

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SBS VE SÖNMÜŞ KİREÇ KATKILI SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA
TEKERLEK İZİ DİRENCİNİN MARSHALL ORANI YAKLAŞIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Ali TURAN

ŞUBAT 2012
GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SBS VE SÖNMÜŞ KİREÇ KATKILI SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA
TEKERLEK İZİ DİRENCİNİN MARSHALL ORANI YAKLAŞIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Ali TURAN

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.01.2012
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 08.02.2012

ŞUBAT 2012

KABUL VE ONAY

Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ danışmanlığında **Mehmet Ali TURAN** tarafından hazırlanan “**SBS VE SÖNMÜŞ KİREÇ KATKILI SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA TEKERLEK İZİ DİRENCİNİN MARSHALL ORANI YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**” bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Erol İSKENDER

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erol İSKENDER

ONAY

Bu tez/.../2012 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SBS VE SÖNMÜŞ KİREÇ KATKILI SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA
TEKERLEK İZİ DİRENCİNİN MARSHALL ORANI YAKLAŞIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mehmet Ali TURAN

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

2012, 82 sayfa

Asfalt kaplamalar; artan trafik hacimleri, artan kamyon trafiği, daha yüksek lastik basınçları, gelişen rafineri teknolojisine bağlı bağlayıcının azalan yapıştırma kabiliyeti nedenleriyle daha büyük gerilmelere maruz durumdadırlar. Asfalt kaplamalarda, en önemli ve yaygın bozucu gerilmelerden birisi kalıcı deformasyon problemi olup, tekrarlı yükleme altında, kaplama yapısının her bir tabakasında oluşan kalıcı deformasyonların yığılması şeklinde oluşmaktadır. Tekerlek izi oluşumu (kalıcı deformasyon), yorulma ve düşük sıcaklık çatlakları gibi bozulmalar ile suya karşı duyarlılığa sebep olmaktadır. Kaplamanın öngörülen servis ve konfor düzeyinin sağlanması da büyük ölçüde sıcak karışımlarda kullanılan bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Bu açıdan bakıldığında, kaplamayı

oluşturan malzemelerden biri olan bitümün modifiye edilmesi ve sönmüş kireç katkılı karışımların kullanılması yolun performansını arttırmak için en sık kullanılan yöntemler haline gelmiştir.

Çalışmada, katkısız (geleneksel), %2 sönmüş kireç, %4 sönmüş kireç, %2 sönmüş kireç +%5 SBS ve %4 sönmüş kireç +%5 SBS katkılı sıcak asfalt modifiye karışımlar hazırlanmıştır. Hem 100 mm hem de 150 mm çaplı briketler hazırlanarak. marshall tasarım yöntemi ile optimum bitüm içeriği belirlenmiştir. Yoğun gradasyon seçilmiş ve 75 darbeli sıkıştırma kullanılmıştır. Karışımların mekanik özellikleri Marshall stabilitesi testi yapılarak belirlenmiştir. Deney sonuçları üzerine değerlendirmeler Marshall oranı (MQ) yaklaşımı ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sönmüş kireç, SBS, Kalıcı deformasyon, Marshall stabilitesi, Marshall oranı

ABSTRACT
MS THESIS

**THE EVALUATION OF THE RESISTANCE OF RUTTING WITH MARSHALL
APPROACH RATE IN SBS AND HYDRATED LIME ADDED HOT ASPHALT
MIXTURES**

Mehmet Ali TURAN

**Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Ass. Prof. Dr. Orhan KARPUZ
2012, 82 pages

Asphalt coatings; increasing traffic volumes, increased truck traffic, higher tire pressures, reasons decreasing bonding capability of developing a connector connected to the refinery technology, are exposed to greater stress. In asphalt pavements; most important and one of the widespread disturbing stresses is permanent deformation problem. Under cyclic loading, coating, structure each consisting of a layer composed of permanent deformations in the form of aggregation.

Service life causing deformations such as rutting (permanent deformation), fatigue and low temperature cracking and water susceptibility. Providing the envisaged service life and comfort level of pavement depends to a large extent on the properties of bituminous

binder used in hot mixtures. From this point of view, modification of bitumen has become one of the methods frequently used in increasing performance of the road.

In this study; pure (traditional), 2% hydrated lime, 4% hydrated lime, 2% hydrated lime+5% SBS and 4% hydrated lime+5% SBS modified mixtures were prepared. Optimum bitumen content with Marshall design method is determined and both 100 mm and 150 mm diameter briquettes were prepared. Intensively gradation is selected, and 75-pulse compression is used. Mechanical characteristics of mixtures were evaluated with Marshall stability. It is evaluated with Marshall quotient (MQ) approach.

Key Words: Hydrated lime, SBS, Permanent deformation, Marshall stability, Marshall quotient.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“SBS ve Sönmüş Kireç Katkılı Karışımların Tekerlek İzi Direncinin Marshall Oranı Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi” isimli tez çalışmamda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ’ a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve birikimlerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Erol İSKENDER ve Doç. Dr. Atakan AKSOY hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Muhittin TURAN’ a teşekkür ederim.

Bana her türlü desteği veren ve beni sabırla destekleyen eşim Aysun TURAN ve oğlum Talip TURAN’ a müteşekkir olduğumu belirtir, çalışmamın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Mehmet Ali TURAN
Gümüşhane, 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konunun Özgeçmişi.....	4
1.3. Katkı Malzemesi Olarak Sönmüş Kireç Kullanımı	7
1.3.1. Kirecin Özellikleri.....	7
1.3.2. Kirecin Katılma Teknikleri	10
1.3.2.1. Kuru Yöntem.....	10
1.3.2.2. Nemli Agregaya Uygulanma Biçimi	10
1.3.2.3. Slurry Yöntem.....	10
1.4. Stiren-Butadien-Stiren Katkıları	12
1.5. Bitümün Modifikasyonu	14
1.5.1. Bitümle Uyum.....	14
1.5.2. Isı.....	15
1.5.3. Karıştırma Tekniği	16
1.5.4. Üretim-Kullanım Arasındaki Süre	16
1.6. Kalıcı Deformasyon Oluşumu	16
1.6.1. Kalıcı Deformasyona Neden Olan Faktörler	17
1.7. Kalıcı Deformasyon ve Çatlama Mekanizmaları.....	18
1.7.1. Kalıcı Deformasyon Mekanizmaları.....	18
1.7.1.1. Yapısal Tekerlek İzi Oluşumu	18
1.7.1.2. Sürekli Tekerlek İzi Oluşumu	20
1.7.1.3. Yıpranmaya Dayalı Tekerlek İzi Oluşumu	20

1.8.	Çatlama Mekanizmaları	22
1.8.1.	Yorulma Çatlaması (Yükler).....	22
1.8.2.	Yorulma Çatlaması (Sıcaklıktaki Değişmeler)	23
1.8.3.	Termal Büzülme Çatlaması.....	23
1.8.4.	Alt Tabakalarda Çatlakların Oluşumu ve Yayılması	23
1.9.	Kalıcı Deformasyonun Sızdırmazlık Üstündeki Etkisi	23
1.9.1.	Kalıcı Deformasyon Tarifi ve Hesap Yöntemi	24
1.9.2.	Elastomer ve Plastomer Malzemelerde Kalıcı Deformasyon Farklılığı	24
1.9.3.	Sıcak Ortamlarda Kalıcı Deformasyon	25
1.9.4.	Soğuk Ortamlarda Kalıcı Deformasyon.....	25
1.9.5.	Profil ve Malzeme Seçiminin Kalıcı deformasyon Üstündeki Etkileri.....	25
1.9.6.	Hacimsel Değişikliklerin Etkisi	26
1.9.7.	Malzeme Sertlik Etkisi.....	27
1.9.8.	Zorunlu Malzemeleri Doğru Kullanma Yöntemleri	27
1.10.	Sürekli Tekerlek İzi Oluşumu için Bitümlü Tabakalarda Ana Parametreler ...	28
1.10.1.	Arazi Gözlemleri Sonuçları	28
1.10.2.	Mekanik Deney Sonuçları.....	30
1.11.	Tekerlek İzi Oluşumunun Sakıncaları.....	30
1.12.	Başlıca Laboratuar Sıkıştırma Teknikleri	31
1.12.1.	Superpave Yoğurmalı Pres Tekniği	31
1.12.2.	Hveem Sıkıştırma Yöntemi.....	32
1.12.3.	Marshall Sıkıştırma Yöntemi	33
1.13.	Marshall Deneyi.....	34
1.13.1.	Briketlerin Yüksekliklerinin Belirlenmesi.....	35
2.	MATERYAL VE YÖNTEM	36
2.1.	Materyal	36
2.1.1.	Karışım Oranlarının Tespiti.	38
2.2.	Yöntem.....	40
2.2.1.	Marshall Deneyine Göre Yapılan Hesaplamalar ve Sonuçları	40
3.	BULGULAR ve İRDELEME	45
3.1.	100 mm Çaplı Marshall Briketleri Deney Sonuçları	45
3.2.	150 mm Çaplı Marshall Briketleri Deney Sonuçları	56
3.3.	100 mm ve 150 mm Çaplı Örnek Verileri Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi...	68

