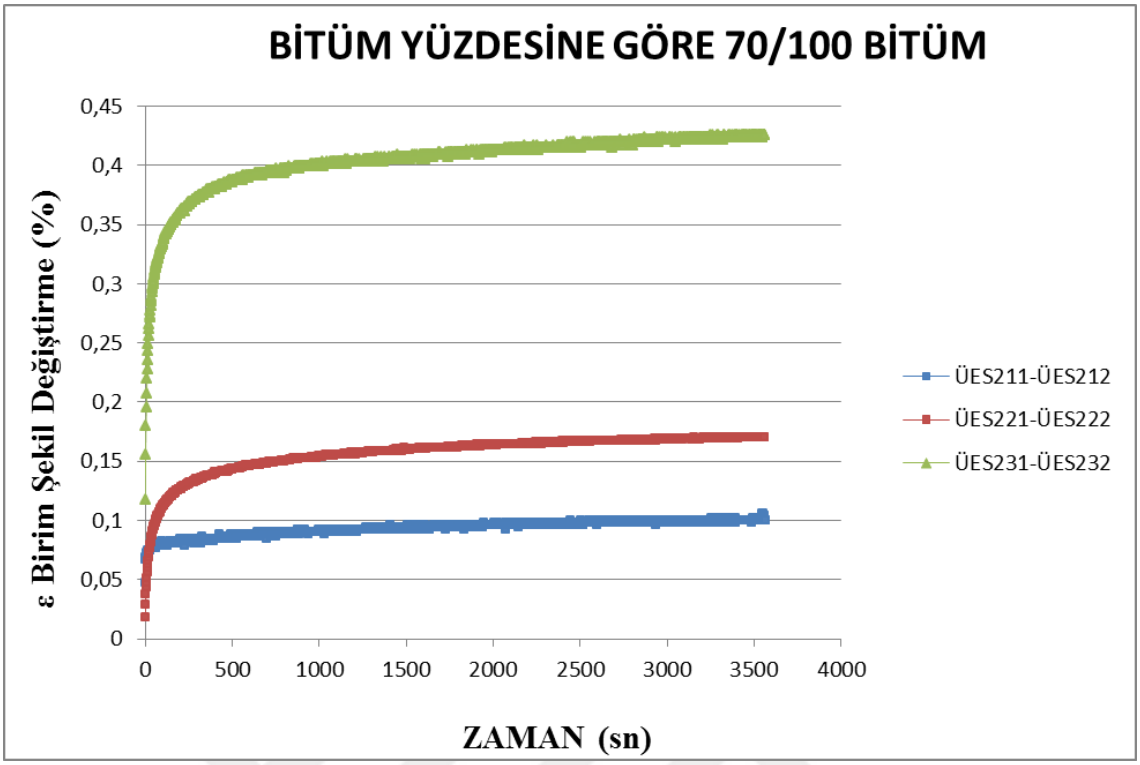
Yapılan Ölçüm / Numune Kodu	KURU AĞIRLIK gr	SUDAKİ AĞIRLIK gr	H1 mm	H2 mm	H3 mm	R cm	H ort mm	BOŞLUK ORANI (%)
ÜED111	1243,5	744,5	63,13	62,94	63,14	10,16	63,07	4,81
ÜED112	1248,5	747,5	65,76	63,58	63,82	10,17	64,39	6,57
ÜED121	1251,1	749,5	63,99	62,95	63,45	10,13	63,46	3,52
ÜED122	1252	749,5	63,35	63,48	63,64	10,17	63,49	4,15
ÜED131	1256,7	751,5	64,36	64,23	64,01	10,14	64,20	3,66
ÜED132	1269,8	758	64,98	64,88	64,98	10,14	64,95	3,77
ÜED211	1249,8	746,5	64,67	65,18	65,05	10,18	64,97	7,49
ÜED212	1247,3	746	64,51	64,12	63,6	10,18	64,08	6,30
ÜED221	1253,1	750,5	63,75	63,74	63,33	10,18	63,61	4,53
ÜED222	1256,1	751,5	63,46	63,77	63,27	10,16	63,50	3,67
ÜED231	1261,2	752,5	64,4	63,93	63,96	10,18	64,10	3,91
ÜED232	1262,1	753,5	63,83	64,19	64,11	10,18	64,04	3,67

