T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAZİ VE LABORATUVAR SIKIŞTIRMA ŞARTLARININ BİTÜMLÜ SICAK ARIŞIMLARIN HACİMSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlyas TURHAN
092115105
Ana Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Ulaştırma
Danışman: Doç. Dr. Baha Vural KÖK

ELAZIĞ-2013

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAZİ VE LABORATUVAR SIKIŞTIRMA ŞARTLARININ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN HACİMSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlyas TURHAN
092115105

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 Haziran 2013
Tezin Savunulduğu Tarih: 05 Temmuz 2013

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Baha Vural KÖK**
Diğer Jüri Üyeleri : **Prof.Dr.Necati KULOĞLU**
Yrd.Doç.Dr.Erdinç ARICI

TEMMUZ-2013

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında kıymetli katkılarını ve engin hoşgörüsünü esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç.Dr.Baha Vural KÖK'e ve deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd.Doç.Dr.Mehmet YILMAZ'a, Açılım İnşaat Elazığ asfalt şantiyesi çalışanlarına, maddi yönden tezimi destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP)'ne teşekkürlerimi sunarım.

İlyas TURHAN

Elazığ-2013

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **II**

İÇİNDEKİLER ..... **III**

ÖZET ..... **V**

SUMMARY ..... **VI**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VII**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **IX**

SEMBOLLER LİSTESİ ..... **X**

1. GİRİŞ **1**

2. KARAYOLLARININ YAPISI **3**

3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR **5**

3.1 Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregalar ve Özellikleri [8] 5

3.1.1 Agrega Gradasyonu ve Yüzey Yapısı [8] 6

3.1.2 Agreganın Sağlamlığı 7

3.1.3 Bitüm Emme Derecesi (Absorbsiyonu) 8

3.1.4 Yassı ve Uzun Agregalar 8

3.1.5 Zararlı Maddeler 8

3.1.6 Bitümlü Sıcak Karışım Agregalarının Üretilmesi 9

3.1.7 İnce Malzeme Özelliklerinin Performansa Etkisi 11

3.2 Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bağlayıcılar 14

4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN ÜRETİLMESİ **17**

4.1 Asfalt Plentleri 17

4.1.1 Sürekli Tip Asfalt Plenti 17

4.1.2 Harman Tipi Asfalt Plenti 18

4.2 Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminden Kaynaklanan Bozulmalar 20

5. BİTİMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN SERİLMESİ VE SIKIŞTIRILMASI 23

5.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Serilmesi 23

5.2. Bitimlü Sıcak Karışımların Sıkıştırılması 27

5.2.1 Enine Derz 30

5.2.2 Boyuna Derzler 31

5.2.3 Başlangıç Sıkıştırması 32

5.2.4 Ara Silindiraj 33
5.2.5 Son (Ütüleme) Silindraj 34
5.2.6 Kaplamanın Serme ve Sıkıştırılmasından Kaynaklanan Bozulmalar 34
6. ÇALIŞMADA KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ 39
6.1 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi 39
6.2 Çekme Dayanımı Deneyi 40
6.3 İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi 40
6.4 İndirekt Çekme Yorulma Deneyi 42
7. DENEYSEL ÇALIŞMA 45
7.1 Malzeme Karakteristiklerinin Belirlenmesi 45
7.2. Çalışmada Kullanılacak Sıcak Karışımın Optimum Bitüm Oranının Belirlenmesi 46
7.3. Arazi ve Laboratuvar Çalışma Planı 50
7.4. Arazi ve Laboratuvar Numunelerinin Hacimsel Özelliklerinin Değerlendirilmesi 54
7.5 Arazi ve Laboratuvar Numunelerinin Mekaniksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi 62
7.5.1 Marshall Stabilite Deney Sonuçları 62
7.5.2 İndirek Çekme Gerilmesi Deney Sonuçları 67
7.5.3 İndirek Çekme Rijitlik Modülü Deney Sonuçları 73
7.5.4 İndirek Çekme Yorulma Deney Sonuçları 78
8. SONUÇ 82
KAYNAKLAR 84
EKLER 87
EK-A 87
EK- B 99
EK-C 105
ÖZGEÇMİŞ 111

ÖZET

Arazi ve Laboratuvar Sıkıştırma Şartlarının Bitümlü Sıcak Karışımların Hacimsel ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Ülkemizde ve dünyada en çok uygulanan esnek kaplama tipi olan bitümlü sıcak karışım kaplamalar yeni geliştirilen tekniklere bağlı olarak üretilmekte ve serilmektedir. Bitümlü sıcak karışımların uygun serilmesi ve sıkıştırılması kaplamadan beklenecek performans üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Kaplamanın arazideki performansının laboratuvarda değerlendirilebilmesi için arazideki sıkıştırma şartlarına en uygun yöntemler araştırmacılar tarafından yıllardır araştırılmaktadır. Bu çalışmada arazideki ve laboratuvardaki farklı sıkıştırma yöntemlerinin bitümlü sıcak karışımların hacimsel ve mekaniksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla arazide yaklaşık 600 m^2 alan üzerinde 110, 130, 150 °C'lerde ve 4 farklı silindir geçiş sayısı ile sıkıştırılarak binder tabakası inşa edilmiştir. Bu tabakadan alınan karot numunelerinin hacimsel ve mekaniksel özellikleri laboratuvarda aynı sıcaklıklarda Marshall tokmağında farklı darbe sayılarında ve yoğurmalı sıkıştırıcıda farklı yoğurma sayılarında üretilen numunelerin özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta aynı boşluk oranındaki arazi ve laboratuvar numunelerinin birbirinden çok farklı mekanik özellikler sergilediği tespit edilmiştir. Genel olarak arazi ve laboratuvar deneyleri karşılaştırıldığında uygulanan deney yöntemlerine göre farklı benzetimler elde edilmiş ancak ortak olarak arazi numunelerinin bütün deneylerde sıkıştırma enerjisinden laboratuvar numuneleri kadar etkilenmediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Bitümlü sıcak karışım, sıkıştırma enerjisi, yoğurmalı sıkıştırıcı, hacimsel özellikler, mekanik özellikler.

SUMMARY

The Effects of Field and Loboratory Compaction Conditions on Volumetric and Mechanical Properties of Bituminous Hot Mixtures

Hot mix asphalt layers, which are most widely used in Turkey and all over the World, are produced and paved according to the new developed techniques. The proper paving and compaction of hot mixtures have significant effect on the performance of pavement. To appreciate the field performance in the laboratory, scientists have long been searching the most appropriate methods to make a corelation between the field compaction and the laboratory compactions. In this research, the effects of different compaction methots in both field and laboratory on the volumetric and mechanical properties of hot mixtures were investigated. To make this, , binder coarse layer was constructed at 110 °C, 130 °C and 150 °C by compacting 4 different compaction passes in about 600 m^2 place in field. The volumetric and the mechanical properties of cores taken from the layers were compared with the ones which were constructed by different blow numbers in Marshall compactor and different gyration numbers in gyratory compactor. Consequently, different mechanical properties were evaluated for the cores which were taken from the field and the laboratory althoug having the same void ratios. Generally, when the field and the laboratory experiments have been compared, different simulations have been achieved according to different test methods however, it has been designated that the site cores have less been affected by the compaction energy than the laboratory cores in all tests.

Keywords: Bituminus hot mixtures, Compaction energy, Gyratory compactor, volumetric properties, Mechanical properties

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tipik karayolu enkesiti. 4
Şekil 3.1 Farklı kaplama tiplerine ait gradasyon eğrileri. 7
Şekil 3.2 Filler ve bitüm miktarının rijitlik ve boşluğa etkisi. 12
Şekil 3.3 Filler oranının tekerlek izine etkisi. 13
Şekil 3.4 Bitümlü malzemelerin sınıflandırılması. 16
Şekil 4.1 Sürekli tip asfalt plenti. 18
Şekil 4.2 Harman tipi asfalt plenti. 19
Şekil 4.3 Soyulma, sökülme tipi bozulma. 20
Şekil 4.4 Blok çatlak tipi bozulma. 20
Şekil 5.1. Şaşırtmalı boyuna derz ile serim işlemi. 24
Şekil 5.2 Finişer. 25
Şekil 5.3 Sky demiri. 26
Şekil 5.4 Silindir geçiş hızı, genlik ve frekansın sıkıştırma performansı üzerindeki etkisi. 29
Şekil 5.5 Enine derz teşkili. 31
Şekil 5.6. Boyuna derz teşkili. 32
Şekil 5.7 Çukurlar. 35
Şekil 5.8 Enine çatlaklar. 35
Şekil 5.9 Ondülasyonlar 35
Şekil 5.10 Tekerlek izinde oturma. 35
Şekil 5.11 Yorulma çatlakları. 36
Şekil 6.1 ITSM deney düzeneği. 42
Şekil 6.2 İndirek çekme yorulma deney düzeneği. 44
Şekil 7.1 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin Gmb - % bitüm ilişkisi. 48
Şekil 7.2 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin Va - % bitüm ilişkisi. 48
Şekil 7.3 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin V_{MA} - % bitüm ilişkisi. 48
Şekil 7.4 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin V_{FA} - % bitüm ilişkisi. 49
Şekil 7.5 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin stabilite - % bitüm ilişkisi. 49
Şekil 7.6 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin akma - % bitüm ilişkisi. 49
Şekil 7.7 Arazi çalışma planı. 51
Şekil 7.8(a) Plentmix temelin serilmesi. 52
Şekil 7.8(b) Binder tabakasının serilmesi. 52

Şekil 7.8(c) Binder tabakasının sıkıştırılması. 53
Şekil 7.8 (d) Sıkıştırılmış ve soğumuş kaplama. 53
Şekil 7.9 Arazi numunelerinde sıkıştırma enerjisi – hava boşluğu ilişkisi. 56
Şekil.7.10 Arazi numunelerinde sıkıştırma enerjisi – V_{FA} ilişkisi. 56
Şekil 7.11 Marshall tokmağı darbe sayısı- hava boşluğu ilişkisi. 58
Şekil 7.12 Marshall tokmağı darbe sayısı- asfaltla dolu boşluk oranı ilişkisi. 58
Şekil 7.13 Yoğurma sayısı darbe sayısı- hava boşluğu ilişkisi. 59
Şekil 7.14 Yoğurma sayısı darbe sayısı- asfaltla dolu boşluk oranı ilişkisi. 60
Şekil.7.15 Marshall tokmağı darbe sayısı – silindir pas sayısı ilişkisi. 61
Şekil.7.16 Yoğurma sayısı – silindir pas sayısı ilişkisi. 61
Şekil 7.17 Sıkıştırma yöntemleri - hava boşluğu ilişkisi. 62
Şekil 7.18 Sıkıştırma yöntemleri – Marshall stabilitesi ilişkisi. 66
Şekil 7.19 Hava boşluğu stabilite ilişkisi. 67
Şekil 7.20 Yoğurmalı sıkıştırmada ITS'lerde meydana gelen değişim. 70
Şekil 7.21 Marshall sıkıştırmasında ITS'lerde meydana gelen değişim. 70
Şekil 7.22 Arazi sıkıştırmasında ITS'lerde meydana gelen değişim. 70
Şekil 7.23 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde ITS'lerde meydana gelen değişim. 71
Şekil 7.24 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde hava boşluğu – ITS ilişkisi. 72
Şekil 7.25 Sıcaklık yoğurma sayısı ve ITSM ilişkisi. 76
Şekil 7.26 Sıcaklık,Marshall tokmağı sayısı ve ITSM ilişkisi. 76
Şekil 7.27 Sıcaklık, silindir pas sayısı ve ITSM ilişkisi. 76
Şekil 7.28 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde ITSM'lerde meydana gelen değişim. 77
Şekil 7.29 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde hava boşluğu – ITSM ilişkisi. 78
Şekil 7.30 Arazide sıkıştırılan numunelerin yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi. 78
Şekil 7.31 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi. 79
Şekil 7.32 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi. 79
Şekil 7.33 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde yük tekrar sayılarında meydana gelen değişim 81
Şekil 7.34 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde hava boşluğu- yük tekrar sayısı ilişkisi. 81

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 5.1 Çeşitli faktörlerin sıkıştırma süresi üzerindeki etkisi. 33
Tablo 7.1. Bağlayıcının özellikleri.....45
Tablo 7.2. Agreganın fiziksel özellikleri.....46
Tablo 7.3. Agrega gradasyonu.....46
Tablo 7.4 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin optimum bitüm içeriklerinin belirlenmesi. 47
Tablo 7.5 Karışımların optimum bağlayıcı oranlarının tespitinde kullanılan değerler. 50
Tablo 7.6 Arazi numunelerinin hacimsel özellikleri. 54
Tablo 7.7 Marshall tokmağı ile hazırlanan numunelerin hacimsel özellikleri. 57
Tablo 7.8 Yoğurmalı sıkıştırıcı ile hazırlanan numunelerin hacimsel özellikleri. 59
Tablo 7.9 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri.....64
Tablo 7.10 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri..... <65
Tablo 7.11 Arazide sıkıştırılan numunelerin indirek çekme gerilmesi değerleri.....68
Tablo 7.12 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin indirek çekme gerilmesi değerleri.....68
Tablo 7.13 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin indirek çekme gerilmesi değerleri.....69
Tablo 7.14 Farklı sıkıştırma yöntemlerindeki ortalama hava boşluğu değerleri. 72
Tablo 7.15 Arazide sıkıştırılan numunelerin indirek çekme rijitlik modülü değerleri.....74
Tablo 7.16 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin indirek çekme rijitlik modülü değerleri.....74
Tablo 7.17 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin indirek çekme rijitlik modülü değerleri. 75
Tablo 7.18 Numunelerin 3 mm deformasyondaki yük tekrar sayıları. 80

SEMBOLLER LİSTESİ

B : Marshall tokmağı darbe sayısı

BSK : Bitümlü sıcak karışım

c : Stabilite için düzeltme katsayısı

CRS-1 : Katyonik asfalt emülsiyonu

d : Serilen malzemenin kalınlığı

D : Numune çapı

F : Numunenin taşıyabildiği maksimum yükü

G : Yoğurma sayısı

G_{mb} : Hacim özgül ağırlık

G_{mm} : Maksimum özgül ağırlık

IÇYD : İndirekt çekme yorulma deneyi

ITS : Dolaylı çekme mukavemeti

ITSM : İndirekt çekme rijitlik modülü

k : Çevresel koşullara başlangıçtaki serme ve ortam sıcaklığına bağlı bir katsayı

L : numune yüksekliği

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

MC : Orta hızda kür olan sıvı petrol asfaltı

N_f : Kırılmaya neden olan yük tekerrür sayısı

P : Silindir pas sayısı

RC : Çabuk kür olan sıvı petrol asfaltı

SC : Yavaş kür olan sıvı petrol asfaltı

SHRP : Strategic Highway Research Programme

t : İlk sıcaklık değerinden ortam sıcaklığına kadar geçen süre

TSR : Çekme dayanımı oranı

V_a : Hava boşluğu

V_{FA} : Asfaltla dolu boşluk

V_{MA} : Agregalar arası boşluk

W_{doygun} : Havadaki doygun kuru yüzey ağırlık

W_{kuru} : Havadaki kuru ağırlık

W_{suda} : Sudaki ağırlık

1. GİRİŞ

Karayolu ve havaalanı üstyapıları bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de sıklıkla esnek üstyapı olarak projelendirilmekte ve uygulanmaktadır. Esnek üstyapılar alttan üste doğru alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Kaplama olarak en çok sathi kaplama ve bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplama kullanılmaktadır [1]. Esnek kaplamalar içerisinde en yüksek dayanımı, uygun miktarda bitüm ve uygun gradasyona sahip agreganın ısıtılıp karıştırılması sonucu elde edilen bitümlü sıcak karışımlar göstermektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda kohezyon, bitümlü bağlayıcı tarafından karşılanırken agrega ise karışımın içsel sürtünme direncini ve stabilitesini sağlamaktadır.

Bitümlü bağlayıcı, agrega tanelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmasını önlemekte, oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlamakta, kohezyonu ile karışımın stabilitesini arttırmakta ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcılar, BSK'larda ağırlıkça % 5–7 gibi düşük bir oranında kullanılmasına rağmen karışım performansı üzerinde çok büyük etkiye sahiptir [2]. Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan bağlayıcılar mekanik ve reolojik olarak değişik özellikler sergilemektedirler. BSK'larda kullanılan bağlayıcılar penetrasyon, viskozite ve performans derecelerine göre üç şekilde sınıflandırılmaktadırlar. Çok katı olan bağlayıcılar sıcak havalarda kusmaya, tekerlek izi oluşumuna karşı dirençli olurken soğuk havalarda kırılgan bir özellik göstermektedir. Bu sebepten kaplama yapımında bölgeye uygun bağlayıcı seçimi yapılmaktadır. Bağlayıcının ve dolayısıyla bitümlü sıcak karışımların özelliklerini iyileştirmek ısıya karşı olan hassasiyetini azaltmak amacıyla çoğu zaman bağlayıcıya polimer kökenli katkı maddeleri katılmaktadır [3-5].

BSK'larda agrega olarak volkanik, tortul ve metaformik gibi çok değişik kökenli agregaların yanı sıra demir-çelik üretiminde açığa çıkan atık malzemelerde kullanılabilmektedir. BSK karışımının içerisinde yer alan malzemelerin, tipleri özellikleri miktarları ve hazırlanma şartları bu karışımın hizmet ömrü boyunca sahip olacağı performansı belirlemektedir. Kullanılacak malzemelerin özellikleri, çevresel şartlar, kaplamanın sıkışabilirliliğine ve dolayısıyla rijitliğine etki ederek üst yapının performansını belirlemektedir.

Bitümlü sıcak karışımlar yoğun gradasyonlu, açık gradasyonlu ve kesikli gradasyonlu olacak şekilde tasarlanabilirler. Yoğun gradasyonlu karışımlarda en kabadan

en ince malzemeye kadar olan agrega boyutları birbirinin boşluklarını dolduracak şekilde uygun oranlarda olduğundan karışımın yoğunluğu artmaktadır. İnce agregası az olan açık gradasyonlu karışımların boşluk oranı yüksektir. Kesikli gradasyon belirli aralıktaki dane çaplarını ihtiva etmediğinden boşluk miktarı fazladır. Uygulamada değişik gradasyon tiplerine sahip bitümlü sıcak karışımlar değişik sıkıştırma teknikleri ile sıkıştırılmakta, laboratuvarda da arazideki sıkıştırmayı temsil edecek sıkıştırma yöntemleri geliştirilmektedir. Laboratuvarda şu anda en yaygın olarak kullanılan Marshall tokmağı ile sıkıştırmanın yanı sıra merdaneli sıkıştırıcı yoğurmalı sıkıştırıcı gibi yöntemler de uygulanmaktadır. Bu sıkıştırma yöntemlerinin arazi sıkıştırmasını ne derecede temsil ettiği, değişik gradasyona sahip karışımlar üzerinde çeşitli özellikler dikkate alınarak incelenmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı arazi sıkıştırma şartlarının BSK'ların hacimsel ve bir çok mekanik özellikleri üzerindeki etkisini birlikte incelemek, laboratuvar ortamında Marshall tokmağı ve yoğurmalı pres ile hazırlanan numunelerin hacimsel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasıdır.

2. KARAYOLLARININ YAPISI

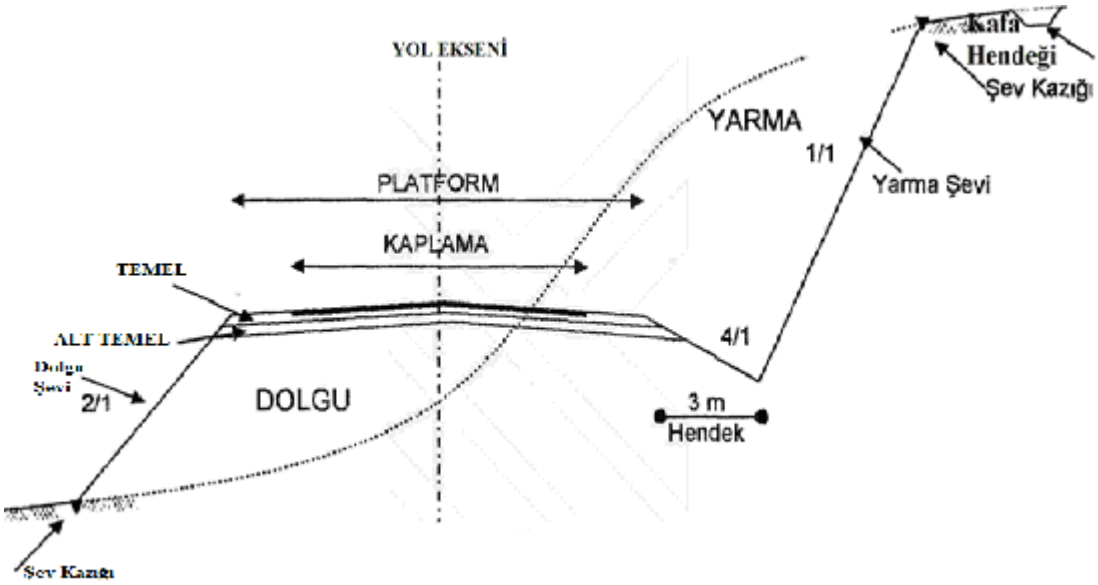
Karayolu yapısını; görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üstyapı olarak iki ayrı bölüme ayırabiliriz.

Karayolu Alt yapısı: Yolun, toprak işi sonunda, daha önceden saptanan kot ve enkesit şekline getirilmiş durumuna başka bir ifade ile yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adi verilir. Altyapı; yolun dolgu kesimlerinde dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Menfez, drenaj sistemleri ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı içine girer. Altyapı, yolun esas taşıyıcı kısmıdır. Ancak yolun taşıyıcılık görevini iyi şekilde yapabilmesi için üzerine başka tabakaların da inşa olunması zorunluluğu vardır [6].

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üst yapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa yolu dış etkilerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için; trafik yüklerine, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının oluşturulmasında; bitkisel toprak ve çürük zemin kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Bu nedenle alt yapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi etüt edilmeleri gerekmektedir [6].

Karayolu Üst yapısı : Yolun, trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere alt yapı üzerine inşaa olunan ve temel altı (alt temel), temel, kaplama tabakalarından oluşan kısma üst yapı denir [6]. Günümüzün karayolu anlayışında her türlü oto korkuluk yapımı, düşey ve yatay işaretleme de üst yapı çalışmalarına dahil edilmektedir. Doğal zeminden meydana getirilen altyapı üzerine serilen ve genelde kırmataş, kum, çakıl, kil gibi malzemelerden oluşturulan tabakaya alt temel (temel altı) tabakası adı verilir. Kaplama ile temel altı tabakası arasına yerleştirilen ve trafiğin doğrudan temas etmediği doğal kum, çakıl, kil ve bitüm karışımları gibi malzemelerden oluşan tabaka ise temel tabakası olarak adlandırılır. Yol üst yapıları değişik hava şartlarında üzerinden geçen trafik yüklerini bozulmadan altyapıya aktarmlı ve aynı zamanda sürüş emniyeti ve konforu sağlamalıdır [7].

Karayolu yapısına ait tipik bir enkesit Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tipik karayolu enkesiti.

3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR

Bitümlü sıcak karışım, yüksek sıcaklığa kadar ısıtılarak kurutulmuş ve sıcak asfalt ile karıştırılmış uygun gradasyonlu agregadır. Bu karışım kaplama yerine nakledilip, finişere doldurulur, sonra düzgün bir tabaka halinde serilir. Elverişli bir yoğunluk elde etmek için gereken sıcaklıkta iken sıkıştırılır.

3.1 Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregalar ve Özellikleri [8]

Kum, çakıl, kırma taş, cüruf veya benzeri diğer mineral bileşiklerinin bağlayıcılı yada bağlayıcısız bir ortamda; bitümlü bir karışım, çimento betonu, harç, makadam, mastik oluşturacak şekilde bir araya gelmelerine agrega denir. Doğal ve yapay olmak üzere genelde ikiye ayrılırlar. Doğal agregalar doğal oluşum sonucu var olan agregalardır. 3 ana başlıkta toplanırlar.

Volkanik Agregalar (Püskürük): Kristalli bir yapıları olup erimiş magmanın soğuması sonucu oluşmuşlardır. Bazalt, porfir, mikro granit, felsit bu gruba girer.

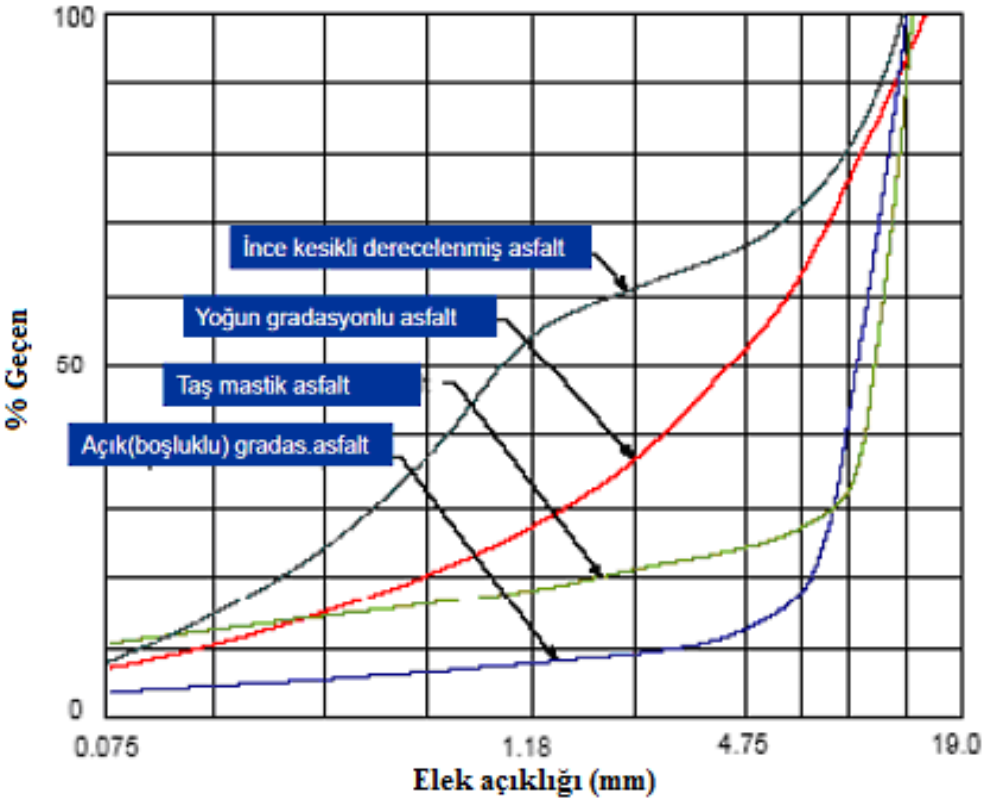
Tortul Agregalar (Sedimanter): Bunlar doğada var olan erimeyen granüller malzemenin genellikle su altında birikmesinden veya denizlerin dibinde depo edilmiş deniz hayvanlarının inorganik artıklarından veya daha seyrek olarak da çözeltilerdeki erişmiş minerallerin kristalizasyonu ile oluşmuşlardır. Tebeşir, kalker, dolomit, kumtaşı, çakmak taşı, kil örnek olarak verilebilir.

Metamorfik Agregalar (Değişime uğraşım): Doğadaki tortul ve volkanik taşların büyük ısı ve basınç etkileri sonucu değişime uğrayıp oluşturdukları agregalardır, Şist, hornfels, gnays ve granulit örnek olarak verilebilir.

Yapay Agregalar endüstriyel çalışmaların yan ürünleridir bir üretim sonunda elde edilir, fiziksel ve hatta kimyasal değişikliğe uğratılırlar. Cüruf; yüksek fırın yan ürünü olup volkanik taşları andırırlar. Ca, Al, Mg. karışımıdır. Kılinker; fırın artığıdır, küllerin topaklar durumuna gelmesi sonucu oluşmuşlardır. Çimento; belli bir gradasyonu olup filler olarak kullanılır, bağlayıcılık görevi yapmazlar.

3.1.1 Agrega Gradasyonu ve Yüzey Yapısı [8]

Farklı büyüklükteki agrega danelerinin oluşturduğu gradasyon bitümlü sıcak karışımların performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bitümlü sıcak karışımların gradasyonları Şekil 3.1'de görüldüğü gibi farklı olabilir. Yoğun gradasyonlu bitümlü sıcak karışımlarda mineral agregalar arasında yeterli boşluğa sahip (VMA) uygun gradasyon, yapım sırasındaki ayrışmalara karşı direnci ve ince kaplamalarda trafik altında oluşacak yorulma çatlaklarına karşı direnci artırmaktadır. Açık gradasyonlu karışımlarda kaba agregada agrega – agrega temasını sağlayan gradasyon temin edilmeye çalışılmaktadır. Maksimum agrega boyutu da gradasyonda önemli bir kriterdir. Maksimum dane boyutu büyük olan karışımların kalıcı deformasyonlara karşı direnci küçük olanlara göre daha yüksektir [9]. Kaplamanın stabilitesinde, agrega danelerinin şekliyle agrega gradasyonunun etkisi fazladır. Yuvarlak ve düz yüzeyli agrega daneleri kaplamada istenilen stabiliteyi temin edemezler. Bundan dolayıdır ki kaba agrega (No:4 elek üzeri) danelerin en az % 60' ının en az bir yüzünün kırılmış olması şartname gereğidir. Aynı zamanda ince agrega (No:4 elek altı) danelerinin yüzey yapısında kaba agrega deneleri yüzey yapısı kadar önemli rolü vardır. Kaplamanın stabilitesi yoğunluğu arttığı oranda artar ve istenilen yoğunlukta agrega danelerinin iyi ve homojen bir şekilde dağılımı ile mümkün olur. Agreganın şeklinin, köşeliliğinin ve yüzey yapısının performansa etkisi açık gradasyonlu karışımlarda daha fazla önem arz etmektedir. İnce agreganın şekli ve yüzey özellikleri ise yoğun gradsyonlu karışımların fiziksel özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.



Şekil 3.1 Farklı kaplama tiplerine ait gradasyon eğrileri.

3.1.2 Agreganın Sağlamlığı

Agreganın sağlamlığı çevresel etkiler ve trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı dirençli olmasıdır. Esnek üst yapılarda kullanılan karışımlar gerek hazırlanması gerek serilip sıkıştırılması ve gerekse trafik altında çarpma ve aşınma etkilerine maruzdur. Kaplamalardaki agregaların bu gibi etkilere dayanabilmesi için iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı büyük bir mukavemete sahip olması gereklidir. Bu amaçla agregalar üzerinde Deval ve Los Angeles deneyleri yapılmaktadır. Ayrıca kaplamalardaki agregalar ve boşluklarındaki sular donma ve çözülme esnasında hacim değişimi göstererek agreganın ufalanmasına ayrışmasına ve karışım gradasyonunun bozulmasına neden olmaktadır. Dona ve rutubet değişikliklerine direnç gösteren agregalar içeren bitümlü sıcak karışımlar hava koşullarına karşı direnç gösterebilir. Ayrıca, agrega değişik hava koşullarında kimyasal hiç bir reaksiyon göstermemelidir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları arasında agreganın sağlamlığı, aşınma direnci ve durabilitesi bakımından Micro Deval ve Magnezyum Sülfat deneylerinin çok iyi korelasyonlar verdiği belirtilmiştir [9].

3.1.3 Bitüm Emme Derecesi (Absorbsiyonu)

Agrega karakteristiğine ve bitümün viskozitesine göre agregaların bitüm emme dereceleri değişiktir. Aynı şekilde agreganın su emme derecesi de değişiktir. Agreganın su emme derecesi ile bitüm emme derecesi arasında bir bağıntı yoktur. Bazı agregalar çok su emme yeteneğine sahip oldukları halde az bitüm emerler veya tersi olur. Suya karşı ilgisi olmayan agrega "Hidrofobik" suya karşı ilgisi olan agrega "Hidrofilik" olarak tanımlanırlar. Agreganın bitümlü maddeye olan ilgisi arttıkça onun soyulmaya karşı direnci artar. Bunun için kaplamalarda hidrofobik karekterde agrega kullanılması arzu edilir. Bununla beraber ekonomik olarak bu her zaman mümkün olmamaktadır.

3.1.4 Yassı ve Uzun Agregalar

Agregaların üretilmesi esnasında kullanılan kırıcı tipleri ve agreganın özelliklerinden ötürü bazı agregalar yapraksı şekilde olmaktadırlar. Yassı ve ince uzun dane olarak adlandırılan bu tip agregalarda kriter en büyük boyutun en küçük boyutuna oranı olup, çeşitli kurumlar tarafından farklı değerler dikkate alınmaktadır. ASTM 4791 standardına göre belirlenmiş bu oranın 5:1 olarak alınması durumunda yassı ve uzun dane oranının tekerlek izi ile yüksek korelasyon verdiği tespit edilmiştir [10]. Kaba agreganın bünyesinde yassı ve uzun agrega daneleri bulunursa karışımın işlenebilmesi azalır ve bu durum, kaplamanın yoğunluk ve yüzey yapısına etki eder. Yassı ve uzun daneler kaplamanın serilmesi ve sıkıştırılması esnasında uzun boyutları yola parallel olacak şekilde yerleşmekte ve karışımın içinde kolayca yer değiştirebilmektedir ve yük etkisi altında kolayca kırılabilmektedir. Sonuç olarak gradasyonu değişen ve atalet mukavemeti düşük olan bir karışım ortaya çıkmaktadır.

3.1.5 Yabancı Maddeler

Bitümlü karışımlarda kullanılacak agregaların temiz ve yabancı madde içermemesi, agrega bitüm adezyonu açısından büyük önem arz etmektedir. Agregalar temiz olmadıkları takdirde bitüm agregayı sarabilmekte ancak agrega ile temas edemeyip iyi bir adazyon gerçekleşememektedir. Kötü adezyon neticesinde suyun olması durumunda asfalt filmi agregadan filimde bir kırıkma meydana gelerek yada gelmeyerek ayrılmakta ve agrega

daneleri çıplak kalmaktadır. Bu istenmeyen maddeler aynı zamanda agrega üzerindeki bitümü absorbe ederek asfalt filim kalınlığının azalmasına, suyun agregaya penetrasyonu için kanallar oluşturarak soyulmaya sebep olmaktadır. İnce agrega içerisindeki kil miktarının tespit edilmesi için Metilen Mavisi deneyinin başarılı bir yöntem olduğu bu deney ile bulunan sonuçların ıslak ortamda yapılan tekerlek izi deney sonuçları ile yüksek korelasyon verdiği belirtilmiştir [10].