4.	SONUÇLAR	76
5.	KAYNAKLAR	78
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	40°C'de dinamik sünme deneyinde zaman-kalıcı deformasyon ilişkisi.....	13
Şekil 1.2.	SBS bağ şekilleri.....	14
Şekil 1.3.	Üç boyutlu SBS yapısı.....	14
Şekil 1.4.	Tekerlek izinde yapısal oturma örneği	19
Şekil 1.5.	Kaplama performans eğrileri	19
Şekil 1.6.	Tekerlek izi oluşumlarına örnekler	21
Şekil 1.7.	Genel bir tekerlek çivisi görünümü	21
Şekil 1.8.	Çivili lastik görünümü (studded tire).....	21
Şekil 1.9.	Çivili lastiklerin yol üzerindeki hasarları	22
Şekil 1.10.	Yoğurmalı pres	32
Şekil 1.11.	Marshall sıkıştırma düzeneği.....	33
Şekil 2.1.	Çeşitli boyutlarda elenerek depolanan agregalar	36
Şekil 2.2.	SBS katkısının görünümü	38
Şekil 2.3.	Agrega karışımının tane boyutu dağılımı eğrisi ve şartname limitleri	39
Şekil 2.4.	Pratik özgül ağırlık-bitüm içeriği ilişkisi.....	42
Şekil 2.5.	Asfaltla dolu boşluk- bitüm içeriği ilişkisi	42
Şekil 2.6.	Stabilite-bitüm içeriği ilişkisi	43
Şekil 2.7.	Akma-bitüm içeriği ilişkisi	43
Şekil 2.8.	Boşluk-bitüm içeriği ilişkisi.....	44
Şekil 2.9.	VMA-bitüm içeriği ilişkisi	44
Şekil 3.1.	100 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin stabilite dağılımı.....	47
Şekil 3.2.	100 mm çaplı %2 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları.....	48
Şekil 3.3.	100 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımlar	48
Şekil 3.4.	100 mm çaplı %2 kireç +%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları.....	49
Şekil 3.5.	100 mm çaplı %4 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları.....	49
Şekil 3.6.	100 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin akma değeri dağılımları	50
Şekil 3.7.	100 mm çaplı %2 kireç katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	50
Şekil 3.8.	100 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	51

Şekil 3.9. 100 mm çaplı %2 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	51
Şekil 3.10. 100 mm çaplı %4 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	52
Şekil 3.11. 100 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	52
Şekil 3.12. %2 100 mm çaplı %2 Kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	53
Şekil 3.13. 100 mm çaplı %4 Kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları	53
Şekil 3.14. 100 mm çaplı %2 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	54
Şekil 3.15. 100 mm çaplı %4 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	54
Şekil 3.16. 100 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama stabilite değerleri.....	55
Şekil 3.17. 100 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama akma değerleri.....	55
Şekil 3.18. 100 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama MQ değerleri	56
Şekil 3.19. 150 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin stabilite dağılımları	58
Şekil 3.20. 150 mm çaplı %2 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları.....	59
Şekil 3.21. 150 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları.....	59
Şekil 3.22. 150 mm çaplı %2 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları.....	60
Şekil 3.23. 150 mm çaplı %4 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları.....	60
Şekil 3.24. 150 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin akma dağılımları	61
Şekil 3.25. 150 mm çaplı %2 kireç katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	61
Şekil 3.26. 150 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	62
Şekil 3.27. 150 mm çaplı %2 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	62
Şekil 3.28. 150 mm çaplı %4 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları.....	63
Şekil 3.29. 150 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	63
Şekil 3.30. 150 mm çaplı %2 sönmüş kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	64
Şekil 3.31. 150 mm çaplı %4 sönmüş kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	64
Şekil 3.32. 150 mm çaplı %2 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	65
Şekil 3.33. 150 mm çaplı %4 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları.....	65

Şekil 3.34. 150 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama stabilite değerler	66
Şekil 3.35. 150 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama akma değerleri	67
Şekil 3.36. 150 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama MQ değerleri	68
Şekil 3.37. 100 mm ve 150 mm çaplı briketlerin ortalama stabilitelerinin karşılaştırılması	69
Şekil 3.38. 100 mm ve 150 mm çaplı briketlerin ortalama akma değerlerinin karşılaştırılması	69
Şekil 3.39. 100 mm ve 150 mm çaplı briketlerin ortalama MQ değerlerinin karşılaştırılması	70
Şekil 3.40. Örnek çapına bağlı olarak stabilite değerleri arasındaki ilişki	71
Şekil 3.41. Örnek çapına bağlı olarak akma değerleri arasındaki ilişki	72
Şekil 3.42. Örnek çapına bağlı olarak MQ değerleri arasındaki ilişki	72

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Kireçtaşı Uluslararası Standart Sanayi sınıflaması.....	9
Tablo 1.2. Bitüm modifikasyon tipleri.....	11
Tablo 1.3. Fiber malzemeleri	11
Tablo 1.4. Modifiyelerin etki alanları	12
Tablo 1.5. Türk bitümlerinin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar	13
Tablo 2.1. Agrega deneylerinden bulunan sonuçlar	37
Tablo 2.2. Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları	37
Tablo 2.3. Tasarıma esas alınan tane boyutu dağılımları.....	38
Tablo 2.4. Karışımın tane boyutu dağılımı, tolerans sınırları ve şartname limitleri	39
Tablo 2.5. Kullanılan malzemenin özgül ağırlıkları ve bitüm penetrasyonu.....	40
Tablo 2.6. Optimum bitüm içeriğindeki deney sonuçları	40
Tablo 2.7. Marshall deney formu.....	41
Tablo 3.1. Geleneksel (katkısız) karışım briket özellikleri ve deney sonuçları.....	45
Tablo 3.2. %2 Kireç katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları	46
Tablo 3.3. %4 Kireç katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları	46
Tablo 3.4. %2 Kireç %5 SBS katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları.....	46
Tablo 3.5. %4 Kireç %5 SBS katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları	47
Tablo 3.6. Geleneksel karışım briket özellikleri ve deney sonuçları	56
Tablo 3.7. %2 sönmüş kireç katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları	57
Tablo 3.8. %4 sönmüş kireç katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları	57
Tablo 3.9. %2 sönmüş kireç %5 SBS katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları.....	57
Tablo 3.10. %4 sönmüş kireç %5 SBS katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları.....	58

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Dinamik etki için düzeltme faktörü.
h	: Bitümlü tabakanın kalınlığı.
σ_{av}	: Standart dingil yükü altında oluşan ve sıcaklığa göre değişen gerilme.
S_m	: Karışımın rijitlik modülü.
D	: Toplam kalıcı deformasyon.
Δh_i	: Her tabaka için oluşan deformasyon.
ϵ_p	: Kalıcı deformasyon.
N	: Tekrarlı yük adedini.
$A_{,m}$	: Regresyon sabitleri.
m_c	: Statik sünme eğrisinin doğru olduğu kesimdeki eğimi.
A	: Sünme – zaman eğrisinin 1. saniyesindeki sünme deformasyonu miktarı.
t_l	: Yükleme süresi (sn).
ϵ_{rt}	: Tekrarlı sünme deneylerinde oluşan toplam geriye dönen deformasyon.
x	: Geri dönme yeteneği.
Ab	: Kaba agreganın su absorpsiyonu.
Visc	: Karışımında kullanılan asfalt çimentosunun kinematik viskozitesi (santistok),
Comp	: Sıkıştırma enerjisi, darbe sayısı.
St	: Uygulanan gerilme (Mpa).
Ts	: Dolaylı çekme mukavemetini (Mpa).
$Ecq(t)$	: t anındaki sünme modülü (psi).
σ_c	: Briketlere uygulanan basınç gerilmesi (psi).
$\epsilon_c(t)$	: t anında tek ekseninde oluşan deformasyon (inç/inç).
L	: Briket yüksekliği (inç)
$\Delta v(t)$	: t anında düşey yönde oluşan yer değiştirme (inç).
σ_t	: Brikete uygulanan dolaylı çekme gerilmesi değeri.
P	: Brikete uygulanan yük.
$\epsilon_t(t)$	: Sünme deformasyonu (inç/inç).
$\Delta h(t)$	: t anındaki yatay yer değiştirme (inç).
V	: Poisson oranı
X	: Briketin geriye dönüş kabiliyeti.
V	: Briketin hacmi.
B	: Briketin havadaki ağırlığı.
C	: Briketin sudaki ağırlığı.
Dp	: Briketin hacim özgül ağırlığı.
A	: Briketin havadaki ağırlığı.
Dt	: Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı.
Wa	: Agreganın ağırlığına göre bitüm yüzdesi.
G_{ef}	: Agreganın efektif özgül ağırlığı.
G_b	: Bitümün özgül ağırlığı.
P_{ba}	: Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm.
G_{ef}	: Agreganın efektif özgül ağırlığı.
G_{sb}	: Agreganın hacim özgül ağırlığı.
G_b	: Bitümün özgül ağırlığı
P_{be}	: Agreganın yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı
W_a	: Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm.
VMA	: Agregalar arası boşluk yüzdesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Asfalt kaplamaların performans analiz süreçlerinde; su hasarı, tekerlek izinde oturma, düşük sıcaklık çatlaması, yorulma çatlaması, bitümlü bağlayıcının yaşlanması gibi konular başlıca yer tutmaktadır. Laboratuarda; çeşitli çevresel hasar sistemlerinin uygulanmasıyla, seçilen bir performans problemi, belirli yönleri ile birlikte inceleniyor olsa da uygulama koşullarında farklı problemlerin birlikte gelişiyor olması, sorunların değerlendirilmesi konusunu oldukça zorlaştırmaktadır (Robertus vd., 1995).