4.3.2. Üç Eksenli Deneyi Sonuç Grafikleri

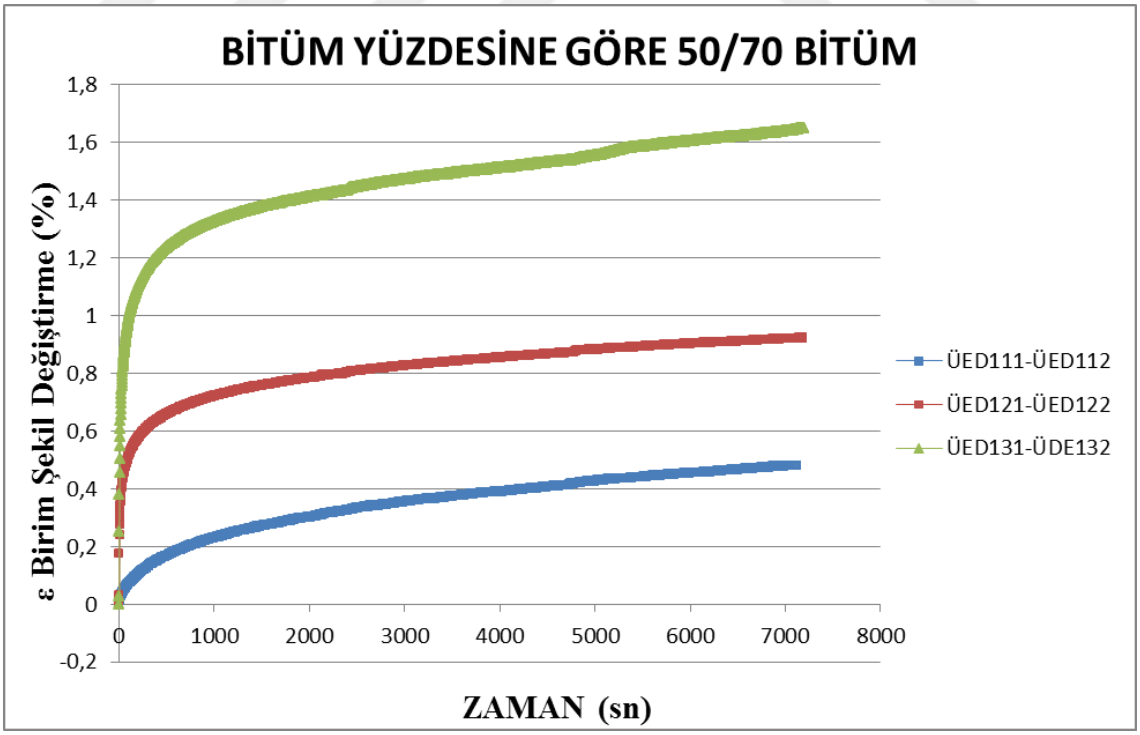
Üç eksenli statik olarak yapılan deneylerin Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de, üç eksenli dinamik deneylerin Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de bitüm tipine göre sonuçları gösterilmektedir.



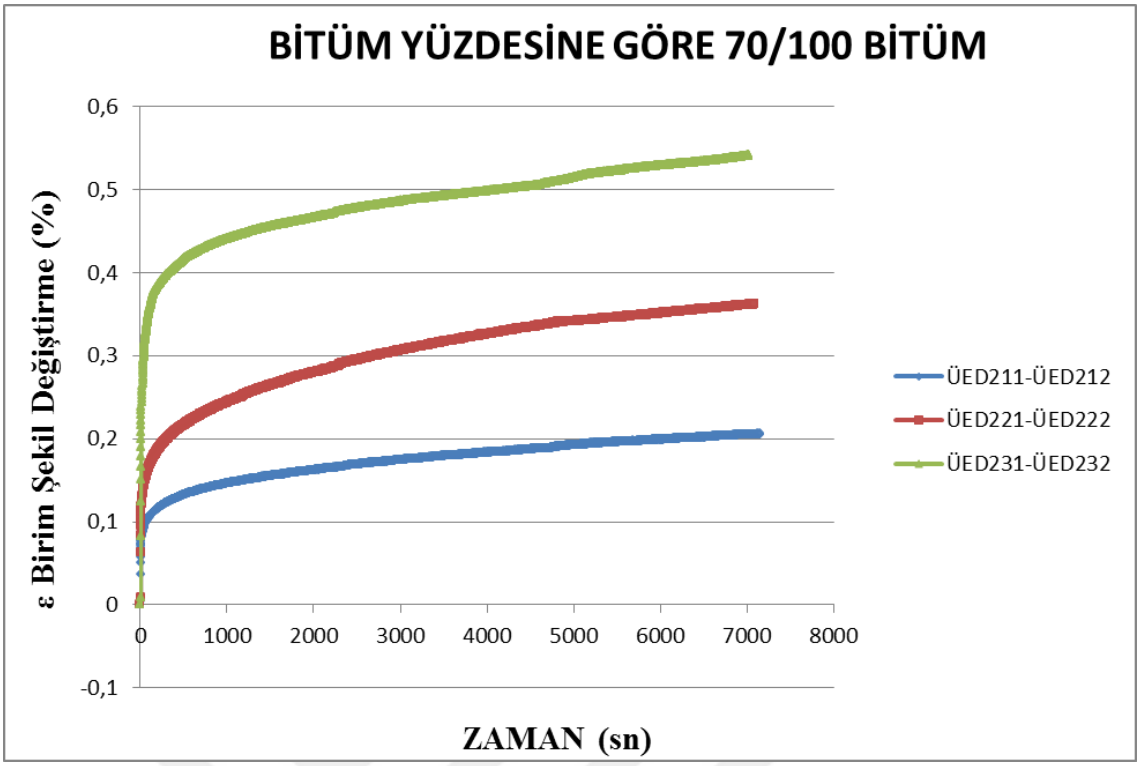
Şekil 4.13. Üç eksenli statik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme



Şekil 4.14. Üç eksenli statik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme



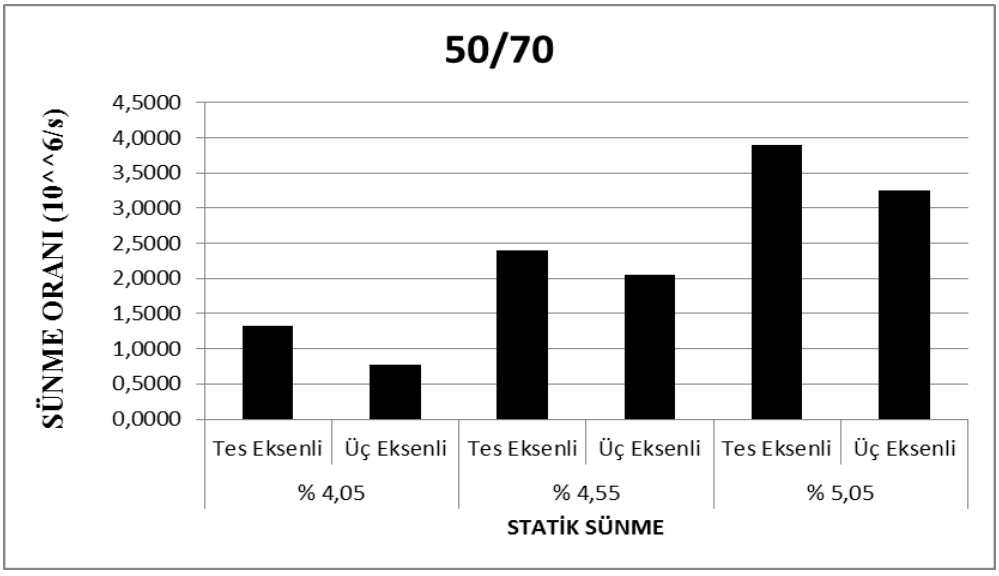
Şekil 4.15. Üç eksenli dinamik 50/70 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme



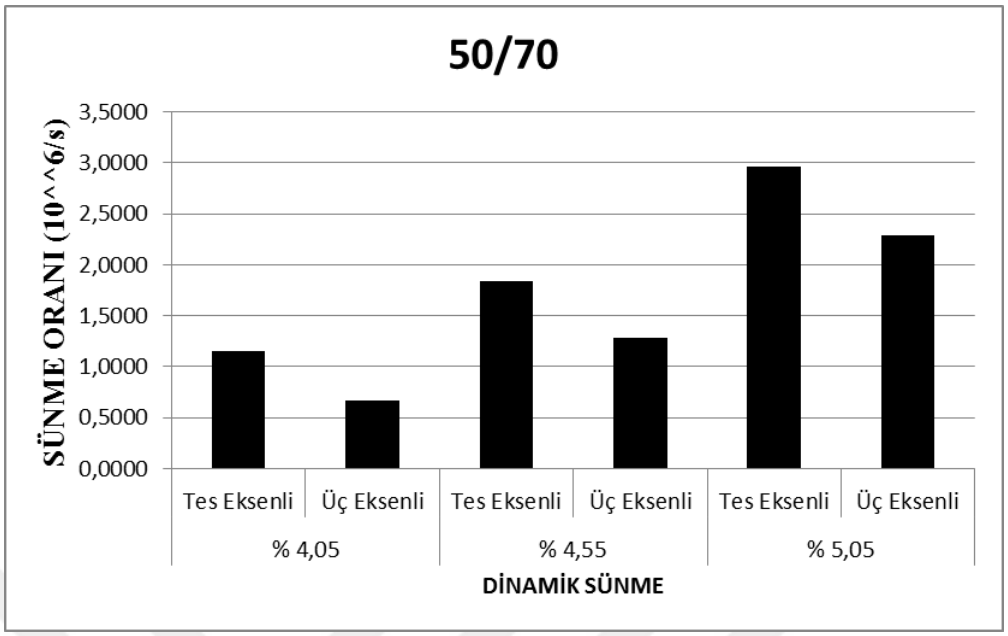
Şekil 4.16. Üç eksenli dinamik 70/100 bitümde 3 farklı bitüm yüzdesinde zamana göre yüzdesel şekil değiştirme

4.4. Deney Sonuçlarının Birbiri İçinde Kıyaslanması

50/70 bitüm için statik (Şekil 4.17) ve dinamik (Şekil 4.18) olarak gerçekleştirilen sünme testlerinin yanal basınç durumuna göre sünme oranları mukayesesi verilmiştir.