3.1.6 Bitümlü Sıcak Karışım Agregalarının Üretilmesi

Agrega üreten makinalara genelde konkasör adı verilir. Konkasörleri, kırıcıları genellikle çeneli ve darbeli kırıcılar olan Primer konkasörler; kırıcıları genellikle konik, düşey milli kırıcılar, dik milli kırıcılar, kübikser ve tersiyer tipte olan sekonder konkasörler olarak iki başlık altında toplayabiliriz.

Çeneli Kırıcılar: Dere yatağı veya taş ocaklarından elde edilen kırılacak malzemeyi biri sabit diğeri hareketli iki çenesi arasında sıkıştırarak kıran en çok kullanılan eski bir kırıcı tipidir. Kırma olayını gerçekleştiren hareketli çene eksantrik tahrik mili yardımıyla gövdeden askıya alınmış ve emniyet plakası ile kırıcı gövdesine desteklenmiştir. Hareketli çene beslenme ağzında daireye yakın bir elips, çıkış ağzı bölgesinde ise düz çizgiye yakın dar bir elips çizerek yukarı aşağı hareket etmektedir. Bu sistem sayesinde malzeme yukarıda kavranarak kırılmasına, aşağıda ise ivme kazanarak çıkış ağzını terk ederek malzeme akışını sağlamaktadır. Elde edilmek istenen ürün ebadını bir kırıcıyla elde etmek mümkün değildir. Çeneli kırıcılar kaba malzeme elde etmek için primer kırıcı olarak kullanıldıkları gibi, ince malzeme elde etmek için sekonder kırıcı olarakta kullanılabilmektedirler. Primer çeneli kırıcıların besleme ağzı sekonder çeneli kırıcıların besleme ağzına göre daha geniştir. Kırıcıya beslenecek malzeme, istenilen ürün ebadı ,kapasiteyi belirlemektedir. Sertliği ve aşındırıcılığı ne olursa olsun her türlü ocak ve dere malzemesini kırmakta kullanılır. Eni dar yüksekliği fazla olan tipteki çeneler; taş ocağı malzemesinde, aksine eni yüksekliğinden fazla olan çeneleri ise dere malzemelerin kırılmasında daha verimli olurlar [11].

Darbeli Kırıcılar: Çene ayarlı darbeli kırıcılardan olan kırıcılar, orta ve yüksek sertlikte malzemeleri (Kireçtası, dolomit, granit ve bazalt gibi.) asfalt ve beton agregası iriliğinde kıran kırıcılardır. İri malzeme beslenebilme, kübik ürün, yüksek küçültme oranı,

yüksek kapasite, düşük yatırım ve işletme maliyeti bu tip kırıcıları, kırma eleme tesislerinde ideal sekonder kırıcı yapmaktadır. Kırıcıya giren taş, rotor çekiçlerinin savurması ile özel tasarlanmış birinci bölgedeki kırıcı elemanlara çarpar ve birinci kırma aşaması gerçekleşir. Bu bölgede kırılması çok zor malzemeleri dahi kırabilecek kadar yüksek basınç ve malzemeyi kırma gücü oluşturulur. Kırılan malzeme istenen ebatlarda ise ikinci bölgeye geçer. Bu bölgeye geçemeyecek kadar büyük malzemeler kırma elemanları tarafından tekrar birinci bölgeye gönderilir ve ikinci bölgeye geçebilecek boyuta gelene kadar bu bölgede kalır. İkinci bölgeye geçen malzeme bir kırma aşamasından daha geçer ve daha küçük ebatlara indirgenir. Daha sonra ise malzeme üçüncü ve son bölgeye geçer ve son kez kırma işlemi gerçekleşir. Artık malzeme en küçük ebatlara indirgenmiştir. Kırılarak elde edilen her bir agrega grubuna ait elek analizleri yapılarak istenilen gradasyona göre oranları saptanır

a) Konik Kırıcılar: Genellikle sekonder ve tersiyer konkasör olarak kullanırlar. Değirmen tipi konkasörler diye de adlandırılırlar. Ortada eksantrik hareket eden hareketli konik bir çene ile bunun dışında şasiye monte edilmiş sabit bir çeneden oluşmuşlardır. Sertliği ve aşındırıcılığı ne olursa olsun her türlü ocak ve dere malzemesini kırmakta kullanılır.

b) Dikmilli Kırıcılar: Dik milli darbeli kırıcılar, ince malzeme üretmek amacıyla, sekonder kırıcı olarak kullanılır. Kalker, dere malzemesi, bazalt, granit gibi malzemelerin kırılmasında kullanılabilir. Kırıcı, yüksek devirde ve dik dönen rotor üzerindeki çekiçler tarafından fırlatılan malzemeyi, makine gövdesinde yer alan özel alaşımlı bloklara, oradan da diğer aşınma parçalarına çarptırarak kırma olayını gerçeklestirir. Özellikle agreganın inceltilmesinde tercih edilmekle beraber kendi başına da çalıştırılabilinir. Dmax 40 mm'dir. Dik milli kırıcıların en büyük dezavantajı ikinci kırıcı olarak kullanıldıklarında malzemelerin yassılıklarında artmalar meydana geldiğinden dolayı genellikle ya üçüncü sekonder kırıcı ya da tek başlarına kurulurlar.

c) Kübikser Kırıcılar: Primer çeneli kırıcı gibi çalışır. Önceki yıllarda daha çok tercih edilen kübikser kırıcılar sekonder ikinci veya üçüncü kırıcı olarak kullanılırlar. Agrega çapını küçültmek için kullanılır. Dmax 150 mm'dir. Kapasiteleri yüksek olmadığından dolayı artık fazla tercih edilmemektedirler.

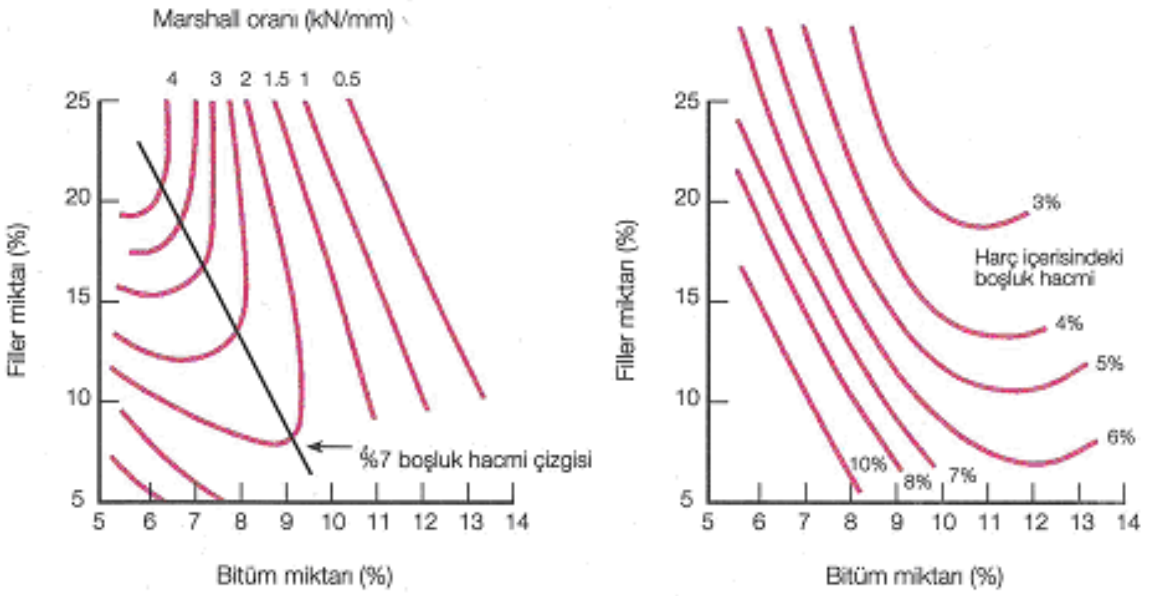
d) Düşey Milli Kırıcılar: Düşey milli kırıcılar, agrega yapısı sert olan (LasAngeles aşınma değeri <%20) dere veya taş ocaklarında malzemeyi inceltmek ve kapasiteyi arttırmak için kullanlırlar. Kübiksere oranla daha güçlü olup ikinci sekonder olarak günümüzde en fazla tercih edilen sekonder kırıcıdır. Kapasitesinin fazla olması ve Dmax 250 mm olmasından dolayı sert yapılı malzemelerin kırılmasında en ideal çözümdür. Ayrıca onarım kolaylığından dolayı da çok tercih edilen bir sekonder kırıcıdır

e) Tersiyer Kırıcılar: Sekonder kırıcılardan ikinci kırıcı olarak kullanılmayan tersiyerler genellikle geridönüşte (elek üzerinde kalan ve tekrar primer kırıcıya gönderilecek olan) kullanılır. Çene içerisindeki rotor ile cidar arasına malzemenin sıkıştırılması yoluyla kırma işlemi gerçekleştirilir. Malzemeyi inceltmek için kullanılır. D max 100 mm'dir

3.1.7 İnce Malzeme Özelliklerinin Performansa Etkisi

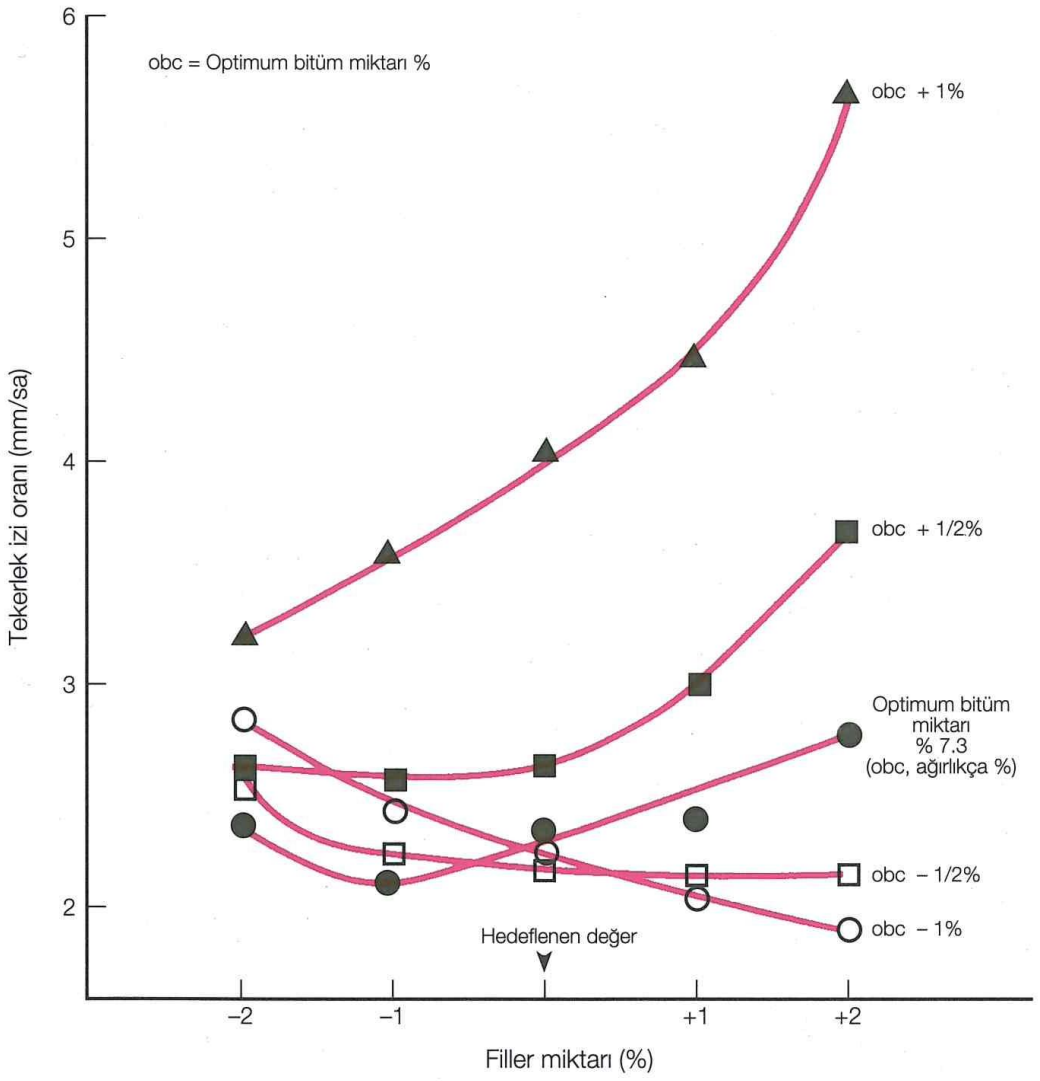
İnce malzemenin kırma taş ve kırma çakıldan sağlanması karışımın içsel sürtünmesini artırır. Farklı yüzey dokusuna sahip ince agregalar üzerinde yapılan tekerlek izi deneyleri deformasyona karşı gösterilen mukavemetin pürüzlü yüzey dokusuna sahip kum (ince agrega) kullanımıyla 4 kata kadar atabileceğini göstermiştir [12, 13]. Mineral filler, BSK'ın yoğunluk ve dayanımının ve diğer özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılması gereken bir bileşendir. Karışım içinde fillerin iki farklı rolü vardır; Mineral agreganın bir kısmı olarak iri taneler arasında bağlantı noktaları oluşturmak ve boşlukları doldurarak dayanımı artırmaktır. İlave edilen filler bitümü daha yüksek kıvamlı bir bitüm haline getirmektedir. Karışıma çeşitli tipteki filler ilavesinin bağlayıcının viskozitesini 1000 kat artırabildiği belirtilmiştir [10]. Karışımda düşük oranda kullanılan mineral filler bile bitümün düktilitesini, penetrasyonunu ve viskozitesini önemli oranda etkilemektedir.

Bitümlü karışımların sağlaması gerekli olan bir kriter filler / efektif bitüm oranıdır. Efektif bitüm, karışımdaki bütün bitüm içeriğinden absorbe bitümün çıkarılması ile tespit edilmektedir. Bu oranın düşük olması karışımların stabilitesinin düşmesine yüksek olması ise durabilite sorunlarına neden olacağından alt ve üst limit değerlerle sınırlandırılmıştır. Filler/Bitüm oranı ve rijitliğin, yük dağıtma kapasitesinin bir ölçüsü olan Marshall oranı ve boşluk hacmi arasındaki ilişkiler Şekil 3.2'de verilmiştir [14].



Şekil 3.2 Filler ve bitüm miktarının rijitlik ve boşluğa etkisi.

Bu grafikteki herhangi bir noktanın koordinatı sabit bir bileşimi tanımlar ve tesviye eğrilerine benzeyen çizgiler üzerindeki her noktada Marshall oranları aynıdır. Belli bir filler miktarına sahip karışımlar göz önüne alınırsa, Marshall oranının düşük değerleri bitüm miktarının yüksek olduğu başka bir ifade ile boşlukların bitümle daha fazla dolduğu olan diyagramın sağ tarafından elde edilir. Diyagramın sol tarafında ise bitüm miktarı çok düşüktür ve bu durum yeterli sıkışma olmasını engeller. Bu iki aşırı uç arasında optimum bir değer vardır. Benzer şekilde belli bir bitüm miktarına sahip karışımlar göz önüne alınırsa düşük Marshall oranları diyagramın alt kısmından elde edilir. Burada bitüm göreceli olarak sıvı haldedir sertleşmesine yetecek kadar filler mevcut değildir. Düşük değerler ayrıca çok fazla sertleşmiş bitümün yeterli sıkışmayı önlemesi nedeniyle şeklin üst kısmında da bulunmaktadır. Böylece üzerinde maksimum Marshall oranının oluştuğu bir bölüm ortaya çıkmaktadır. Aynı yaklaşımla boşluk hacmi ele alınırsa oluşan sırt bölgesi sabit bir boşluk hacmi ile ilişkilendirilir. Bu boşluk hacmi karışımın kompozisyonunun sadece bu sırt boyunca değiştirilmesi şartıyla karışımın dayanıklılığını etkilemeyeceği sonucunu göstermektedir. Hem bitüm hem de filler miktarının düşük penetrasyonlu bağlayıcı ve %30 iri agrega içeren sıcak karışımın kalıcı deformasyona karşı direnci üzerindeki etkisi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Filler oranının tekerlek izine etkisi.

Optimum bitüm miktarında filler oranının ±%2 oranında değiştirilmesinin deformasyon direncine küçük bir etkisi olmaktadır. Ancak bitüm ve filler miktarı sırasıyla %0,6 ve %1,5 oranında artırılırsa deformasyon mukavemeti 2 kat azalmaktadır.

Filler malzemeleri sahip oldukları değişik minerolojik ve yüzey özellikleri nedeniyle optimum bağlayıcı oranını, karıştırma ve sıkıştırma sırasında karışımın işlenebilirliğini ve sıkışmış karışımdaki bitüm ile birlikte oluşturduğu mastik yapı ile üç farklı şekilde bitümlü karışımların performansını etkilemektedir. Fillerin minerolojik özellikleri de karışımın performansına etki etmektedir. Kireç taşından elde edilen filler granite göre daha fazla bağlayıcı gerektirmekte ayrıca karışımın kalıcı deformasyon direncini daha fazla artırmaktadır [15].

3.2 Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bağlayıcılar

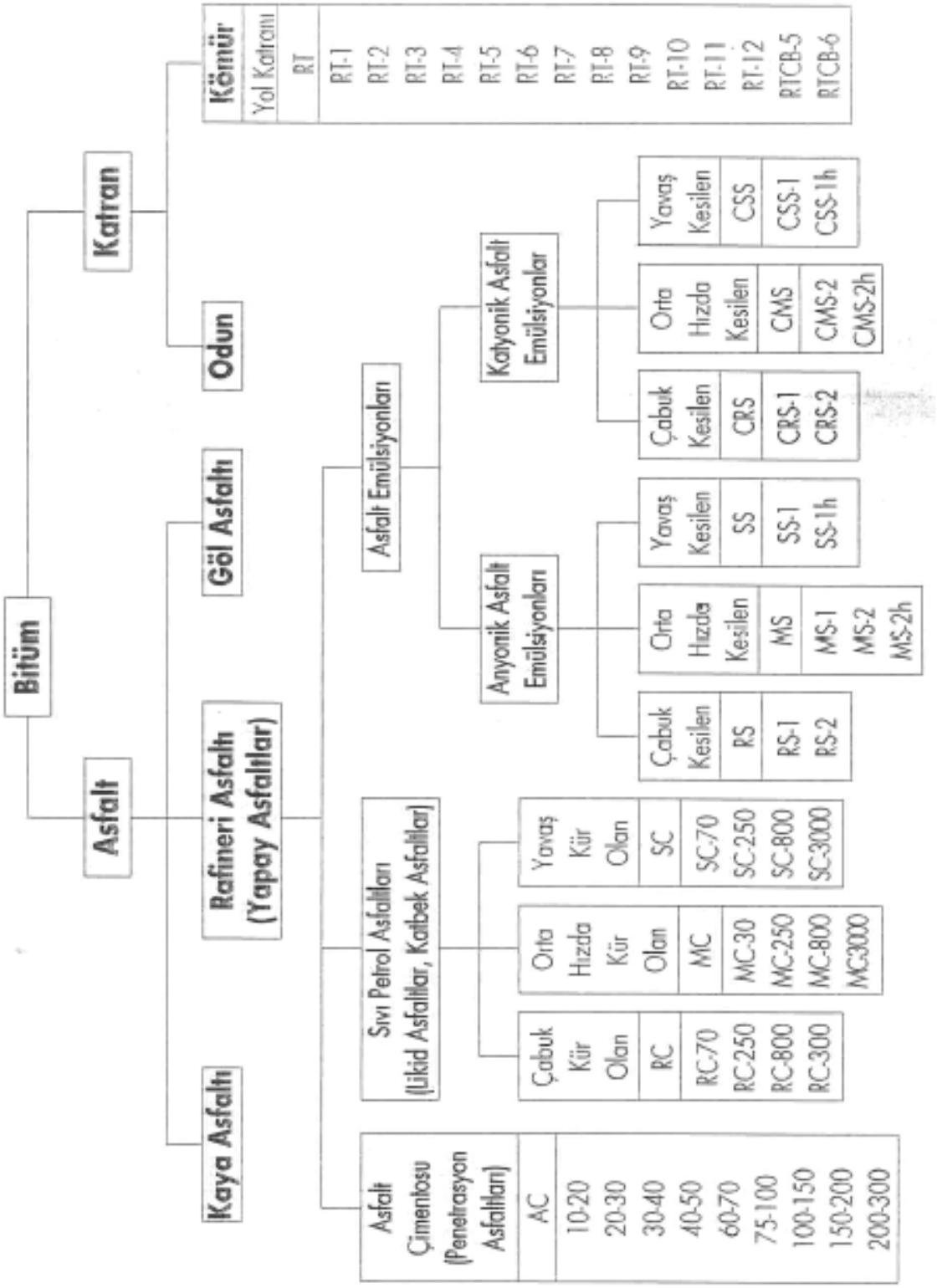
Bitümlü sıcak karışımlarda saf yada modifieye bitüm kullanılmaktadır. Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı yahut da bunların her ikisinin bir kombinasyonudur. Bitüm çoğunlukla bunların (Doğal ve pirojenik kökenli hidrokarbonların) gaz, sıvı, yarı katı veya katı halde olabilen metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özelliğe sahip ve karbon disülfürde (C_2S) tamamen çözünen madde olarak da tanımlanabilir [16,18]. Modifiye bitüm reolojik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla belirli oranlarda polimer veya katkı malzemeleri ile karıştırılarak elde edilen bitümdür.

Bitümlü bağlayıcıların esas özelliği, adından da anlaşıldığı gibi, agrega parçacıklarını birbirine veya agrega ile yol yüzeyi altındaki temel tabakasını yapıştırmaktır. Bitümlü bağlayıcılar, agrega danelerini birbirine bağlamak suretiyle trafik yükleri altında deforme olarak dağılmasını önlemekte, oluşturdukları düzgün yüzeyler sayesinde sürüş konforu sağlamakta, kohezyonu ile de karışımın stabilitesini artırmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar karışımda ağırlıkça en fazla %5-7 ve hacimce en fazla %13-15 gibi küçük oranlarda kullanılmasına karşılık, esnek kaplamalar için önemli bir yol malzemesidir [19, 20].

Bitümlü bağlayıcılar, sıvı, yarı katı ve katı halde bulunurlar. Yarı katı ve katı durumundakiler, ısıtılmak suretiyle sıvı hale getirip kullanmak mümkündür. Sıvı halden de tekrar önceki haline dönüşürken yapışkanlıkları sayesinde kohezyon ve adezyon gibi iki önemli özellik gösterirler. Adezyon, yapışma, kohezyon ise çatlama ve ayrılma olmaksızın şekil değiştirme özelliği olarak tanımlanabilir [21].

Bitüm, Şekil 3.4'te görüldüğü üzere çeşitli alt kategorilere ayrılmaktadır. Bitümün kaynama noktası yüksek mazot ve yağ tipinde bir çözücü, gaz yağı tipinde orta derecede uçucu bir çözücü veya nafta, benzin gibi çok uçucu çözücülerle karıştırılmasıyla sıvı petrol asfaltları elde edilmektedir. Sıvı petrol asfaltları kullanılan çözücü tipine bağlı olarak 3 gruba ayrılır. Çabuk kür olan sıvı petrol asfaltları-RC; Bitümün benzin ve nafta gibi çok uçucu çözücülerle karıştırılmış tipidir. Orta hızda kür olan sıvı petrol asfaltları-MC; Bitümün gazyağı gibi orta derecede uçucu çözücülerle karıştırılmış tipidir. Yavaş kür olan sıvı petrol asfaltları-SC; Bitümün madeni yağlar gibi kaynama noktası yüksek çözücülerle karıştırılmış tipidir. Bu tip asfalt doğrudan ham petrolün damıtılmasından da elde edilebilir.

Bitüm taneciklerinin emülgatör yardımı ile su içinde dağılmasıyla oluşan bitümlü bağlayıcılar ise emülsiyonlardır. Bitümün su içinde stabil kalmasını sağlamak için bitüm ve suya ilâve edilen kimyasal katkıya emülgatör denir. Emülgatör emülsiyonun yükünü (anyonik ve katyonik) belirler ve kesilme hızını kontrol eder [22].



Şekil 3.4 Bitümlü malzemelerin sınıflandırılması.

4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN ÜRETİLMESİ

Bitümlü sıcak karışımların üretimi için önce uygun vasıfta agregaların üretilmesi gerekir. Bu amaçla taş ocaklarından çıkarılan uygun büyüklükteki kayalar konkasör tesislerinde kırılarak agrega üretilir. Eğer kalite ve yakınlık açısından uygun taş ocağı temin edilemiyor ise ve yakın bir dere ocağı varsa en az 1'' (25 mm) üzerindeki çakılların konkasör tesislerinde kırılmasıyla da agrega üretmek mümkündür. Agregalar konkasör tesislerinde 0-5 mm, 10-20 mm ve/veya 20-Dmax gruplarında kırılarak elde edilir.

Kırılarak elde edilen her bir agrega grubuna ait elek analizleri yapılarak istenilen gradasyona göre oranları saptanır. Kullanılacak asfalt, agrega ve karışıma ait gerekli deneyler yapılır. İşyeri karışım formülü hazırlandıktan sonra bitümlü sıcak karışımların plentte üretilmesine geçilir.

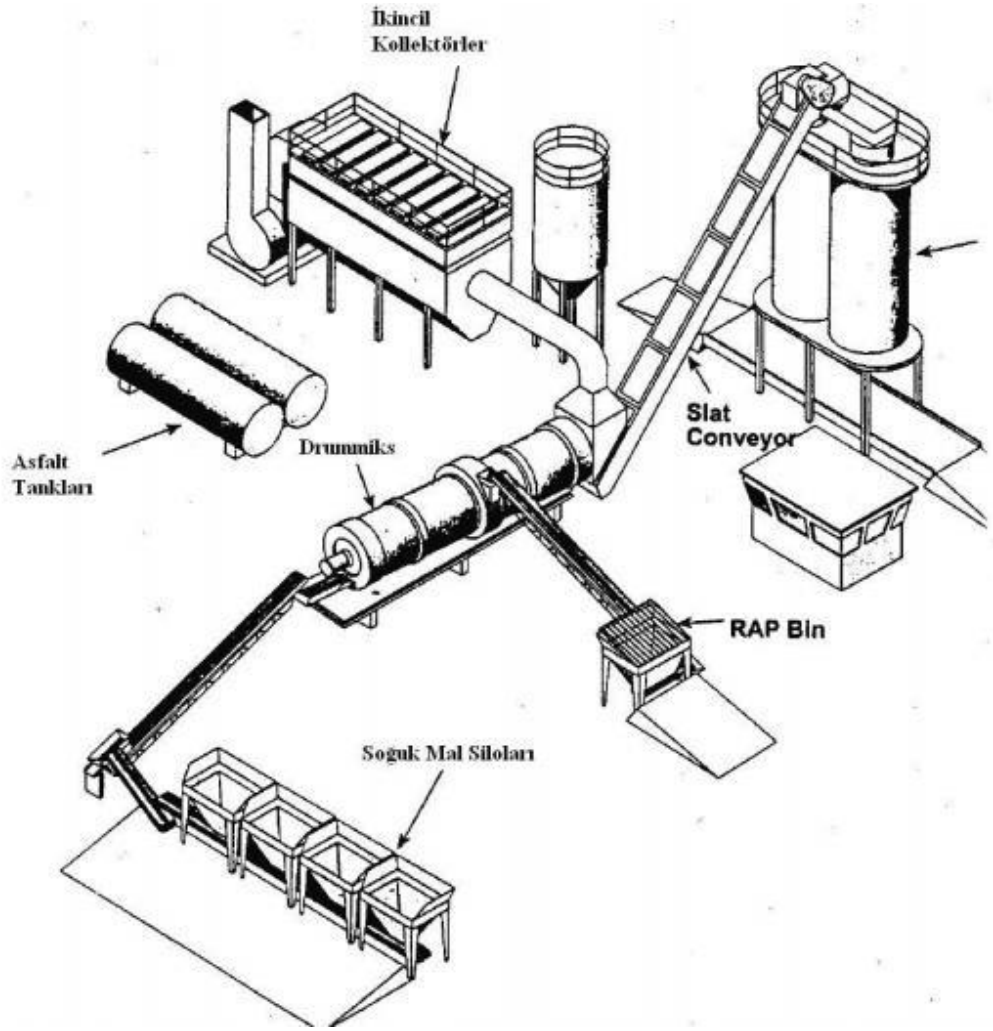
4.1 Asfalt Plentleri

Asfalt plentleri çok kompleks ve çok pahalı tesisler olup karışımın kaliteli üretilebilmesi için her türlü hassas donanıma sahiptir. Günümüzde harman tipi ve sürekli tip olmak üzere iki tip asfalt plenti bulunmaktadır. Bunlardan en hassas ve en iyi sonuç harman tipi plentlerden sağlanır. Bu nedenle, yüksek standartlı yollarda ve otoyollarda harman tipi karışım yapan plentler kullanılmaktadır. Sürekli tip karışım plentleri açık gradasyonlu karışımlar veya düşük standartlı yollarda kullanılır. Ayrıca sürekli tip plentler önceki yıllarda çoğunlukla geri kazanım (recyling) işlerinde kullanılmakta iken, günümüzde büyük projelerde geri dönüşümde yine harman tipi plentler tercih edilmektedir.

4.1.1 Sürekli Tip Asfalt Plenti

Bu tip plentlerde çok yüksek kalitede BSK elde edilemezken yüksek kapasite elde edilir. Üzerlerinde elek sistemi yoktur. Bu nedenle agrega hazırlanırken kullanılan kırma-eleme guruplarındaki elek sisteminin hassas olması gerekir. Kurutucudan (Dryer) malzeme geçerken kurutucunun bitimine yakın yerde bitüm ve diğer katkılar ilave edilir. Mikser yoktur. Bu nedenle harman tip plentlerdeki gibi bekleme süreleri burada olmaz.

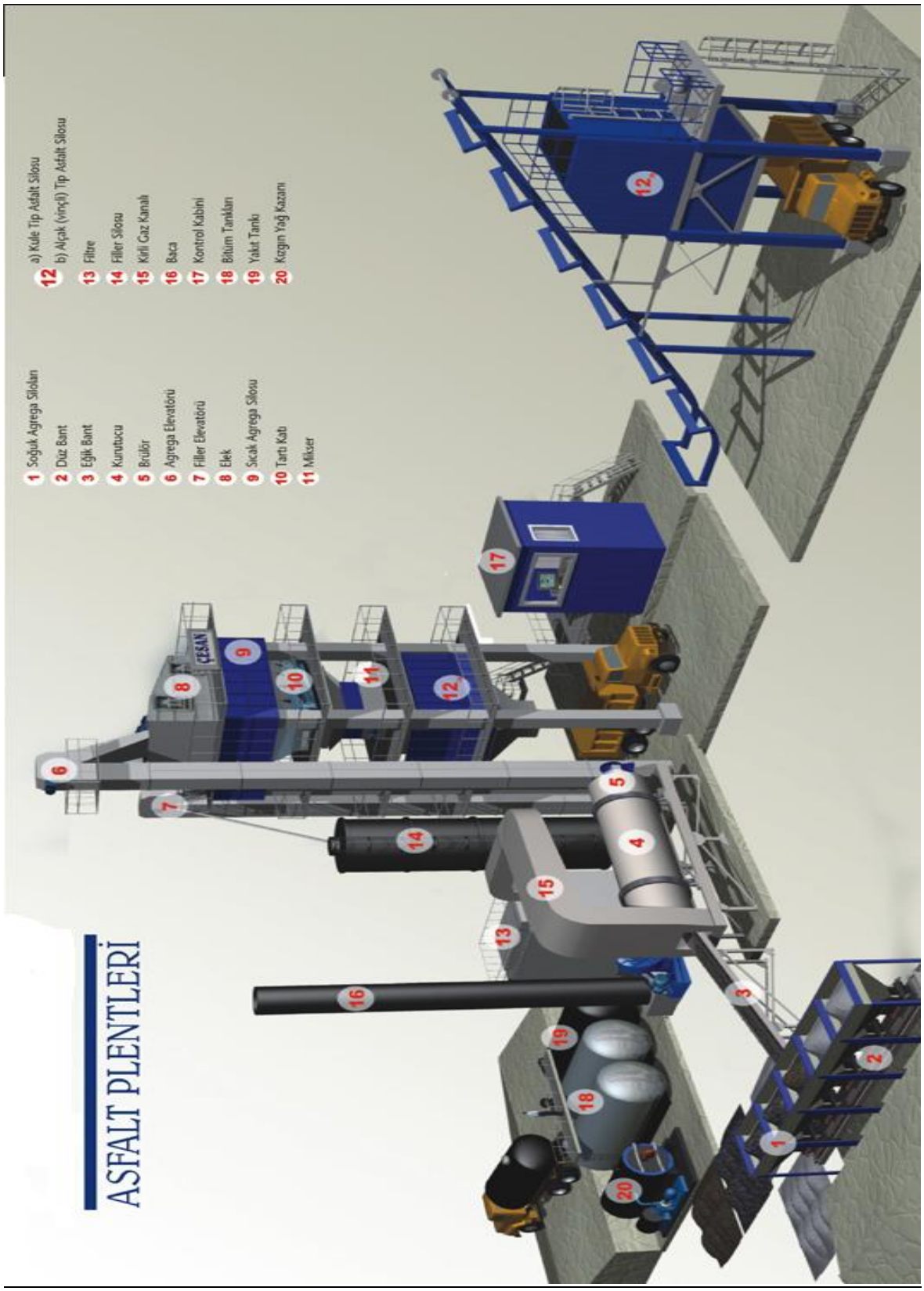
(karıştırma, mikser kapağı açılması ve kapanması, malzeme boşalması v.b). Şekil 4.1'de sürekli tip asfalt plentine ait şematik gösterimi verilmiştir [23].



Şekil 4.1 Sürekli tip asfalt plenti.

4.1.2 Harman Tipi Asfalt Plenti

Harman plentleri, mikserinin kapasitesi kadar karışım malzemesini üzerine alıp bunu belli süre karıştırarak boşaltan ve sonraki karışıma hazırlık yapan ünitelerdir. Bu tip plentlerde dizaynda yüksek başarı ancak mikser kapasitelerinin sınırlı olması nedeniyle üretimde düşük kapasite elde edilir [24,25]. Üzerlerinde elek sistemi bulunması, istenilen karışım oranlarının mükemmel olmasını sağlar. Şekil 4.2'de bir harman tipi asfalt plenti şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.2 Harman tipi asfalt plenti.