Kaplama karışımlarının tasarımı, laboratuarda elde edilen sonuçlar ile uygulamadan elde edilen sonuçlar arasında önemli düzeyde farklılıkların olduğu bilinmektedir. Laboratuarda, mekanik özellikler bağlamında, uygulamadan daha iyi sonuç elde edildiği, ülkemizde yaygınca kullanılan Marshall sıkıştırma yöntemi ile laboratuarda tasarlanan boşluk düzeyinin üzerinde boşluk düzeylerinin uygulama aşamasında olduğu, yeterli sıkıştırma yapılsa dahi daha yüksek boşluk düzeylerinin varlığı bilinmektedir. Kaplamanın servis ömrü boyunca, özellikle ilk servis sürecinde, daha yüksek boşluk varlığının (-en kötü boşluk kavramı-pessimum void concept) su hasarı gelişimine ve bununla birlikte plastik deformasyonlara neden olduğu değerlendirilmektedir (Whiteoak, 1991; Chen ve Liao, 2002; Ulmgren, 1996; Terrel ve Al-Swailmi, 1993).

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de, çeşitli katkıların bitümlü karışımlara katılma biçimi, katılma oranı, katkının türü ve dolayısıyla katkıların efektif ve göreceli etkinliklerinin değerlendirilmesi konuları güncel olup henüz tam olarak aydınlatılamamıştır (Lee, 1982; McGennis vd., 1981).

Bitümlü karışımların tasarlanma aşamasında, kullanılan sıkıştırma düzeneklerinin farklılığı söz konusudur. Araştırmalar, özellikle Marshall sıkıştırma yönteminin, uygulama koşullarını en düşük düzeyde simüle ettiğini göstermektedir. Marshall briketleri üzerinde gerçekleştirilen; çatlama (dolaylı çekme mukavemeti deneyi ile), sünme-plastik deformasyon (statik sünme, tekrarlı sünme, Marshall stabilitesi/akma oranı değerlendirmesi) incelemelerinin farklı sonuçlar verdiği, yanıltıcı olabildiği, farklı karışım türleri ve özellikle de katkıların göreceli etkinliklerin değerlendirilmesinde seçilen granülometri türlerine bağlı olarak farklı korelasyonlar oluşturduğu bilinmektedir (Valkering vd., 1990).

Sıcaklık koşullarının kontrol edilebildiği, farklı yükleme biçimlerinin uygulanabildiği, dolaylı çekme, dolaylı çekme mukavemeti, statik-tekrarlı sünme gibi deneylerin yürütüldüğü asfalt test aletinin (Nottingham Asphalt Tester) varlığı önemli bir katkı oluşturmaktadır. Ancak; sıkıştırılmış özdeş briketlerde (aynı granülometri, aynı sıkıştırma enerjisi, aynı karıştırma sıkıştırma sıcaklığı vb.) agreganın köşeliliğine, elekler arası kırılmışlık yüzeyine bağımlı kaçınılmaz geçişlere bağlı olarak, hatta briketlerin bekleme süreleri de dikkate alındığında, yüksek derecede farklılıklar oluşmaktadır. Asfalt test aleti, düşük sıcaklık, orta (moderate temperature) sıcaklık ve yüksek sıcaklık performanslarının değerlendirilmesinde, düşük-orta-yüksek yükleme süreleri (rise time) ve yükleme periyotları (pulse time) için yükleme koşulları bağlamında performans incelemesi sağlamaktadır. Bununla birlikte, deneyler sırasında, 1°C sıcaklık farkının bile, ölçülen değerlerde yüksek değişkenlikte veri elde edilmesine neden olduğu görülmüştür.

Asfalt karışımlar; çok değişik aralıklarda farklı fiziksel, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellik gösteren agregaları içermektedir. Bitümlü bağlayıcıların özellikleri de, ham petrol kökenine bağlı olacak biçimde çok farklı bileşimlerde bulunabilmektedir. Aynı penetrazyonda olan iki farklı asfalt çimentosu, reolojik yapı farklılıkları nedeniyle çok farklı performans düzeyleri oluşturmaktadır. Asfalt çimentosu içerisinde, asfaltten içeriğinin varlık düzeyi-değişkenliği, asfalt çimentosunun yaşlanması ve bitümlü karışımlarda çatlama probleminin oluşmasında etkili olmaktadır. Bu bağlamda, asfalt karışımların heterojen karışımlar olarak değerlendirilmesiyle, makro ölçekli sayılacak deneylerin gerçekleştirilmesi ile performans karşılaştırmalarının yapılma zorluğu oluşmaktadır. Asfaltten içeriğinin fazla oluşu, yaşlanma problemi ve gevrek çatlama problemlerinin oluşmasında esas bir etmen olarak gözükmektedir (Dunning vd., 1978; Pendrys, 1989; Petersen, 1984; Welbore, 1984; Atlas, 1981; Noureldin, 1995).

Asfalt karışımlar üzerinde, hasarsız test yöntemleri uygulaması ile daha doğru karşılaştırmaların yapılabileceği düşünülmektedir. Dolaylı çekme ve tekrarlı sünme deneyleri (stabilite değerinin çok düşük seviyelerinde gerçekleştirildiğinde) hasarsız yöntemler olarak mütalaa edilebilir. Ancak, yukarıda ifade edilen faktörler ile birlikte kaçınılmaz olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Güncel sıkıştırma biçimlerinden (gyratory compaction), dönel sıkıştırıcı uygulaması yapılması ile sorunlar daha iyi değerlendirilmeye başlanmış, ancak dönme açısının (angle of gyration) etkisi ile birlikte, güncel olan konu değerlendirme aşamasındadır (Ziauddin vd., 1988).

Asfalt kaplamalarda sinerjik yarar konusu, güncel bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı türde katkıların bir arada kullanılmasıyla, ayrı ayrı kullanımlarından elde edilecek kazanımların çok üzerinde performans düzeylerinin elde edilebilmesi “sinerjik kazanım” olarak bilinmektedir. Bu konuya, polimer-sönmüş kireç birlikteliği örnek olarak verilebilir. Sönmüş kireç, bitümlü sıcak karışımlara karıştırıldığında oluşturduğu yararlarından birisi de “birlikte çalışma” özelliğidir. Yararlar, bireysel kullanıldıklarında belirli olmalarına karşın, polimer katkılarla bir arada kullanıldıklarında çok daha fazla artmaktadır. Araştırmalar; kireç ve polimerlerin bir arada kullanıldıklarında yalnız başlarına kullanılmalarına göre daha büyük iyileşmelerin oluştuğunu vurgulamaktadır (Mohammad vd., 2000).

Hasar mekanizmalarının anlaşılması ve daha kısa süreler içerisinde daha doğru sonuçların alınmasında, bilgisayarlı görüntü analizleri ile kaplamanın değerlendirilmesi ve görüntü değerlendirmelerinin mekaniksel testlere uygulanması ile daha doğru laboratuvar ve arazi performans karşılaştırmalarının yapılabilmesi düşünülmektedir.

Asfalt betonunun asfalt bağlayıcı, agrega ve hava boşlukları olmak üzere üç bileşenin heterojen bir karışımı olduğu; üç bileşenin yersel hacim fraksiyonlarının uzaysal olarak değişebildiği, uzaysal gradyandan dolayı karışımın ve karışımı oluşturan bileşenlerin arazi performans değişkenliği üzerinde önemli etkisi olduğu vurgulanmaktadır. Statik yükleme altında, iki bileşenli katı ve hava boşluğunu içeren karışımlar için basitleştirilmiş karışım teorisi uygulandığı, nihai gerilme dağılışının sunulduğu, heterojen karışımlar içerisinde bu teorinin etkin gerilme dağılışını nasıl gösterdiğini incelemek üzere basit iki boyutlu ve bir boyutlu analitik çözümlerin elde edildiği, X-ışını tomografi görüntüleme tekniği kullanılarak, yersel boşluk hacmi fraksiyonun ve onun gradyanının, karışım teorisini anlamak üzere, iki arazi değişkenini tanımlamada kullanılabilirliğinin incelendiği, performans düzeyleri bilinen karışım örnekleri için tanımlanmış boşluk hacmi fraksiyonu ve gradyanının (dağılımı), asfalt betonunun mekanik özelliklerini değerlendirmede, karışım teorisini kullanmak üzere, umut verici bir gelişme olacağı ifade edilmektedir (Wang vd., 2004).

Yapılan çalışmalara göre bitüme, bitümle uyumlu bazı polimer ve katkıların eklenmesinin bitümün reolojik davranışını etkilediğini, özelliklerini iyileştirdiğini ve bitüme üstün özellikler kazandırdığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, bitüme polimer ilavesinin ana amacı, bitümün viskoelastik davranışını değiştirmek ve özellikle, düşük

sıcaklıklardaki davranışına zarar vermeden, sıcaklığa karşı duyarlılığını azaltmaktır. Böylece kaplama daha dayanıklı hale gelmiş olur.