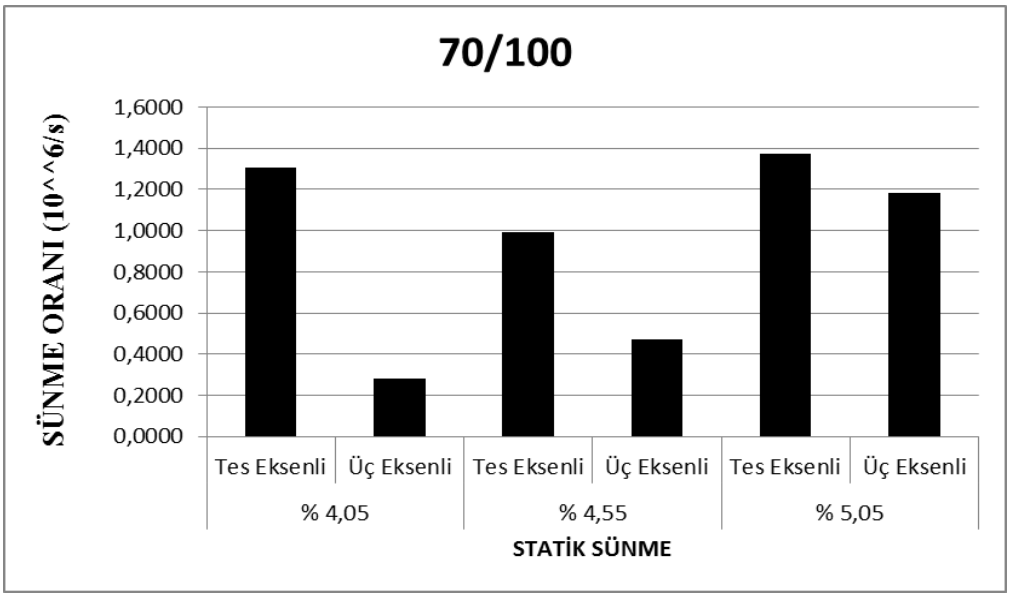


Şekil 4.17. 50/70 bitüm statik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları

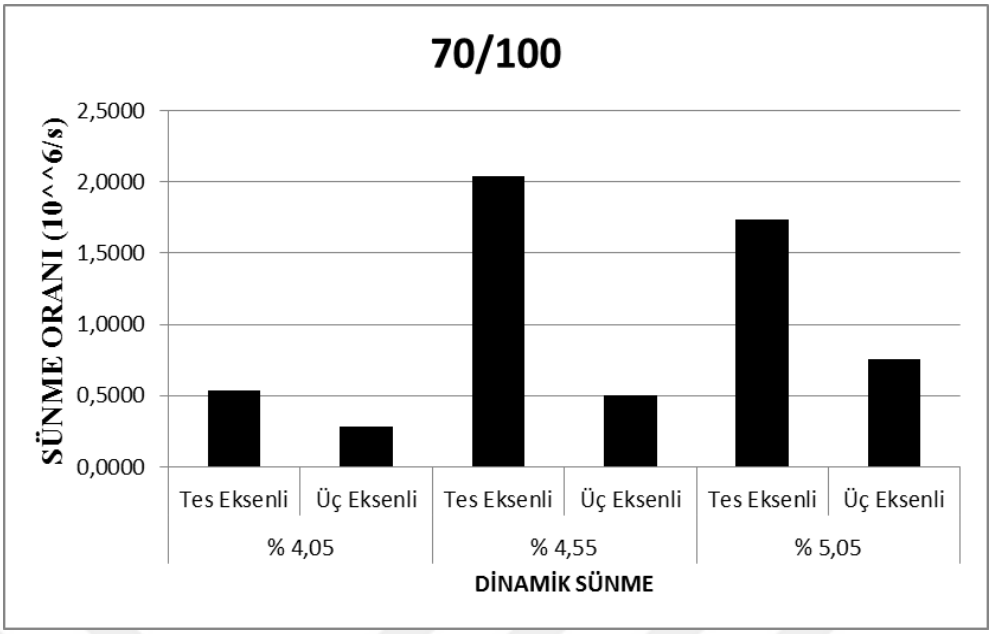


Şekil 4.18. 50/70 bitüm dinamik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları

70/100 bitüm için statik (Şekil 4.19) ve dinamik (Şekil 4.20) olarak gerçekleştirilen sünme testlerinin yanal basınç durumuna göre sünme oranları mukayesesi verilmiştir.