4.2 Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminden Kaynaklanan Bozulmalar

Bitümlü sıcak karışımların üretimi esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus karıştırma sıcaklığının daha önceden bağlayıcının viskozitesine göre belirlenmiş olan sıcaklık değerine uygun olmasıdır. Uygun sıcaklık değerinin sağlanmasında kurutucudaki, karıştırıcıdaki, sıcak silodaki ve bitüm tankındaki sıcaklık sensörlerinin sağlam olması yanlış ölçüm yapmaması gerekmektedir. Karıştırma süresi de iyi kalitede bir sıcak karışım elde etmek için önemlidir. Sıcaklık sensörün arızalı olmasından dolayı karışımın hazırlanmasında gereğinden az ısı kullanılması yada karıştırma süresinin kısa tutulması agrega danelerinin tam olarak bitüm ile kaplanmasını engelleyerek bitümlü sıcak karışımlarda adezyon sorunlarının açığa çıkmasına neden olmaktadır. Agrega daneleri tam olarak bitümle kaplanmadan serilip sıkıştırılmış kaplamada ayrışmalar sınıfına giren soyulma ve sökülme tipi (Şekil 4.3) bozukluklar meydana gelmektedir. Karışımın üretilmesinde sıcaklığın fazla olması özellikle de bitümün aşırı ısıtılması hem adezyonu olumsuz etkilemekte hem de karışımın rijit davranış göstererek düşük sıcaklıklarda bloklar şeklinde çatlamasına (Şekil 4.4) neden olmaktadır [26].

Şekil 4.3 Soyulma, sökülme tipi bozulma.

Şekil 4.4 Blok çatlak tipi bozulma.

Bitümlü sıcak karışımın kullanılmamasını gerektiren kusurlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

Çok Sıcak - Karışımdan mavi duman çıkması genellikle çok fazla ısıtılmış olduğunu gösterir. Sıcaklık derecesi hemen kontrol edilmelidir. Karışım sıcaklığının ilgili şartname limitlerini aşması durumunda, karışım reddedilmelidir. Optimum serilme sıcaklığının aşılması fakat şartname limitleri dâhilinde kalınması durumunda ise karışım genellikle atılmamakta bunun yerine durumun düzeltilmesine ilişkin acil önlemler alınmaktadır.

Çok Soğuk - Genellikle sert ve katı bir görünüş ya da kaba agrega tanelerinin yetersiz sarılması soğuk bir karışımı belirtmektedir. Bu durumda da sıcaklık hemen kontrol edilmelidir. Karışım sıcaklığının ilgili şartname limitleri dışında olması durumunda, karışım reddedilmelidir. Optimum serme sıcaklığının aşılması fakat şartname limitleri dâhilinde kalınması durumunda ise karışım genellikle atılmamakta bunun yerine durumun düzeltilmesine ilişkin acil önlemler alınmaktadır.

Çok Fazla Asfalt - Finişere gelen malzemeler kubbe seklinde ya da zirve yapmış halde durabilirken ve aniden gelen bir malzemenin hazne içine yayılı vermesi durumunda bu karışım çok fazla miktarda asfalt içeriyor demektir. Tesviye ünitesinin altında karışım tabaka oluşturduğunda yağlı görünümünden aşırı miktarda asfalt teşhis edilebilmektedir.

Çok Az Asfalt - Çok az oranda asfalt içeren bir karışım genellikle asfalt eksikliğinin önemli boyutlarda olması durumundu hemen teşhis edilebilmektedir. Bu durumda karışım yağsız, parlamayan, granüller bir görünüme sahip olmakta, sarma yetersizliği gözlenmekte ve silindirler yeterli miktarda sıkıştırma sağlayamamaktadır. Asfalt eksikliği fazla değilse görünümden karar vermek zordur ve deneylere başvurulmalıdır.

Üniform Olmayan Karıştırma - Üniform olmayan karıştırma yağsız, kahverengi noktalar ya da zengin ve parlak görünüşlü bölgeler arasındaki kaplanmamış sönük-görünüşlü, malzemeler ile kendini göstermektedir.

Aşırı Miktarda Kaba Agrega-Aşırı miktarda kaba agrega içeren bir karışım, kötü işlenebilirlik veya yol üzerindeki kaba görünüş ile teşhis edilebilmektedir. Aşırı derecede bitümce zengin karışımlara benzerlik söz konusudur.

Aşırı Miktarda İnce Agrega **-** Aşırı miktarda ince agrega içeren bir karışım silindirlendikten sonra, uygun bir gradasyona sahip bir karışımınkinden daha farklı bir görünüm kazanmaktadır. Asfalt içeriği düşük, yağsız görünümlü bir karışıma benzerlik göstermektedir.

Aşırı Nem **-** Finişerin haznesine konulduğunda karışımdan buhar çıkması, karışımda nem bulunduğunun bir göstergesidir. Bu tür bir karışım, kaynarmışçasına kabarcıklanmakta ve yer yer patlamalar yapmaktadır. Bu tür bir karışım aynı zamanda çok fazla asfalt içeriyormuş gibi köpüklenmektedir.

Çesitli Durumlar- Uygun olmayan işlem ve uygulamalar konusunda karışımdaki agregalarda segregasyon meydana gelebilmekte ve bu durum reddedilme sebebi oluşturacak kadar şiddetli olabilmektedir. Benzin, kerosen, yağ ve benzeri maddelerin karışması sonucunda kirlenen malzemeler de kullanılmamalıdır.

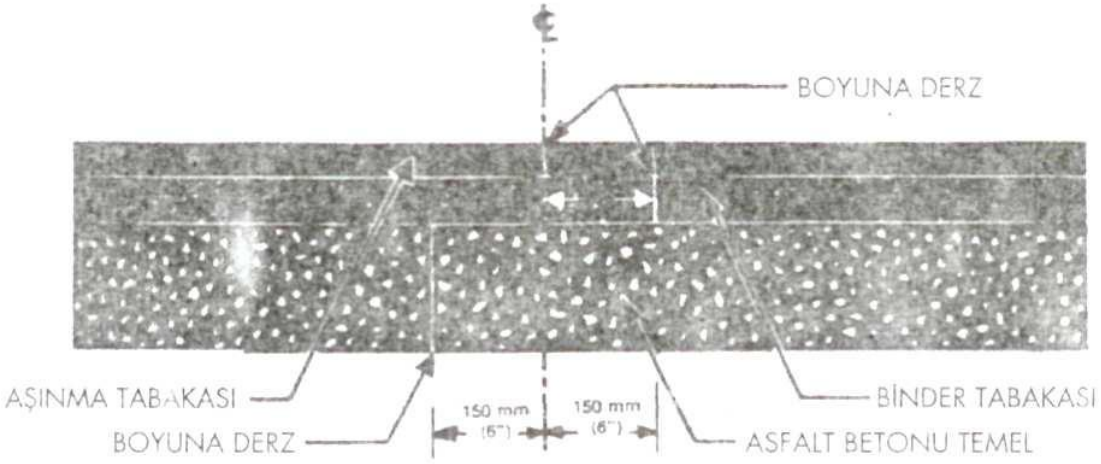
5. BİTİMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN SERİLMESİ VE SIKIŞTIRILMASI

5.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Serilmesi

Bitümlü sıcak karışımlar plentlerde hazırlandıktan sonra kamyonlarla serim yerine getirilir. Serim yerinde istenilen kalınlıkta ve eğimde finişerler yoluyla serim yapılır. Serim sırasında finişer operatörü için, yol eksenine paralel kaplanmakta olan şeridin yanındaki boyuna derz veya yakınına yerleştirilen bir kılavuz hat kullanılır. Kılavuz çizgi, otomatik düzgünlük kontrolüne sahip bir finişere ilişkin desteklenmiş bir germe teli olmadıkça, düzgün yapılması için gerekenden daha fazla germeye gerek yoktur. Kılavuz hattı finişerin en az 150 m ilersine kadar işaretlenmiş veya kazıklarla belirlenmiş olmalıdır. Aliymanlarda kazık kullanılması halinde aralıklar 30 m'den fazla olmamalıdır. Kurplarda kazıklar 7.5 m veya daha kısa aralıklarla çakılmalıdır. Fakat aliymanlarda bile ofsetler arasındaki mesafa arttıkça germe telinin sehim yapmasından dolayı yolda ondülasyonlar oluşmaktadır. Bu yüzden arazide en çok uygulanan mesafe aliymanlarda 10 metre, kurplarda ise 5 metredir.

Eğim referansı olarak bir hattın oluşturulması durumunda, bu hat dikkatli şekilde yerleştirilmeli ve sıkı şekilde gerilmelidir. Bu hat, sensörün finişer tablasını kontrol etmek amacıyla algıladığı eğim hattı olarak işlev görmektedir. Germe-Tel yüksekliği, farklı zemin seviyesi koşullarına uyum sağlanması amacıyla yükseltilip alçaltılabilmektedir. Bu hat sıkı şekilde gerilmeli ve şartnameler tarafından daha kısa bir mesafe belirtilmedikçe, 90 ila 120 metre aralıklarla sabitlenmelidir. Mevcut yolların veya caddelerin üzerine yeniden yüzey kaplaması gerçekleştirilmesi durumunda, bir iki en yüksek nokta arasında gerilebilmekte ve çivilerle sabitlenebilmektedir.

Serme genişliği birçok durumda boyuna derzlerin pozisyonu tarafından kontrol edilmektedir. Yolun üzerinde birden fazla kaplama tabakasının yerleştirilecek olması durumunda, boyuna derz, alttaki kaplama tabakasının boyuna derzinden en az 150 mm. ötede yerleştirilmelidir (Şekil 5.1). Ardışık tabakaların üst üste çakışmaması boyuna derz boyunca herhangi bir çatlak oluşumunu engellemektedir [27].



Şekil 5.1. Şaşırtmalı boyuna derz ile serim işlemi.

Finişer yol üzerine yerleştirildiğinde, tesviye ünitesi, serilecek olan gevşek tabaka kalınlığı ile aynı kalınlığa sahip takozlar üzerine indirilir. Tabla üzerindeki kalınlık kontrol vidaları bu derinliğe göre ayarlanır. Gevşek tabakanın kalınlık değerinin hesaplanmasında kullanılan yaklaşık bir kural, istenilen sıkıştırılmış kalınlığın yaklaşık 1.25 ile çarpılmasıdır. Önceden serilmiş bir tabakanın sonundan başlanacak ise, gevşek ve sıkıştırılmış tabakalar arasındaki farka eşit kalınlık değerinde tahtalar kullanılmalıdır. Bundan sonra, finişer sıkıştırılmamış malzemeyi uygun olarak tam derinlikte sermeye başlamalıdır. Bitümlü karışım yüklü kamyon geri geri finişere yaklaşarak tekerlekleri iticilere değdiğinde damperini kaldırarak bir miktar karışımı finişer kazanına boşaltır. İletici bantlar karışımı ön taraftan arka tarafa iletir. Arka kısımda bulunan spiraller (Şekil 5.2) yardımıyla segregasyona izin vermeden tabla boyunca karışım enine doğru yayılıp serilir. Finişer tarafından itilen kamyon boşalana kadar bu işlem sürdürülür.

İstenilen kalınlıkta ve eğimdeki serme işlemini yapabilmek için finişerlerde kalınlık ayarı, eğim ayarı, serim işleminin istenilen kotta yapılabilmesi için duyargalar bulunmalıdır. Serme sırasında tabla boyunca ayarlanabilen hızda aşağı ve yukarı olarak bıçaklar hareket ederek, yoğurma etkisiyle karışımı sıkıştırırlar. Ayrıca tablada bulunan vibrasyon sıkıştırmaya karşı direnç gösteren taneleri harekete geçirerek sıkışmaya uygun en iyi konuma getirir, tablanın ağırlığı ve bıçakların yoğurma etkisiyle sıkıştırma gerçekleşir. Son yıllarda geliştirilen finişerler de serim sırasında sıkışmanın % 80'i tamamlanabilmektedir.

Şekil 5.2 Finişer.

Finişerdeki sıkışma finişer tablasının basınç ayarları ile yapılır. Tabla basıncı arttırılarak sıkışma artsa da ondülasyona sebep olmasından dolayı %70-75 arasında sıkışmadan fazla sıkışma istenmemektedir. Finişerde serilen malzemenin kalınlığı eksende ve banketteki malzeme kalınlığının aynı olması gibi özel şartlar olmadığında finişer arkasındaki sıkışma değeri düşürülmelidir (serim kalınlığı 10 cm'den fazla olmamalıdır).

Ayrıca sky demiri (Şekil.5.3) adı verilen parça finişere monte edilerek serim yapılabilmektedir. Ofset hattı araziye uygulandıktan sonra germe teli yardımı ile alınan kalınlık duyargaları kapatılır. Ortalama sabit kalınlıkta malzeme serme işlemi gerçekleştirilir. Sky demiri sayesinde alt tabakadaki boyuna bozukluklar (ondülasyon) minimize edilebilinir. Sky demiri 10 metre uzunluğunda olup finişerden 5 metre ileri ve 5 metre gerideki kalınlıkların ortalamasını almak kaydıyla serim yapılır. Eğer alt tabakadaki serim kalitesi iyiyse üst tabakada sky demiri ile serim yapmak en iyi çözümdür.

Plent-miks temel tabakasının korunabilmesi için üzerine MC-30 astar serilmektedir. Ancak astar malzemesinin pahalı olmasından dolayı aşağıdaki durumlarda plent-miks temel tabakalarının üzerine astar uygulanmakta, diğer hallerde ise uygulanmamaktadır.

1-Eğer plent-miks temel tabakasının üzerine 10 cm'den daha az kalınlıkta bitümlü sıcak karışım imalatı yapılacaksa.

2-Plent-miks temel tabakasının üzerinden trafik verilecekse. (Segregasyon oluşacağından dolayı)

3-Plent-miks temel tabakasının üzerine yağış gelecekse. (Plent-miks temel tabakasının yüzeyinin bozulmaması için)

Bitümlü sıcak karışım tabakalarını birbirine yapıştırmak, yoğun trafik altında ve frenajdan dolayı tabakaların kaymasını önlemek için iki tabaka arasına yapıştırıcı uygulanmaktadır. Daha önceki yıllarda yapıştırıcı malzeme olarak rafinerilerde üretilen RC-250 yapıştırıcılar kullanılırken, günümüzde daha çok CRS-1 olarak adlandırılan katyonik asfalt emülsiyonları kullanılmaktadır. Yapıştırıcı malzeme asfalt tabakasının üzerine distribütör yardımı ile püskürtülerek uygulanır. Genellikle $1m^2$'ye yaklaşık olarak 150-250 gr olarak kullanılır. Yapıştırıcının 150 gr/m^2'den az kullanılması durumunda yapıştırma işlemi gerçekleştirilemezken 250 gr/m^2'den fazla serilmesi halinde ise serim esnasında asfalt karışımında yapıştırıcının fazla olduğu yerlerde topaklanmalar ve sıkışma esnasında ise bandaja yapışmalar gözlemlenmektedir.

Şekil 5.3 Sky demiri.

5.2. Bitimlü Sıcak Karışımların Sıkıştırılması

Bitümlü sıcak karışım kaplama yapımında yerine getirilmesi gereken en önemli noktalardan biri de sıkıştırma işlemidir. Sıkıştırma işlemine önem verilmediğinde oluşacak ekonomik kayıplar oldukça büyük boyutlara erişmektedir. Aslında sıkıştırma giderleri bir yolun toplam maliyetinde az bir yer tutmaktadır. Bunun yanı sıra yolun işlevlerine olan katkısı çok büyük olmaktadır.

Sıkıştırma statik basınçla, darbe ile ve titreşimle sağlanmaktadır. Sıkıştırma makinaları günden güne gelişmekte ve günün koşullarına uygun özellikler kazanmaktadır. Günümüzdeki en büyük yeniliklerden biri de lastik tekerlekli sıkıştırıcıların hareket halinde iken lastik iç basınçlarını kendiliklerinden ayarlayabilmesidir.

Statik basınçla sıkıştırma yapan makinalar enerjiyi hareket durumunda verirler bu nedenle tam anlamda bir statiklik yoktur. Demir bandajlı ve lastik tekerlekli sıkıştırıcılar bu gruba girerler.

Titreşimle sıkıştırma yapan sıkıştırıcılarda titreşim eksantrik olarak dönen bir donanımla sağlanmaktadır. Sıkıştırma enerjisi saniyedeki yapmış oldukları titreşim sayıları (Frekans) ve ağırlıkları ile belirlenir.

Bitümlü sıcak karışımlarda ilk sıkıştırma karışımın seriminden hemen sonra yapılır. Bu durumda karışımın ısısı yüksek ve taşıma gücü de çok azdır. Bu nedenle demir bandajlı silindirlerin basıncını karışım taşıyamaz ve bandajların karışıma gömüldüğü görülür. Bandajın gömülmesi ile de karışım yanlara doğru ötelenir ve homojenliği bozulur. Karışımın ötelenmesi, alt tabakaya yapışmasına engel olur, ayrıca bandajın gömülmesi sonucu tabakada izler oluşur. Bu izlerin yok edilmesi oldukça zordur izlerin giderilmesi fazla geçişi gerektiğinden sıkıştırma ekonomik olmaktan çıkar.

Lastik iç basıncı sabit olan lastik tekerlekli sıkıştırıcılarla yapılan sıkıştırmalarda da demir bandajlılar için söylenenler yinelenebilir. Her iki tür sıkıştırıcı ile yapılacak ilk sıkıştırmada karışım sıcaklığının belli bir ısıya düşmesi beklenmelidir. Karışım soğudukça bitümlü bağlayıcının viskozitesi yükselecek ve yüke karşı direnç artarak malzemenin ötelenmesi önlenebilecektir. Ancak viskozite arttıkça karışımın sıkışmaya karşı direnci artmakta ve sıkıştırma için daha fazla enerjiye gereksinim duyulmaktadır.

İlk sıkıştırmanın hemen ardından pnömatik lastikli ya da titreşimli tandem silindirler ara sıkıştırma amacıyla kullanılabilmektedir. Ara sıkıştırma amacıyla vibrasyonlu silindirler kullanılacaksa ilk geçişlerde vibrasyon etkisi bozulmalara neden

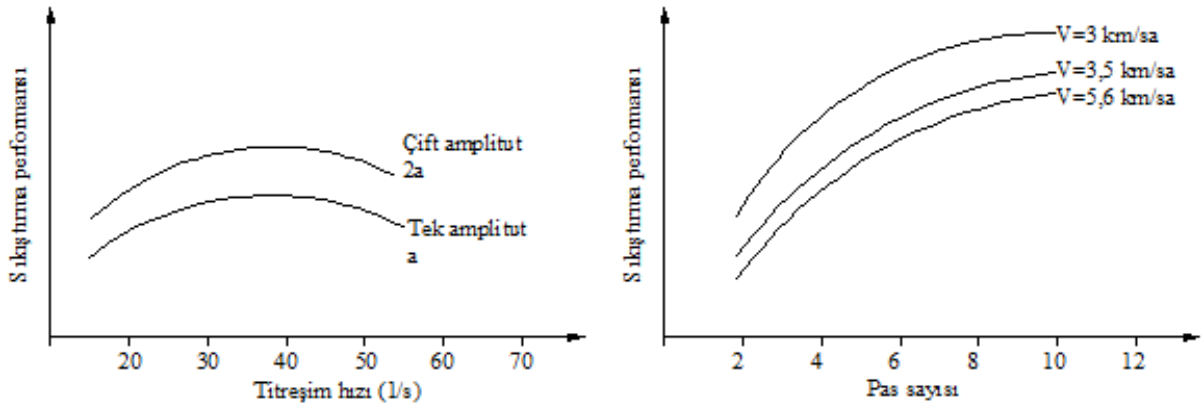
olmamalıdır. Silindir izlerinin oluşmaması için ara sıkıştırmanın son geçişlerinde vibrasyonsuz geçiş yapılmalıdır. Son sıkıştırmada tekerlek izleri tümüyle giderilir ve kılcal çatlaklar kapatılmaya çalışılır. Bu arada bir miktar sıkıştırma kendiliğinden gerçekleşir. Bu nedenle, bu sıkıştırmaya ütüleme de denilebilir. Son sıkıştırmada karışım bir hayli soğuduğundan sıkıştırmaya karşı direnç oldukça artmıştır. Bunun için demir bandajlı silindirlerin basıncı çoğunlukla sıkıştırmaya yeterli olmamaktadır. Bu nedenle statik ağırlıklı veya titreşimli tandemler (vibrasyon kullanmadan) lastik iç basıncı yüksek (100 ps) olan sıkıştırıcılar kullanılmalıdır.

Titresimli sıkıştırıcıların, statik sıkıştırıcılara oranla daha yararlı oldukları şöyle sıralanabilir.

a- Titreşimli sıkıştırma ile mukavemeti ve stabilitesi yüksek, aşınma mukavemeti fazla, geçirgenliği az ve yoğunluğu yüksek kaplamalar elde edilir.
b- Sıkıştırma için gerekli geçiş sayısı azalır.
c- Titreşimli tandem silindir basit bir yuvarlanma ile silindirin altındaki her noktada aynı sıkıştırmayı yapar.
d- Genliği değiştirilebilen titreşimli tandem sıkıştırıcılar her çeşit tip ve kalınlıktaki tabaklarda çalışabilecek özelliklere sahiptirler.
e- Enine ve boyuna ek yerlerinin kapatılmasında en etkili sıkıştırma titreşimli silindirlerle olmaktadır.
f- Kalın tabakaların sıkıştırılmasında daha iyi sonuç verirler.
g- Düşük ısıda sıkıştırma yapılabilmektedir.
h- Soğuk ve rüzgarlı havalarda daha az sayıda geçişe gereksinim duydukları için daha elverişlidirler
i- Yapımdan günlerce sonra bile soğuk bitümlü tabakalar bir miktar sıkıştırılabilmektedir.
j- Tabaka ve şeritler arasındaki bağ en iyi şekilde sağlanmaktadır.
k- Vibrasyonlu sıkıştırmada demir bandajlılara göre daha homojen sıkışma elde edilir.
l- Demir bandajlılarda kenar şeritler orta şeritlere göre daha az sıkışırken vibrasyonlu silindirlerde her şeritte aynı sıkışma elde edilir [28].

Titreşimli silindirler ile yapılacak sıkıştırmada manevra sırasında kesinlikle vibrasyon yapılmamalıdır. İlk sıkıştırmanın finişerle yapıldığı kaplamalarda vibrasyonsuz silindiraj yapılmalıdır. Asfalt kaplama ince tabakaların düşük vibrasyonla veya

vibrasyonsuz sıkıştırılması gerekir. Vibratör hızı, karışımın türü ve kaplama kalınlığına göre ayarlanmalıdır. Silindir izleri oluşturmamak için sıkıştırmalar vibrasyonsuz olmalıdır. Asfalt kaplamalarda toprakların aksine yüksek frekans- düşük genlik ile sıkıştırma daha iyi sonuç vermektedir. Şekil 5.4'te silindir geçiş hızı, genlik (a) ve frekansın (1/s) sıkıştırma performansı üzerindeki etkisi görülmektedir. Boşluksuz karışımların yüksek ısıda kuvvetli sıkıştırılmaları bitümü kusturur. Böylece yüzeyde yağlanma, düzgünsüzlük ve kaymalar oluşur. Ayrıca kusan bitümün karışımdan ayrıldığı için dizayn değişikliğine ve buna bağımlı olarak kaplamanın stabilitesinin düşmesine neden olur.



Şekil 5.4 Silindir geçiş hızı, genlik ve frekansın sıkıştırma performansı üzerindeki etkisi.

Günümüzde ara sıkıştırmalarda lastik iç basınçları değiştirilebilen sıkıştırıcılar kullanılmaktadır. Temas basınçlarının ayarlanabilmesi yanında bu sıkıştırıcıların şu avantajları da bulunmaktadır.

a- Tabakada tek düze bir yoğunluk sağlarlar,

b- Yüzey sularının, yol gövdesine geçmesini önleyecek şekilde bir tabaka yapımı sağlarlar.

c- Özellikle ilk ve sonbaharda karışım ısısının düşmesine izin vermeyecek çabuklukta sıkıştırma yapabilirler.

d- Demir tekerlekli silindirlerden daha üniform derecede sıkıştırma sağlarlar.

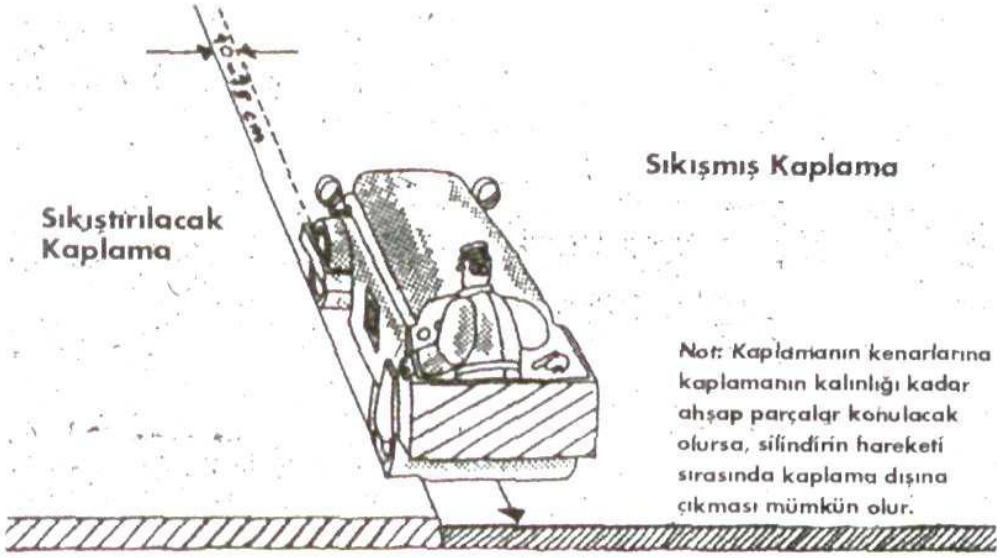
e- Yüzey yakınında daha az boşluk bıraktıklarından yalıtım sağlarlar ve böylece tabakanın su geçirgenliği azaltılır.

f- Yüksek basınçlı kamyon lastiklerinin bazı durumlarda asfalt yüzeyi uzun süre kullanıldıktan sonra yaptıkları gibi agrega danelerinin maksimum stabiliteye göre yönlendirirler.
g- Yoğurma etkisiyle daha homojen bir sıkıştırma yaparlar.
h- Agrega daneleri sıkışma sırasında birbirleri içerisinde en iyi biçimde yerleşecek duruma getirdiğinden iyi sıkışma elde edilir.
m- Sıkıştırma sırasında daha az iz bıraktıklarından ütüleme sırasında bu izler daha kolay giderilebilir. Sıkışma sırasında daha az çatlaklar oluşmaktadır.

Bitümlü sıcak karışımların sıkıştırılması, enine derzler, boyuna derzler, başlangıç sıkıştırması, ara sıkıştırma ve son sıkıştırma olarak beş aşamada gerçekleştirilmektedir [29].

5.2.1 Enine Derz

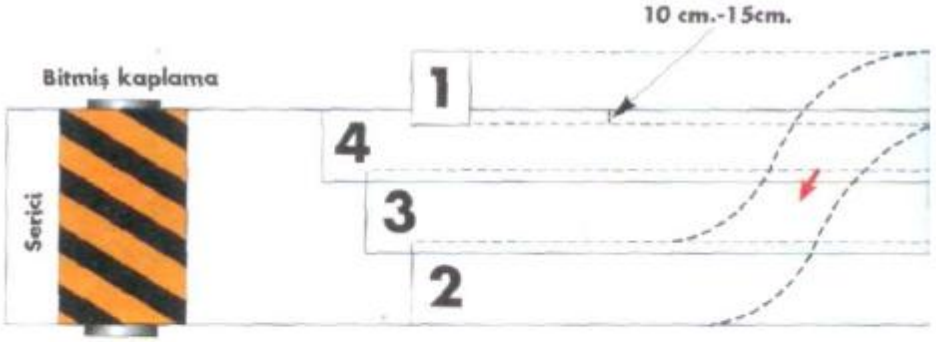
Sıkıştırma işlemi sırasında en zor, en oyalayıcı ve en önemli sıkıştırma, enine ek yerlerinde olmaktadır. Çünkü; sıkışması tamamlanmış tabakayla sıkışacak tabakanın yan yana bulunması nedeniyle sıkışmış tabaka üzerinde yürüyen silindir sıkışmamış tabaka üzerinden geçerken çökertmeye çalıştığından dalgalanma oluşacaktır. Ön ve arka bandajlar farklı kaplamalara basacaklarından silindirin stabilitesinin bozulması nedeniyle dalgalanma ve onarımı olanaksız bozulmalar oluşacaktır. Bunu önlemek için Sekil 5.5'te görüldüğü gibi silindir yolun enine doğru kaplanmamış kaplama üzerine 10-15 cm taşırılarak aynı noktadan iki kez geçerek sıkıştırılmaya başlanır. Daha sonra silindir 10-15 cm yeniden taşırılarak silindir genişliğine sıkıştırma sürdürülür. Yalnızca enine ek yerleri söz konusu olduğunda ilk ve ara sıkıştırılmalar demir bandajlı silindirle birlikte boyuna yapılmalıdır. Kaplamanın stabilitesi yönünden ek yerlerin sıkıştırılmasına daha çok dikkat edilmelidir [28,29].



Şekil 5.5 Enine derz teşkili.

5.2.2 Boyuna Derzler

Boyuna derzler serim işleminin hemen ardından silindirlenmelidir. Boyuna ek yerinde derz olmaması ve eskiyle yeni tabakaların birbirine iyi kaynamasını sağlamak için, eski kaplama boyunca dik olarak kesilmeli ve yeni kaplama öncesi ısıtma lambalarıyla iyice ısıtılıp yumuşatılmalıdır. Daha sonra Şekil 5.6'daki silindiraj paternine uygun olarak sıkıştırmaya geçilmelidir. İlk silindirleme, sıkıştırılmış kaplama yanından başlamakta daha sonra dış kenara geçilip sıkışmış kaplamaya doğru sürdürülmektedir. Böylece eskiyle yeni kaplama birbirine daha iyi kaynamakta ve silindirleme sırasında ötelenme minimuma inmektedir. Boyuna ek yerinin sıkıştırılmasında Sekil 5.6'da görüldüğü gibi demir bandajlı silindir 10-15 cm taşarak sıkıştırılmıs tabaka üzerinde hareket etmektedir.



ŞEKİL 24

Şekil 5.6. Boyuna derz teşkili.

5.2.3 Başlangıç Sıkıştırması

Kalın tabakaların ısıyı daha uzun tutabilme özelliği verimli bir sıkıştırma gerçekleştirilmesi için serme işleminden sonra gerekli olan süreyi uzatacaktır. Bitüm tabakalarının serme sıcaklığından son sıcaklığa kadar soğuması için geçen süre formül 5.1'de verilen şekilde tabaka kalınlığının bir fonksiyonudur.

$$t = k.d^{1,8} \quad (5.1)$$

Burada t: ilk sıcaklık değerinden ortam sıcaklığına kadar geçen süre, d: serilen malzemenin kalınlığı, k: çevresel koşullara, başlangıçtaki serme ve ortam sıcaklığına bağlı bir katsayıdır. Çeşitli faktörlerin sıkıştırma süresi üzerindeki etkisi Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Çeşitli faktörlerin sıkıştırma süresi üzerindeki etkisi.

Faktör	Aralık	Sıkıştırma zamanında değişim (%)
Rüzgar hızı	0- 20 km/sa	-26
Hava sıcaklığı	0-20 °C	+19
Güneş ışıması	+ 10 °C	+15
Serme kalınlığı	35 – 45 mm	+57
Başlangıç sıcaklığı	140 °C – 160 °C	+40
Minumun sıkıştırma sıcaklığı	100 °C - 90°C	+30

Notlar:

Güneş ışıması etkisi ile oluşan +10 °C'deki değeri, yol yüzeyi sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki farktır.

Başlangıçtaki sıkıştırma sıcaklığının artırılması yolu ile sıkıştırma zamanındaki değişim sıkıştırmanın 100 °C'de tamamlanacağı gözönüne alınarak hesaplanmıştır.

Minumun sıkıştırma sıcaklığının azaltılması yoluyla sıkıştırma süresindeki değişim, ilk sıcaklık değeri 150 °C alınarak hesaplanmıştır [30].

5.2.4 Ara Silindiraj

İlk silindirajdan sonra uygulanan ikinci, üçüncü, dördüncü.v.s. sıkıştırmaların, son silindirajdan önceki tüm geçişlerini kapsar. Ara silindirajda pnömatik silindirlerin kullanılması yoğurma etkisi nedeniyle homojen bir sıkıştırma elde edildiğinden en ideali olmakla birlikte son yıllarda özellikle kalın tabakalarda vibrasyonlu silindirler kullanılmaktadır. Karayolları Teknik Şartnamesine göre her tip silindirin kullanılmasına izin verilmekle birlikte, demir bandajlı silindirlerin kullanılması doğru değildir. Ara silindirajda dikkat edilecek en önemli husus kılcal çatlaklar oluşturmayacak ya da önceki silindir izlerini giderecek biçimde sıkıştırma yapmaktır.

Ara silindirajda pnömatik silindirlerin lastik iç basınçları, kaplama deformasyonuna izin vermeyecek kadar yüksek tutulmalıdır. Sıkışmanın ve karışım ısısının yüksek olduğu ilk geçişlerde ,lastik iç basınçları arttırılarak, sıkıştırma sürdürülmelidir. Deneyimlere göre lastik iç basıncı 70 psi civarında olduğunda iyi sonuçlar alınmaktadır. Ara silindirajda vibrasyonlu silindirler kullanılacaksa ilk geçişlerde vibrasyon etkisi bozulmalara neden

olmamalıdır. Ara sıkıştırmanın son geçiş veya geçişlerinde, vibrasyonsuz sıkıştırma yapılması silindir izleri oluşturmaması açısından gereklidir [29,30].

5.2.5 Son (Ütüleme) Silindraj

Sıkıştırmanın son aşaması olup ve tüm silindir izleri ve kılcal çatlaklar giderildiğinden ütüleme olarak da adlandırılır. Kaplamada sıkışmalar tamamlandığı ve karışım yeterince soğuduğu için ağır demir bandajlı silindirler kullanılmalıdır. Ancak ağır ve lastik iç basıncı fazla pnömatik silindirler de kullanılabilir. Silindirlemede, silindirler herhangi bir nedenle kaplamada herhangi bir bozulma meydana getirmişse bu kısımlar tırmıkla gevşetilip düzeltilip yeniden sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırılan kaplama ortam sıcaklığında soğuyana kadar kesinlikle üzerinde herhangi bir ağır iş makinesi, v.s. bekletilmemelidir.