Tekerlek izi veya kalıcı deformasyon başlıca asfalt kaplama bozulmalarındandır. Bu bozulma mekanizması kaplamaların bozulmasına, bakım maliyetlerinin artmasına ve güvenlik problemlerine neden olmaktadır. Tekerlek izi yada kalıcı deformasyon birincil olarak agrega ve karışım özellikleriyle birlikte bağlayıcı tanımlamasından etkilenmektedir. Kalıcı deformasyon problemi statik veya tekrarlı sünme testleri, Bazı tekerlek izi deneyleri ve Marshall oranı yaklaşımı gibi çeşitli mühendislik yaklaşımları ile tahmin edilebilmektedir (Sengul vd., 2006).

Marshall stabilitesinin Marshall akmasına oranı Marshall Oranı (MQ) olarak adlandırılmaktadır. Bu oran asfalt betonunun deformasyona karşı direncinin ve rijitliğinin bir göstergesidir. Marshall Oranı değeri modifiye karışım örneklerin deformasyon direncinin değerlendirilmesi için kullanılır. Marshall tasarımında örnekler hazırlanırken trafik yoğunluğu da göz önüne alınarak numunelerin kaç darbeye sıkıştırılacağına karar verilmektedir. Örneklerin her iki yüzüne eşit olmak üzere, orta yoğunluklu trafik için 50, yüksek yoğunluklu trafik için 75 darbe vurulmaktadır (Sayın ve Yıldırım, 2005).

Bu çalışmanın amacı SBS ve sönmüş kireç içeren karışımların Marshall oranıyla (MQ) değerlendirilmesidir. Bu bağlamda, katkısız (geleneksel), %2 sönmüş kireç katkılı, %4 sönmüş kireç katkılı, %2 sönmüş kireç + %5 SBS katkılı ve %4 sönmüş kireç + %5 SBS katkılı karışımlar üretilmiştir. Marshall karışım tasarım yöntemi kullanılarak 100 mm ve 150 mm çaplı örnekler üretilerek Marshall stabilitesi ve akma değerleri belirlenmiştir. MQ değerleri hesaplanarak, hem karışımlar arasında bir kıyaslama yapılması hem de briket çapına bağlı olarak değişimin gözlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Konunun Özgeçmişi

Asfalt kaplamalarda sönmüş kireç, soyulmayı, tekerlek izinde oturmayı, çatlamayı ve yaşlanmayı azaltmaktadır. Sönmüş kireç, tek başına kullanıldığında, bu başlıca kaplama problemlerini iyileştirmektedir. Ayrıca, polimer katkılarla da bir arada iyi çalışmakta, kaplama sistemlerinin, uzun yıllar boyunca beklentilere en yüksek derecede karşılık verebilmesini, sağlamaktadır. Tipik olarak, kullanım oranı, katılan sönmüş kirecin karışımın ağırlığına bağlı olarak % 1-2 oranında olması ya da sıvı asfalt bağlayıcının ağırlığının %10-20 arasında değişen düzeyde kalması olarak, önerilir. Çok farklı iklimsel

ve yol koşullarında, sönmüş kirecin kaplamanın ömrüne yılları kattığı bildirilmektedir. Arazi çalışmaları; kireçle iyileştirilmiş karışımların daha uzun kaplama ömrüne neden olduğunu, kirecin kaplamanın ömrünü %38 oranında artırdığını, yaşam-maliyet analizi döngüsünün kirecin maliyet etkin olduğunu göstermektedir (Hicks vd., 2001).

Sıcak karışım asfaltlara sönmüş kireç, çoklu faydalar sağlamaktadır. Şimdiki literatürde sönmüş kirecin su duyarlılığını kontrol etme yeteneği ve su hasarını önlemek için iyi bir soyulma önleyici olduğu noktalarında önemli ölçüde bilgiler yer almaktadır. Bununla birlikte, son çalışmalar, sönmüş kirecin sıcak karışım asfaltlara diğer etkilerinin de olduğunu göstermiştir. Belirli olarak, kireç aktif filler görevi görmek, antioksidan özellik sağlamakta, sıcak karışım içerisinde ince malzeme ile reaksiyona girmektedir. Bu mekanizmalar, kaplamalar için başlıca yararlar oluşturmaktadır. Sönmüş kireç soyulmayı azaltmakta, asfalt bağlayıcıyı ve sıcak karışım asfaltı daha rijitleştirmekte, çatlama gelişimine karşı direnci geliştirmektedir. Düşük sıcaklıklarda çatlama direncini artırmaktadır. Oksidasyon kinetiğini olumlu olarak değiştirmekte, oksidasyon ürünlerinin zararlı etkilerini azaltmak için ürünlerle reaksiyona geçmektedir. Kil minerallerinin plastik özelliklerini değiştirmekte nem stabilitesini ve durabilitesini olumlu yönde korumaktadır. Bu yönlerle olan iyileşmeler arazide de benzer gelişmelerin sağlanmasıyla gözlenmektedir. Servis döngüsü maliyet analizleri; kireç kullanma ile yaklaşık olarak, 20\$/ton düzeyinde kazanıma yol açıldığı ve arazi performans değerlerinin beklenen kaplama ömründe %38 artışa yol açtığını göstermektedir (Dallas vd., 2006).

Dinamik mekanistik ampirik modelleme, Amerika'nın değişik kısımlarında, 6 farklı projede, 17 farklı asfalt karışımının test edilmesiyle, sönmüş kirecin asfalt sıcak karışımların dinamik modülünü %17 ile %50 arasında artırdığını, ayrıca, göstermektedir. Sönmüş kireç, performans artışı sağlamaktadır (Bari ve Witczak, 2005).

Sıcak karışıma sönmüş kireç ilave etmenin, trafik yüklerinin meydana getirdiği gerilmelerin yayılmasına yardımcı olduğu ve dayanımı arttırdığı gözlemlenmiş, genellikle kalıcı deformasyon diye nitelendirdiğimiz tekerlek izi potansiyelini azalttığını vurgulamıştır (Epps, 1992).

Kuru sönmüş kireç veya kireç harcı katılarak yapılan iyileştirilmiş asfaltların yaşlanma ve genel reolojik özellikleri üzerinde sağladığı gelişmeler araştırıldığı ve sönmüş kirecin sadece yüksek sıcaklıkta değil düşük sıcaklıkta da kaplama dayanımını olumlu yönde katkı sağladığı tespit edildi (Rogge vd., 1995).

Sönmüş kirecin, çeşitli yönleriyle asfalt kaplamaların performansını yükselttiği, dayanım arttırdığı, tekerlek izinde oturma, bitümün oksidasyonu (yaşlanması) ve çatlama problemlerini azalttığı, ayrıca soyulma önleyici katkı işlevini gördüğü, sinerjetik fayda sağladığı (birlikte çalışan, synergistic effect), polimer modifikasyonu ve kireç birlikte uygulanmasıyla yöntemlerin tek başına kullanılmalarına göre çok daha fazla kazanımlar elde edilebildiği, yüksek performanslı asfalt kaplama elde etmek için sönmüş kirecin sıcak karışım asfaltlara katışım yöntemlerinin, fayda mekanizmalarının incelendiğini belirtmektedir (Aksoy ve Ağar, 2002).

Orta ve yüksek sıcaklıklarda elastomer modifiye asfalt karışımların dinamik mekanik özelliklerinin irdelendiği, SBS (styrene-butadiene-styrene) ve SEBS (styrene-ethylene/ butylene-styrene) olmak üzere iki tip elastomerik modifiyerin üç farklı konsantrasyonda kullanıldığı, sıcaklıkla seçilen parametrelerin değişimini tanımlamak için iki uygun modelin ortaya koyulduğu, polimer modifikasyonunun yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşum direncini orta sıcaklıklarda yorulma direncini artırmada etkili olduğu, SBES' in bağlayıcının tekerlek izi direncini SBS' den daha fazla iyileştirdiği, bununla beraber SBS' in orta sıcaklıklarda bağlayıcının yorulma direncini iyileştirmede daha etkili olduğu belirtildi (Mostafa vd., 2003).

Asfalt bağlayıcıyı modifiye etmek için SBS (styrene-butadiene-styrene) kopolimerin kullanıldığı, bağlayıcının morfolojik ve teknik özelliklerinin transmisyon elektron mikroskobu (TEM) dönel viskometre kullanılarak araştırıldığı, polimer modifiye asfaltın morfolojisinin SBS konsantrasyonu ve kopolimerin mikroyapısal varlığıyla tanımlandığı, SBS konsantrasyonunun artışıyla kopolimerin yavaş yavaş baskın faz olduğu ve bu değişimi SBS modifiye asfaltın teknik özelliklerinin değişiminin takip ettiği, optimum SBS içeriğinin asfalt ve polimer arasındaki kritik bağ oluşumuna bağlı olarak saptandığı, bu bağ oluşumundan dolayı bağlayıcının tekerlek izi oluşum direncinin göstergesi olan kompleks katsayılarında büyük bir artış gözlemlendiği, düşük SBS konsantrasyonlarında Kerner modelinin SBS-modifiye asfaltın reolojik özelliklerinin tahmini için uygun olduğu, çalışmada ortaya konan Kerner eşitliğinin yüksek SBS konsantrasyonlu modifiye asfaltların kompleks katsayılarının tahmininde kullanılabileceği vurgulandı (Jian-Shiuh Chen vd., 2002).