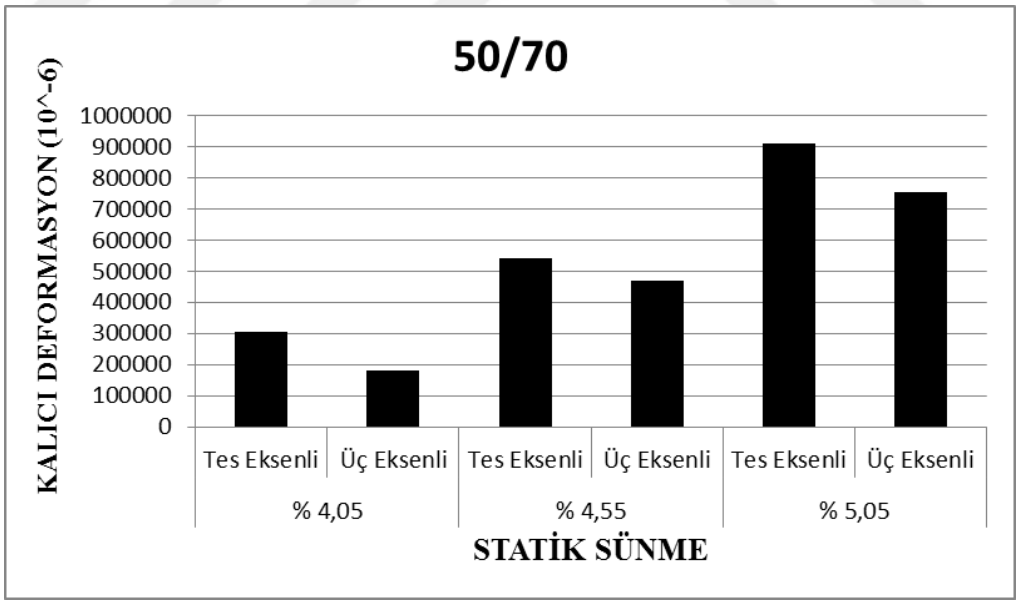


Şekil 4.19. 70/100 bitüm statik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları

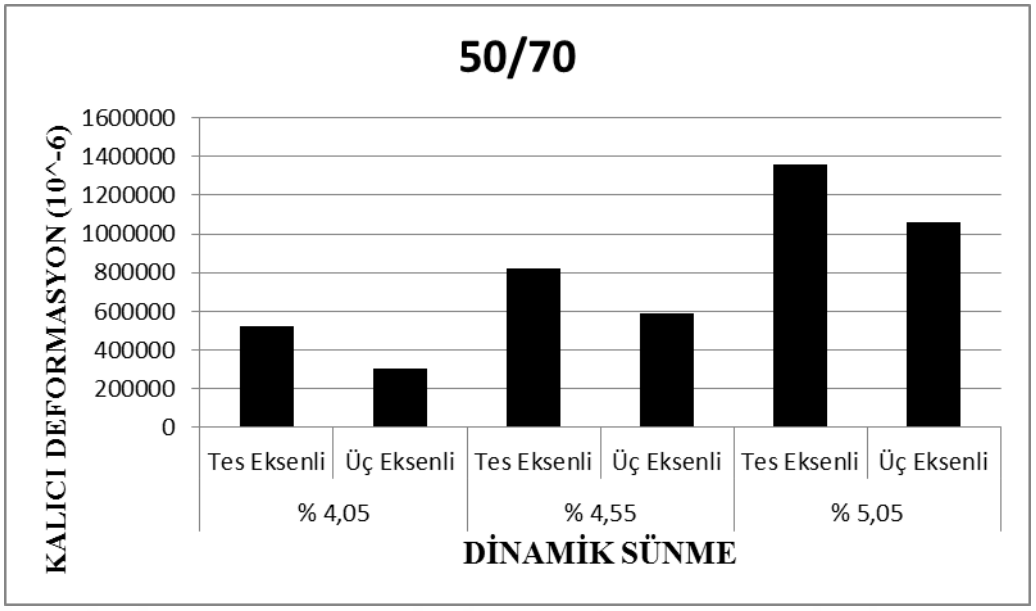


Şekil 4.20. 70/100 bitüm dinamik sünme deneyi sünme oranları karşılaştırılmalı sonuçları

50/70 bitüm için statik (Şekil 4.21) ve dinamik (Şekil 4.22) olarak gerçekleştirilen sünme testlerinin yanal basınç durumuna göre kalıcı deformasyonları mukayesesi verilmiştir.