5.2.6 Kaplamanın Serme ve Sıkıştırılmasından Kaynaklanan Bozulmalar

Bitümlü sıcak karışımı serecek olan finişerde helezonların düzgün çalışmaması sonucu ince ve kaba agrega birbirinden ayrılarak segragasyon meydana gelmekte. Segragasyon neticesinde sıkışmış kaplama yüzeyinde sökülmeler ve bunu takiben çukurlar (Şekil 5.7) meydana gelmektedir. Sericinin iyi bir planlama ile sürekli bir serim yapamaması, uzun süren duraklamalarla çalışması neticesinde sıkışmış kaplamada ilerleyen dönemlerde enine çatlaklar (Şekil 5.8) oluşmaktadır. Bitümlü tabaka serilmeden önce uygulanacak yapıştırma malzemelerinin eksikliği ve fazlalığı tabaka şeklinde sökülmeler ve ondülasyonlara (Şekil 5.9) neden olmaktadır. Boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmemesi ise boyuna çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.

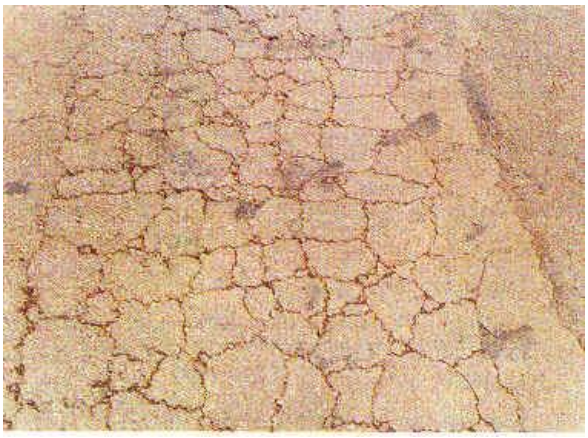
Tabaka kalınlıklarının yetersiz olması tekerlek izi oluşumuna (Şekil 5.10), yorulma çatlaklarına (Şekil 5.11) ve sökülmelere neden olmaktadır. Sıkıştırılacak tabaka kalınlıklarının ve sıkıştırma sıcaklıklarının uygun olmaması durumunda ise yetersiz sıkıştırma meydana gelmekte ve tekerlek izi oluşumu, ondülasyonlar, timsah sırtı çatlaklar, sökülmeler ve oyuklar gibi bir çok bozulma tipi meydana gelmektedir.

Şekil 5.7 Çukurlar.

Şekil 5.8 Enine çatlaklar.

Şekil 5.9 Ondülasyonlar

Şekil 5.10 Tekerlek izinde oturma.



Şekil 5.11 Yorulma çatlakları.

BSK'larda kullanılan bağlayıcının tipi sıkışabilirliliğe ve dolayısıyla kaplama performansına etki etmektedir. Kullanılan bağlayıcıya göre uygun bir karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı uygulanmadığı takdirde istenen yoğunlukta bir karışım elde etmek çok zor olmaktadır. Kullanılacak bağlayıcı miktarı da sıkışabilirliliğe etki etmektedir. Optimum bağlayıcı oranından daha az oranlarda, kaplanmış agrega daneleri birbiri üzerinden kaymaları zorlaştığından sıkışabilirlik az olmaktadır. Optimum bağlayıcı oranında ise kaplanmış agrega daneleri üzerindeki asfalt film kalınlığı artmakta ve sıkışabilirliliği kolaylaştırmaktadır.

BSK'larda kullanılan agrega özellikleri de sıkışabilirliliğe etki etmektedir. Çok köşeli ve pürüzlü yüzeylere sahip agrega içeren karışımlarda sürtünme direnci fazla olduğundan sıkıştırılmasında daha fazla enerji gerekmektedir. Kaplamanın serileceği yüzeyin esnek yada rijit oluşu, kaplamanın kalınlığı sıkışabilirliliğe etki eden diğer faktörlerdir. Bu faktörler içerisinde sıkışabilirliliğe etki eden en önemli faktör sıcaklık ve sıkıştırma enerjisidir. Her ne kadar BSK'lar bağlayıcının viskozitesine göre belirlenmiş olan sıkıştırma sıcaklığında sıkıştırılmaya çalışılsa da havanın rüzgarlı bulutlu, güneşli olması temel tabakasının sıcaklığı gibi çevresel etkiler karışımın soğuma hızını etkilemektedirler. Ayrıca ince kaplamaların sıcaklığı kalın kaplamalara göre daha hızlı düşmektedir. Nakliye sırasında meydana gelen ısı kayıpları, silindirin her geçiş sırasındaki zaman aralığında meydana gelen ısı kayıpları nedeniyle tasarımda belirlenen sıkışmanın elde edilmesi güç olmaktadır. Sıkıştırmada kullanılacak silindirlerin ağırlıkları titreşim uygulayıp uygulamamaları ve geçiş sayıları doğrudan sıkışabilirliliğe etki etmektedir.

BSK'lardaki en önemli hacimsel özellik hava boşluğudur. BSK'lar trafik yükleri ile ilave bir sıkışmaya müsaade edebilmek için uygun bir hava boşluğunda imal edilirler.

Hava boşluğu değerinin aşınma tabakası için %3-5 aralığında olması standartlar tarafından önerilmektedir. Bitümlü sıcak karışımlar ilk serildiklerinde belli bir boşluk oranına sahiptirler. Daha sonra trafik yüklemelerinden dolayı iki mekanizmaya bağlı olarak kaplamada konsolidasyon meydana gelmektedir. Bu iki mekanizma tek boyutlu sıkışma ve plastik akmadır. Tek boyutlu sıkışma karışım içindeki hava boşluğunun azalması ile meydana gelir iken plastik akmada sıkışma agregalar arasındaki toplam boşluğun azalmasından meydana gelmektedir. Bu iki mekanizma birbirinden farklı olup asfaltın sıcaklık-viskozite ilişkisine dayanmaktadır. Hava boşluğu oranının %3'ten az olması durumunda plastik akma mekanizmasının etkili olduğu belirtilmiştir [31]. Azalmış hava boşluğu içerisinde artan boşluk basıncı asfaltı hareket etmeye zorlamaktadır. Bu sayede asfalt film kalınlığı azalmakta ve agregalar arasındaki mesafe azalmaktadır. Bitüm boşluklara doğru harekat ederek agregalar arasında yağlayıcı bir etki yapmakta, agregalar arasında sürtünme direnci yitirildiğinden agregalar yer değiştirmektedir. %3'ten daha düşük hava boşluğu plastik akma mekanizmasını devreye soktuğundan bu değer minimum değer olarak kabul edilmiştir. %6'dan yüksek hava boşluğu oranları ise suya ve havaya karşı geçirgen bir yapı oluşturduğundan durabilite problemlerine yol açmaktadır. Dolayısıyla kaplamanın ömrü boyunca optimum hava boşluğunda meydana gelen herhangi bir değişiklik hasarların oluşmasına neden olmaktadır [32].

BSK'ların laboratuvarda üretiminde sıcaklık kontrollü bir şekilde muhafaza edilebilmekte ve değişik sıkıştırma cihazları kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlileri Marshall sıkıştırma tokmağı ve yoğurmalı prestir. Karışımın cinsine ve trafik miktarına göre Marshall tokmağında farklı darbe sayıları, yoğurmalı preste ise farklı yoğurma sayısı ve yoğurma açısı kullanılmakta bu sayede arazideki sıkışmayı temsil edecek şartlar oluşturulmaya çalışılmaktadır.

Khan ve ekibi otomatik ve manuel Marshall tokmağı, $1{,}25^{o}$ ve 6^{o} açılı yoğurmalı pres ile hazırlanmış BSK numunelerinin rijitlik modülü, statik sünme rijitliği, hacim özgül ağırlıkları ve boşluk oranı gibi özelliklerini araziden aldığı numunelerin aynı özellikleri ile karşılaştırmıştır. Sonuçta $1{,}25^{o}$ açılı yoğurmalı pres ile hazırlanmış numunelerin araziden alınan numunelerin özelliklerine en yakın değerler verdiği tespit edilmiştir [33].

Lee ve ekibi yaptıkları çalışmalarında Superpave yoğurmalı sıkıştırıcı ve Marshall tokmağı ile hazırlanmış kontrol, stiren-butadien-stiren ve öğütülmüş araç lastiği modifiyeli karışımların hacimsel özelliklerini sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelemişlerdir. İki farklı sıkıştırma yönteminin karışımlar için farklı optimum bağlayıcı oranları verdiği,

özellikle öğütülmüş araç lastiği modifiyeli karışımların hacimsel özelliklerinin sıkıştırma metodundan çok sıcaklıktan etkilediği tespit edilmiştir [34].

Dubois ve ekibi, yoğurmalı sıkıştırıcı ve tekerlekli sıkıştırma yönteminin ayrıca numune boyutlarının yoğun, açık ve kesikli gradasyonlu bitümlü sıcak karışımlardaki hava boşluğu dağılışına etkisini incelemişlerdir. Sonuçta yoğurmalı pres ile hazırlanan numunelerde en uygun hava boşluğu dağılımına 120mm çapında ve yüksekliğindeki numunelerin sahip olduğu, tekerlekli sıkıştırıcı ile elde edilen numunelerin hava boşluğu dağılımlarının arazideki numunelere çok benzediği, laboratuvarda hava boşluğu dağılımı açısından homojen bir numune elde edebilmek için büyük ölçekli numuneler hazırlanıp bunların uç kısımlarını dikkate almadan orta bölümden numune alınması gerektiği belirtilmiştir [35].

Airey ve ekibi, açık ve yoğun gradasyonlu karışımlardaki agregaların sıkıştırma enerjisinden ne ölçüde etkilendiklerini araştırmışlardır. Burada sıkıştırma yöntemi olarak Marshall tokmağı kullanılmış ve 50 – 100 darbe etkisi incelenmiştir. Sonuçta açık gradasyonlu karışımlardaki agregaların sıkıştırma ile yoğun gradasonlu karışımlardaki agregalardan çok daha fazla bozulduğu, yoğun gradasyonlu karışımlarda sıkıştırma enerjisinin artmasının agregalarda bozulmaya neden olmadan karışımın yoğunluğunu artmasını sağladığı tespit edilmiştir [36].

Özen, laboratuvarda Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) cihazı ile sıkıştırılmış numunelerin araziden alınan numunelerle benzer özellikler sergilediği, 150 mm çapındaki numunelerin tekrarlı sünme testine göre daha uygun bir boyut olduğu belirtilmiştir [37].

SHRP tarafından hazırlanan bir raporda bir çok sıkıştırma tekniğinin BSK'ların mekanik özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Sonuçta tekerlikli sıkıştırmanın karışım rijitliği açısından en uygun sıkıştırmayı yaptığı ve arazi şartlarını en iyi şekilde temsil ettiği belirtilmiştir [38]

Sigurjonsson and Ruth, yoğurmalı presin bitüm, gradasyon ve mineral filler oranı değişikliklerine karşı hassas olmayan karışımlar ürettiği böylece birçok parametreyi devre dışı bırakarak basit tasarım ve kalite kontrol imkanı verdiği belirtilmişlerdir [39].

Marshall tokmağı ile hazırlanan numunelerdeki agregaların kırıldığı gradasyonun bozulduğu, bu bağlamda agregaların aşınma dayanımlarının ve yassı oluşlarının önemli olduğu belirtilmiştir [40].

6. ÇALIŞMADA KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ

6.1 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Tez çalışmasında BSK numunelere uygulanan Marshall stabilite ve akma deneyi TS EN 12697-34 standardına göre yapılmıştır. Standartta stabilite; deformasyona karşı maksimum dayanım olarak, akma ise maksimum yüke ulaşıldığı anda numunede meydana gelen deformasyon olarak tanımlanmaktadır. Standarda göre öncelikle sıkıştırılmış ve soğumuş numunelerin yükseklikleri ölçülerek kaydedilmekte, daha sonra numuneler 60 ± 1°C sıcaklığa sahip su banyosunda 40 ile 60 dakika arasında bekletilmektedir. Kırma çenesi ise 60 ± 1°C sıcaklıktaki suda 30 dakika veya 60 ± 1°C sıcaklıktaki etüvde 1 saat bekletilmelidir. Bu sürenin sonunda numune sudan çıkarılarak kırma çenesine ortalanacak biçimde yerleştirilir. Numunenin çenenin alt ve üst parçalarına tam olarak temas ettiği kontrol edilmelidir. İçinde numune bulunan kırma çenesi Marshall stabilite aletine yerleştirilmekte ve numuneye 50 ± 2 mm/dakika hızla yükleme yapılmaktadır.

Deneyde, maksimum yük ve maksimum yük sırasındaki deformasyon değerleri kaydedilmektedir. Numunenin sudan çıkmasından itibaren 40 sn içerisinde deney bitirilmelidir. Deneyde standart numune yüksekliğinin 63,5 mm. olduğu kabul edilmektedir. Farklı yüksekliklere sahip numuneler için stabilite düzeltme katsayıları aşağıdaki bağıntı yardımıyla tespit edilmektedir.

$$c = 5{,}24 \times e^{(-0{,}0258 \times h)} \qquad (6.1)$$

Burada c, düzeltme katsayısı, h ise mm olarak numune yüksekliğidir. Elde edilen stabilite ve akma değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Bu sayede stabilite ve akma değerleri belirlenmektedir. Stabilite ortalamasından %15 farklı stabilite değerine sahip olan numuneler ve akma ortalamasından %20 farklı akma değerine sahip numuneler değerlendirmeden çıkarılmaktadır. Daha sonra geri kalan numunelerin ortalaması alınarak numunelerin stabilite ve akma değerlerinin ortalamadan sapma miktarları belirlenmektedir. Eğer aynı oranda sapma (stabilite için %15, akma için %20) olan numuneler varsa numune serisi iptal edilmekte ve yeni bir seri numune üzerinde deney tekrarlanmaktadır.

6.2 Çekme Dayanımı Deneyi

Bitümlü sıcak karışımların çekme dayanımını dolaylı olarak ölçen bu deneyde hazırlanan numuneler 25°C sıcaklıktaki suda 1 saat bekletilmekte ve Marshall test cihazında eksenel yüklemeye tabi tutularak kırılmaktadır. Kırım işleminde elde edilen maksimum yük değeri kullanılarak numunelerin dolaylı çekme mukavemeti ITS (kPa) Formül 6.2 ile belirlenmektedir.

$$ITS = 2F/\pi LD \tag{6.2}$$

Burada F, numunenin taşıyabildiği maksimum yükü (kN), L numune yüksekliğini (m), D ise numune çapını (m) ifade etmektedir.

6.3 İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi

BSK'ların rijitlik modülünün deneysel olarak belirlenmesinde, direk basınç, indirekt çekme ve burulma deneyleri uygulanabilmektedir. Bütün deney metotları, viskoelastik bir malzemenin kısa süreli yüklemelerde elastik davrandığı kabulüne dayanmaktadır. Deney yöntemleri periyodik olarak uygulanan yükü ve bu esnada oluşan ani deformasyonları içermektedir. Rijitlik modülü uygulanan gerilme ve geri dönen birim şekil değiştirme ile hesaplanmaktadır. Diametral (çap doğrultusunda yük uygulanan) deneyler, direk basınç deneylerine göre karışımdaki bağlayıcının etkisine karşı daha hassas olduğundan daha yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. Bitümlü tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü, bitümlü sıcak karışımların en önemli performans karakteristiklerinden biridir [41]. BS DD 213 standardı ile tanımlanmış hasarsız ve deformasyon kontrollü bir deney olan indirekt çekme rijitlik modülü (ITSM) deneyi UMATTA (Universal Material Testing Apparatus) deney aleti kullanılarak Şekil 6.1'deki düzenek ile yapılmaktadır.

Deney sistemi; iklimlendirme kabini, yükleme çerçevesi, yazılım ve bilgisayardan oluşmaktadır. Standart deney sıcaklığı 20ºC olmasına rağmen iklimlendirme kabini sayesinde deney farklı sıcaklıklarda yapılabilmektedir. Deney öncesinde numuneler en az 3 saat deney sıcaklığında bekletilmektedir. Numune yüksekliği, çapı, tahmini poisson oranı,

hedef yatay deformasyon, yük etki süresi ve yük artış süreleri, tahmini rijitlik modülü gibi değerler önceden yazılıma girilmektedir. Daha sonra numune yükleme çerçevesine yerleştirilerek yatay deformasyonu ölçen sensörler ayarlanmaktadır. Deneyde, önce numunelere ön yükleme işlemi uygulanmaktadır. 5 defa tekrarlanan ön yükleme sırasında cihaz otomatik olarak numunede yatay eksende hedef deformasyonu meydana getirecek yükü belirlemektedir. Ardından numuneye ön yükleme ile belirlenen yükte uygulanan 5 darbe sonucu aşağıdaki bağıntı kullanılarak ITSM değerleri belirlenmektedir.

$$S_m = \frac{F(R+0{,}27)}{LH} \tag{6.3}$$

Burada S_m, indirekt çekme rijitlik modülü (MPa), F maksimum dikey yük (N), H 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon (mm), L ortalama numune yüksekliği (mm), R ise poisson oranıdır (0,35).

Deney sonrasında numuneler 90° döndürülerek deney tekrarlanmaktadır. İki değer arasında %10'dan fazla sapma olması durumunda numune bir kez daha 90° döndürülerek deney tekrarlanmaktadır. Aralarında %10'dan az sapma olan iki değerin ortalaması alınarak numunenin ITSM değeri belirlenmektedir.

Şekil 6.1 ITSM deney düzeneği.

6.4 İndirekt Çekme Yorulma Deneyi

Karayollarında kullanılan bitümlü malzemeler, her bir taşıt geçişinde kısa süreli bir yüke maruz kalmaktadır. Bu yükler, malzemenin rijitliğinin azalmasına neden olan mikro hasarlara yol açmaktadır. Bu mikro hasarlar uzun dönemde yorulma çatlağı olarak adlandırılan kaplama bozulmalarına neden olmaktadır [42]. Yorulma çatlakları, bitümlü sıcak karışımlarda en fazla görülen ve yükten kaynaklanan bozulma türüdür. Yorulma çatlakları, tekrar eden yükler sonucu çatlak oluşumunu takiben kademeli olarak artmaktadır [43]. Pratikte yorulmadan kaynaklanan bozulma belirli bir oranda kaplamanın yorulma çatlakları ile kaplanması şeklinde tanımlanmaktadır.

Laboratuar ortamında bitümlü sıcak karışımların yorulma dayanımlarını tespit edebilmek amacıyla geliştirilmiş birçok deney bulunmaktadır. Bu deneyler, gerilme ve deformasyon kontrollü olarak yapılabilmektedir. Deney türüne göre yükleme şekli, numune geometrisi ve numunede oluşan gerilme artışı farklılık gösterdiğinden yapılan bu deneylerde yorulma ömürleri farklılık gösterebilmektedir. Yorulma ömrü üzerine yapılan çalışmalar sonucunda deformasyon kontrollü deneylerden elde edilen yorulma ömürlerinin gerilme kontrollü deneylere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca laboratuarda belirlenen yorulma ömrünün arazide tespit edilen yorulma ömründen çok daha kısa olduğu gözlenmiştir. Bu durum, yorulma ömrünün gerilme dağılımının ve kaplamanın sınır şartlarının bir fonksiyonu olmasından kaynaklanmaktadır [44]. Buna rağmen yorulma

deneyleri, farklı karışımların yorulma performanslarını karşılaştırmak için imkan sağlamaktadır.

İndirekt çekme yorulma deneyinde (IÇYD), numune kırılıncaya kadar etki eden yük tekerrür sayısı olarak tanımlanan yorulma ömrü belirlenmektedir. Her bir numune türü değişik gerilme seviyelerinde yorulma deneyine tabi tutularak farklı gerilme seviyelerindeki kırılmaya neden olan yük tekerrür sayıları belirlenmektedir (N_f). Böylece N_f ile gerilme (σ) arasındaki klasik yorulma ilişkisi logaritmik ölçekte çizilen grafikten belirlenmektedir.

İndirekt çekme yorulma deneyi, gerilme veya deformasyon kontrollü olarak tekrarlı yükleme altında bitümlü karışımların yorulma dayanımını karakterize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Silindir şeklindeki deney numunelerine düşey çapsal düzlemde haversine biçiminde tekrarlı basınç yükleri uygulanmaktadır. Bu yükleme, uygulanan yük doğrultusuna dik, yatay çapsal doğrultuda nispeten üniform çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Oluşan çekme gerilmeleri, numunenin düşey doğrultuda numunenin orta kısmında yarılma meydana gelmesine neden olmaktadır.

Gerilme kontrollü indirekt çekme yorulma deneyi (IÇYD), UMATTA deney aleti kullanılarak Şekil 6.2'deki deney düzeneği ile yapılmaktadır. Deney öncesinde numuneler, en az 3 saat deney sıcaklığında bekletilmektedir. Numune yüksekliği, çapı, uygulanacak gerilme yük periyodu ve yük artış süreleri gibi değerler önceden yazılıma girilmektedir. Numune, yükleme çerçevesine yerleştirilmekte, düşey deformasyonu okuyacak sensörler (LVDT) ayarlanmakta ve deneye başlanmaktadır. Deney, numuneler tam olarak kırılıncaya kadar devam etmektedir.

Şekil 6.2 İndirek çekme yorulma deney düzeneği.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada arazi sıkıştırma şartlarının BSK'ların hacimsel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenerek, laboratuvar ortamında Marshall tokmağı ve yoğurmalı sıkıştırıcı ile hazırlanan numunelerin hacimsel ve mekanik özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla ilk önce çalışmada kullanılacak malzemelerin karakteristikleri ve şartnamelere uygunluğu tespit edilmiştir. Çalışma temel olarak iki bölümden oluşmaktadır birinci bölümde geniş bir arazide inşa edilen temel tabakası üzerine Elazığ Güney Çevre Yolu için tasarlanmış olan binder tabakası, değişik sıcaklıklarda ve değişik sıkıştırma enerjileri ile serilerek kaplama teşkil edilmiş ve buradan alınan numuneler üzerinde mekanik ve hacimsel değerlendirmeler yapılmıştır. İkinci bölümde arazide binder tabakasının inşa edilmesi sırasında kullanılan aynı sıcak karışım plentten alınarak laboratuvara getirilmiş ve burada yoğurmalı sıkıştırıcı ve Marshall tokmağı ile değişik sıkıştırma enerjilerinde karışım numuneleri hazırlanmıştır. Laboratuvarda hazırlanan numunelerin de mekanik ve hacimsel özellikleri değerlendirilerek araziden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

7.1 Malzeme Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Çalışmada bağlayıcı olarak TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcıya ait özellikler Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Bağlayıcının özellikleri

Özellikler	Standart	B 50/70
Penetrasyon (0,1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	56
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	52
Penetrasyon indeksi (PI)		-0,61
Özül ağırlık		1,013
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	600
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	175
Karıştırma sıcaklığı (°C)		165,8
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)		152,8

Çalışmada agrega olarak Elazığ Haroğlu bölgesinden temin edilen kırmataş kalker kullanılmıştır. Agregaya ait fiziksel özellikler ve karışımlarda kullanılan agrega gradasyonu sırasıyla Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7.2. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellikler	Standart	Limit	Kaba	İnce	Filler
Los Angeles aşınma (%)	ASTM C 131	Maks. 30	24	-	-
Donma kaybı (%) (Na_2SO_4)	ASTM C 88	Maks.10	2.0	-	-
Yassı ince uzun dane (%)	ASTM D 4791	Maks. 10	20		
Su absorbsiyonu (%)	ASTM C127	Maks. 2	0.80		
Hacim özgül ağırlık (g/cm^3)	ASTM C127		2.669	-	-
Hacim özgül ağırlık (g/cm^3)	ASTM C128		-	2.610	-
Zahiri özgül ağırlık (g/cm^3)	ASTM D854		-	-	2.715

Tablo 7.3. Agrega gradasyonu

Elek çapı (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,15	0,075
%Geçen	88.2	70.0	59.8	44.6	29.1	7.9	6.6

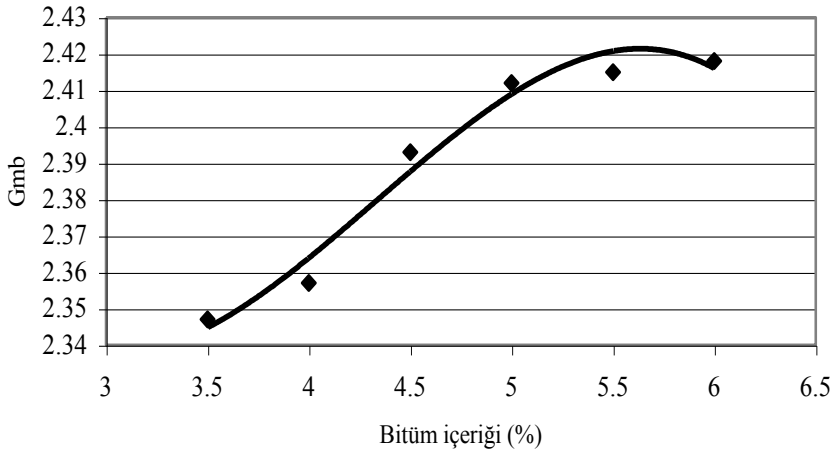
7.2. Çalışmada Kullanılacak Sıcak Karışımın Optimum Bitüm Oranının Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan bitümlü sıcak karışım numuneleri Marshall metoduna göre hazırlanmıştır. Bu amaçla farklı bitüm içeriklerinde üçer adet Marshall numuneleri, 101,6 mm çapındaki kalıplarda her iki yüzüne 75 darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Öncelikle numunelerin yükseklikleri ölçülmüş, havadaki kuru ağırlıkları (W_{kuru}), sudaki ağırlıkları (W_{suda}), havadaki doygun ağırlıkları (W_{doygun}) ve sıkıştırılmamış gevşek karışımların teorik özgül ağırlıkları (Gmm) ölçülerek, numunelerin pratik özgül ağırlıkları (Gmb), asfaltla dolu boşluk oranları (V_{FA}), boşluk oranları (V_a) ve agregalar arasındaki boşluk oranları (V_{MA}) tespit edilmiştir (Tablo 7.4). Daha sonra numuneler Marshall deney aletinde kırılarak Marshall stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir.

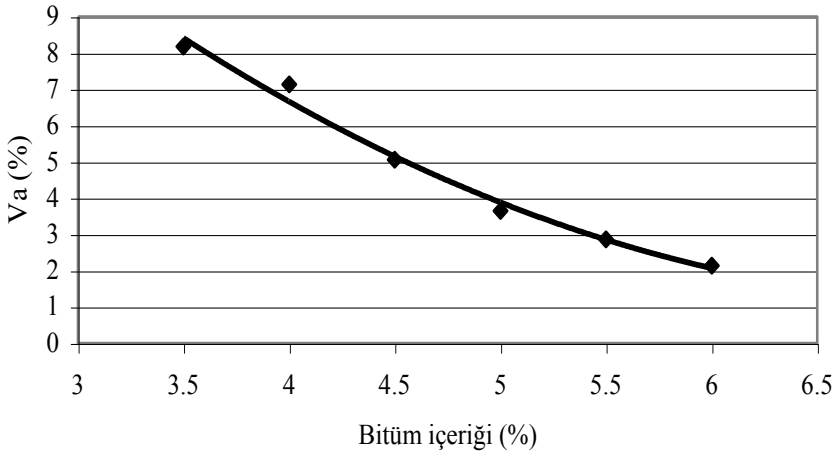
Tablo 7.4 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin farklı bitüm içeriklerindeki özellikleri.

Wa	No	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	V_a (%)	V_{MA} (%)	V_{FA} (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)
		1	2	3	ort										
3.5	1	63,4	63,7	63,3	63,5	1172,1	679,9	1177,6	2,355					1402,0	3,24
	2	63,4	63,9	63,4	63,6	1173,6	680,4	1181,6	2,342					1492,5	2,8
	3	63,8	63,4	63,8	63,7	1171,0	681,5	1181,3	2,343					1413,9	2,8
	Ort								**2,347**	**2,555**	**8,18**	**14,38**	**43,2**	**1436,1**	**2,95**
4.0	1	63,5	63,4	63,3	63,4	1186,3	686,2	1190,5	2,352					1368,7	2,89
	2	63,6	63,5	63,7	67,2	1180,7	686,2	1189,1	2,348					1137,4	2,56
	3	63,6	63,8	63,5	63,6	1185,3	695,8	1195,9	2,370					1509,9	2,9
	Ort								**2,357**	**2,538**	**7,13**	**14,42**	**50,6**	**1338,7**	**2,78**
4.5	1	62,6	62,5	62,6	62,6	1191,8	695,0	1195,8	2,380					1418,9	2,56
	2	62,6	62,7	62,5	62,6	1187,2	696,5	1192,8	2,392					1651,6	2,65
	3	61,9	61,8	61,5	61,7	1185,4	695,4	1188,1	2,406					1748,5	3,2
	Ort								**2,393**	**2,520**	**5,06**	**13,54**	**62,6**	**1606,3**	**2,80**
5.0	1	62,5	62,7	62,6	62,6	1197,8	702,7	1201	2,404					1661,8	3,42
	2	62,2	62,0	62,1	62,1	1193,8	701,6	1195,2	2,419					1666,9	2,57
	3	62,1	61,8	62,0	62,0	1190,5	699,8	1193,1	2,413					1616,2	2,4
	Ort								**2,412**	**2,503**	**3,65**	**13,25**	**72,5**	**1648,3**	**2,80**
5.5	1	62,0	62,1	62,0	62	1204,9	710,3	1205,9	2,431					1452,2	4,16
	2	63,0	62,5	62,5	62,7	1199,0	704,8	1201,3	2,415					1275,0	2,92
	3	62,5	62,4	62,2	62,4	1203,7	704,1	1205,6	2,400					1502,3	3,22
	Ort								**2,415**	**2,487**	**2,86**	**13,54**	**78,9**	**1409,8**	**3,43**
6.0		62,5	62,6	62,6	62,6	1205,6	709,0	1206,7	2,422					1581,6	3,11
		62,6	62,4	62,5	62,5	1208,5	709,6	1209,9	2,416					1590,8	3,24
		62,9	62,9	63,0	62,9	1209,5	709,9	1210,8	2,415					1231,8	4,52
									2,418	**2,470**	**2,14**	**13,87**	**84,6**	**1468,1**	**3,62**

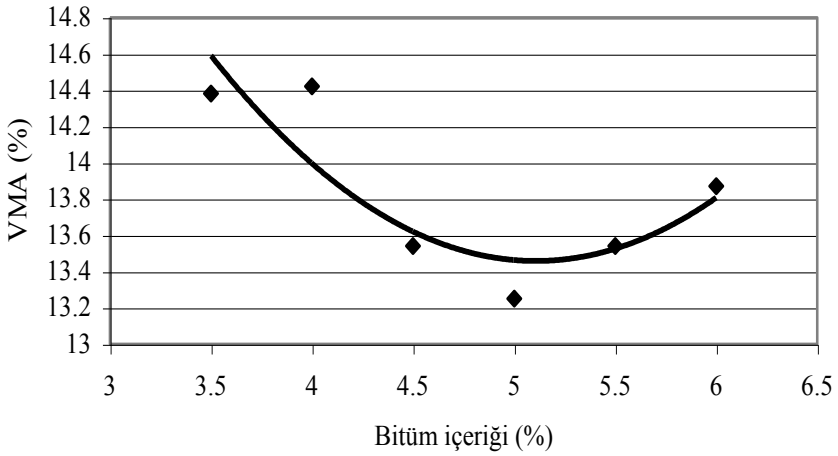
Tablo 7.4'te hesaplanan hacimsel özellikler ve ölçülen stabilite değerlerinin bitüm içeriği ile değişimini gösteren grafikler Şekil 7.1-7.6'da verilmiştir.



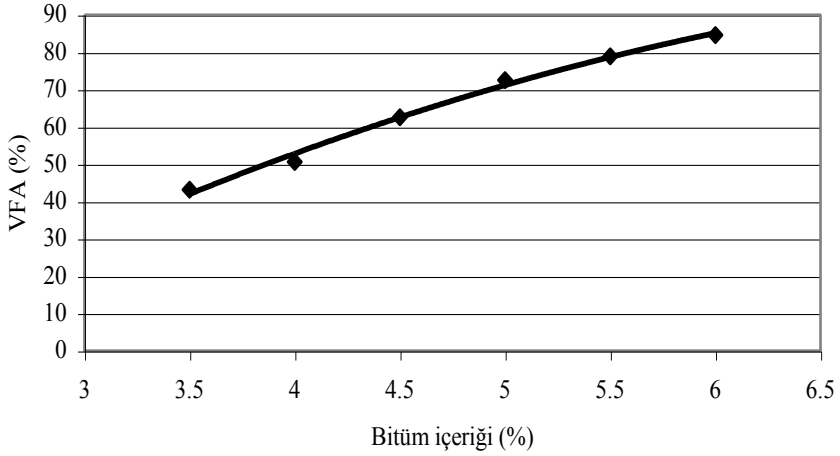
Şekil 7.1 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin Gmb - % bitüm ilişkisi.



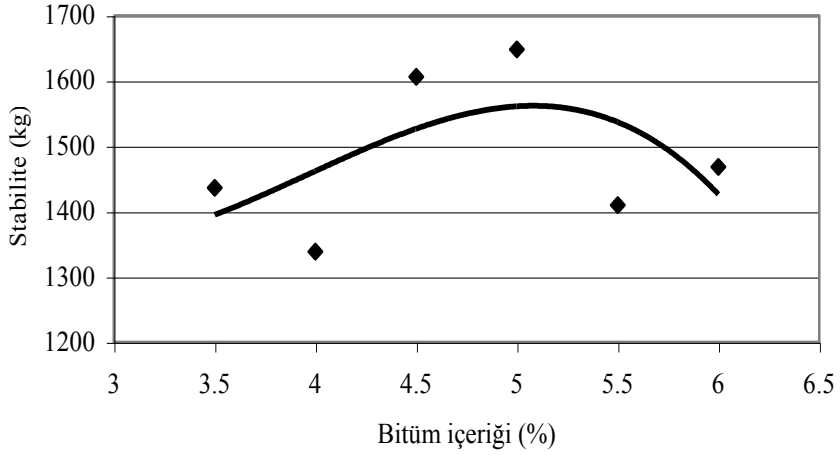
Şekil 7.2 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin Va - % bitüm ilişkisi.



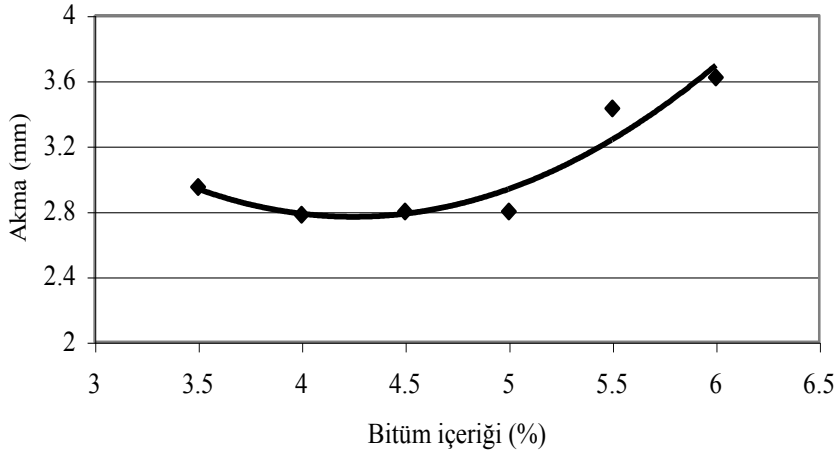
Şekil 7.3 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin V_{MA} - % bitüm ilişkisi.