Son yıllarda yapılan araştırmalar bitüme, bitümle uyumlu bazı polimer ve katkıların eklenmesinin bitümün reolojik davranışını etkilediğini, özelliklerini iyileştirdiğini ve bitüme üstün özellikler kazandırdığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, bitüme polimer

ilavesinin ana amacı, bitümün viskoelastik davranışını değiştirmek ve özellikle, düşük sıcaklıklardaki davranışına zarar vermeden, sıcaklığa karşı duyarlılığını azaltmaktır (Choquet vd., 1994).

Modifikasyonun bitüm ve bitümlü karışım üzerindeki etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Bitümün servis sıcaklıkları aralığını genişletmek, yumuşama noktasını yükseltmek ve penetrasyon değerini düşürmek,

- Bitümün sıcaklık değişimlerine duyarlılığını azaltmak (Penetrasyon İndeksini yükseltmek),

- Bitümün reolojik ve mekanik özelliklerini değiştirmek. Geniş sıcaklık ve yükleme hızı aralıklarında kalıcı deformasyona ve kırılmaya karşı mukavemet arttırmak,

- Tekrarlı yükler altında yorulma mukavemeti arttırmak,

- Yaşlanmayı (oksidasyon v.b. dolayısı ile zamanla özelliklerini kaybetme) yavaşlatmak (modifiye bitümün yüksek viskozitesi, agreg a etrafındaki bitüm filminin kalınlaşmasını sağlamaktadır),

Modifiye edici katkıların etkili olabilmesi ve hem pratik hem de ekonomik uygulaması için aşağıda koşulları sağlanmalıdır (Denning ve Carswell, 1981);

- Kolayca bulunabilir olması,

- Bitümle karıştırma sıcaklıklarında bozulmaması,

- Bitüm ile karışabilmesi,

- Karıştırma ve serme sıcaklıklarında bitüme fazla viskoz, serme, sıkıştırma ve hizmet sıcaklıklarında ise çok rijit veya kırılğan hale getirmemesi,

- Yüksek hizmet sıcaklıklarında akmaya karşı direnci iyileştirmesi,

- Ekonomik olmasıdır.

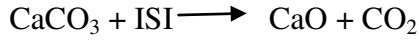
1.3. Katkı Malzemesi Olarak Sönmüş Kireç Kullanımı

1.3.1. Kirecin Özellikleri

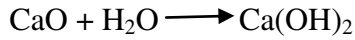
Kirecin hammaddesi olan kireçtaşı ve kalker, genellikle kalsiyum karbonat (CaCO_3)'dan oluşur. İçindeki kalsiyum karbonat oranını baz alarak yapılan sınıflandırmaya göre kireçtaşı cinsleri şöyle sıralanır:

1. Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (KT) : CaCO_3 : min. %97
2. Yüksek kalsiyumlu KT : CaCO_3 : min. %95
3. Yüksek karbonatlı KT : $(\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3)$: min. %95
4. Kalsitik KT : MgCO_3 . % 5
5. Magnezyumlu KT : MgCO_3 . % 5-20
6. Dolomitik KT (Dolomit) : MgCO_3 . % 20-40
7. Yüksek magnezyumlu dolomit : MgCO_3 . % 20-46

Kireç, en az %90 CaCO_3 içeren kireçtaşının kireç fırınlarında 900-1000 °C' in üzerinde kalsinasyonu sonucunda kalsiyum oksite dönüşmesiyle elde edilir.



Kalsiyum oksidin yaygın olarak kullanılan adı sönmemiş kireçtir. Kalsiyum oksit, suyla reaksiyona sokulması sonucunda kalsiyum hidroksite veya ticari adıyla sönmüş kirece dönüşür.



Kirecin hammaddesi olan ve doğada bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri (CaCO_3 / MgCO_3) kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir. Dünya'da çok değişik formasyon ve tiplerde kireçtaşı mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, minerolojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre sınıflandırılır (Örneğin; tebeşir, marn, traverten gibi). İçindeki MgCO_3 miktarının % 20-40 arasında olması durumunda ise kireçtaşı, rhombohedral yapıdaki dolomit: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ adını alır.

Kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli, doğada hiçbir zaman saf halde bulunmayan Kalsit ve Aragonit'dir. Teorik olarak % 56 CaO ve % 44 CO_2 ihtiva ederler. Kalsitin rhombohedral yapıda ve sertliğinin 3 Mohs olmasına karşın, 400 °C'de kalsite dönüşen Aragonit'in kristal yapısı orthorhombik ve sertliği 3,5-4 Mohs'dur.

Kirecin:

- Birçok kimyasal prosesin (nötralizasyon, absorpsiyon, kostikleştirme, gibi) ana girdisi olması,
- Kimyasallarla çabuk reaksiyona girerek istenmeyen maddeleri bünyeden uzaklaştırılması,
- Pahalı kimyasalların geri kazanılmasındaki rolü,
- Organik canlılar için besi maddesi olması,
- Ucuzluğu ve kolay bulunması gibi nedenler, kirecin yaygın biçimde kullanılmasında önemli rol oynamıştır.
- Kireç ürünleri:
- Portland çimento ve beton yapımında hammadde komponenti;
- İnşaat harç ve sıvalarında bağlayıcı;
- Demir-çelik endüstrisinde safsızlaştırıcı;
- Gaz beton endüstrisinde bağlayıcı;
- Çevre denetiminde arıtma kimyasalı;
- Asitli toprakların rehabilitasyonunda pH dengeleyicisi;
- Çeşitli kimyasal maddelerin elde edilmesinde ara reaksiyon kimyasalı veya nihayi ürün komponenti;

Yol zemin inşaatlarında stabilizatör ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanlarda kullanılır.

Kireç, uluslar arası standart sanayi tasnifinde (ISIN), 36 ana grup ve 3692 kod numarasıyla endüstride kullanılan esas kimyasal maddeler grubunda yer almakta olup GTIP kodu 25.22.0.00 ve 25.22.20.00'dir. Kireç taşının doğal, tuvenan ve ayıklanmış haldeki uluslar arası sanayi tasnifindeki kodlaması aşağıda verilmektedir.

Tablo 1.1. Kireçtaşı Uluslararası Standart Sanayi sınıflaması

Kireçtaşı Uluslararası Standart Sanayi sınıflaması (USS Rev 2) (Madencilik ve Taş Ocağı işletmeciliği)		
Bölüm	Grup	Sınıf
29	290	290107 Kireçtaşı (Lime stone)
		29010701 Tuvenan (Burden)
		29010702 Ayıklanmış (Separated)

1.3.2. Kirecin Katılma Teknikleri

Sönmüş kireç, sıcak karışımlara çeşitli biçimlerde katılabilmektedir. Genel bir kural olarak; uygulanma oranı karışımın ağırlığı cinsinden %1 oranındadır. Soyulma potansiyelinin yüksek olduğu durumlarda kullanılan miktar artırılabilir. Kirecin sıcak karışım asfaltlara katışım yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılanlar aşağıda belirtilmektedir.

1.3.2.1. Kuru Yöntem

Karışım ağırlığına bağlı olarak %1 oranında sönmüş kireç mineral fillere karıştırılır. Eklenen kirecin kaybı düşünülerek modifikasyona gerek duyulmaktadır. Son yıllarda, ince malzeme kaybı düşünülerek ASTEC tarafından önerilen çift kutu mikseri (double barrel mixer) ince malzemeleri etkin bir biçimde karıştırabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

1.3.2.2. Nemli Agregaya Uygulanma Biçimi

Bu yöntem, çoğunlukla tercih edilmektedir. Yaklaşık olarak %2-3 düzeyinde doymuş kuru yüzey koşulunu sağlayan agreganın ihtiyaç duyduğu kireç belirlenerek karıştırılmaktadır. Plente karıştırılmadan önce yeterli karışımı sağlamak için kireçle iyileştirilmiş agrega pug mill ile işlem görür. Kuru yöntemde ulaşılan kaplanmadan daha fazla bir agrega yüzey kaplılığı oluşturmak amacıyla kireç nemli agrega yüzeyine uygulanmaktadır. Agregaya yapışmamış bulunan kireç karışım içerisinde dağılarak tanımlanan diğer özelliklerin iyileşmesine neden olmaktadır. Sönmüş kirecin sıcak karışımlara katıldığı bu "nemli kuru" denilebilen yöntem, göreceli olarak basittir ancak ilave su için gerekecek işlemler plent üretimini bir ölçüde yavaşlatmaktadır.

1.3.2.3. Slurry Yöntem

Bu yöntem, kireç ve suyun bir harç formunu kullanır. Bu harç, agreganın belli bir ölçüsü olarak uygulanır. Kaba agrega yüzeylerinin üst düzey kaplanmasını sağlamaktadır. Harç uygulandıktan sonra, agrega ya doğrudan doğruya plente karıştırılır veya belirli bir

süre agregayla kirecin reaksiyona girmesi için depo edilerek uygulanır. Kireç agregaya bağlandığı için geri kalan karışımda kirecin en az dağıldığı katıştırma türüdür.