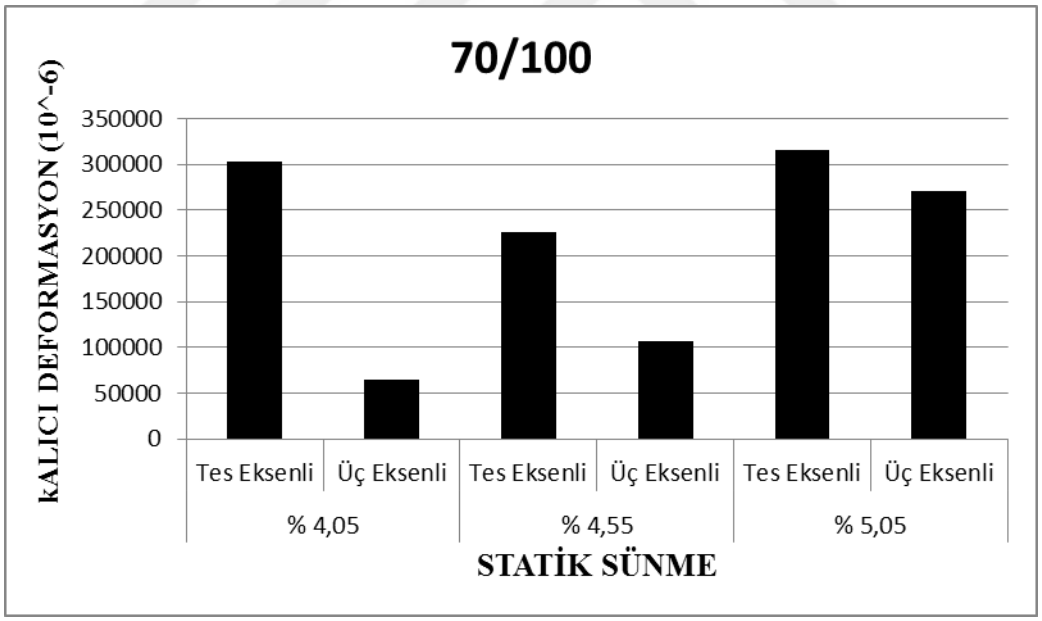


Şekil 4.21. 50/70 bitüm statik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları

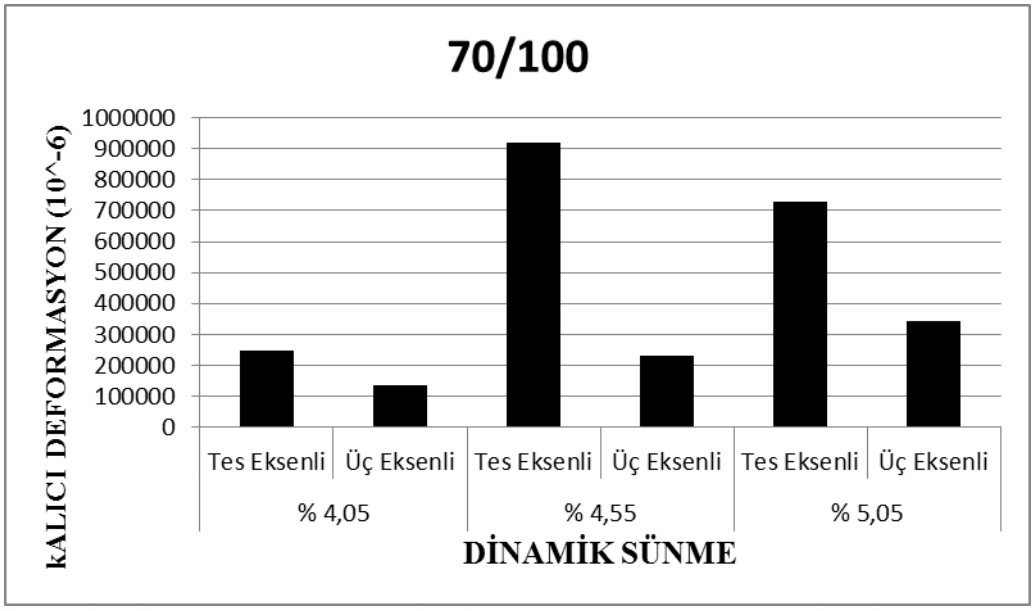


Şekil 4.22. 50/70 bitüm dinamik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları

70/100 bitüm için statik (Şekil 4.23) ve dinamik (Şekil 4.24) olarak gerçekleştirilen sünme testlerinin yanal basınç durumuna göre kalıcı deformasyonları mukayesesi verilmiştir.



Şekil 4.23. 70/100 bitüm statik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları



Şekil 4.24. 70/100 bitüm dinamik sünme deneyi kalıcı deformasyonları karşılaştırılmalı sonuçları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu deneysel çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda, deformasyona karşı direncin farklı yükleme ve deney tiplerinde tespiti ve kıyaslaması yapılmıştır.

Tez çalışmasının uygulama kısmında aynı agrega gradasyonuna sahip % 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 – 6,5 bitüm muhtevasında 50/70 bitüm kullanılarak 4'er adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Marshall Tasarım Yöntemiyle optimum bitüm muhtevası bulunmuştur. Belirlenen oranın ± ‰ 5 yüzdelerinde olmak üzere 3 farklı bitüm yüzdesinde 50/70 ve 70/100 bitüm kullanılarak 48 adet numune hazırlanmıştır.

Hazırlanan numuneler üzerinde tek eksenli statik, tek eksenli dinamik, üç eksenli statik, üç eksenli dinamik olmak üzere 4 farklı sünme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda ise;

50/70 bitüm ile yapılan deneylerde deney gruplarının hepsinde bitüm oranı arttıkça kalıcı deformasyon ve sünme oranlarında paralel bir artış gözlemlenmiştir.

70/100 bitümde ise üç eksenli olarak gerçekleştirilen deneylerde bitüm oranı arttıkça kalıcı deformasyon ve sünme oranlarında paralel bir artış gözlemlenirken tek eksenli statikte optimum bitüm oranında en düşük deformasyon, tek eksenli dinamikte ise optimum bitüm oranında en yüksek deformasyon gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen her iki deney tipi içinde 50/70 ve 70/100 bitümlerde dinamik deneylerde statik deneylere göre daha fazla deformasyon gerçekleşmiştir.