Şekil 7.4 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin V_{FA} - % bitüm ilişkisi.



Şekil 7.5 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin stabilite - % bitüm ilişkisi.



Şekil 7.6 B 50/70 ile hazırlanan numunelerin akma - % bitüm ilişkisi.

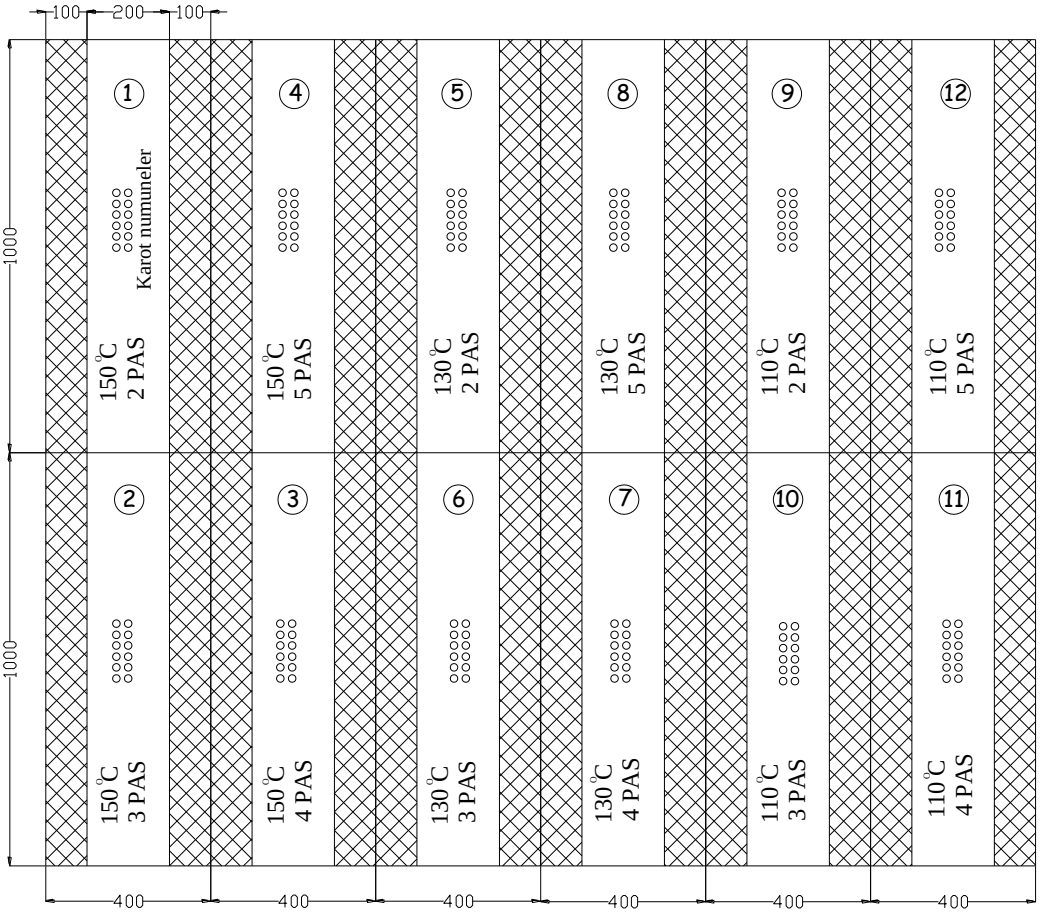
Karayolları Teknik Şartnamesine göre, çizilen grafiklerden stabilitenin ve hacim özgül ağırlığın maksimum, boşluk oranının % 5, asfaltla dolu boşluk oranının %65 olduğu bitüm içerikleri tespit edilerek optimum bitüm içeriği belirlenmiştir. Bu bitüm içeriğinde dökülen numunelerin akma değerleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 7.5'te verilmiştir.

Tablo 7.5 Karışımların optimum bağlayıcı oranlarının tespitinde kullanılan değerler.

Kriterler	**Elde Edilen Değerler**
Maksimum Stabilite	4,80
Maksimum Gmb	5,50
% 5 Va	4,50
% 67,5 V_{FA}	4,40
Optimum	**% 4,80**
Optimumdaki Akma	3 mm

7.3. Arazi ve Laboratuvar Çalışma Planı

Çalışmada 600 m^2 alan üzerine serilen temel tabakası üzerine binder tabakası finişer ile serilmiştir. Sıcaklık olarak 110 ^oC, 130 ^oC ve 150 ^oC sıcaklıklar dikkate alınmıştır. Sıkıştırma prosedürü olarak bütün bölgelere ilk önce lastik tekerlekli silindir 1 pas geçiş yapmış daha sonra bölgelere göre demir bandajlı silindir titreşimli olarak 2, 3, 4 ve 5 pas farklı geçiş sayıları yapmış ve son olarak bütün bölgelere demir bandajlı silindir titreşimsiz olarak 1 pas geçiş yapmıştır. 12 farklı bölgeye ayrılan çalışma alanı şekli, Şekil 7.7'de kaplama serilmesi esnasında kaydedilen fotoğraflar Şekil 7.8'de verilmiştir.



Şekil 7.7 Arazi çalışma planı.

Şekil 7.8(a) Plentmix temelin serilmesi.

Şekil 7.8(b) Binder tabakasının serilmesi.

Şekil 7.8(c) Binder tabakasının sıkıştırılması.

Şekil 7.8 (d) Sıkıştırılmış ve soğumuş kaplama.

Her bölgeden 16 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan numunelerin pratik özgül ağırlıkları (Gmb), hava boşluğu oranları (V_a), asfaltla dolu boşluk oranları (V_{FA}), agregalar arasındaki boşluk oranları (V_{MA}) gibi hacimsel özellikleri ve Marshall stabiliteleri, indirek çekme mukavemetleri (ITS), indirek çekme gerilmesi rijitlik modülleri (ITSM), tekrarlı sünme rijitlikleri ve dolaylı çekme gerilmesi yorulma dirençleri tespit edilmiştir. Arazide serim yapılırken aynı üretim sürecinden çıkan sıkıştırılmamış gevşek karışımlardan numune alınarak laboratuvarda Marshall tokmağı ile 110 ^oC, 130 ^oC ve 150 ^oC de 45, 55, 65 ve 75 darbe uygulanarak numuneler hazırlanmıştır. Yoğurmalı sıkıştırıcı ile aynı sıcaklıklarda 70, 90, 110 ve 130 yoğurma sayılarında numuneler hazırlanmıştır. Araziden alınan numunelere uygulanan bütün deneyler bu numunelere de uygulanmıştır. %4-6 olan hava boşluğu, %60-75 olan asfaltla dolu boşluk oranı ve minumum %13 olan agragalar arasındaki boşluk kriterlerini sağlayıp sağlamadığı değerlendirilmiştir.

7.4. Arazi ve Laboratuvar Numunelerinin Hacimsel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

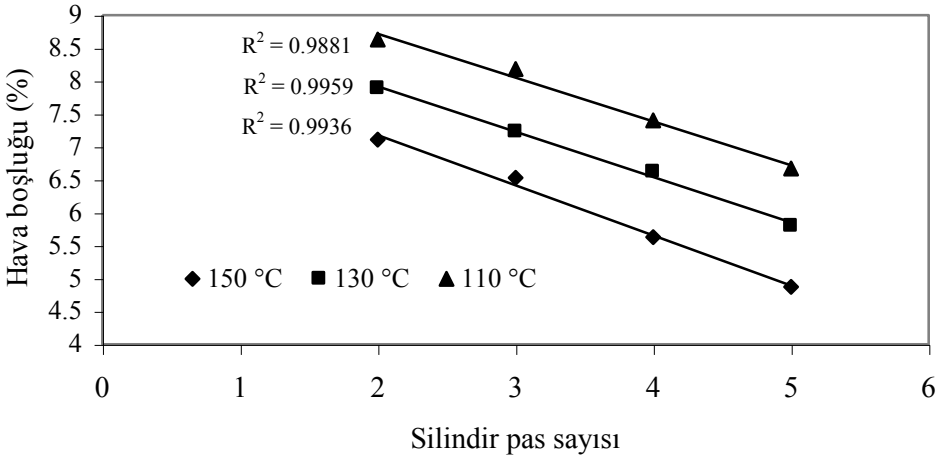
Araziden elde edilen numunelerin farklı sıcaklık ve sıkıştırma enerjilerindeki hacimsel özellikleri EK-A'da, bu hesaplamalara ait ortalama değerler ise Tablo 7.6'da verilmiştir.

Tablo 7.6 Arazi numunelerinin hacimsel özellikleri.

Sıcaklık (°C)	Pas sayısı	G_{mb}	V_a	V_{MA}	V_{FA}
150	2	2.338	7.11	15.62	54.50
	3	2.352	6.53	15.09	56.76
	4	2.375	5.63	14.27	60.58
	5	2.394	4.87	13.58	64.21
130	2	2.318	7.89	16.33	51.69
	3	2.335	7.23	15.73	54.04
	4	2.350	6.62	15.17	56.42
	5	2.371	5.80	14.43	59.84
110	2	2.299	8.63	17.01	49.24
	3	2.311	8.18	16.59	50.74
	4	2.331	7.40	15.88	53.45
	5	2.349	6.67	15.23	56.18

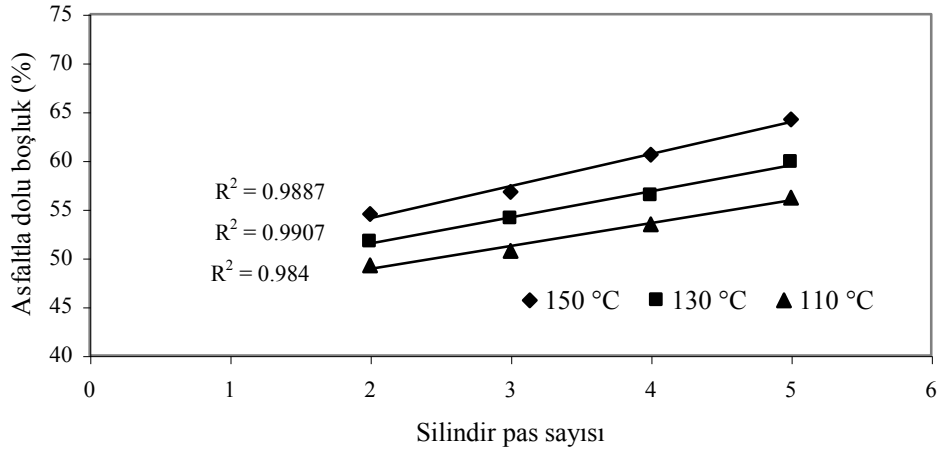
Tablodan görüldüğü üzere 150 °C de 4 ve 5 pas silindir geçişi ile sıkıştırılmış numuneler binder tabakası için gerekli şartname limitleri içerisinde kalmış ve 5 pas silindir geçişi ile sıkıştırılmış numuneler şartname limitleri ortalamasını en ideal şekilde sağlayan numuneler olmuştur. Bu sıkıştırma yönteminin dışında V_a ve V_{MA} açısından kriterler sağlansa da V_{FA} kriteri sağlanmamıştır. Yine de 130 °C ve 5 pas silindir geçişi ile sıkıştırılan numuneler şartname kriterleri açısından kabul edilebilir değerler vermektedir.

Şekil 7.9'da silidir geçişi ve sıcaklığa bağlı olarak numunelerin hava boşluğu oranlarında meydana gelen değişim 12 numunenin ortalama değerleri olarak verilmiştir. Bütün sıcaklıklarda silindir geçiş sayısının artması ile birlikte hava boşluğu lineer olarak azalmaktadır. 150 °C sıcaklıkta silindirin geçiş sayısının 2 den 5'e çıkması durumunda hava boşluğu oranında %31.5, 130°C sıcaklıkta %26.4 ve 110 °C sıcaklıkta %22.7 oranlarında azalmanın olduğu dolayısıyla silindir geçişlerinin yüksek sıcaklıkta hava boşluğu üzerinde önemli derecede etkisi olduğu tespit edilmiştir. Silindirin 2 geçişi için sıcaklığın 150 °C den 110 °C'ye düşmesi durumunda hava boşluğu %21.3 oranında azalmakta bu değer silindirin 5 geçişi için ise %37 olmaktadır. Sıcaklığın %36 değişimi hava boşluğunda silindir geçiş sayısına bağlı olarak %21 ile %37 arasında değişiklik yaparken, silindir geçiş sayısının %36 değişimi sıcaklığa bağlı olarak hava boşluğunda %8-%13 arasında bir değişim meydana getirmekte dolayısıyla sıcaklığın sıkıştırma enerjisinden daha fazla öneme sahip olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7.9'dan aynı boşluk oranlarının farklı koşullarda elde edilebileceği görülmektedir. 150 °C ve silindirin 2 geçişindeki boşluk oranına yakın değerlerin 130 °C ve 3 geçiş yada 110 °C ve 4 geçiş ile temin edilebileceği aynı şekilde 150 °C ve silindirin 3 geçişindeki boşluk oranına yakın değerlerin 130 °C ve 4 geçiş yada 110 °C ve 5 geçiş ile temin edilebileceği görülmektedir. Sıcaklığın 20 derece düşmesi durumunda aynı boşluk oranını elde etmek için silindir geçiş sayısının 1 artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 7.9 Arazi numunelerinde sıkıştırma enerjisi – hava boşluğu ilişkisi.

Numunelerin asfaltla dolu boşluk oranlarında sıcaklık ve silindir geçiş sayısı ile meydana gelen değişim Şekil 7.10'da verilmiştir. Burada eğrilerin düşük sıkıştırma enerjisinde birbirine yaklaştığı, yüksek sıkıştırma enerjisinde ise uzaklaştığı dolayısıyla sıcaklığın yüksek sıkıştırma enerjisinde daha fazla etkili olduğu görülmektedir.



Şekil.7.10 Arazi numunelerinde sıkıştırma enerjisi – V_{FA} ilişkisi.

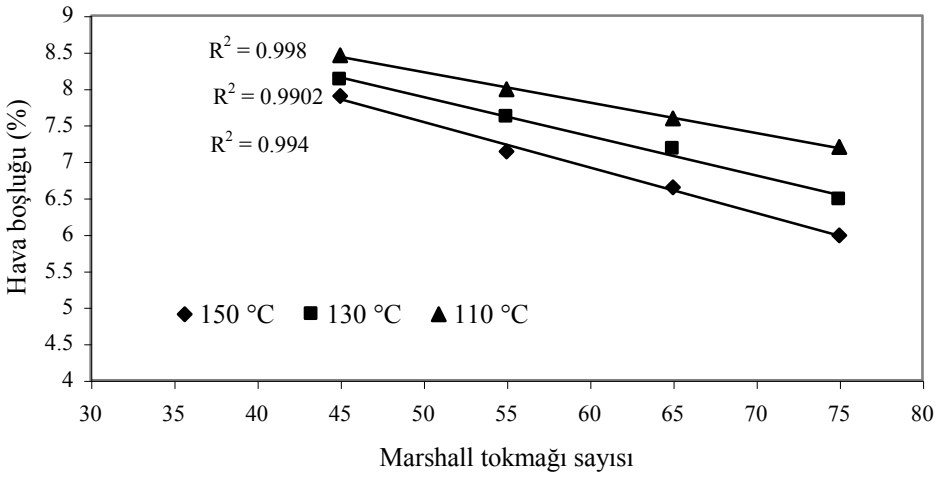
Laboratuvarda Marshall tokmağı ile hazırlanan numunelerin hacimsel özellikleri EK-B'de bu hesaplamalara ait ortalama değerler Tablo 7.7'de verilmiştir. Hiç bir numune asfaltla dolu boşluk oranının alt limit değerini sağlamamış ancak sadece 150 °C de 75 darbe ile sıkıştırılan numuneler V_{FA} şartname alt limitine yaklaşmış ve %6'dan daha az boşluk oranını sağlamıştır. Şartname ortalama değerlerinde hacimsel özellikler elde

edebilmek için 75 darbe de ve 150 °C'den daha yüksek bir sıcaklıkta sıkıştırma yapılması gerektiği açıktır.

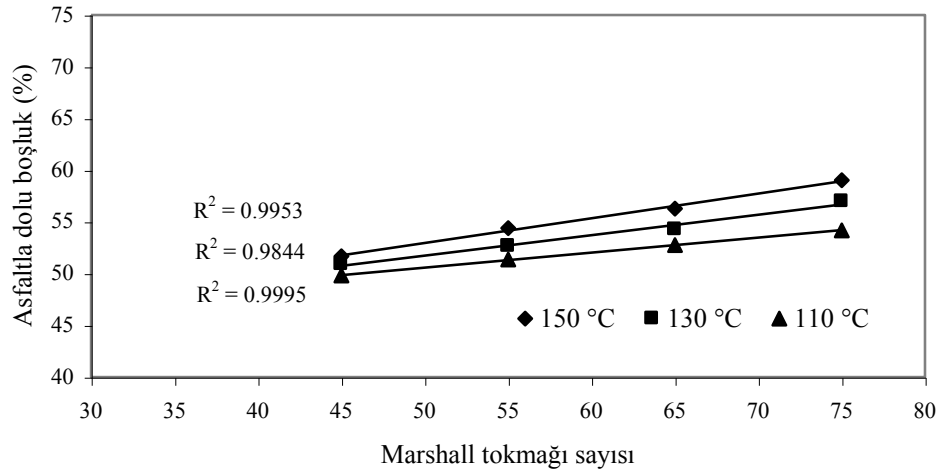
Tablo 7.7 Marshall tokmağı ile hazırlanan numunelerin hacimsel özellikleri.

Sıcaklık (°C)	Darbe sayısı	G_{mb}	V_a	V_{MA}	V_{FA}
150	45	2.318	7.897	16.337	51.690
	55	2.337	7.139	15.648	54.384
	65	2.350	6.647	15.201	56.284
	75	2.366	5.984	14.599	59.033
130	45	2.312	8.121	16.54	50.912
	55	2.325	7.612	16.078	52.676
	65	2.336	7.174	15.68	54.262
	75	2.354	6.477	15.047	56.975
110	45	2.304	8.457	16.846	49.816
	55	2.316	7.988	16.42	51.355
	65	2.326	7.588	16.056	52.761
	75	2.336	7.199	15.703	54.175

Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'de sırası ile numunelerin hava boşluklarındaki ve asfaltla dolu boşluk oranlarındaki değişim verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere 150 °C'de sıkıştırılan numunelere ait eğrilerin eğimleri diğerlerinden daha fazladır. Bu da sıcaklık artışının yüksek darbe sayılarında V_a ve V_{FA} üzerinde daha etkili olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 7.11 Marshall tokmağı darbe sayısı- hava boşluğu ilişkisi.



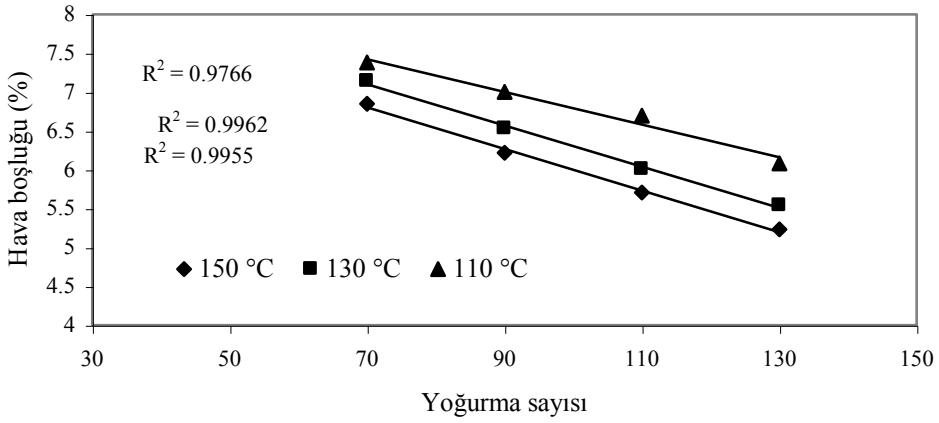
Şekil 7.12 Marshall tokmağı darbe sayısı- asfaltla dolu boşluk oranı ilişkisi.

Laboratuvarda yoğurmalı sıkıştırıcı ile hazırlanan numunelerin hacimsel özellikleri EK-C'de bu hesaplamalara ait ortalama değerler ise Tablo 7.8'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere V_a ve V_{FA} şartname limitlerini 110 °C de sıkıştırılan hiç bir numune sağlamamış, buna karşın 130 °C de 130 devir ile sıkıştırılan, 150 °C de ise 130 ve 110 devir ile sıkıştırılan numuneler sağlamıştır.

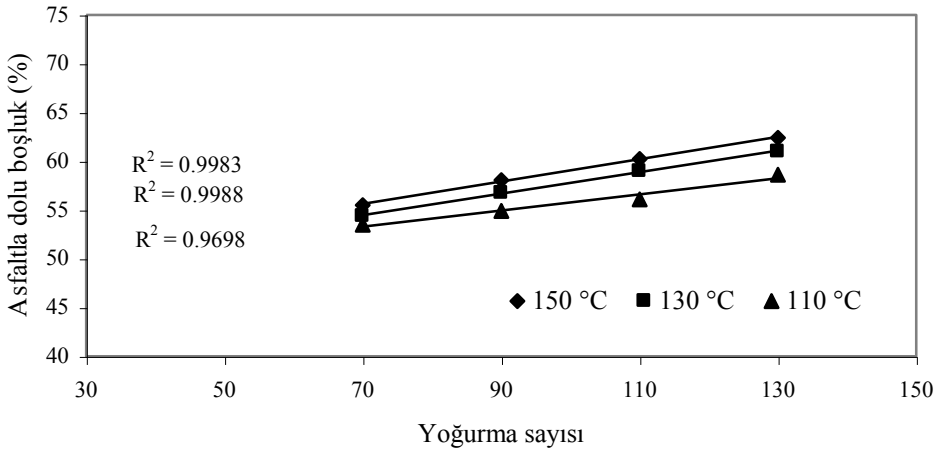
Tablo 7.8 Yoğurmalı sıkıştırıcı ile hazırlanan numunelerin hacimsel özellikleri.

Sıcaklık (°C)	Yoğurma sayısı	G_{mb}	V_a	V_{MA}	V_{FA}
150	70	2.344	6.849	15.385	55.495
	90	2.36	6.217	14.81	58.057
	110	2.373	5.707	14.347	60.239
	130	2.385	5.232	13.916	62.41
130	70	2.337	7.141	15.65	54.381
	90	2.352	6.53	15.095	56.75
	110	2.366	6.008	14.621	58.968
	130	2.377	5.543	14.199	60.997
110	70	2.331	7.383	15.87	53.488
	90	2.341	7.004	15.526	54.908
	110	2.348	6.697	15.247	56.089
	130	2.364	6.081	14.688	58.607

Numunelerin V_a ve V_{FA} değerlerinde meydana gelen değişim sırasıyla Şekil 7.13 ve 7.14'te verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere 130 °C ve 150 °C eğrileri birbirine paralel giderken 110 °C eğrisi bunlardan bir miktar ayrılmaktadır. Bu da düşük sıcaklığın yoğurmalı sıkıştırıcıda arazi ve Marshall tokmağı sıkıştırmasına göre daha olumsuz bir koşul olduğuna işaret etmektedir. Yoğurmalı sıkıştırıcıda devir sayısının 70'ten 130'a %85 artması boşluk oranının 150 °C, 130 °C ve 110 °C de sırasıyla %23.6, %22.3 ve %17.6 oranlarında azalmasına neden olmuştur.

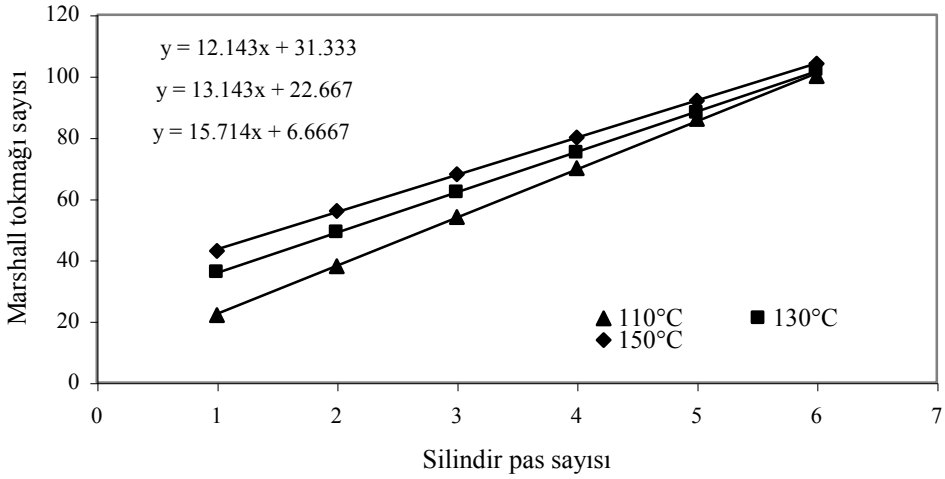


Şekil 7.13 Yoğurma sayısı darbe sayısı- hava boşluğu ilişkisi.

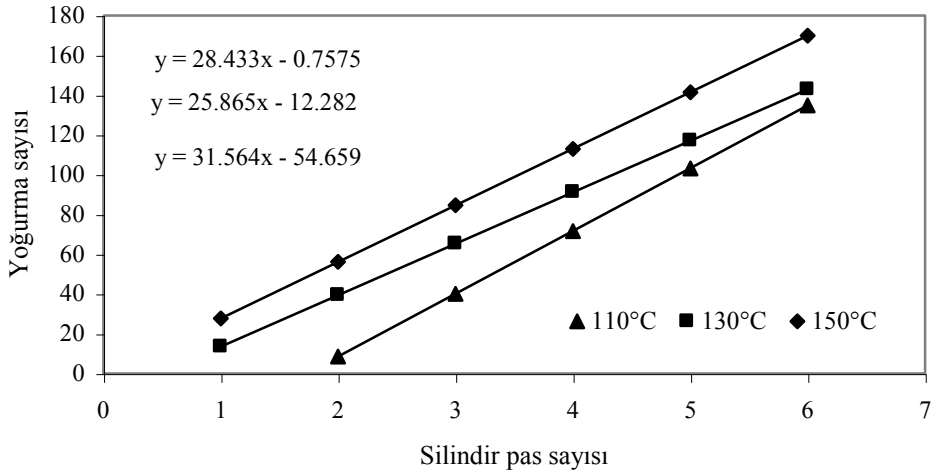


Şekil 7.14 Yoğurma sayısı darbe sayısı- asfaltla dolu boşluk oranı ilişkisi.

Şekil 7.15 ve 7.16'da boşluk oranı bakımından silindir geçiş sayısı ile Marshall tokmağı darbe sayısı ve yoğurma sayısı arasındaki ilişkiler farklı sıcaklıklar için verilmiştir. Burada dört farklı silindir geçişi ve dört farklı Marshall tokmağı darbe ve yoğurma sayısı ve boşluk oranları arasındaki lineer bağıntılar yardımıyla daha geniş ölçekteki değerler de dikkate alınmıştır. Arazide farklı sıcaklıklarda, farklı sayıda silindir geçişi ile elde edilen boşluk oranının laboratuvar da kaç Marshall tokmağı darbesi ve yoğurma sayısı ile elde edilebileceği bu grafikler yardımı ile tespit edilebilmektedir. Burada arazi ve laboratuvar sıkıştırma yöntemleri arasında lineer bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Arazide herhangi bir sayıda silindir geçiş sayısında ve 110 °C 130 °C 150 °C sıcaklıklardaki sıkışmaya karşılık gelen aynı sıcaklıklardaki Marshall tokmağı darbe ve yoğurma sayılarına bakıldığında, sıcaklık artışı ile darbe ve yoğurma sayısının arttığı görülmektedir. Bu da sıcaklığın boşluk oranı üzerindeki etkisinin laboratuvar sıkıştırma yöntemlerine göre arazide daha etkili olduğuna işaret etmektedir. Ancak arazi ve Marshall yöntemi arasında sıcaklığın etkisi yüksek sıkıştırma enerjisinde azalmaktadır.

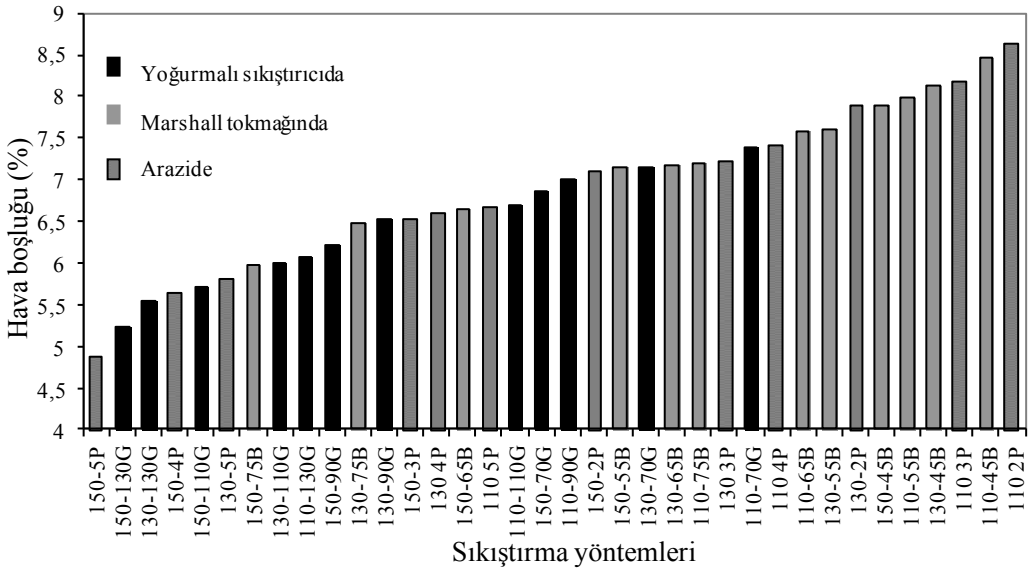


Şekil.7.15 Marshall tokmağı darbe sayısı – silindir pas sayısı ilişkisi.



Şekil.7.16 Yoğurma sayısı – silindir pas sayısı ilişkisi.

Şekil 7.17'de sıkıştırma yöntemlerinin binder tabakasının hava boşluğu üzerindeki etkisi bir arada görülmektedir. Burada yatay eksendeki ifadenin ilk terimi sıcaklığı ikinci terimi Marshall tokmağı darbe sayısı (B), yoğurma sayısı (G) ve silindir pas sayısını (P) ifade etmektedir. Bu grafikten arazideki her hangi bir sıcaklık ve silindir geçiş sayısında elde edilen boşluk oranının laboratuvarda değişik kombinasyonlarla elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 7.17 Sıkıştırma yöntemleri - hava boşluğu ilişkisi.

7.5 Arazi ve Laboratuvar Numunelerinin Mekaniksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

7.5.1 Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Tablo 7.8, 7.9 ve 7.10'da sırasıyla arazide, Marshall tokmağı ile ve yoğurmalı sıkıştırıcı ile sıkıştırılarak hazırlanana numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri verilmiştir. Bu tablolardaki ortalama değerler alınarak çizilen Şekil 7.18'de sıkıştırma yöntemlerinin binder tabakasının stabilitesi üzerindeki etkileri birlikte gösterilmiştir.

Tablo 7.8 Arazide sıkıştırılan numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri.

Karışım türü	150 °C 2 pas			150 °C 3 pas			150 °C 4 pas			150 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	795	906	869	907	994	813	1026	941	888	1157	952	966
Akma	9.23	7.58	8.55	8.12	7.42	8.42	8.15	7.62	8.33	7.83	8.19	6.59
Stb_{ort} - Akm_{ort}	856-8.45			905-7.98			952-8.03			1025-7.53		
Stb/Akma	101.3			113.4			118.5			136.1		

Karışım türü	130 °C 2 pas			130 °C 3 pas			130 °C 4 pas			130 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	658	651	570	767	786	685	831	770	798	843	912	826
Akma	7.36	7.18	7.80	9.20	9.11	7.41	8.7	7.82	8.9	9.03	8.45	7.13
Stb_{ort} - Akm_{ort}	626-7.44			746-8.57			800-8.47			860-8.20		
Stb/Akma	84.1			87.1			94.4			104.8		

Karışım türü	110 °C 2 pas			110 °C 3 pas			110 °C 4 pas			110 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	544	654	643	707	638	719	761	698	752	767	821	866
Akma	7.81	7.66	7.26	8.05	8.34	7.83	7.98	8.26	8.42	8.69	8.21	8.34
Stb_{ort} - Akm_{ort}	614-7.57			688-8.10			737-8.23			818-8.41		
Stb/Akma	81.1			85.0			89.5			97.2		

Tablo 7.9 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri.