Tablo 1.2. Bitüm modifikasyon tipleri

Bitüm Modifikasyon Tipleri	
Modifikasyon Tipleri	Örnekler
I. Polimer olmayan katkıyla modifikasyon	
1. Fillerler	Kil, karbon siyahı, uçucu kül Organik aminler ve amidler, sülfür Çinko antioksidanlar, Kursun antioksidanlar, phenolikler, Organo manganer bileşimleri Organa karbon bileşimleri
2. Soyulma önleyici katkıları	
3. Ekstenderler	
4. Anti-oksidanlar	
5- Organo-mefal bileşimleri	
6- Diğerleri	
II. Polimer modifikasyon	
1. Plastikler	Polietilen (PE), Polipropilen (PP) Polivinil klorid (PVC), Polistren (PS Etilen vinil asetat (EVA) Epoksi reçineler Sentetik-butadien kopolimer (SBR) Stranbutodienstran kopolimer (SBS), Etilenpropilendiene homopolimer (EPDM) Isobüten- _sopren kopolimer (IIR)
a- Termoplastikler	
b- Termosetler	
2. Elastomerler	
a. Doğal kauçuklar	Isobüten- _sopren kopolimer (IIR)
b. Yapay elastomerler	
3. İşlenmiş kauçuklar	
4. Fiberler	Polyester, Fiberler, Polipropilen
III. Kimyasal reaksiyon modifikasyonu	Katkı reaksiyonu , Bitüm+Sülfür, Bitüm+Nitrik asit

Tablo 1.3. Fiber malzemeleri

Bazı Başlıca Fiber Malzemeleri		
Doğal Fiberler	Yapay Fiberler	
	Organik tip	İnorganik tip
Selüloz	Polipropilen	Karbon
Yün	Polyester Poliüretan	Cam
Asbestler (Sikat)	Aromatik Polimidler	Çelik

Tablo 1.4. Modifiyelerin etki alanları

Değişmiş Sonuç Özellikleri ile Bazı Yaygın Kullanılan Modifiyelere Etkidiği Özellikler	
	Kimyasal Katkıların Rolü
Yağ	Bitümün yapısı Bağlayıcılık Viskozite Penetrasyon değeri Yumuşama noktası
Filler tozu	Yumuşama noktası Viskozite Sertlik Yoğunluk Maliyet Mekanik sağlamlık
Fiberler	Tiksotropik Çatlak direnci Viskozite
Balmumu	Viskozite (sıcak) Sertlik (soğuk) Bağlayıcılık Adezyon
APP (Ataktik polipropilen) EVA (Etilen vini asetat)	Sertlik Penetrasyon değeri Frass kırılma noktası Yumuşama noktası
SBS (stren-butodien-stren)	Penetrasyon değeri Yumuşama noktası Elastik geri dönüş Düşük sıcaklık kırılabilirliği
Solvent	Viskozite
Emülsifikasyon	Viskozite Islatma kabiliyeti Uygulama sıcaklığı
Islatma ajanları	Islatma kabiliyeti Adezyon

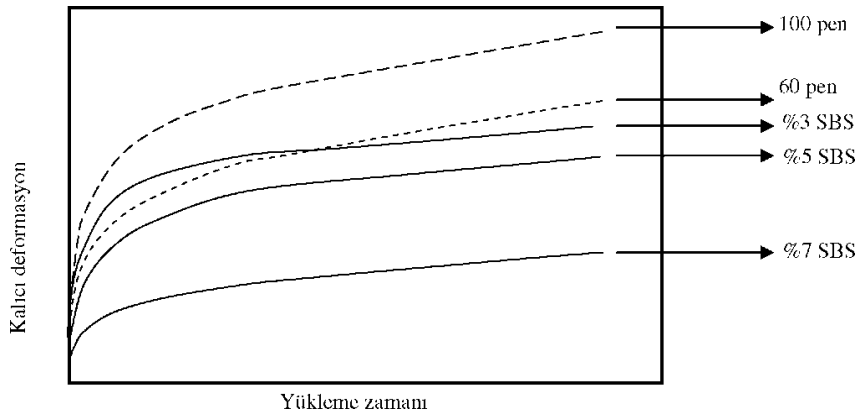
1.4. Stiren-Butadien-Stiren Katkılar

Amsterdam'da bulunan Shell Araştırma ve Teknoloji Merkezinin laboratuvarlarında SBS ile karıştırılmış Türk bitümleri üzerine bazı değerlendirmeler yapılmış, bunların SBS değişimine uygun olup olmadıkları araştırılmıştır. Tablo 1.5.'de bu değerlendirmeden bulunan sonuçlar verilmektedir.

Tablo 1.5. Türk bitümlerinin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar

Değerlendirme		Katkısız Bitüm	Katkısız Bitüm + %6 SBS (Kraton D 1101CM)
Yumuşama noktası, °C		45	79,5
25 °C'de pen, 0,1 mm		98	55
Dinamik viskozite (mPa)	100 °C	2370	
	120 °C	690	2730
	150 °C	160	900
	180 °C		330
Fraas kırılma sıcaklığı, °C		-17	-17
13 °C'de, cm Düktilite		>100	>100
13 °C'de Düktilite özelliğinin geri dönüşü, %		10	90

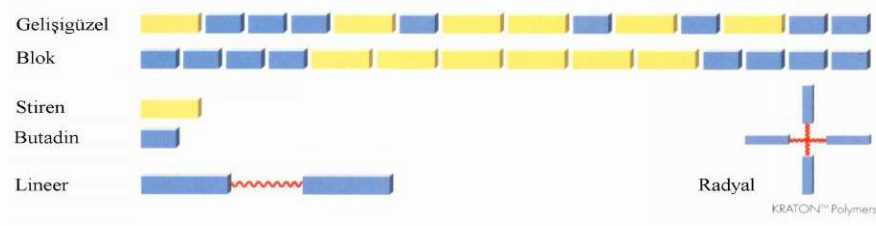
40°C'de yapılan dinamik sünme deneyi ise Şekil 1.1' de verilmektedir.



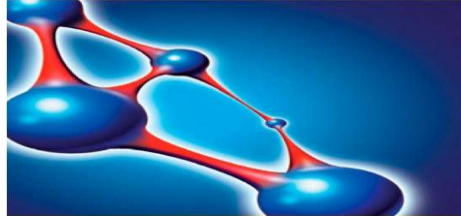
Şekil 1.1. 40°C'de dinamik sünme deneyinde zaman-kalıcı deformasyon ilişkisi

Gerçekleştirilen bu çalışmalar neticesinde yapılan modifikasyonun etkinliğinin yüksek olduğu, yüksek bir yumuşama noktası ve elastik geri dönüş elde edildiği, Türk bitümlerinden elde edilen karışımların tam homojen olmadığı ve bu yüzden depolama esnasında faz ayrışmasına uğramamaları konusunda çaba gösterilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Şekil 1.2.' de ise kullanılan SBS' in bağ şekilleri ve üç boyutlu görünümüleri verilmiştir.



Şekil 1.2. SBS bağ şekilleri



Şekil 1.3. Üç boyutlu SBS yapısı

1.5. Bitümün Modifikasyonu

1.5.1. Bitümle Uyum

Polimer modifiye bitüm üretimine etki eden faktörler arasında en önemlisi, SBS ile bitüm uyumluluğunun sağlanması ve bunun için de asfalt çimentosunun (AC) kimyasal kompozisyonunun çok iyi bilinmesi gereğidir. Uyumlulukla kastedilen iki farklı faz olan bitüm ve SBS'in karışım oluşturulabilmesi yani SBS'in bitüm içerisinde çözünebilirliğidir. Aksi durumda, modifiye bitümden sonuç almak mümkün değildir. Bu nedenle, modifiye bitüm üretimi öncesinde, asfalt çimentosunun kimyasal testleri detaylı bir şekilde yapılmalı ve SBS ile sağlayacağı uyum aranmalıdır. PIARC tarafından yapılan (Use of Modified Bituminous Binders, Special Bitumens and Bitumens With Additives in Road Pavements) bir çalışmada, "Polimerler (SBS) ile Bitümün reolojik özelliklerinin polimer modifiye bitüm (PMB) üretiminin en önemli safhasını oluşturduğu, SBS miktarı ile modifiye edilecek bitümün asfaltten içeriğinin nihai ürünün elde edilmesinde en önemli rolü oynadığı aksi halde sonucun başarısız olacağı" belirtilerek bu konuya dikkat çekilmiştir.

Ülkemizde sınırlı sayıda yapılan çalışmalardan biri olan TÜPRAŞ tarafından yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre Aliğa rafinerisinde üretilen AC' nin polimerler için uyumlu bir asfalt olmasına karşın, İzmit rafinerisinde üretilen AC' nin modifiye

edilmeden önce diğer reolojik özelliklerinin araştırılması gereği ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde üretilen AC' lerin değişik kaynaklı ham petrolardan üretildiği bilindiğinden, bir rafineriden sağlanan AC' nin kaynağı değiştikçe özelliklerinin de değişeceği unutulmamalıdır.