Üç eksenli ve tek eksenli olarak her iki bitüm yüzdesinde yapılan deneylerde üç eksenli olarak gerçekleştirilen deneylerde deformasyonların oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tek eksenli statik deneylerde, 50/70 bitümde optimum bitüm muhtevasına sahip numunelerin deformasyon değerleri ‰ 5 üstü ve ‰ 5 altının arasında kalırken 70/100 bitümde ise daha fazla deformasyon gözlenmiştir. 70/100 bitüm tipinde deformasyonlar 50/70'e göre daha düşük çıkmıştır.

Tek eksenli dinamik deneylerde, 50/70 bitümde optimum bitüm muhtevasına sahip numunelerin deformasyon değerleri ‰ 5 üstü ve ‰ 5 altının arasında kalırken 70/100 bitümde ise daha fazla deformasyon gözlenmiştir. 70/100 bitüm tipinde deformasyonlar 50/70'e göre daha düşük çıkmıştır.

Üç eksenli statik deneylerde, her iki bitüm tipi içinde optimum bitüm muhtevasına sahip numunelerin deformasyon değerleri ‰ 5 üstü ve ‰ 5 altının arasında kalmıştır. 70/100 bitüm tipinde deformasyonlar 50/70'e göre daha düşük çıkmıştır.

Üç eksenli dinamik deneylerde, her iki bitüm tipi içinde optimum bitüm muhtevasına sahip numunelerin deformasyon değerleri ‰ 5 üstü ve ‰ 5 altının arasında kalmıştır. 70/100 bitüm tipinde deformasyonlar 50/70'e göre daha düşük çıkmıştır.

Optimum bitüm muhtevasında dinamik sünme testinde statik sünme testine kıyasla kalıcı deformasyon bakımından yanal basınç etkisini daha fazla göstermektedir.

Optimum bitüm muhtevasında dinamik sünme testinde statik sünme testine kıyasla saniyedeki sünme oranı bakımından yanal basınç etkisini daha fazla göstermektedir.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada yapılan deneyler 40 °C'de gerçekleştirilmiştir. Daha farklı dereceler ve bitüm yüzdeleri için daha farklı çalışmalar yapılabilir.

Üç eksenli hücre içi yanal basıncın farklı değerlerle deneyler gerçekleştirilip farklılıklar gözlemlenebilir.

Statik deneyler 82 kg eksenel yük altında ve 3600 sn yükleme ile yapılmıştır. Farklı yükler ve süreler ile deneyler yapılabilir.

Dinamik deneyler 1 sn yükleme, 1 sn dinlenme süresi ve 3600 tekrar ile yapılmıştır. Daha farklı yükleme, dinlenme süreleri ve tekrar sayısı ile deneyler gerçekleştirilip farklı çalışmalar yapılabilir.

Optimum bitüm muhtevasını belirlemede Marshall metodu kullanılmıştır. Başka bitüm muhtevası belirleyen deneyler ile belirlenip bu yüzdeler ile çalışılabilir.

Gyratory ile üretilebilecek büyük çapta numuneler ile literatürde bulunan kısmi üç eksenli deneyi yani yükleme plakası çapının numune çapından küçük olduğu durumda deneyler gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Arslan, D., Gürü, M., Çubuk, M. K. ve Çubuk, M., 2011, Improvement of bitumen and bituminous mixtures performances by triethylene glycol based synthetic polyboron, *Construction and Building Materials*, 25 (10), 3863-3868.

Avcı, E., 2009, Sıcak iklimli bölgelerde kullanılan asfalt betonu karışım değişkenlerinin kaplama tabakası performansına etkisi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Blanc, J., Gabet, T., Hornych, P., Piau, J.-M. ve Di Benedetto, H., 2015, Cyclic triaxial tests on bituminous mixtures, *Road Materials and Pavement Design*, 16 (1), 46-69.

Brown, E. ve Foo, K. Y., 1994, Comparison of unconfined-and confined-creep tests for hot mix asphalt, *Journal of materials in civil engineering*, 6 (2), 307-326.

Brown, E. R., Kandhal, P. S. ve Zhang, J., 2001, Performance testing for hot mix asphalt, *National Center for Asphalt Technology Report* (01-05).

Ceylan, S., 2006, Bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak carboniferous-triassic kayaç tozlarının kullanılması ve etkisi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Çelik, O. N., 1996, The engineering properties and fatigue behaviour of asphaltic concrete made with waste shredded tyre rubber modified binders, *University of Leeds*.

Çetin, A., 2011, Bitümlü Sıcak Karışımların Deformasyon Direncinin Üç Eksenli Kayma Mukavemeti Deneyi İle İncelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Çubuk, M. K., 2001, Karayolu Üstyapısında Meydana Gelen Bozulmalar ve Çözüm Önerileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (1), 221-230.