Karışım türü	150 °C 45 darbe			150 °C 55 darbe			150 °C 65 darbe			150 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	1023	931	866	914	1090	1051	1220	1012	1098	1021	1276	1291
Akma	8.13	7.24	8.20	8.04	8.77	7.82	7.69	8.05	8.29	8.80	9.02	7.26
Stb_{ort} - Akm_{ort}	940-7.86			1018-8.21			1110-8.01			1196-8.36		
Stb/Akma	119			124			138			143		

Karışım türü	130 °C 45 darbe			130 °C 55 darbe			130 °C 65 darbe			130 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	717	912	909	1022	906	973	1110	923	961	916	1187	935
Akma	7.34	9.05	7.94	8.33	7.80	8.71	7.68	7.66	9.02	8.22	7.56	8.52
Stb_{ort} - Akm_{ort}	846-8.11			967-8.28			998-8.12			1013-8.10		
Stb/Akma	104			116			123			125		

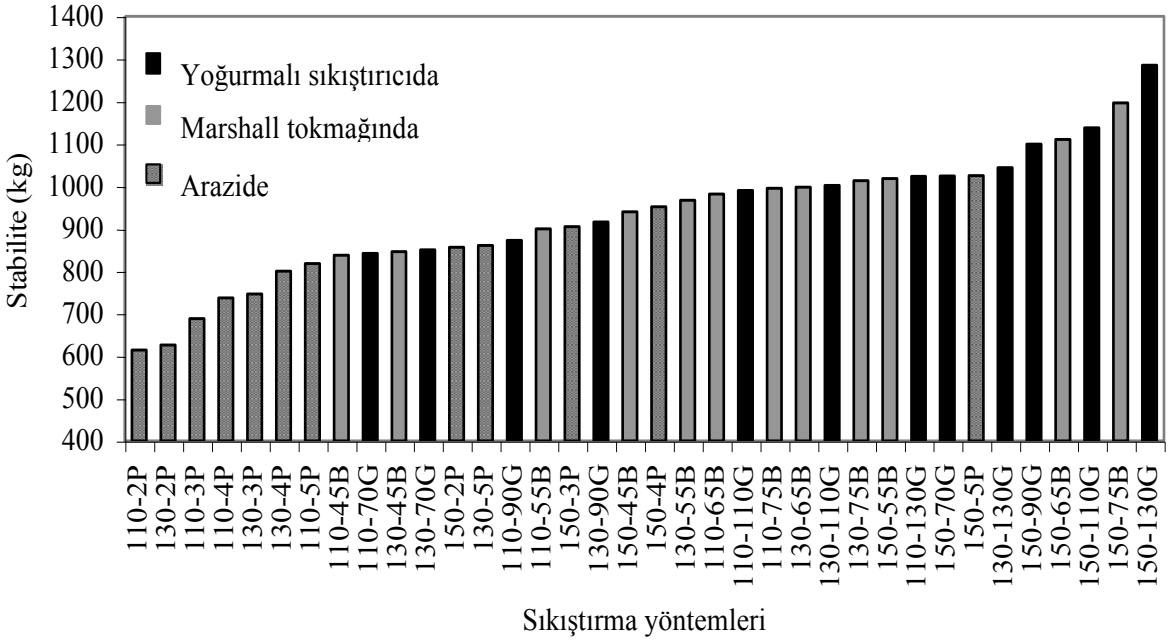
Karışım türü	110 °C 45 darbe			110 °C 55 darbe			110 °C 65 darbe			110 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	793	856	862	992	827	881	823	1010	1110	960	1130	895
Akma	9.25	8.24	7.17	7.55	8.83	7.44	8.50	7.81	8.11	7.26	9.11	8.02
Stb_{ort} - Akm_{ort}	837-8.22			900-7.94			981-8.14			995-8.13		
Stb/Akma	101			113			120			122		

Tablo 7.10 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri.

Karışım türü	150 °C 70 devir			150 °C 90 devir			150 °C 110 devir			150 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	910	1148	1014	1202	989	1106	1165	973	1273	1338	1161	1356
Akma	7.06	8.82	7.93	7.50	9.11	7.99	8.11	8.68	7.93	7.96	8.73	7.76
Stb_{ort} - Akm_{ort}	1024-7.94			1099-8.20			1137-8.24			1285-8.15		
Stb/Akma	129			134			138			157		

Karışım türü	130 °C 70 devir			130 °C 90 devir			130 °C 110 devir			130 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	774	858	918	1026	884	838	1130	955	921	928	1150	1054
Akma	7.85	8.39	8.42	7.15	8.10	8.69	7.61	7.72	8.76	8.25	7.80	8.76
Stb_{ort} - Akm_{ort}	850-8.22			916-7.98			1002-8.03			1044-8.27		
Stb/Akma	103			114			124			126		

Karışım türü	110 °C 70 devir			110 °C 90 devir			110 °C 110 devir			110 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Stabilite	733	854	939	970	886	760	983	1175	812	1110	1032	927
Akma	7.79	8.44	8.31	8.19	8.04	7.65	8.60	8.10	7.93	7.69	9.03	8.33
Stb_{ort} - Akm_{ort}	842-8.18			872-7.96			990-8.21			1023-8.35		
Stb/Akma	103			109			120			123		

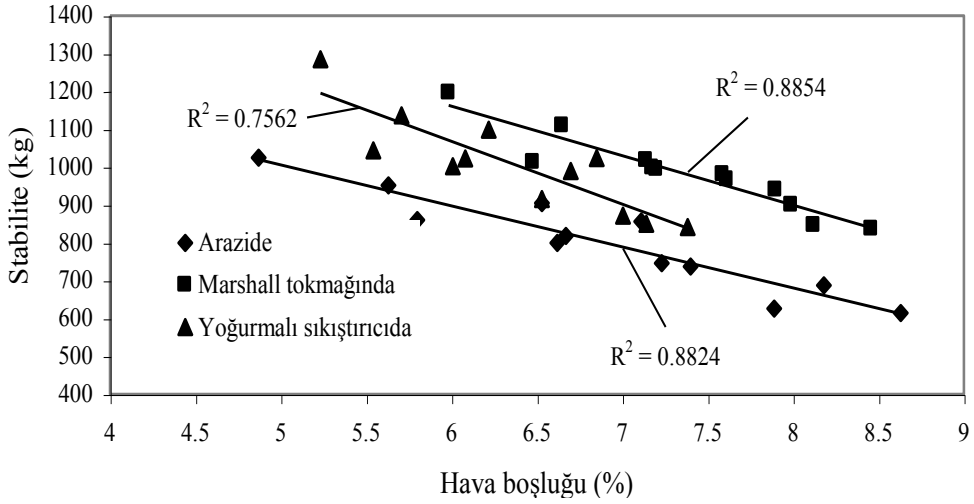


Şekil 7.18 Sıkıştırma yöntemleri – Marshall stabilitesi ilişkisi.

Şekilden görüldüğü üzere en düşük 7 değere 110 °C ve 130 °C'de sıkıştırılan arazi numuneleri sahip olmuştur. Bu sıcaklıklarda 45 Marshall tokmağı darbesi ile sıkıştırılan numuneler, 70 yoğurma sayısı ile sıkıştırılan numunelerle benzer stabilite değerleri vermiştir. Bu stabilite değerleri arazide 150°C 2 pas silindir geçişi ve 130 °C 5 pas silindir geçişi ile elde edilebilmektedir. Arazide 20 °C'lik serme sıcaklığındaki düşüş aynı stabiliteyi temin edebilmek için ilave 3 pas silindir geçişi gerektirmektedir. Laboratuvarda 110 °C'de 75 Marshall tokmağı darbesi ile sıkıştırılan numunelerin stabilite değerleri, yoğurmalı sıkıştırıcıda 110 yoğurma sayısında sıkıştırılan numunelerle elde edilmiştir. 130 °C'de ise 65 Marshall tokmağı darbesi ve 130 yoğurma sayısında sıkıştırılan numuneler benzer stabilite değerleri vermiştir. Arazide 150 °C ve 5 pas silindir geçişi ile sıkıştırılan numunelerin stabilite değerlerine 150 °C'de 55 Marshall tokmağı darbesi, 110 °C'de 130 yoğurma sayısı, 150 °C'de 70 yoğurma sayısı gibi farklı kombinasyonlarla ulaşılabilmektedir.

Şekil 7.19'da farklı sıkıştırma yöntemlerinde numunelerin hava boşluğu ve stabiliteleri arasındaki ilişkiler verilmiştir. Bütün sıkıştırma yöntemleri için hava boşluğu ile stabilite arasında lineer bir ilişki söz konusudur. Grafikten görüldüğü üzere aynı hava boşluğuna sahip numuneler sıkıştırma yöntemlerine bağlı olarak farklı stabilite değerleri vermektedir. Bu bağlamda yoğurmalı sıkıştırıcı etkisi Marshall sıkıştırmasına göre daha

fazla arazi sıkıştırmasına benzemektedir. Marshall sıkıştırma yöntemi aynı hava boşluğunda yoğurmalı sıkıştırıcıdan ve arazi sıkıştırmasından daha fazla stabiliteye sahip numuneler üretmektedir.



Şekil 7.19 Hava boşluğu stabilite ilişkisi.

7.5.2 İndirek Çekme Gerilmesi Deney Sonuçları

Tablo 7.11, 7.12 ve 7.13'te sırasıyla arazide, Marshall tokmağı ve yoğurmalı sıkıştırıcı ile sıkıştırılarak hazırlanana numunelerin indirek çekme gerilmesi (ITS) değerleri verilmiştir. Değişik sıkıştırma yöntemleri ile sıkıştırılan numunelerin ITS değerlerindeki değişim Şekil 7.20, 7.21 ve 7.22'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere sıkıştırma sıcaklığı düştükçe ITS değerlerinde meydana gelen düşüş arazi sıkıştırmasında çok belirgin olmaktadır. Arazide sıkıştırılmış numunelerde 150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda önemli derecede ITS değerlerinde düşüş olmaktadır. Arazideki düşük sıcaklıklardaki sıkıştırma enerjisi diğer sıkıştırma yöntemlerine göre ITS üzerinde daha fazla etkiye sahiptir. Düşük sıkıştırma enerjileri dikkate alındığında sıcaklığın 150 °C'den 110 °C'ye düşmesi 70 yoğurma sayısında ITS değerlerinde %14,7, 45 Marshall tokmağı sayısında %27,5 ve 2 silindir geçişinde %33,4 azalışa neden olmaktadır. Yüksek sıkıştırma enerjileri dikkate alındığında sıcaklığın 150 °C'den 110 °C'ye düşmesi 130 yoğurma sayısında ITS değerlerinde %23.2, 75 Marshall tokmağı sayısında %28,3 ve 5 silindir geçişinde %17,7 azalışa neden olmaktadır. Sıcaklığın etkisi düşük ve yüksek sıkıştırma enerjilerinde farklı olmaktadır. Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıcaklığın etkisi sıkıştırma enerjisi ile birlikte artarken arazi sıkıştırmasında azalmakta ve Marshall sıkıştırma yönteminde pek fazla değişmemektedir.

Tablo 7.11 Arazide sıkıştırılan numunelerin indirek çekme gerilmesi değerleri.

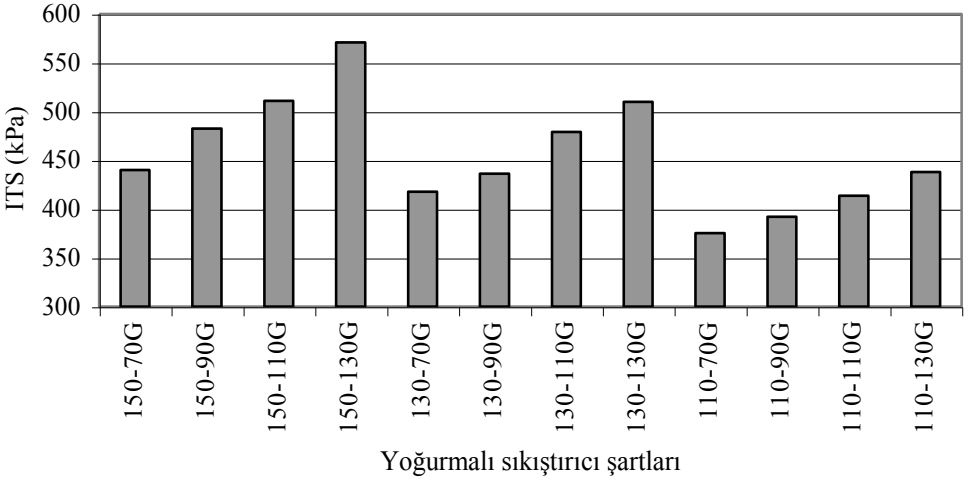
Karışım türü	150 °C 2 pas			150 °C 3 pas			150 °C 4 pas			150 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	457	484	433	453	480	452	478	468	496	508	503	462
$ITS_{ortalama}$	458			462			480			491		
Karışım türü	130 °C 2 pas			130 °C 3 pas			130 °C 4 pas			130 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	333	324	323	426	378	340	421	379	381	404	415	422
$ITS_{ortalama}$	327			381			394			413		
Karışım türü	110 °C 2 pas			110 °C 3 pas			110 °C 4 pas			110 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	311	286	317	323	295	333	343	337	352	437	391	384
$ITS_{ortalama}$	305			317			344			404		

Tablo 7.12 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin indirek çekme gerilmesi değerleri.

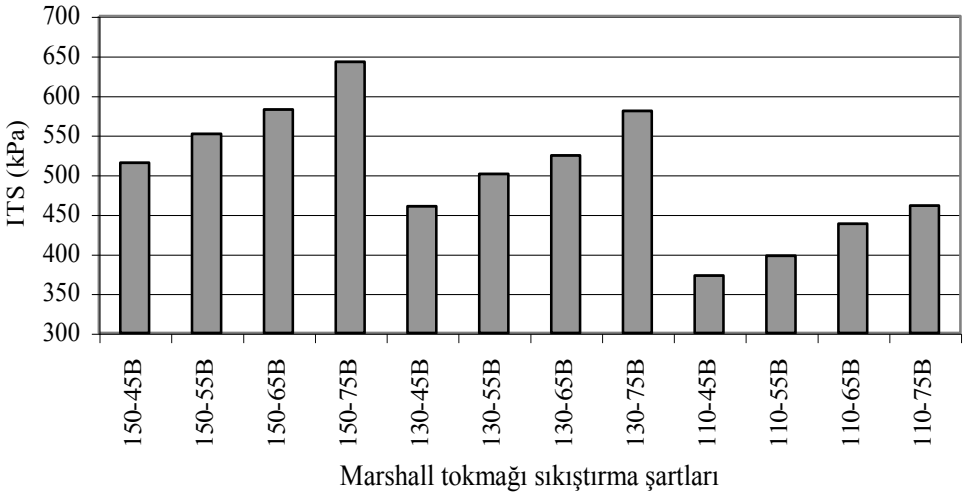
Karışım türü	150 °C 45 darbe			150 °C 55 darbe			150 °C 65 darbe			150 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	879	985	970	1143	945	1056	1214	1036	1068	1120	1337	1206
$ITS_{ortalama}$	978			1048			1106			1221		
Karışım türü	130 °C 45 darbe			130 °C 55 darbe			130 °C 65 darbe			130 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	769	927	926	1068	933	855	936	1132	920	1208	1026	1075
$ITS_{ortalama}$	874			952			996			1103		
Karışım türü	110 °C 45 darbe			110 °C 55 darbe			110 °C 65 darbe			110 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	675	834	615	802	759	704	771	820	905	992	830	806
$ITS_{ortalama}$	708			755			832			876		

Tablo 7.13 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin indirek çekme gerilmesi değerleri.

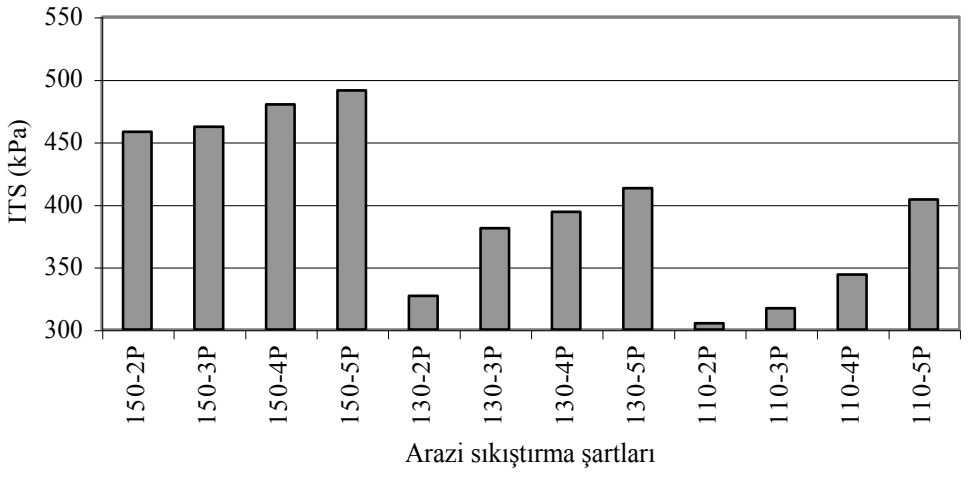
Karışım türü	150 °C 70 devir			150 °C 90 devir			150 °C 110 devir			150 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	790	915	803	1038	888	825	873	1110	930	1218	1005	1032
$ITS_{ortalama}$	836			917			971			1085		
Karışım türü	130 °C 70 devir			130 °C 90 devir			130 °C 110 devir			130 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	698	835	849	922	803	762	1048	900	782	910	927	1070
$ITS_{ortalama}$	794			829			910			969		
Karışım türü	110 °C 70 devir			110 °C 90 devir			110 °C 110 devir			110 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITS (kPa)	694	634	811	695	776	764	699	812	847	910	821	765
$ITS_{ortalama}$	713			745			786			832		



Şekil 7.20 Yoğurmalı sıkıştırmada ITS'lerde meydana gelen değişim.

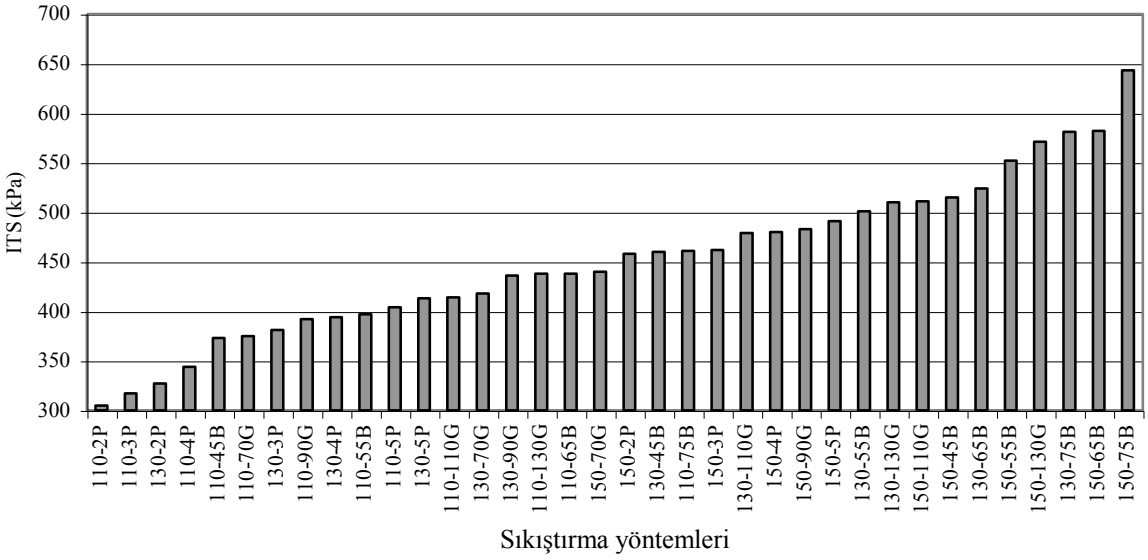


Şekil 7.21 Marshall sıkıştırmasında ITS'lerde meydana gelen değişim.



Şekil 7.22 Arazi sıkıştırmasında ITS'lerde meydana gelen değişim.

Şekil 7.23'te farklı sıkıştırma yöntemleri ile sıkıştırılarak hazırlanan numunelerin ITS değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. Şekilden görüldüğü üzere en düşük dört değere arazide sıkıştırılan numuneler, en yüksek üç değere ise Marhall tokmağı ile sıkıştırılan numuneler sahip olmuştur. 130 °C'de ki ITS değerlerine ulaşabilmek için 110 °C'de yoğurma sayısının 40, Marshall tokmağı darbe sayısının 30 ve arazideki silindir geçiş sayısının 1 pas artırılması gerekmektedir. Şekil 7.23'ten aynı ITS değerini veren farklı sıkıştırma şartları tespit edilebilmektedir. Arazide 150 °C'de 4 pas ile sıkıştırılan numunelerin ITS değerlerine laboratuvarda 130 °C'de 110 yoğurma sayısı yada 150 °C'de 90 yoğurma sayısı ile ulaşılabilmektedir. Arazide 150 °C'de 2 pas ile sıkıştırılan numunelerin ITS değerlerine laboratuvarda 130 °C'de 45 yoğurma sayısı yada 110 °C'de 75 yoğurma sayısı ile ulaşılabilmektedir. 24 farklı kombinasyonla hazırlanmış numunelerin en yüksek 10 ITS değerine sahip olanları içinde, en yüksek sıkıştırma sıcaklığı ve enerjisinde bile arazide sıkıştırılan numuneler yer almamaktadır.

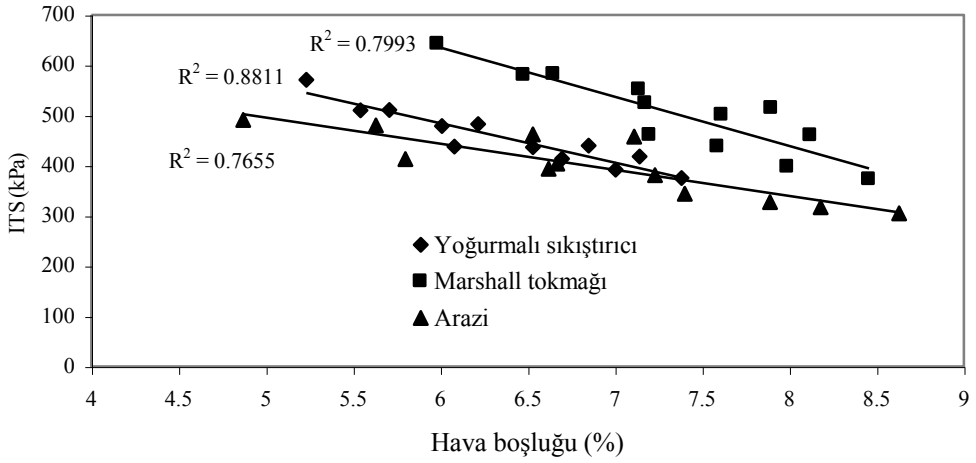


Şekil 7.23 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde ITS'lerde meydana gelen değişim.

Tablo 7.14'te farklı sıkıştırma yöntemleri ile hazırlanan numunelerin ortalama hava boşluğu değerleri verilmiştir. Şekil 7.24'de ise farklı sıkıştırma yöntemlerinde hava boşluğu ile ITS değerleri arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 7.14 Farklı sıkıştırma yöntemlerindeki ortalama hava boşluğu değerleri.

Karışım tipleri / Hava boşluğu (%)					
150-45B	7.89	150-70G	6.84	150-2P	7.11
150-55B	7.13	150-90G	6.21	150-3P	6.53
150-65B	6.64	150-110G	5.70	150-4P	5.63
150-75B	5.98	150-130G	5.23	150-5P	4.87
130-45B	8.12	130-70G	7.14	130-2P	7.89
130-55B	7.61	130-90G	6.53	130-3P	7.23
130-65B	7.17	130-110G	6.00	130-4P	6.62
130-75B	6.47	130-130G	5.54	130-5P	5.80
110-45B	8.45	110-70G	7.38	110-2P	8.63
110-55B	7.98	110-90G	7.01	110-3P	8.18
110-65B	7.58	110-110G	6.69	110-4P	7.40
110-75B	7.19	110-130G	6.08	110-5P	6.67



Şekil 7.24 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde hava boşluğu – ITS ilişkisi.

Hava boşluğu ile ITS değerleri arasındaki en yüksek korelasyon yoğurmalı sıkıştırıcıda en düşük ise arazide sıkıştırılmış numunelerden elde edilmiştir. Hava boşluğunun azalması ile birlikte farklı sıkıştırma yöntemlerinde hazırlanan numunelerin ITS değerleri arasındaki fark artarken, hava boşluğunun artması ilke birlikte bu fark azalmaktadır. Bu deney yönteminde de aynı hava boşluğu oranına sahip olsalar bile sıkıştırma yöntemleri farklı ITS değerleri vermektedir. Marshall stabilite deneyinde olduğu gibi bu deney yönteminde de ITS değerleri açısından yoğurmalı sıkıştırıcı Marshall sıkıştırma yöntemine göre arazi performansına daha yakın sonuçlar vermiştir.

7.5.3 İndirek Çekme Rijitlik Modülü Deney Sonuçları

Tablo 7.15, 7.16 ve 7.17'de sırasıyla arazide, Marshall tokmağı ile ve yoğurmalı sıkıştırıcı ile sıkıştırılarak hazırlanana numunelerin indirek çekme rijitlik modülü (ITSM) değerleri verilmiştir.

Değişik sıkıştırma yöntemleri ile sıkıştırılan numunelerin ITSM değerlerindeki değişim Şekil 7.25, 7.26 ve 7.27'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere sıkıştırma sıcaklığı azaldıkça ITSM değerlerinde meydana gelen azalış arazide sıkıştırılan numunelerde daha belirgin olmaktadır. Farklı şekillerde hazırlanmış numuneler sıkıştırma enerjisi ve sıcaklığından farklı oranlarda etkilenmektedir. 150 °C'de sıkıştırma enerjisindeki %50'lik artış ITSM değerlerinin yoğurmalı sıkıştırıcıda %28, Marshall tokmağı ile sıkıştırmada %34 ve arazi sıkıştırmasında ise sadece %5 artmasına neden olmaktadır. 110 °C'de sıkıştırma enerjisindeki %50'lik artış ITSM değerlerini yoğurmalı sıkıştırıcıda, Marshall tokmağı ile sıkıştırmada ve arazi sıkıştırmasında sırasıyla %22, %10 ve %6 artırmaktadır. Arazide sıkıştırılan numuneler sıkıştırma enerjisinden, laboratuvarda hazırlanan numunelere göre çok daha az etkilenmektedir.

Tablo 7.15 Arazide sıkıştırılan numunelerin indirek çekme rijitlik modülü değerleri.

Karışım türü	150 °C 2 pas			150 °C 3 pas			150 °C 4 pas			150 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	1669	1521	1532	1712	1569	1681	1680	1783	1814	1821	1814	1919
$ITSM_{ortalama}$	1574			1654			1759			1851		
Karışım türü	130 °C 2 pas			130 °C 3 pas			130 °C 4 pas			130 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	1412	1375	1490	1574	1481	1618	1713	1651	1694	1680	1790	1805
$ITSM_{ortalama}$	1425			1557			1686			1758		
Karışım türü	110 °C 2 pas			110 °C 3 pas			110 °C 4 pas			110 °C 5 pas		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	1385	1308	1391	1430	1392	1506	1637	1609	1520	1731	1655	1725
$ITSM_{ortalama}$	1361			1442			1588			1703		

Tablo 7.16 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin indirek çekme rijitlik modülü değerleri.

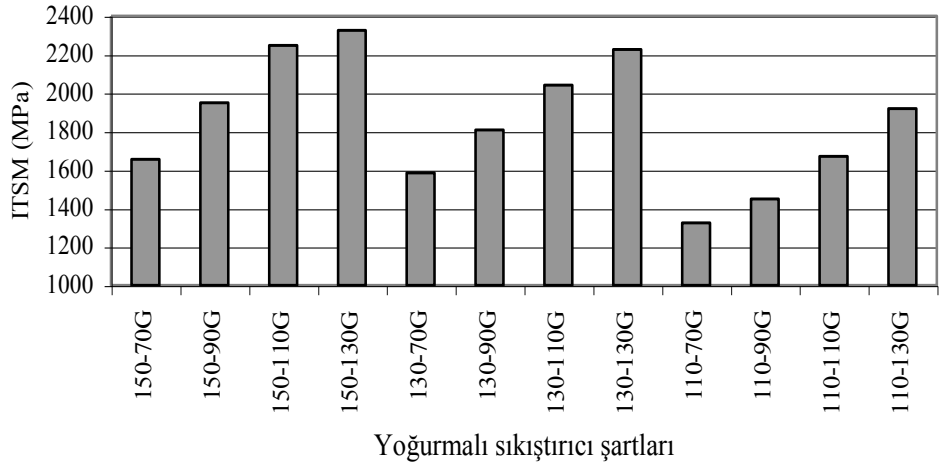
Karışım türü	150 °C 45 darbe			150 °C 55 darbe			150 °C 65 darbe			150 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	2671	2480	2407	2922	3126	2964	3246	3287	3463	3589	3824	3423
$ITSM_{ortalama}$	2519			3004			3332			3612		
Karışım türü	130 °C 45 darbe			130 °C 55 darbe			130 °C 65 darbe			130 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	2516	2404	2298	2910	2758	2714	3075	2920	2804	3127	3354	3287
$ITSM_{ortalama}$	2406			2794			2933			3256		
Karışım türü	110 °C 45 darbe			110 °C 55 darbe			110 °C 65 darbe			110 °C 75 darbe		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	2068	2277	2213	2384	2171	2189	2390	2288	2504	2590	2333	2538
$ITSM_{ortalama}$	2186			2248			2394			2487		

Tablo 7.17 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin indirek çekme rijitlik modülü değerleri.

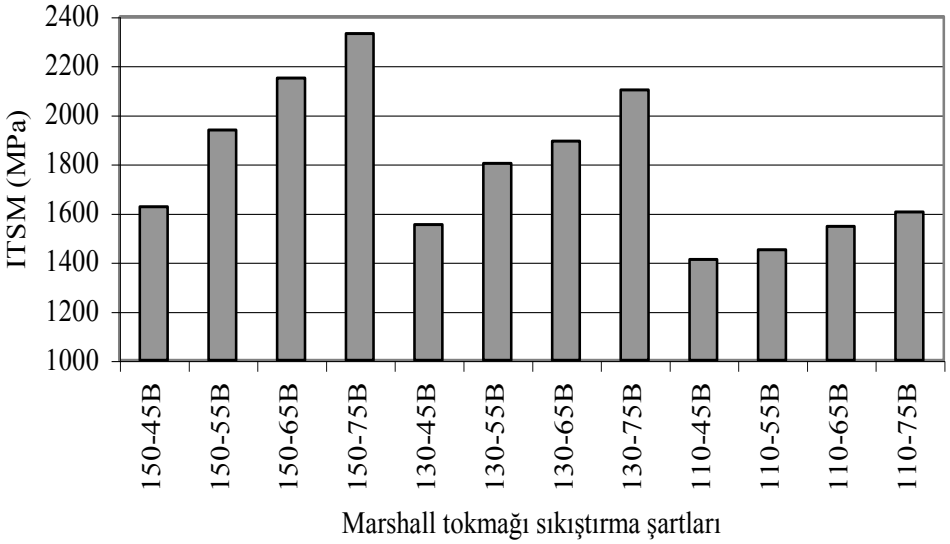
Karışım türü	150 °C 70 devir			150 °C 90 devir			150 °C 110 devir			150 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	2533	2679	2486	2954	3129	2980	3500	3368	3581	3516	3574	3725
$ITSM_{ortalama}$	2566			3021			3483			3605		

Karışım türü	130 °C 70 devir			130 °C 90 devir			130 °C 110 devir			130 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	2566	2380	2419	2911	2778	2717	3126	3204	3159	3410	3391	3549
$ITSM_{ortalama}$	2455			2802			3163			3450		

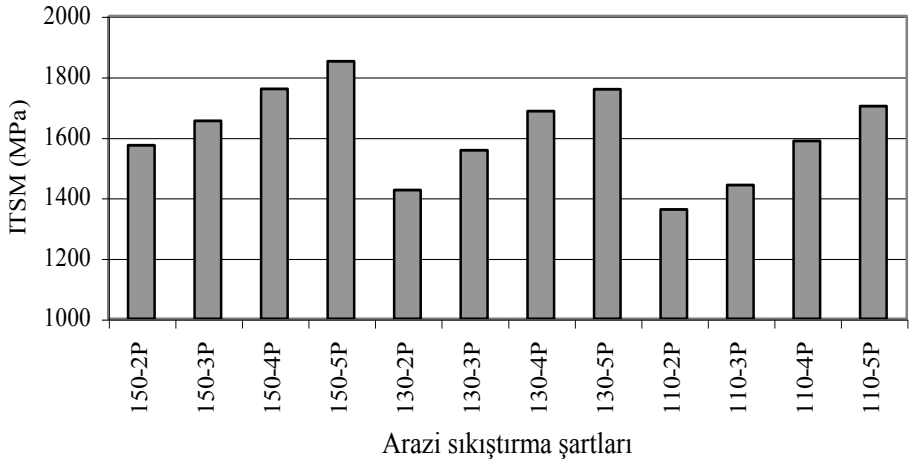
Karışım türü	110 °C 70 devir			110 °C 90 devir			110 °C 110 devir			110 °C 130 devir		
Numune no.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ITSM (MPa)	2123	1996	2043	2268	2315	2155	2625	2556	2583	3038	2947	2934
$ITSM_{ortalama}$	2054			2246			2588			2973		



Şekil 7.25 Sıcaklık yoğurma sayısı ve ITSM ilişkisi.

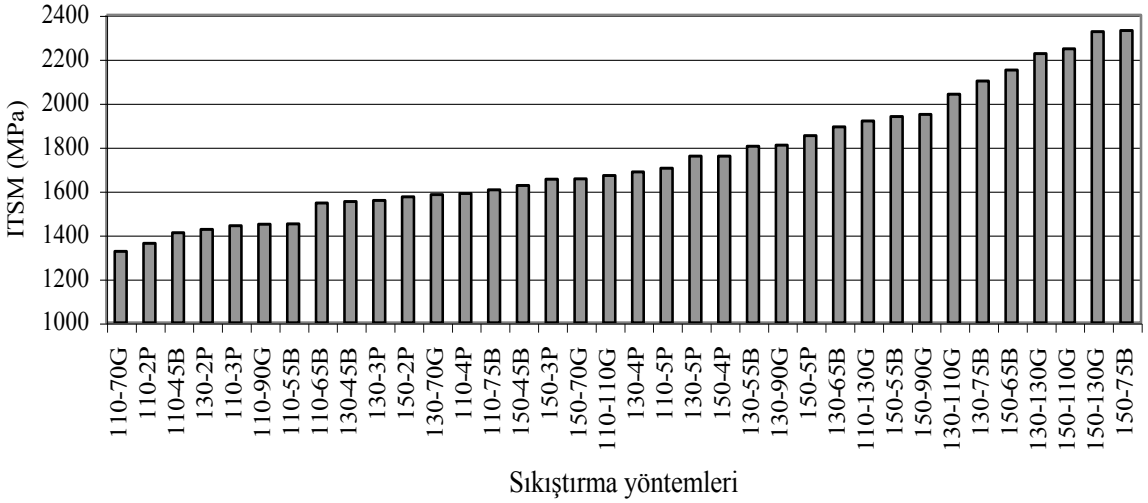


Şekil 7.26 Sıcaklık,Marshall tokmağı sayısı ve ITSM ilişkisi.