KGM Araştırma Dairesi'nce Gülay Malkoç tarafından yapılan "Ülkemizde Üretilen AC' lerin Modifikasyona Olan Etkisinin Değerlendirilmesi" konusundaki çalışmada elde edilen sonuçların bazıları şunlardır;

- Ham petrol kökeni üretilen AC' lerin kimyasal yapısını etkilemektedir.
- Farklı kimyasal kompozisyona sahip AC' lerin, penetrasyon değerleri yakın olsa bile, Modifiye Bitüm üretimi sonrası deneylerde oldukça farklı özellikler gösterebilmektedirler.
- Bazı AC fraksiyonları yakın olduğu halde Modifiye Bitüm üretimlerinde "uygunluk" ların farklı olduğu görülmektedir.

Örneğin; %14,6 asfaltten içeriğine sahip malzeme üretiminde "uygun" sonuç verebilirken diğer yanda %13,5 asfaltten içeren malzeme, Modifiye Bitüm için "kalitesiz" AC olarak tanımlanabilmektedir.

Bu çalışmada belirtildiği üzere, Modifiye Bitüm üretimini etkileyen ve kesin olarak sınırlanmayan parametrelerin olduğu göz önüne alındığında, istenilen kalitede bir modifiye bitüm üretiminin yapılabilmesi ve üretim sonrası oluşabilecek olası problemlerin elemine edilmesi açısından, kullanılacak AC kimyasal testlerinin önceden yapılarak üretime daha sonra geçilmesi gerekli görülmektedir.

1.5.2. Isı

SBS ile yapılacak modifikasyon işlemi sırasında diğer önemli faktör ısıdır. SBS'in bitümün içerisinde eriyebilmesi için yüksek ısıya ihtiyaç vardır. Yapılan bir çalışmada, bir polimer modifiye bitümün üç temel bileşeni olduğu ve bunların özel tipte modifiyeye uygun bir bitüm, seçilmiş aromatik yağlar ve parçalanmış formda (küçük yapıda) polimerler olduğundan bahsedilerek karışımın kritik bir sıcaklıkta da yüksek devirdeki değirmenle (high shear) verilmesi gerektiği belirtilmektedir. Modifiye için seçilmiş özel bitümün 230-250°C gibi yüksek bir sıcaklıkta üretildiği, bir ısı çevrim sistemi ile yine uygun bir sıcaklığa getirilen özel bitümün ancak üretimde kullanılabileceği ve polimerlerin genellikle ancak 200°C'nin üzerinde bir sıcaklıkta eriyebildiği vurgulanmaktadır.

Başka bir çalışmada, modifiye edilecek bitümün ön ısıtmasının 200-210°C'ye kadar çıkarılması gerektiği ve bu sıcaklığı sağlayacak ısıtma ünitesinin gücünün 300.000 kcal/h olması gerektiği belirtilmektedir.

Normal bitümle üretilen asfalt karışımlarda gerek duyulan sıcaklıkların maksimum 145- 150°C olduğu dikkate alındığında, modifiye bitüm üretiminde kullanılan sıcaklıkların önemli bir enerji kaybına yol açtığı görülmektedir.

1.5.3. Karıştırma Tekniği

Modifikasyon sırasında SBS'in bitüm içerisine katılması ve tanklarda karıştırma, PMB üretiminin önemli bir halkasını oluşturmaktadır. Yapılan bir çalışmada polimer beslemesinin hızlı ve uygun yapılmaması durumunda, polimerin (SBS) bitümün içerisinde dağılması gerekirken tersi bir durum ile karşılaşmış ve yanlış besleme sonucunda bitümün, SBS'lerin etrafını hızla sararak Ters Modifikasyon'a neden olduğu görülmüştür.

Başka bir çalışmada bitümle SBS'in karıştırma sürecinin üç safhadan oluştuğu ve ilk safha olan karıştırma aşamasında, SBS'in bir tür vida benzeri (eşit miktarda ve dönerek besleme şekli) bir sistemle bitüme verilmesi ve SBS'in topaklanmasının önüne geçilmesi gerektiği belirtilmektedir.

1.5.4. Üretim-Kullanım Arasındaki Süre

SBS'li modifiye bitüm hemen kullanılmak durumundadır. Şantiyede meydana gelebilecek aksaklıklar ve olumsuz hava koşulları nedeniyle üretilen PMB asfalt karışımında hemen kullanılmaz ise bekletilme mecburiyeti doğar. Böyle bir durumda uygulama ıslısının altına düşüleceğinden yeniden kullanım durumunda yani tekrar ısıtılması gerektiğinde kimyasal yapısı bozularak kullanılmaz duruma gelir.

1.6. Kalıcı Deformasyon Oluşumu

Tekerlek izi oluşumu ile diğer yüzey bozukluklarına neden olan kalıcı deformasyon oluşumu, birkaç şekilde tanımlanabilir.

Birincisi kaplamanın altında bulunan tabakaların oturması ile meydana gelen deformasyonlar olup, yapısal oturma olarak adlandırılır.

İkinci kalıcı deformasyon oluşma şekli ise; bitümlü tabakaların bünyesinde oluşan deformasyonlar olup, bitümlü karışımın iç sürtünme trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmeleri karşılayamamasından meydana gelmektedir. Bu tip deformasyonlara, sürekli tekerlek izi oluşumu (flow rutting) denir ve çoğunlukla tekerlek-kaplama temasındaki kayma gerilmelerinin yüksek olduğu rampalar ile kavşak yaklaşımları, kurplar ve otobüs duraklarında görülür.

Üçüncü bir deformasyon oluşumu ise; özellikle Kuzey Avrupa ülkeleri ile bir zamanlar Avrupada kullanılan ve çivili lastik olarak tanımlanan lastiklerin meydana getirdiği aşınma ile meydana gelen tekerlek izi oluşumudur.

1.6.1. Kalıcı Deformasyona Neden Olan Faktörler

Yol yüzeyinde oluşan plastik deformasyon, yüklemeye bağlı olarak ya da çevre etkilerinden, ya da her ikisinden dolayı artabilir. Plastik deformasyon oluşumuna neden olan çevrenin etkileri; nemin etkisiyle genleşen kilin şişmesi ve sonra oturması, çözünabilir tuzların birikmesi ya da kristalleşmesi ile yüzeye zarar vermesi ve termal ya da çekme çatlaklarıdır. Yüklemeye bağlı olarak plastik deformasyon ise, taşıyıcı dolgu tabakasının şekil bozukluğu ya da yerleşmesi ile taşıma kapasitesi yetersizliği sonucu asfaltın yük altında birikmiş deformasyona maruz kalmasıdır. Bazı durumlarda plastik deformasyonların hem yükleme hem de çevreden dolayı olması kaçınılmazdır. Çok nedenli etkilere örnek olarak, trafik yüklemesi, kilin oturmasıyla üstyapı altında nemin birikmesi, killi altyapılarda tekerlek izi oluşması ve nem birikmesiyle dayanım kaybı olması ve yüksek sıcaklık altında bitümlü tabakalarda tekerlek izi oluşumunun artmasıdır.

Shell tarafından yapılan araştırmalarda, üstyapı yüzeyinde zamanla, 2 mm' den az tekerlek izi derinliği gözlenmiştir. Bu değer plastik deformasyon olarak dikkate alınmayacak kadar küçük bir değerdir. İncelenen ağır trafiğe sahip yollarda, bitümlü kaplamalarda tekerlek izi oluşumu, plastik deformasyonun bir sonucudur. Kaplama altında, kum-çakıl temellerde, trafik yükünden dolayı fazla plastik deformasyon görülmemiştir. Doğal zemin ve dolgu temellerin plastik deformasyona hiçbir şekilde etki etmedikleri gözlenmiştir. Ancak, ince kalınlıkta olan bitümlü tabakalarda, plastik deformasyonun ana nedeni, taban zeminindeki plastik deformasyondur.

Plastik deformasyonun esas nedeni ise, aşınma, binder tabakalarının hepsinin ya da birinin stabilite yetersizliği bazen de alt temelin stabilite yetersizliğidir. Gözlemler plastik deformasyona neden olan üstyapı faktörlerinin aşağıdaki gibi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

- Bitümlü üstyapılarda çok fazla tabaka olması ve çeşitli tabakalardaki iri agreganın çok az kenetlenmesi,
- Karışımda çok düşük oranlarda kırılmış agrega içeriği,
- Uygun olmayan tane boyutu dağılımı,
- Boşluk oranlarının çok küçük olması,
- Boşluk/bağlayıcı doluluk oranının çok yüksek olması (özellikle binder ve yol temeli tabakalarında),
- Bağlayıcıların çok yumuşak olması,
- Binder tabakasında kullanılan maksimum dane çapının, şartname sınırlarının çok altında olması.

1.7. Kalıcı Deformasyon ve Çatlama Mekanizmaları

1.7.1. Kalıcı Deformasyon Mekanizmaları

Daha önceki bölümde tekerlek izi oluşumuna neden olan üç ayrı deformasyon mekanizması olan;

- Yapısal tekerlek izi oluşumu
- Bitümlü tabakalarda sürekli tekerlek izi oluşumu ve
- Yıpranmaya dayalı tekerlek izi oluşumuna değinilmişti.

Bu bölümde ilgili maddeler konu başlıkları altında incelenmektedir.