Dołżycki, B. ve Judycki, J., 2008, Behaviour of asphalt concrete in cyclic and static compression creep test with and without lateral confinement, *Road Materials and Pavement Design*, 9 (2), 207-225.

EN, B., 12697-25. Bituminous mixtures-test methods for hot mix asphalt, Part.

Gayathri, V., Rajasekar, Y. P., Roja, K. L. ve Krishnan, J. M., 2016, Influence of confinement pressure on the development of three stage curve for bituminous mixtures, *Transportation in Developing Economies*, 2 (2), 10.

Grubu, T. B. Y. T. Ç., 2003, Beton Yollar, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri* (427), 38-44.

Güngör, A. ve Sağlık, A., 2008, Karayolları esnek üst yapılar projelendirme rehberi, *Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara*.

Hofko, B. ve Blab, R., 2011, Assessment of permanent deformation behavior of asphalt concrete by improved triaxial cyclic compression testing, *Transportation and Development Institute Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow*, 396-405.

Hofko, B., 2015, Addressing the permanent deformation behavior of hot mix asphalt by triaxial cyclic compression testing with cyclic confining pressure, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2 (1), 17-29.

Huang, X. ve Zhang, Y., 2010, A new creep test method for asphalt mixtures, *Road Materials and Pavement Design*, 11 (4), 969-991.

Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001, Asfalt ve uygulamaları, *İSFALT Bilimsel Yayınları* (1), 280.

Kutluhan, S. ve Ağar, E., 2011, Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunu etkileyen faktörler ve azaltmaya yönelik öneriler, *İTÜDERGİSİ/d*, 8 (6).

Lav, A. ve Lav, M., 2004, Shell Bitüm El Kitabı, *İSFALT Bilimsel Yayınları* (3), 334.

Miljković, M. ve Radenberg, M., 2011, Rutting mechanisms and advanced laboratory testing of asphalt mixtures resistance against permanent deformation, *Facta Universitatis-Series: Architecture and Civil Engineering*, 9 (3), 407-417.

Müdürlüğü, K. G., 2006, Karayolları teknik şartnamesi, Ankara.

Orhan, F., 2001, Bitümlü karışımlar laboratuar çalışmaları, *Kgm Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara*.

Önal, M. ve Kahramangil, M., 1993, Bitümlü karışımlar laboratuvar el kitabı, *Kgm Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara*.

Read, J. ve Whiteoak, D., 2003, The shell bitumen handbook, Thomas Telford, p.

Sohm, J., Hornych, P., Gabet, T. ve Di Benedetto, H., 2010, Cyclic triaxial apparatus for the study of permanent deformations of bituminous mixes, *ISAP 11th International Conference On Asphalt Pavements*, sp.

Taherkhania, H., 2011, Compressive creep behaviour of asphalt mixtures, *Procedia Engineering*, 10, 583-588.

Taşcı, A., 2010, Piroliz edilmiş atık araç lastiklerinden elde edilen atık yağ ve karbon siyahı ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının reolojik özellikleri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Torun, S., 2015, Bitümlü sıcak karışımlarda katkı maddesi olarak Pr Plast S kullanımının araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Tunç, A., 2004, Kaplama mühendisliği ve uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, p.

Umar, F. ve Ağar, E., 1985, Yol üstyapısı, İTÜ, p.

Wang, J., Molenaar, A. A., van de Ven, M. F. ve Wu, S., 2016, Behaviour of asphalt concrete mixtures under tri-axial compression, *Construction and Building Materials*, 105, 269-274.

Xu, T., Wang, H., Li, Z. ve Zhao, Y., 2014, Evaluation of permanent deformation of asphalt mixtures using different laboratory performance tests, *Construction and Building Materials*, 53, 561-567.

YILMAZ, A., KARAŞAHİN, M. ve ÇAĞLAR, M., 2009, Granüler Yol Malzemeleri için Düsük Maliyetli Dinamik Üç Eksenli Test Cihazı Geliştirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (1), 26-34.

Zhang, J., Yang, J. ve Kim, Y. R., 2015, Characterization of mechanical behavior of asphalt mixtures under partial triaxial compression test, *Construction and Building Materials*, 79, 136-144.

Zheng, J. ve Huang, T., 2015, Study on triaxial test method and failure criterion of asphalt mixture, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2 (2), 93-106.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fatih KARAÇOR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Selçuklu 15/07/1991
Telefon : 05057101602
Faks :
e-mail : fatihkaracor@gmail.com

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise :	**Meram Anadolu Lisesi, Meram, Konya**	**2009**
Üniversite :	**Gazi Üniversitesi, Çankaya, Ankara**	**2013**
Yüksek Lisans :		
Doktora :		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2013	**Alpdemir İnşaat**	**Hakediş, Metraj, Keşif, İhale Dosyası Hazırlama**
2015	**Milka İnşaat**	**Şantiye Şefi**
2016	**Kafkas Üniversitesi**	**Ulaştırma A.B.D. ÖYP Arş. Gör.**