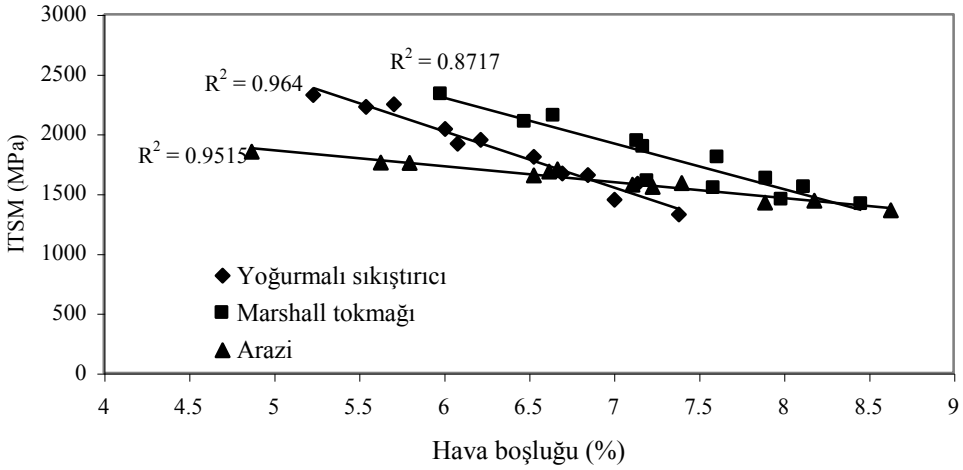
Şekil 7.27 Sıcaklık, silindir pas sayısı ve ITSM ilişkisi.

Şekil 7.28'de farklı sıkıştırma şartları ve yöntemiyle hazırlanmış numunelerin ITSM değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. Grafikten aynı ITSM değerini veren farklı sıkıştırma şartları belirlenebilmektedir. Marshall tokmağında 130 °C'de 45 darbe ile sıkıştırılan numunenin ITSM değeri, yoğurmalı sıkıştırıcıda 130 °C'de 70 yoğurma sayısı ile hazırlanan yada arazide 150 °C'de 2 silindir geçişi ile hazırlanan numunelerle de elde edilebilmektedir. Aynı şekilde 150 °C'de 70 yoğurma sayısı ile hazırlanan numunenin ITSM değeri arazide aynı sıcaklıkta 3 silindir geçişi ile elde edilmektedir. Arazide en yüksek sıkıştırma enerjisi ve sıcaklığında (150 °C, 5 pas) elde edilen ITSM değerleri laboratuvarda 130 °C 90 yoğurma sayısında yada 130 °C 65 Marshall tokmağı sayısında elde edilebilmektedir. Laboratuvarda hazırlanmış numuneler için elde edilen en yüksek 11 ITSM değerine arazide en yüksek sıkıştırma enerjisi ve sıcaklığında bile ulaşılamamaktadır.



Şekil 7.28 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde ITSM'lerde meydana gelen değişim.

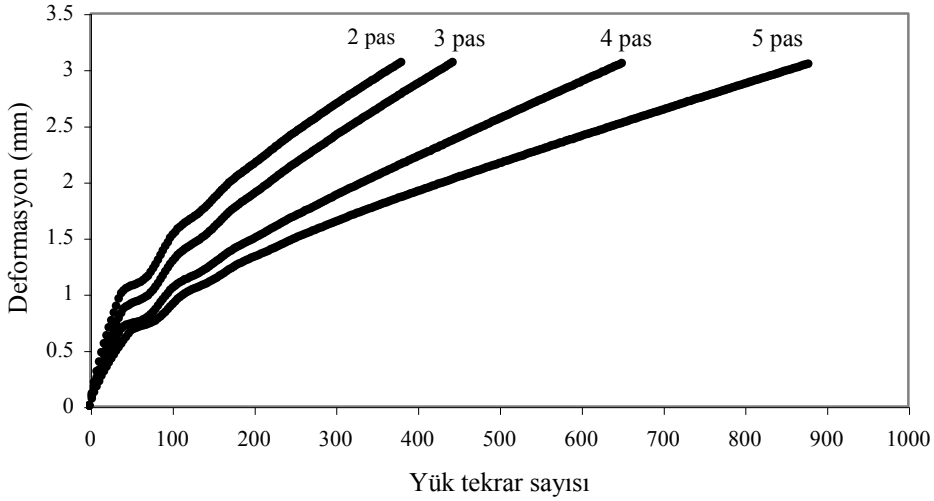
Şekil 7.29'da farklı sıkıştırma yöntemleri ile hazırlanmış numunelerin ITSM değerleri ile hava boşlukları arasında ilişki verilmiştir. ITSM değerleri ile hava boşlukları arasındaki en yüksek korelasyon yoğurmalı sıkıştırıcıda en düşüğü ise arazi sıkıştırmasında çıkmıştır. Laboratuvarda üretilen numunelerin ITSM değerleri, hava boşluğundan, arazide sıkıştırılan numunelere göre daha fazla etkilenmektedir. ITSM değerlerine göre yoğurmalı sıkıştırıcı hava boşluğuna karşı en çok hassas, arazi sıkıştırması ise en az hassas sıkıştırma yöntemi olarak bulunmuştur. Aynı hava boşluğuna sahip olsalar bile farklı sıkıştırma yöntemlerinde hazırlanan numuneler farklı ITSM değerleri vermektedir. Bu, sıkıştırma yöntemlerinin farklı hava boşluğu formasyonu ve dağılımı oluşturduğuna işaret etmektedir.



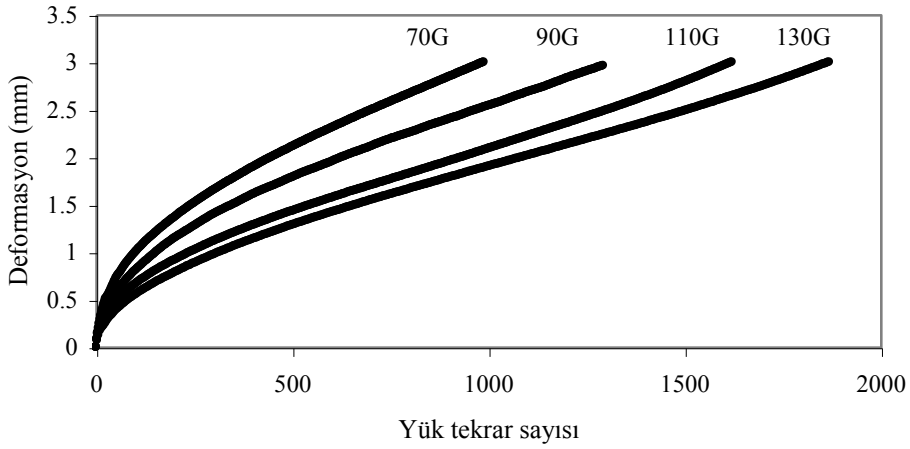
Şekil 7.29 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde hava boşluğu – ITSM ilişkisi.

7.5.4 İndirek Çekme Yorulma Deney Sonuçları

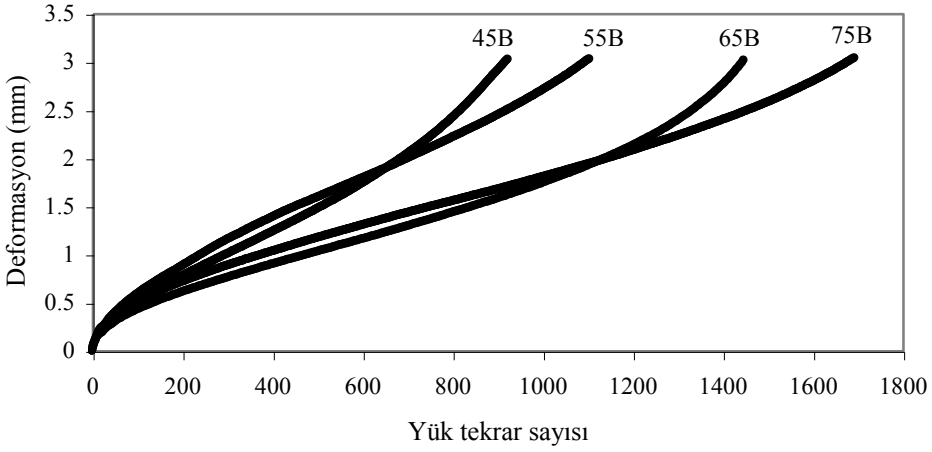
Bu deneyde farklı sıkıştırma yöntemleri ile hazırlanan numunelerde 3 mm deformasyona neden olan yük tekrar sayıları belirlenmiştir. Şekil 7.30, 7.31 ve 7.32'de 150 °C'de sıkıştırılan numunelerin yük tekrar sayısı ve deformasyonları arasındaki ilişkiler ortalama değerler olarak verilmiştir.



Şekil 7.30 Arazide sıkıştırılan numunelerin yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi.



Şekil 7.31 Yoğurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırılan numunelerin yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi.



Şekil 7.32 Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerin yük tekrar sayısı – deformasyon ilişkisi.

Şekillerden görüldüğü üzere numuneler başlangıçta içindeki hava boşluğu nedeniyle sıkışmakta ve bu hacimsel konsantrasyon nedeni ile hızlı bir deformasyon artışı meydana gelmektedir. Daha sonra deformasyon artışı lineer olarak devam etmektedir. Arazide sıkıştırılan numunelerin yük tekrarı deformasyon eğrisinin başlangıç kısımlarında bir dalgalanma olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin arazi sıkıştırmasının laboratuvar sıkıştırmasından farklı bir boşluk dağılımı oluşturması olarak düşünülmektedir. Marshall tokmağı ile sıkıştırılan numunelerin deformasyon eğrileri 3 mm deformasyona doğru artış göstererek çatlak oluşumuna işaret etmektedir. Ancak bu artış arazide ve yoğurmalı sıkıştırıcıda hazırlanan numunelerde görülmemektedir. Farklı sıkıştırma enerjisi ve sıcaklığında hazırlanan numunelerin yük tekrar sayıları Tablo 7.18'de verilmiştir.

Tablo 7.18 Numunelerin 3 mm deformasyondaki yük tekrar sayıları.

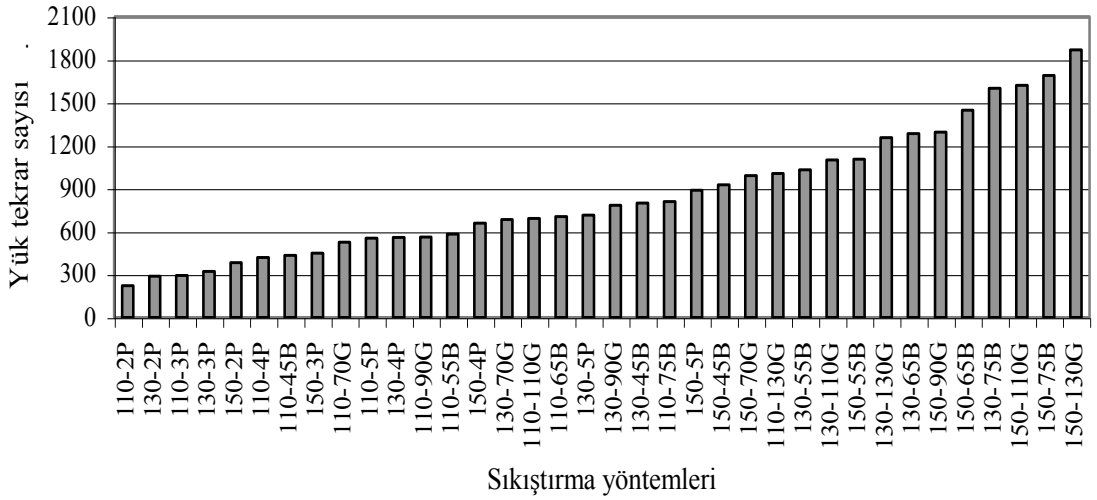
Sıcaklık(°C)	Yoğurma sayısı			
	70	90	110	130
110	526 (57)	561 (60)	692 (62)	1006 (73)
130	683 (62)	783 (58)	1100 (70)	1256 (76)
150	989 (66)	1293(68)	1621 (79)	1869 (96)
	Marshall tokmağı sayısı			
	45	55	65	75
110	434 (40)	583 (53)	705 (54)	809 (60)
130	798 (64)	1030 (78)	1284 (80)	1601 (95)
150	925 (74)	1104 (77)	1447 (83)	1690 (92)
	Silindir pas sayısı			
	2	3	4	5
110	221 (26)	293 (25)	418 (36)	554 (53)
130	288 (31)	322 (32)	559 (49)	715 (58)
150	384 (30)	449 (37)	659 (50)	889 (65)

Not: Parantez içindeki değerler standart sapmadır.

150 °C'de sıkıştırma enerjisindeki %50'lik artış, yoğurmalı sıkıştırıcıda, Marshall tokmağında ve arazide sıkıştırılan numuelerin yük tekrar sayılarında sırasıyla %51, %64 ve % 50'lik bir artışa neden olmuştur. 110 °C'de bu değerler sırasıyla %59, %62 ve %54 olmaktadır. Sıkıştırma enerjisindeki artışın yük tekrar sayıları üzerindeki etkisi en az arazide en çok Marshall tokmağında sıkıştırılan numunelerde olmuştur. Bu bakımdan yoğurmalı sıkıştırıcı ile arazi sıkıştırması benzer performans göstermiştir.

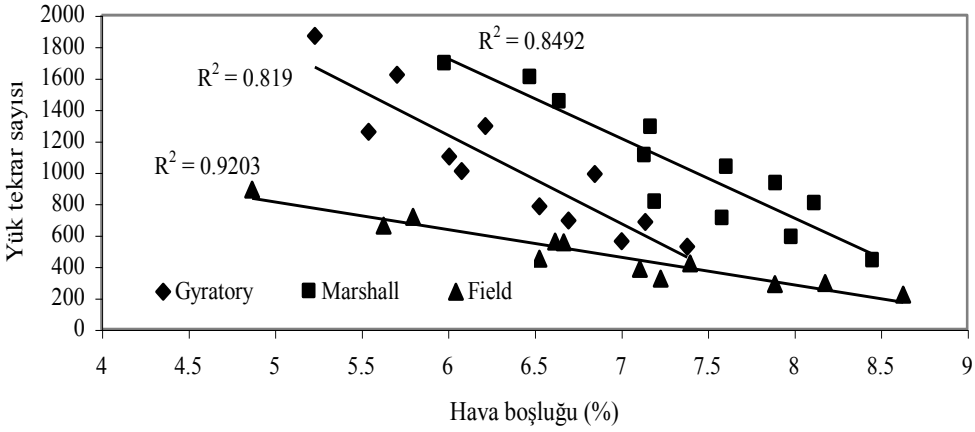
Şekil 7.33'te farklı sıkıştırma yöntemleri ile hazırlanan numunelerin 3 mm deformasyona kadar olan yük tekrar sayıları artan şekilde verilmiştir. Bu grafikten benzer özellik sergileyen farklı sıkıştırma kombinasyonları belirlenebilmektedir. En düşük 6 yük tekrar sayısı arazide sıkıştırılan numunelere aittir. Bu deney yönteminde benzer performansı veren değişik sıkıştırma şartları diğer deney yöntemlerinde tespit edilenlerden ayrılmaktadır. 150 °C'de 70 yoğurma sayısında sıkıştırılan numuneler ile benzer ITS, ITSM ve yorulma yük tekrar sayıları, arazide aynı sıcaklıkta sırası ile 2 pas, 3 pas ve 5 pas ile elde edilebilmektedir. 110 °C'de 65 Marshall tokmağı ile sıkıştırılan numuneler ile benzer ITS, ITSM ve yorulma yük tekrar sayıları, arazide sırası ile 150 °C'de 2 pas, 130 °C'de, 3 pas ve 130 °C'de, 5 pas ile elde edilebilmektedir. Arazi ve laboratuvar şartları karşılaştırıldığında laboratuvarda hazırlanan numunelerle benzer bir performans için yorulma deneyi diğer deney yöntemlerine göre arazide daha yüksek sıkıştırma enerjisi gerektirmektedir. Değişik sıkıştırma şartlarında hazırlanan numunelerden en yüksek 14 yük

tekrar sayısına laboratuvarda hazırlanan numuneler sahip olmuş, bu performansa arazide en yüksek sıkıştırma sıcaklığı ve enerjisinde bile ulaşılamamıştır.



Şekil 7.33 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde yük tekrar sayılarında meydana gelen değişim

Şekil 7.34'te farklı sıkıştırma şartlarında hazırlanan numunelerin hava boşlukları ile yorulma yük tekrar sayıları arasındaki ilişkiler verilmiştir. Yük tekrar sayılarında hava boşluğu ile meydana gelen değişim sıkıştırma yöntemlerine göre oldukça farklılık arz etmektedir. Hava boşluğundan en fazla yoğurmalı sıkıştırıcıda daha sonra sırası ile Marshall tokmağında ve arazide sıkıştırılan numuneler etkilenmiştir.



Şekil 7.34 Farklı sıkıştırma yöntemlerinde hava boşluğu- yük tekrar sayısı ilişkisi.

Optimum hava boşluğu (%5) civarında sıkıştırma yöntemleri çok farklı yük tekrar sayıları verirken bu farklılık yüksek hava boşluğu oranlarında azalmaktadır. Bu da sıkıştırma yöntemlerinin düşük hava boşluklarında yüksek hava boşluklarındakine göre birbirinden çok farklı hava boşluğu formasyonuna neden olduğuna işaret etmektedir.

8. SONUÇ

Bu çalışmada arazide ve laboratuvarda farklı sıcaklık ve sıkıştırma enerjilerinde sıkıştırılan bitümlü sıcak karışımın hacimsel ve mekaniksel özellikleri incelenmiştir. Çalışma arazideki her hangi bir sıcaklık ve silindir geçiş sayısında elde edilen boşluk oranını ve stabilite, indirek çekme gerilmesi, rijitlik modülü ve yorulma yük tekrar sayılarının laboratuvarda hangi sıkıştırma kombinasyonlarda elde edilebileceği imkanını vermektedir.

Araziden alınan numuneler üzerinde yapılan incelemelerden 150 °C de 4 ve 5 pas silindir geçişi ile sıkıştırılmış numunelerin binder tabakası için gerekli şartname limitleri içerisinde kaldığı, silindir geçiş sayısı ile hava boşluğu arasında lineer bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca silindir geçişlerinin yüksek sıcaklıkta hava boşluğu üzerinde önemli derecede etkisi olduğu ve sıcaklığın sıkıştırma enerjisinden daha fazla öneme sahip olduğu gözlenmiştir. Arazide sıcaklığın 20 °C düşmesi durumunda aynı boşluk oranını elde etmek için silindir geçiş sayısının 1 pas artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Laboratuvarda Marshall tokmağı ile sıkıştırılan numunelerin hava boşluğu ve asfaltla dolu boşluk oranları üzerinde, yüksek darbe sayılarında sıcaklığın çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Yoğurmalı preste, düşük sıcaklığın, arazi ve Marshall tokmağı sıkıştırmalarına göre daha olumsuz bir koşul olduğu ortaya çıkmıştır. Arazi ve laboratuvar sıkıştırma yöntemleri arasında hava boşluğu ve stabilite açısından lineer bir ilişkinin olduğu, sıcaklığın boşluk oranı üzerindeki etkisinin laboratuvar sıkıştırma yöntemlerine göre arazide daha etkili olduğu dolayısıyla laboratuvarda sıkıştırma sıcaklığında yapılacak hatanın aynısının arazide yapılmasının beklenenden çok daha farklı sonuçlar doğuracağı sonucuna varılmıştır.

Aynı boşluk oranı değerine sahip numunelerin sıkıştırma yöntemine göre farklı stabilite değerlerine sahip olduğu dolayısıyla sıkıştırma yöntemlerinin numuneleri bir birinden farklı şekilde etkiledikleri, arazi koşullarını temsil edecek laboratuvar şartlarını belirlerken bir çok özelliğin dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir.

Sıcaklığın azalması ile ITS'lerde meydana gelen azalmanın arazi numunelerde daha fazla olduğu, ve düşük sıcaklıkta arazi numunelerinin sıkıştırma enerjisinden daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir. Yoğurmalı preste sıkıştırma enerjisinin artması ile sıcaklığın etkisi artmakta, arazi sıkıştırmasında azalmakta, Marshall sıkıştırmasında ise önemli bir değişiklik olmamaktadır. Laboratuvar numunelerinin ITS değerlerinin boşluk oranından

etkilenme derecelerinin benzer, arazi numunelerinin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

ITSM deneyinde ITS deneyinde olduğu gibi sıcaklığın azalması ile ITSM de meydana gelen azalmanın en fazla arazi numunelerde olduğu, arazideki numunelerin sıkıştırma enerjisinden laboratuvardakilere göre çok az etkilendiği ve yüksek sıcaklıkta Marshall tokmağındaki sıkıştırma enerjisi yoğurmalı presten daha etkili iken, düşük sıcaklıkta tam tersi durum söz konusu olduğu belirlenmiştir. Boşluk oranına karşı en fazla yoğurmalı pres en az arazi numuneleri hassasiyet göstermiştir.

İndirek çekme yorulma deneyine göre sıkıştırma enerjisindeki artışın etkisi en az arazi numunelerinde en çok ise Marshall numunelerinde olmuştur. Yoğurmalı pres ve arazi numuneleri benzer özellik sergilemiştir. Arazi ve laboratuvar şartları karşılaştırıldığında benzer performans için aynı sıcaklık değerinde yorulma deneyi diğer deneylere göre daha fazla silindir geçişi gerektirmektedir.

Genel olarak arazi ve laboratuvar deneyleri karşılaştırıldığında uygulanan deney yöntemlerine göre farklı benzetimler elde edilmiş ancak ortak olarak arazi numunelerinin bütün deneylerde sıkıştırma enerjisinden laboratuvar numuneleri kadar etkilenmediği, sıcaklığın ITS ve ITSM deneyine göre arazi numueleri üzerinde çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Aynı boşluk oranındaki arazi ve laboratuvar numunelerinin birbirinden çok farklı mekanik özellikler sergilediği dolayısıyla farklı sıkıştırma metotlarının aynı ancak farklı formasyonda boşluk oranına neden olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] http://www.kgm.gov.tr/fr5.asp?tt=0009

[2] **Tunç, A.,** 2004. Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, 352 s.

[3] **Isacsson, U., Lu, X.,** 1995. Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens – State of the Art, *Materials and Structures*, **28**, 139-159.

[4] **Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L. and Rollings, R.,** 1993. Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures, *Transportation Research Record*, **1417**, 178-186.

[5] **Tayfur, S., Özen, H., Aksoy, A.,** 2007. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers, *Construction and Building Materials,* **21**, 328-337.

[6] **Umar, F., Yayla, N.,** 1994. Yol İnşaatı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[7] **Kuloğlu, N.,** 2013. Esnek Yol Kaplamaları Ders Notları, Elazığ.

[8] **Temren, Z.,** Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agrega Semineri, ASMÜD.

[9] **Kandhal, P.S., Parker, F.,** 1998. Aggregate Test Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements. *NCRHP Report* **405.**

[10**] Prowell, B.D., Zhang, J., Brown, E.R.** 2005. Aggregate Properties and the Performance of Superpave Designed Hot Mix Asphalt. *NCRHP Report* **539.**

[11] http://www.gayretmakina.com.tr

[12] **Hotson, R.M.,** 1976. Development of Open Textured Bitumen Macadam Friction Coarse for Airport in Great Britain. *Proceedings of the International Symposium on Porous Asphalt* pp. 41-47.

[13] **Jacobs, F.A.,**1974. A Full-Scale Experiment to Examine Improved Bituminous Surfacing for Heavily Trafficked Motorways. *Transport and Road Research Laboratory Supplementary Report* **125.**

[14] **Lav, A., Lav, M. A.,** (Editör) 1990 . Shell Bitüm El Kitabı. İSFALT Bilimsel Yayın No:3.

[15] **Zulkati**, A., **Diew, W.Y., Delai, D.S.** Effects of Fillers on Properties of Asphalt-Concrete Mixture *J. Transp. Eng.*, **138(7),** 902–910.

[16**] Keçeciler, A. F., Gümrükçüoğlu, A., Akkol, G., Gökçe, A. F.,** 1998. Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

[17] **Oruç, Ş.,** 1997. Torul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçersindeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[18] **Ağar, E., Umar, F.,** 1985. Yol Üstyapısı, 3. Baskı İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.

[19] **Tunç, A.,** 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Atlas Yayın Evi, ISBN:975-6574-003 Temmuz, İstanbul.

[20] Bituminous Materials In Road Construction, U.K. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, England, 1969.

[21] **Yoder, E.J., Witczak, M.W.,** 1975. Principles of Pavement Design, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley &Sons, Inc., New York, London, Sydney, Tronto.

[22] Karayolları Teknik Şartnamesi, Yayın no 267, Ankara, 2006.

[23] **Kök, B.V.,** 2007. Bitümlü Sıcak Karışımların üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[24] http://www.simgegrup.com.tr

[25] http://www.nace.com.tr

[26] **Uluçaylı, M,** 1975. Teknik Bülten. Karayolları Teknik Bülteni 65 (16).

[27] **Tosun N.,** Bitümlü Kaplamalar Uygulama El Kitabı. KGM 14.Bölge Müdürlüğü, Bursa.

[28] **Ilıcalı, M., Tayfur, S, Özen, H., Sönmez, İ.,Eren, K,** 2001. Asfalt ve Uygulamaları. İSFALT Bilimsel Yayın No:1.

[29] **Acar, G.,** 2009. Bitümlü Sıcak Karışım, Karayolları Genel Müdürlüğü.

[30] Asfalt El Kitabı, 2002, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT Bilimsel Yayın No:2, İstanbul, 573s.

[31] **Von Quintus, H.L., Scherocman, J.A., Hughes, C.S., Kennedy, T.W.,** 1991. Asphalt Aggregate Mixture Analysis System, *NCHRP Report* **338,** Transportation Research Board, Washington.

[32] **Krishnan, J.M., Rao, C.L.,** 2000. Mechanics of air voids reduction of asphalt concrete using mixture theory. *International Journal of Engineering Science* **38,**1331-1354.

[33] **Ziauddin, A., Khan, U., Hamad, I., Al-Abdul Wahab, Asi, I., Ramadhan, R.,** 1998. Comparative study of asphalt concrete laboratory compaction methods to simulate field compaction. *Construction and Building Materials* **12**, 373- 384.

[34] **Lee, S.L., Serji, N. A., Kwon, S.Z.**, 2008. The effects of compaction temperature on CRM mixtures made with the SGC and the Marshall compactor. *Construction and Building Materials* **22,** 1122–1128.

[35] **Dubois, V., Chantal De La Roche, Burban, O.,** 2010. Influence of the compaction process on the air void homogeneity of asphalt mixtures samples. *Construction and Building Materials*. **24,** 885–897.

[36] **Airey, G.D., Hunter, A.E., Collop, A.C**., 2008. The effect of asphalt mixture gradation and compaction energy on aggregate degradation. *Construction and Building Materials* **22**, 972–980.

[37] **Özen, H.,** 2011. Rutting evaluation of hydrated lime and SBS modified asphalt mixtures for laboratory and field compacted samples. *Construction and Building Materials* **25**, 756–765.

[38] **Sousa, J.B., Deacon, J.A., Monismith, C.L.,** 1991. Effect of the laboratory compaction method on permanent deformation characteristicsof asphalt aggregate mixtures.. *Proc Assoc Asphalt Paving Technol*, **60,** 533-585.

[39] **Sigurjonsson, S, Ruth, B.,** 1992. Use of gyratory testing machine to evaluate shear resistance of asphalt paving mixture. *Transportation Research Record* No. **1259.** Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 63-72.

[40] **Yue, Z.W., Bekking, W., Morin, I.,** 1995. Application of digital image processing to quantitative study of asphalt concrete microstructure. *Transportation Research Record* **1492,** TRB, National Research Council, Washington, DC, 53–60.

[41] **Zoorob, S.E. ve Suparma, L.B.,** 2000. Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt), *Cement&Concrete Composites*, **22**, 233-242.

[42**] Francken, L.,** 1998. Bituminous Binders and Mixes, Rilem Reports, E & FN Spon, 352 p. London and New York.

[43] **Yılmaz, M**., 2011. Asfaltitin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ,

[44] **Ghile, D.B.,** 2006. Effects of Nanoclay Modification on Rheology of Bitumen and on Performance of Asphalt Mixtures, MSc Thesis, Delfth University of Technology, Delfth.

EKLER

EK-A Arazide sıkıştırılan numunelerin hacimsel özellikleri.

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
150 °C 2 pas	1	4,6	61.8	61.3	61.2	61.4	1106.85	634.45	1108.25	2.336	2.517	7.18	15.69	54.23
	2	4,6	64.3	64.7	65.1	64.7	1174.60	675.62	1175.69	2.349	2.517	6.67	15.22	56.17
	3	4,6	65.0	63.5	64.6	64.4	1159.27	665.26	1160.84	2.339	2.517	7.06	15.57	54.69
	4	4,6	63.7	63.8	62.8	63.4	1133.08	648.65	1134.31	2.333	2.517	7.30	15.79	53.78
	5	4,6	65.2	66.2	66.5	66.0	1197.36	688.39	1198.70	2.346	2.517	6.77	15.32	55.78
	6	4,6	70.1	68.9	69.7	69.6	1256.72	720.01	1258.27	2.335	2.517	7.23	15.73	54.03
	7	4,6	68.1	68.2	68.7	68.3	1235.20	706.41	1236.78	2.329	2.517	7.46	15.94	53.18
	8	4,6	65.6	65.6	65	65.4	1208.60	696.42	1211.11	2.348	2.517	6.70	15.25	56.07
	9	4,6	64.6	64.3	65.5	64.8	1182.64	680.12	1183.73	2.348	2.517	6.69	15.24	56.09
	10	4,6	63.5	63.4	64.1	63.7	1150.91	660.31	1152.77	2.337	2.517	7.14	15.65	54.37
	11	4,6	65.7	66.5	65.4	65.9	1194.40	683.84	1196.21	2.331	2.517	7.38	15.86	53.50
	12	4,6	66.6	65.5	66.0	66.0	1173.47	669.4	1174.97	2.321	2.517	7.78	16.23	52.08
Ortalama										**2.338**	**2.517**	**7.11**	**15.62**	**54.50**
Standart sapma										**0.008**		**0.350**	**0.318**	**1.310**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
150 °C 3 pas	1	4,6	68.4	68.2	68.8	68.5	1218.78	700.45	1220.35	2.344	2.517	6.86	15.39	55.46
	2	4,6	67.1	67.6	67.9	67.5	1249.10	721.99	1250.51	2.363	2.517	6.10	14.70	58.54
	3	4,6	69.5	69.4	69.5	69.5	1263.19	729.12	1264.96	2.357	2.517	6.33	14.92	57.54
	4	4,6	67.2	65.8	65.4	66.1	1201.59	691.45	1202.76	2.350	2.517	6.63	15.18	56.35
	5	4,6	63.4	64.0	63.2	63.5	1145.15	659.01	1146.54	2.349	2.517	6.67	15.22	56.17
	6	4,6	67.2	67.4	67.5	67.4	1216.39	700.02	1217.75	2.349	2.517	6.65	15.20	56.27
	7	4,6	64.7	63.9	63.8	64.1	1138.82	655.98	1140.10	2.352	2.517	6.53	15.10	56.72
	8	4,6	66.5	66.3	67.7	66.8	1198.11	688.10	1200.26	2.339	2.517	7.05	15.57	54.71
	9	4,6	65.7	66.2	65.7	65.9	1202.21	692.25	1203.72	2.350	2.517	6.61	15.17	56.43
	10	4,6	65.7	65.6	66.0	65.8	1176.37	675.07	1176.62	2.345	2.517	6.81	15.35	55.64
	11	4,6	67.1	66.2	67.2	66.8	1208.59	696.96	1209.95	2.356	2.517	6.39	14.97	57.31
	12	4,6	65.0	66.6	65.4	65.7	1196.23	692.79	1197.16	2.372	2.517	5.76	14.40	59.97
Ortalama										**2.352**	**2.517**	**6.53**	**15.09**	**56.76**
Standart sapma										**0.008**		**0.348**	**0.316**	**1.426**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
150 °C 4 pas	1	4,6	68.2	68.4	68.3	68.3	1234.58	716.50	1238.15	2.367	2.517	5.96	14.58	59.09
	2	4,6	68.4	68.3	68.7	68.5	1232.57	713.36	1234.23	2.366	2.517	5.98	14.59	59.04
	3	4,6	68.2	68.6	68.0	68.3	1257.74	731.45	1259.20	2.383	2.517	5.31	13.99	62.05
	4	4,6	67.5	66.6	66.4	66.8	1249.34	725.07	1250.65	2.377	2.517	5.55	14.21	60.92
	5	4,6	69.6	68.9	68.5	69.0	1271.10	736.94	1272.90	2.372	2.517	5.77	14.40	59.95
	6	4,6	69.3	68.5	69.4	69.1	1257.82	728.63	1259.15	2.371	2.517	5.80	14.43	59.83
	7	4,6	67.4	67.4	68.0	67.6	1235.14	717.84	1236.41	2.382	2.517	5.36	14.04	61.79
	8	4,6	69.1	68.4	68.8	68.8	1245.61	721.03	1247.03	2.368	2.517	5.91	14.53	59.33
	9	4,6	69.1	68.8	69.3	69.1	1258.66	731.04	1259.97	2.380	2.517	5.45	14.11	61.39
	10	4,6	70.6	68.9	69.4	69.6	1291.97	750.46	1293.14	2.381	2.517	5.41	14.07	61.58
	11	4,6	64.3	64.7	65.6	64.9	1195.18	695.36	1197.26	2.381	2.517	5.38	14.05	61.69
	12	4,6	65.5	65.8	66.0	65.8	1210.32	701.18	1211.04	2.374	2.517	5.68	14.32	60.34
Ortalama										**2.375**	**2.517**	**5.63**	**14.27763**	**60.58**
Standart sapma										**0.006**		**0.249**	**0.226**	**1.118**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
150 °C 5 pas	1	4,6	62.9	63.1	63.3	63.1	1163.24	678.3	1164.17	2.394	2.517	4.87	13.59	64.14
	2	4,6	63.3	63.7	64.0	63.7	1161.56	681.56	1162.3	2.416	2.517	4.00	12.79	68.76
	3	4,6	68.1	67.6	67.8	67.8	1271.90	740.87	1272.65	2.392	2.517	4.97	13.68	63.68
	4	4,6	68.2	68.7	68.2	68.4	1261.77	734.71	1262.66	2.390	2.517	5.04	13.74	63.32
	5	4,6	63.2	64.1	63.4	63.6	1175.55	686.46	1176.46	2.399	2.517	4.68	13.41	65.13
	6	4,6	64.8	65.0	65.2	65.0	1195.42	697.03	1196.52	2.393	2.517	4.91	13.62	63.97
	7	4,6	63.3	63.2	63.5	63.3	1157.92	674.88	1158.78	2.393	2.517	4.92	13.64	63.89
	8	4,6	65.2	65.0	65.4	65.2	1202.15	701.86	1203.16	2.398	2.517	4.72	13.45	64.92
	9	4,6	65.3	65.3	65.2	65.3	1202.29	700.38	1203.28	2.391	2.517	5.01	13.71	63.47
	10	4,6	65.7	65.9	65.6	65.7	1241.47	722.35	1242.31	2.388	2.517	5.13	13.83	62.88
	11	4,6	66.7	66.1	66.5	66.4	1215.09	708.12	1216.35	2.391	2.517	5.01	13.71	63.49
	12	4,6	65.1	65.3	64.3	64.9	1180.73	687.03	1181.52	2.388	2.517	5.13	13.82	62.90
Ortalama										**2.394**	**2.517**	**4.87**	**13.58**	**64.21**
Standart sapma										**0.007**		**0.30**	**0.27**	**1.58**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
130 °C 2 pas	1	4,6	67.0	66.8	67.9	67.2	1192.53	679.16	1195.34	2.310	2.517	8.21	16.62	50.62
	2	4,6	66.1	65.9	65.8	65.9	1170.85	669.20	1174.29	2.318	2.517	7.90	16.34	51.67
	3	4,6	66.7	65.4	65.6	65.9	1174.37	670.58	1178.11	2.314	2.517	8.06	16.49	51.10
	4	4,6	67.1	67.1	66.4	66.9	1178.49	675.36	1182.31	2.325	2.517	7.63	16.10	52.58
	5	4,6	60.8	62.1	61.2	61.4	1092.06	624.96	1095.78	2.319	2.517	7.84	16.29	51.86
	6	4,6	66.9	66.5	66.5	66.6	1189.61	678.49	1193.19	2.311	2.517	8.17	16.58	50.75
	7	4,6	63.7	63.7	63.8	63.7	1135.13	648.17	1136.87	2.323	2.517	7.71	16.17	52.31
	8	4,6	63.0	62.2	63.3	62.8	1114.76	634.25	1116.87	2.310	2.517	8.22	16.63	50.56
	9	4,6	66.2	65.5	64.7	65.5	1160.22	662.21	1162.42	2.319	2.517	7.84	16.29	51.85
	10	4,6	63.7	63.9	63.5	63.7	1124.9	645.25	1128.85	2.326	2.517	7.58	16.05	52.78
	11	4,6	65.9	66.5	66.0	66.1	1178.89	673.74	1181.59	2.321	2.517	7.77	16.22	52.11
	12	4,6	65.6	65.4	66.5	65.8	1171.62	669.7	1174.42	2.321	2.517	7.77	16.22	52.11
Ortalama										**2.318**	**2.517**	**7.89**	**16.33**	**51.69**
Standart sapma										**0.005**		**0.22**	**0.20**	**0.76**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
130 °C 3 pas	1	4,6	66.0	66.1	65.7	65.9	1192.7	684.91	1194.73	2.339	2.517	7.05	15.56	54.73
	2	4,6	61.8	62.3	62.7	62.3	1106.97	634.28	1108.89	2.332	2.517	7.33	15.82	53.68
	3	4,6	61.6	62.8	61.9	62.1	1118.55	642.59	1120.2	2.342	2.517	6.95	15.47	55.11
	4	4,6	65.8	64.7	65.6	65.4	1181.63	679.2	1184.35	2.339	2.517	7.06	15.57	54.68
	5	4,6	65.7	65.0	65.4	65.4	1170.05	671.07	1172.44	2.334	2.517	7.28	15.77	53.87
	6	4,6	64.4	65.0	64.5	64.6	1171.47	670.15	1173.41	2.328	2.517	7.51	15.99	53.02
	7	4,6	64.4	65.1	65.4	65.0	1169.36	671.46	1171.21	2.340	2.517	7.03	15.55	54.79
	8	4,6	64.9	63.6	63.1	63.9	1152.84	658.30	1154.62	2.323	2.517	7.71	16.17	52.31
	9	4,6	65.4	64.7	65.6	65.2	1176.2	674.21	1178.55	2.332	2.517	7.34	15.83	53.65
	10	4,6	63.1	63.9	64.1	63.7	1157.11	664.33	1158.22	2.343	2.517	6.91	15.44	55.24
	11	4,6	65.4	65.1	65.2	65.2	1174.19	672.86	1175.51	2.336	2.517	7.18	15.69	54.21
	12	4,6	66.1	66.7	66.0	66.3	1185.47	678.46	1187.53	2.329	2.517	7.47	15.95	53.15
Ortalama										**2.335**	**2.517**	**7.23**	**15.73**	**54.04**
Standart sapma										**0.006**		**0.24**	**0.22**	**0.91**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
130 °C 4 pas	1	4,6	65.7	65.4	65.6	65.6	1159.64	668.95	1161.85	2.353	2.517	6.52	15.09	56.78
	2	4,6	65.9	67.0	65.8	66.2	1198.02	693.83	1200.18	2.366	2.517	5.99	14.61	58.98
	3	4,6	67.2	66.3	66.7	66.7	1197.10	692.24	1199.38	2.360	2.517	6.21	14.81	58.05
	4	4,6	68.5	66.8	67.7	67.7	1200.94	689.70	1202.61	2.341	2.517	6.97	15.49	55.02
	5	4,6	64.1	62.7	63.5	63.4	1127.77	648.61	1130.31	2.341	2.517	6.98	15.50	54.99
	6	4,6	65.9	66.3	66.6	66.3	1183.34	682.23	1185.89	2.349	2.517	6.65	15.20	56.27
	7	4,6	63.5	63.7	66.4	64.5	1134.80	655.41	1137.69	2.353	2.517	6.51	15.08	56.83
	8	4,6	64.5	63.3	65.1	64.3	1143.82	659.11	1146.42	2.347	2.517	6.74	15.28	55.91
	9	4,6	64.7	63.8	65.6	64.7	1136.56	655.68	1141.01	2.342	2.517	6.95	15.48	55.08
	10	4,6	67.5	68.0	67.5	67.7	1203.25	687.89	1205.42	2.325	2.517	7.62	16.09	52.62
	11	4,6	65.5	65.1	65.7	65.4	1170.68	675.8	1171.99	2.359	2.517	6.26	14.85	57.86
	12	4,6	66.5	66.5	66.2	66.4	1192.09	689.53	1193.81	2.364	2.517	6.07	14.68	58.63
Ortalama										**2.350**	**2.517**	**6.62**	**15.17**	**56.42**
Standart sapma										**0.011**		**0.46**	**0.42**	**1.83**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
130 °C 5 pas	1	4,6	68.5	65.7	68.1	67.4	1217.09	702.45	1218.25	2.360	2.517	6.25	14.84	57.90
	2	4,6	68.5	67.8	68.7	68.3	1240.27	717.05	1241.31	2.366	2.517	6.00	14.62	58.94
	3	4,6	65.6	65.6	66.4	65.9	1197.05	691.50	1198.06	2.363	2.517	6.11	14.71	58.49
	4	4,6	69.3	69.0	69.3	69.2	1255.66	724.33	1256.89	2.358	2.517	6.32	14.90	57.60
	5	4,6	68.1	68.5	67.8	68.1	1242.61	719.32	1243.77	2.369	2.517	5.86	14.49	59.56
	6	4,6	65.3	66.5	65.2	65.7	1198.11	693.09	1199.4	2.366	2.517	5.98	14.59	59.04
	7	4,6	65.7	65.0	64.4	65.0	1195.61	692.96	1196.64	2.374	2.517	5.68	14.33	60.33
	8	4,6	64.0	63.9	63.3	63.7	1172.91	682.51	1173.88	2.387	2.517	5.16	13.85	62.76
	9	4,6	63.6	65.1	65.2	64.6	1181.05	685.97	1181.94	2.381	2.517	5.38	14.05	61.69
	10	4,6	64.8	62.1	61.5	62.8	1153.17	670.02	1154.16	2.382	2.517	5.36	14.03	61.80
	11	4,6	65.6	65.3	65.6	65.5	1190.64	690.76	1191.54	2.378	2.517	5.53	14.19	61.01
	12	4,6	65.6	65.4	65.8	65.6	1190.79	688.47	1191.80	2.366	2.517	6.00	14.61	58.95
Ortalama										**2.371**	**2.517**	**5.80**	**14.43**	**59.84**
Standart sapma										**0.009**		**0.37**	**0.34**	**1.66**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
110 °C 2 pas	1	4,6	66.4	66.3	65.7	66.1	1155.18	652.92	1157.52	2.289	2.517	9.04	17.37	47.97
	2	4,6	66.3	66.1	66.2	66.2	1152.18	655.80	1157.76	2.295	2.517	8.80	17.16	48.71
	3	4,6	68.3	65.1	69.3	67.6	1183.47	674.14	1186.71	2.309	2.517	8.26	16.67	50.44
	4	4,6	65.2	65.8	64.4	65.1	1145.59	650.12	1147.6	2.303	2.517	8.50	16.89	49.65
	5	4,6	65.1	65.0	65.8	65.3	1143.76	647.02	1145.88	2.293	2.517	8.90	17.25	48.39
	6	4,6	60.8	63.6	60.6	61.7	1081.24	615.06	1082.95	2.311	2.517	8.18	16.60	50.70
	7	4,6	59.3	60.0	59.4	59.6	1044.90	592.03	1046.39	2.300	2.517	8.63	17.00	49.26
	8	4,6	59.4	58.8	60.0	59.4	1055.15	598.35	1056.54	2.303	2.517	8.50	16.88	49.66
	9	4,6	64.6	63.7	66.3	64.9	1143.09	645.94	1145.21	2.290	2.517	9.03	17.37	48.00
	10	4,6	68.0	65.9	67.2	67.0	1165.33	664.13	1168.92	2.309	2.517	8.27	16.68	50.39
	11	4,6	65.6	64.9	65.0	65.2	1138.52	643.36	1139.91	2.293	2.517	8.90	17.25	48.41
	12	4,6	66.3	65.7	65.4	65.8	1163.86	659.87	1165.82	2.300	2.517	8.60	16.98	49.34
Ortalama										**2.299**	**2.517**	**8.63**	**17.01**	**49.24**
Standart sapma										**0.008**		**0.30**	**0.27**	**0.96**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
110 °C 3 pas	1	4,6	69.1	68.9	69.1	69.0	1238.17	705.24	1240.03	2.315	2.517	8.01	16.44	51.28
	2	4,6	68.7	68.8	68.7	68.7	1227.32	698.34	1228.95	2.313	2.517	8.10	16.52	50.98
	3	4,6	70.4	71.1	70.5	70.7	1265.77	722.69	1268.17	2.320	2.517	7.80	16.25	51.99
	4	4,6	69.9	69.4	70.0	69.8	1248.54	713.55	1250.13	2.327	2.517	7.55	16.02	52.89
	5	4,6	64.4	64.7	64.8	64.6	1153.98	653.00	1155.23	2.298	2.517	8.71	17.07	49.01
	6	4,6	65.4	64.1	65.5	65.0	1171.06	664.19	1173.96	2.297	2.517	8.72	17.09	48.95
	7	4,6	65.5	62.2	63.3	63.7	1116.91	634.62	1118.55	2.308	2.517	8.30	16.70	50.32
	8	4,6	63.5	64.0	65.6	64.4	1148.74	650.96	1150.03	2.302	2.517	8.54	16.92	49.52
	9	4,6	64.8	67.0	65.4	65.7	1179.46	669.11	1180.72	2.305	2.517	8.40	16.79	49.98
	10	4,6	69.1	72.3	69.5	70.3	1255.57	714.02	1257.22	2.311	2.517	8.16	16.58	50.77
	11	4,6	63.9	64.4	64.7	64.3	1156.53	641.94	1138.86	2.327	2.517	7.53	16.00	52.96
	12	4,6	65.2	65.3	64.7	65.1	1156.53	656.48	1157.73	2.307	2.517	8.32	16.73	50.23
Ortalama										**2.311**	**2.517**	**8.18**	**16.59**	**50.74**
Standart sapma										**0.010**		**0.40**	**0.37**	**1.36**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
110 °C 4 pas	1	4,6	64.2	64.1	65.1	64.5	1151.43	659.17	1152.74	2.333	2.517	7.31	15.80	53.75
	2	4,6	64.6	65.0	64.5	64.7	1155.53	664.69	1159.29	2.336	2.517	7.17	15.68	54.25
	3	4,6	67.3	66.3	67.0	66.9	1178.95	673.24	1181.18	2.321	2.517	7.78	16.23	52.07
	4	4,6	65.2	65.6	66.9	65.9	1185.56	679.49	1187.1	2.336	2.517	7.20	15.70	54.15
	5	4,6	62.9	63.4	62.8	63.0	1121.02	638.38	1122.35	2.316	2.517	7.97	16.40	51.42
	6	4,6	64.3	64.0	64.1	64.1	1147.84	656.64	1149.93	2.327	2.517	7.55	16.02	52.89
	7	4,6	63.1	61.7	62.2	62.3	1118.86	641.51	1121.31	2.332	2.517	7.35	15.84	53.61
	8	4,6	60.1	60.8	60.2	60.4	1085.67	623.27	1088.31	2.335	2.517	7.24	15.74	54.00
	9	4,6	61.4	61.6	62.1	61.7	1111.09	638.05	1113.95	2.335	2.517	7.24	15.74	54.02
	10	4,6	62.0	62.7	62.6	62.4	1116.03	638.38	1117.38	2.330	2.517	7.43	15.91	53.32
	11	4,6	65.4	64.9	65.2	65.2	1156.97	661.10	1159.83	2.320	2.517	7.83	16.27	51.91
	12	4,6	65.1	64.3	64.3	64.6	1161.47	670.16	1164.84	2.348	2.517	6.71	15.26	56.02
Ortalama										**2.331**	**2.517**	**7.40**	**15.88**	**53.45**
Standart sapma										**0.009**		**0.34**	**0.31**	**1.25**

Karışım türü	No	Wa (%)	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
			1	2	3	ort								
110 °C 5 pas	1	4,6	67.3	67.4	67.5	67.4	1221.05	703.17	1222.39	2.352	2.517	6.56	15.12	56.62
	2	4,6	65.0	65.5	65.4	65.3	1178.04	677.43	1179.63	2.346	2.517	6.80	15.34	55.69
	3	4,6	62.4	62.6	62.4	62.5	1139.48	658.35	1140.84	2.362	2.517	6.16	14.76	58.25
	4	4,6	64.7	64.4	65.0	64.7	1168.2	672.59	1170.67	2.345	2.517	6.81	15.35	55.63
	5	4,6	65.0	65.1	65.9	65.3	1188.22	684.51	1189.68	2.352	2.517	6.54	15.11	56.69
	6	4,6	65.3	65.4	65.0	65.2	1178.05	680.49	1180.47	2.356	2.517	6.38	14.96	57.34
	7	4,6	63.0	63.8	63.6	63.5	1160.17	668.98	1161.39	2.356	2.517	6.39	14.96	57.33
	8	4,6	65.4	65.4	65.6	65.5	1182.91	681.03	1184.86	2.348	2.517	6.71	15.26	56.01
	9	4,6	68.5	68.2	67.7	68.1	1234.98	711.59	1237.62	2.348	2.517	6.72	15.27	56.00
	10	4,6	67.6	67.9	68.0	67.8	1222.84	702.63	1225.23	2.340	2.517	7.03	15.55	54.80
	11	4,6	67.0	67.0	67.2	67.1	1190.82	686.01	1193.56	2.346	2.517	6.78	15.32	55.76
	12	4,6	64.9	65.0	65.0	65.0	1152.33	661.45	1154.94	2.335	2.517	7.22	15.72	54.07
Ortalama										**2.349**	**2.517**	**6.67**	**15.23**	**56.18**
Standart sapma										**0.007**		**0.29**	**0.26**	**1.15**

EK- B Marshall tokmağı ile sıkıştırılan numunelerin hacimsel özellikleri.

Karışım türü	No	Wa (%)	Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 45 darbe	1	4,6	1200.99	689.33	1207.06	2.320	2.517	7.83	16.28	51.89
	2	4,6	1199.38	687.65	1206.52	2.312	2.517	8.16	16.57	50.78
	3	4,6	1198.21	690.58	1205.48	2.327	2.517	7.54	16.01	52.92
	4	4,6	1201.05	693.13	1209.12	2.328	2.517	7.52	15.99	53.00
	5	4,6	1201.44	693.55	1210.70	2.323	2.517	7.69	16.15	52.37
	6	4,6	1199.72	686.72	1208.55	2.299	2.517	8.65	17.02	49.18
Ortalama						**2.318**	**2.517**	**7.897**	**16.337**	**51.690**
Standart sapma						**0.004**		**0.436**	**0.396**	**1.473**

Karışım türü	No	Wa (%)	Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 2 55 darbe	1	4,6	1199.87	692.23	1205.91	2.336	2.517	7.19	15.70	54.19
	2	4,6	1197.23	691.42	1203.05	2.340	2.517	7.02	15.54	54.81
	3	4,6	1203.19	691.95	1207.81	2.332	2.517	7.33	15.82	53.68
	4	4,6	1199.08	691.63	1203.04	2.345	2.517	6.84	15.38	55.52
	5	4,6	1199.64	691.98	1205.39	2.337	2.517	7.16	15.67	54.30
	6	4,6	1201.04	695.44	1210.19	2.333	2.517	7.29	15.79	53.81
Ortalama						**2.337**	**2.517**	**7.139**	**15.648**	**54.384**
Standart sapma						**0.004**		**0.182**	**0.165**	**0.684**

Karışım türü	No	Wa (%)	Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 65 darbe	1	4,6	1200.04	696.98	1207.15	2.352	2.517	6.54	15.10	56.71
	2	4,6	1203.61	696.44	1210.19	2.343	2.517	6.91	15.44	55.23
	3	4,6	1200.78	694.48	1206.87	2.343	2.517	6.89	15.42	55.34
	4	4,6	1198.62	694.99	1204.44	2.353	2.517	6.52	15.08	56.79
	5	4,6	1200.88	696.32	1206.08	2.356	2.517	6.40	14.98	57.28
	6	4,6	1198.87	694.49	1204.63	2.350	2.517	6.62	15.18	56.36
Ortalama						**2.350**	**2.517**	**6.647**	**15.201**	**56.284**
Standart sapma						**0.005**		**0.208**	**0.189**	**0.829**

Karışım türü	No	Wa (%)	Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 75 darbe	1	4,6	1198.78	695.98	1202.32	2.368	2.517	5.93	14.55	59.24
	2	4,6	1198.66	696.84	1201.55	2.375	2.517	5.64	14.28	60.54
	3	4,6	1200.59	698.61	1204.52	2.373	2.517	5.71	14.35	60.22
	4	4,6	1198.54	693.68	1202.74	2.354	2.517	6.45	15.02	57.06
	5	4,6	1198.08	695.85	1202.06	2.367	2.517	5.96	14.58	59.11
	6	4,6	1199.57	697.24	1205.44	2.360	2.517	6.21	14.81	58.04
Ortalama						**2.366**	**2.517**	**5.984**	**14.599**	**59.033**
Standart sapma						**0.008**		**0.305**	**0.278**	**1.312**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 45 darbe	1	4,6		1201.37	687.53	1207.90	2.309	2.517	8.27	16.67	50.41
	2	4,6		1201.98	689.11	1208.23	2.315	2.517	8.00	16.43	51.30
	3	4,6		1199.17	687.04	1203.80	2.321	2.517	7.80	16.25	52.00
	4	4,6		1200.27	685.7	1206.47	2.305	2.517	8.42	16.82	49.90
	5	4,6		1199.26	687.92	1205.41	2.317	2.517	7.92	16.36	51.58
	6	4,6		1199.83	689.58	1209.53	2.308	2.517	8.31	16.71	50.27
Ortalama							**2.312**	**2.517**	**8.121**	**16.540**	**50.912**
Standart sapma							**0.006**		**0.247**	**0.224**	**0.833**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 55 darbe	1	4,6		1198.59	686.27	1203.78	2.316	2.517	7.98	16.41	51.39
	2	4,6		1197.88	688.53	1202.14	2.332	2.517	7.33	15.82	53.66
	3	4,6		1197.57	690.21	1203.20	2.334	2.517	7.24	15.74	53.99
	4	4,6		1197.61	686.28	1203.30	2.316	2.517	7.96	16.40	51.43
	5	4,6		1200.08	691.79	1206.34	2.332	2.517	7.33	15.82	53.67
	6	4,6		1199.66	687.68	1204.80	2.320	2.517	7.82	16.27	51.91
Ortalama							**2.325**	**2.517**	**7.612**	**16.078**	**52.676**
Standart sapma							**0.008**		**0.345**	**0.315**	**1.222**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 65 darbe	1	4,6		1198.18	691.75	1207.30	2.324	2.517	7.66	16.12	52.49
	2	4,6		1199.21	693.27	1206.66	2.336	2.517	7.19	15.69	54.19
	3	4,6		1199.64	694.47	1207.23	2.340	2.517	7.04	15.56	54.74
	4	4,6		1202.17	696.07	1208.80	2.345	2.517	6.84	15.38	55.52
	5	4,6		1198.28	692.73	1205.71	2.336	2.517	7.19	15.69	54.20
	6	4,6		1200.13	690.18	1203.61	2.337	2.517	7.13	15.64	54.43
Ortalama							**2.336**	**2.517**	**7.174**	**15.680**	**54.262**
Standart sapma							**0.007**		**0.271**	**0.244**	**0.998**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 75 darbe	1	4,6		1200.07	697.95	1204.80	2.368	2.517	5.92	14.54	59.27
	2	4,6		1200.70	694.69	1206.09	2.348	2.517	6.71	15.26	56.02
	3	4,6		1200.52	695.10	1206.81	2.346	2.517	6.78	15.32	55.74
	4	4,6		1199.09	692.49	1202.71	2.350	2.517	6.62	15.18	56.37
	5	4,6		1200.38	696.45	1205.19	2.360	2.517	6.25	14.84	57.89
	6	4,6		1196.46	691.18	1200.02	2.351	2.517	6.57	15.14	56.56
Ortalama							**2.354**	**2.517**	**6.477**	**15.047**	**56.975**
Standart sapma							**0.008**		**0.327**	**0.298**	**1.347**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 45 darbe	1	4,6		1198.80	691.94	1210.54	2.312	2.517	8.15	16.57	50.79
	2	4,6		1197.35	686.53	1207.28	2.299	2.517	8.64	17.01	49.20
	3	4,6		1197.08	685.73	1204.33	2.308	2.517	8.28	16.69	50.36
	4	4,6		1196.98	686.72	1205.37	2.308	2.517	8.30	16.70	50.30
	5	4,6		1196.22	685.73	1203.65	2.310	2.517	8.23	16.64	50.54
	6	4,6		1199.89	688.43	1213.08	2.287	2.517	9.13	17.46	47.70
Ortalama							**2.304**	**2.517**	**8.457**	**16.846**	**49.816**
Standart sapma							**0.009**		**0.370**	**0.337**	**1.171**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 55 darbe	1	4,6		1198.55	687.59	1207.10	2.307	2.517	8.33	16.73	50.20
	2	4,6		1197.63	691.15	1207.83	2.318	2.517	7.90	16.34	51.65
	3	4,6		1196.53	686.96	1204.02	2.314	2.517	8.05	16.48	51.13
	4	4,6		1198.04	688.21	1204.97	2.318	2.517	7.88	16.33	51.70
	5	4,6		1200.30	689.99	1207.82	2.318	2.517	7.90	16.34	51.65
	6	4,6		1193.72	684.57	1199.30	2.319	2.517	7.85	16.30	51.81
Ortalama							**2.316**	**2.517**	**7.988**	**16.420**	**51.355**
Standart sapma							**0.004**		**0.182**	**0.164**	**0.614**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 65 darbe	1	4,6		1204.06	693.15	1212.66	2.318	2.517	7.91	16.35	51.61
	2	4,6		1199.36	688.79	1205.15	2.323	2.517	7.71	16.17	52.30
	3	4,6		1196.85	691.19	1202.70	2.340	2.517	7.03	15.55	54.78
	4	4,6		1196.39	687.06	1201.75	2.324	2.517	7.64	16.10	52.55
	5	4,6		1199.48	690.01	1207.26	2.319	2.517	7.86	16.30	51.78
	6	4,6		1197.91	690.13	1203.96	2.331	2.517	7.37	15.86	53.53
Ortalama							**2.326**	**2.517**	**7.588**	**16.056**	**52.761**
Standart sapma							**0.008**		**0.332**	**0.301**	**1.200**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 75 darbe	1	4,6		1199.29	691.52	1205.05	2.335	2.517	7.21	15.71	54.12
	2	4,6		1201.06	691.65	1206.19	2.334	2.517	7.25	15.75	53.95
	3	4,6		1200.01	691.89	1204.05	2.343	2.517	6.90	15.44	55.27
	4	4,6		1197.13	693.94	1205.00	2.342	2.517	6.93	15.46	55.18
	5	4,6		1195.77	688.32	1199.48	2.339	2.517	7.05	15.57	54.71
	6	4,6		1195.99	688.52	1204.20	2.319	2.517	7.85	16.29	51.82
Ortalama							**2.336**	**2.517**	**7.199**	**15.703**	**54.175**
Standart sapma							**0.008**		**0.349**	**0.313**	**1.272**

EK-C Yoğurmalı sıkıştırıcı ile sıkıştırılan numunelerin hacimsel özellikleri.

Karışım türü	No	Wa (%)	Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 70 devir	1	4,6	1203.20	696.19	1210.92	2.338	2.517	7.12	15.63	54.44
	2	4,6	1201.51	694.76	1208.73	2.338	2.517	7.12	15.63	54.46
	3	4,6	1202.81	696.61	1207.86	2.353	2.517	6.52	15.09	56.78
	4	4,6	1200.07	693.63	1204.28	2.350	2.517	6.62	15.18	56.36
	5	4,6	1199.52	693.82	1205.90	2.342	2.517	6.93	15.46	55.18
	6	4,6	1198.38	693.64	1204.43	2.346	2.517	6.78	15.32	55.75
Ortalama						**2.344**	**2.517**	**6.849**	**15.385**	**55.495**
Standart sapma						**0.006**		**0.252**	**0.227**	**0.974**

Karışım türü	No	Wa (%)	Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 90 devir	1	4,6	1199.64	698.77	1207.80	2.357	2.517	6.36	14.94	57.43
	2	4,6	1201.84	697.87	1208.33	2.354	2.517	6.45	15.02	57.06
	3	4,6	1199.64	700.33	1204.48	2.380	2.517	5.45	14.12	61.37
	4	4,6	1200.67	698.08	1207.02	2.359	2.517	6.26	14.85	57.83
	5	4,6	1199.99	697.05	1206.09	2.357	2.517	6.34	14.92	57.53
	6	4,6	1199.01	698.04	1207.20	2.355	2.517	6.43	15.01	57.13
Ortalama						**2.360**	**2.517**	**6.217**	**14.810**	**58.057**
Standart sapma						**0.009**		**0.380**	**0.343**	**1.646**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 110 devir	1	4,6		1201.48	700.82	1207.28	2.372	2.517	5.74	14.38	60.07
	2	4,6		1199.61	701.68	1205.05	2.383	2.517	5.31	13.99	62.04
	3	4,6		1200.42	699.71	1207.32	2.365	2.517	6.04	14.65	58.78
	4	4,6		1199.30	701.07	1207.33	2.369	2.517	5.88	14.50	59.48
	5	4,6		1200.70	702.94	1208.05	2.377	2.517	5.55	14.21	60.93
	6	4,6		1200.67	701.69	1207.73	2.373	2.517	5.73	14.37	60.14
Ortalama							**2.373**	**2.517**	**5.707**	**14.347**	**60.239**
Standart sapma							**0.006**		**0.254**	**0.229**	**1.137**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
150 °C 130 devir	1	4,6		1202.56	702.22	1205.37	2.390	2.517	5.04	13.74	63.34
	2	4,6		1199.65	700.32	1203.1	2.386	2.517	5.20	13.88	62.57
	3	4,6		1200.81	701.28	1205.35	2.382	2.517	5.35	14.02	61.86
	4	4,6		1200.84	702.17	1206.60	2.381	2.517	5.41	14.08	61.56
	5	4,6		1200.52	701.76	1205.85	2.382	2.517	5.37	14.04	61.74
	6	4,6		1198.29	699.44	1200.76	2.390	2.517	5.03	13.73	63.38
Ortalama							**2.385**	**2.517**	**5.232**	**13.916**	**62.410**
Standart sapma							**0.004**		**0.169**	**0.154**	**0.813**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 70 devir	1	4,6		1200.77	695.19	1209.62	2.334	2.517	7.26	15.75	53.94
	2	4,6		1201.50	693.19	1208.95	2.330	2.517	7.44	15.92	53.27
	3	4,6		1199.01	692.97	1206.03	2.337	2.517	7.15	15.65	54.36
	4	4,6		1200.96	697.15	1208.84	2.347	2.517	6.74	15.29	55.89
	5	4,6		1200.74	697.13	1209.82	2.342	2.517	6.94	15.47	55.12
	6	4,6		1198.05	695.92	1209.53	2.333	2.517	7.32	15.81	53.71
Ortalama							**2.337**	**2.517**	**7.141**	**15.650**	**54.381**
Standart sapma							**0.006**		**0.259**	**0.232**	**0.969**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 90 devir	1	4,6		1202.78	699.84	1211.71	2.350	2.517	6.64	15.19	56.32
	2	4,6		1199.99	697.98	1206.08	2.362	2.517	6.16	14.76	58.25
	3	4,6		1202.01	697.66	1209.80	2.347	2.517	6.75	15.29	55.89
	4	4,6		1198.80	694.08	1204.64	2.348	2.517	6.71	15.26	56.04
	5	4,6		1200.99	698.05	1207.96	2.355	2.517	6.42	14.99	57.20
	6	4,6		1199.2	697.51	1207.18	2.353	2.517	6.51	15.08	56.81
Ortalama							**2.352**	**2.517**	**6.530**	**15.095**	**56.750**
Standart sapma							**0.005**		**0.220**	**0.198**	**0.881**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 110 devir	1	4,6		1198.49	700.03	1205.13	2.373	2.517	5.72	14.36	60.15
	2	4,6		1198.19	699.91	1204.33	2.375	2.517	5.62	14.27	60.62
	3	4,6		1200.71	697.84	1207.98	2.354	2.517	6.48	15.05	56.94
	4	4,6		1202.88	701.85	1214.77	2.345	2.517	6.82	15.36	55.60
	5	4,6		1202.88	703.44	1210.94	2.370	2.517	5.82	14.45	59.70
	6	4,6		1199.95	699.19	1204.13	2.376	2.517	5.58	14.23	60.80
Ortalama							**2.366**	**2.517**	**6.008**	**14.621**	**58.968**
Standart sapma							**0.012**		**0.516**	**0.469**	**2.166**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
130 °C 130 devir	1	4,6		1198.45	701.52	1203.70	2.386	2.517	5.18	13.87	62.66
	2	4,6		1197.92	698.41	1201.92	2.379	2.517	5.47	14.13	61.29
	3	4,6		1199.89	703.22	1206.51	2.384	2.517	5.27	13.95	62.21
	4	4,6		1198.74	695.65	1203.15	2.362	2.517	6.15	14.75	58.31
	5	4,6		1199.32	696.94	1203.40	2.368	2.517	5.91	14.53	59.33
	6	4,6		1199.17	699.95	1202.97	2.384	2.517	5.28	13.96	62.18
Ortalama							**2.377**	**2.517**	**5.543**	**14.199**	**60.997**
Standart sapma							**0.009**		**0.395**	**0.359**	**1.773**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 70 devir	1	4,6		1199.35	696.15	1210.61	2.331	2.517	7.37	15.86	53.52
	2	4,6		1200.16	694.48	1210.38	2.326	2.517	7.57	16.04	52.81
	3	4,6		1200.00	693.46	1208.37	2.331	2.517	7.40	15.89	53.41
	4	4,6		1198.59	697.09	1209.68	2.338	2.517	7.09	15.61	54.55
	5	4,6		1200.74	698.01	1211.83	2.337	2.517	7.15	15.66	54.34
	6	4,6		1200.07	691.62	1208.31	2.323	2.517	7.72	16.17	52.29
Ortalama							**2.331**	**2.517**	**7.383**	**15.870**	**53.488**
Standart sapma							**0.005**		**0.240**	**0.215**	**0.866**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 90 devir	1	4,6		1200.37	697.60	1212.11	2.333	2.517	7.30	15.80	53.78
	2	4,6		1200.85	701.73	1211.48	2.356	2.517	6.40	14.98	57.27
	3	4,6		1199.35	694.57	1208.33	2.334	2.517	7.25	15.74	53.98
	4	4,6		1199.84	697.23	1209.61	2.342	2.517	6.96	15.48	55.07
	5	4,6		1199.95	697.51	1210.04	2.341	2.517	6.98	15.50	54.99
	6	4,6		1200.44	697.35	1211.02	2.337	2.517	7.14	15.65	54.36
Ortalama							**2.341**	**2.517**	**7.004**	**15.526**	**54.908**
Standart sapma							**0.008**		**0.326**	**0.295**	**1.268**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 110 devir	1	4,6		1200.98	700.64	1213.24	2.343	2.517	6.91	15.44	55.25
	2	4,6		1200.62	697.43	1210.75	2.339	2.517	7.07	15.58	54.65
	3	4,6		1198.99	699.06	1209.17	2.350	2.517	6.61	15.17	56.42
	4	4,6		1202.68	698.84	1210.63	2.350	2.517	6.63	15.19	56.34
	5	4,6		1203.64	702.81	1215.39	2.348	2.517	6.70	15.25	56.07
	6	4,6		1200.59	702.15	1211.09	2.359	2.517	6.27	14.86	57.80
Ortalama							**2.348**	**2.517**	**6.697**	**15.247**	**56.089**
Standart sapma							**0.006**		**0.275**	**0.247**	**1.083**

Karışım türü	No	Wa (%)		Havada ağırlık (g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Gmb (gr/cm^3)	Gmm (gr/cm^3)	Va (%)	Vma (%)	Vfa (%)
110 °C 130 devir	1	4,6		1202.25	702.52	1210.88	2.365	2.517	6.03	14.64	58.80
	2	4,6		1200.34	699.42	1208.66	2.357	2.517	6.34	14.93	57.49
	3	4,6		1200.24	700.89	1207.23	2.370	2.517	5.82	14.45	59.74
	4	4,6		1199.38	697.17	1206.32	2.356	2.517	6.40	14.98	57.26
	5	4,6		1201.73	701.93	1209.81	2.366	2.517	5.99	14.60	59.01
	6	4,6		1201.79	701.79	1209.27	2.368	2.517	5.91	14.53	59.35
Ortalama							**2.364**	**2.517**	**6.081**	**14.688**	**58.607**
Standart sapma							**0.005**		**0.235**	**0.217**	**1,00**

ÖZGEÇMİŞ

İlyas TURHAN, 1979 yılında Elazığda doğmuştur. İlkokulu Milli Egemenlik İlkokulunda, orta okulu 100.Yıl ortaokulunda ve liseyi Elazığ Lisesinde tamamlamıştır. 1997 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiş ve 2002 yılında mezun olmuştur. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı yüksek lisans programını kazanmıştır. 2004 yılından beri özel bir şirkette asfalt şantiye şefi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

2013
Elazığ