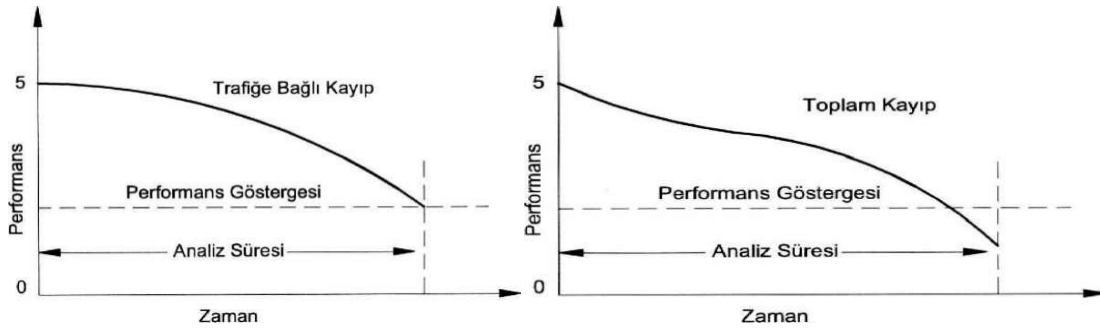
1.7.1.1. Yapısal Tekerlek İzi Oluşumu

Bu tip tekerlek izleri, kaplamanın altında bulunan tabakaların oturması ile meydana gelen deformasyonlar olup, yapısal oturma olarak adlandırılırlar.

Yapısal deformasyon oluşumu, başta yanlış üstyapı tasarımı olmak üzere, yetersiz sıkışma, kötü drenaj ve özellikle temel tabakasının dayanıksız olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.4. Tekerlek izinde yapısal oturma örneği



Şekil 1.5. Kaplama performans eğrileri

Yapısal tekerlek izi oluşumu genellikle, gerçekteki trafik koşullarına uygun olmayan şekilde tasarlanmış kaplamalarda gözlenmektedir. Bu durum aynı zamanda; uygun olmayan veya yanlış olarak serilmiş malzemelerden, (örnek, yetersiz derecede sıkıştırılmış malzemeler), uygunsuz drenajdan, donma ve erime etkilerine karşı başarısız tasarım yönteminden ve aslında kaplamadaki taban altı zemini ile diğer tabakaların taşıma kapasitesini hizmet ömrü süresince etkileyebilecek her şeyden kaynaklanabilmektedir. En tipik durum; muhtemelen başlangıçta iyi şekilde tasarlanmış fakat trafik koşulları beklenenden daha agresifleşmiş olmasından ötürü problemler yaratan kaplamalardır. Bu durum için başvuru olan çözüm güçlendirme olup, bu amaçla mevcut kaplamanın kalıcı taşıma kapasitesinden sorumlu tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Bu taşıma kapasitesi genellikle, belli bir yük altında yüzey sapmasından yararlanılarak belirlenmektedir.

1.7.1.2. Sürekli Tekerlek İzi Oluşumu

Bu tekerlek izi şekli ise, bitümlü tabakaların bünyesinde oluşan deformasyonlar olup, bitümlü karışımın iç sürtünmesinin, trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmeleri karşılayamamasından meydana gelmektedir.

Bu tip deformasyonlara, sürekli tekerlek izi oluşumu (flow-rutting) denir ve çoğunlukla tekerlek-kaplama temasındaki kayma gerilmelerinin yüksek olduğu rampalar ile kavşak yaklaşımları, kurplar ve otobüs duraklarında görülür. Sürekli tekerlek izi oluşumu, yapısal nedenlerden çok karışım tasarımı ile ilgilidir. Karışım tasarımının yanında bitümlü karışımın uygun bir şekilde serme ve sıkıştırma işlemi, ikinci önemli faktördür. Bu şekilde oluşan tekerlek izinin tek çözümü, kaplamanın kazılarak yerine serme yapılmasıdır. Ancak mevsim koşullarının uygun olmadığı durumlarda, yüksek yerlerin asfalt freze makinesi ile tıraşlanarak düzeltilmesi de geçici bir çözüm olarak kabul edilebilir.

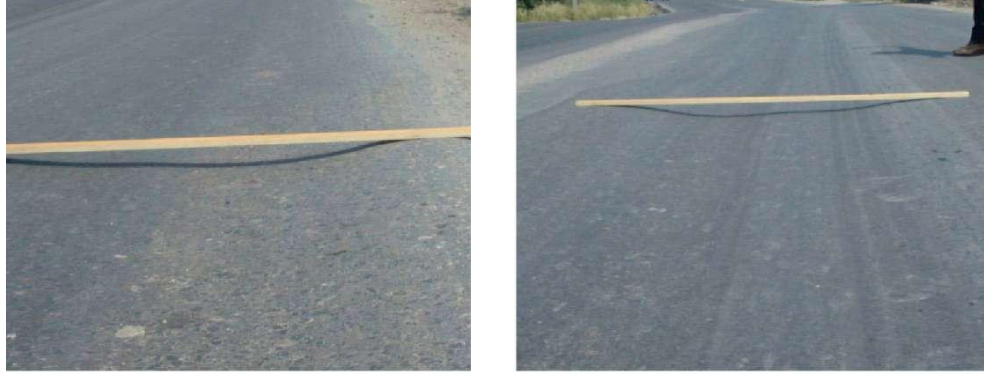
Bu tür tekerlek izi oluşumu yapısal tasarımdan daha çok karışım tasarımı ile ilişkilidir. Konuyla ilgili faktörler, çeşitli bileşenlerin özellikleri, karışım içersindeki oranları ve serme işlemidir.

Onarım amaçlı olarak, bu durumdaki tek geçerli çözüm etkilenen tabakayı yeni malzemeler ile veya merkezi bir santralde ya da arazide düzeltilmiş ve geri kazanılmış malzemeler ile değiştirmektir.

1.7.1.3. Yıpranmaya Dayalı Tekerlek İzi Oluşumu

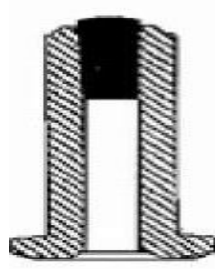
Üçüncü bir deformasyon oluşumu ise; özellikle Kuzey Avrupa Ülkeleri ile bir zamanlar Avrupa'da kullanılan ve çivili lastik olarak tanımlanan lastiklerin oluşturduğu aşınma ile meydana gelen tekerlek izi çeşididir.

Kaplamanın yıpranması sonucunda tekerlek izi oluşumu, kış aylarında kullanılan metal parçalar içeren lastiklerden kaynaklanmaktadır. Bu durum daha özel olarak İskandinav ülkelerinde görülmekte olup, ele alınması gereken ana parametre agrega sertliğidir.



Şekil 1.6. Tekerlek izi oluşumlarına örnekler

İlk hasar olayının gözlenmesinin ardından metal parçalı lastiklerin kullanımının kısıtlanması veya yasaklanması ile birlikte, bu mekanizma daha az rastlanılır hale gelmiştir.



Şekil 1.7. Genel bir tekerlek çivisi görünümü



Şekil 1.8. Çivili lastik görünümü (studded tire)



Şekil 1.9. Çivili lastiklerin yol üzerindeki hasarları

1.8. Çatlama Mekanizmaları

Çatlamada, asfaltın çekme mukavemeti en önemli rolü oynar. Hızlı yüklemelerde ve soğuk havalarda çekme mukavemeti artış gösterirken yavaş yüklemelerde ve sıcak havalarda düştüğü bilinmektedir.

Bitümlü tabakalarda dört çatlama mekanizması söz konusudur;

- Trafik yüklerinden kaynaklanan tekrarlı gerilmelerden (veya uzamalar) dolayı yorulma çatlama
- Sıcaklıktaki günlük değişimlerden kaynaklanan tekrarlı gerilmelerden (veya uzamalar) dolayı yorulma çatlama
- Bitümlü tabakanın engellenmiş büzülmesinden dolayı termal çatlama
- Alt tabakalardaki çatlakların yayılmasından ortaya çıkan çatlamlar (beton yollar üzerindeki üst tabakalarda ve yarı rijit yapılarda).

1.8.1. Yorulma Çatlama (Yükler)

Bitümlü tabakaların eğilme durumundaki çekme yorulma mukavemetleri, yapının kendisi yanında karışım ve yapısal tasarıma da bağlıdır.

Yükten kaynaklanan yorulma çatlama, bitümlü tabakaların uygun şekilde yapısal tasarım ve doğru karışım tasarımı ile engellenebilmektedir.

1.8.2. Yorulma Çatlaması (Sıcaklıktaki Değişimler)

Bu mekanizma, yaratılan gerilmelerin (veya uzamaların) kökeni haricinde bir önceki madde ile aynı türdedir. Kökendeki bu faktörler ise yükten kaynaklanan gerilmelerle birlikte sıcaklıktaki periyodik (özellikle günlük) değişimlerdir.

Bu problemin yarattığı zararlı etki, karışımın dikkatli şekilde tasarlanması, doğru bağlayıcı seçilmesi ve yapının uygun şekilde tasarlanması ile giderilebilmektedir.

1.8.3. Termal Büzülme Çatlaması

Bu mekanizma esas olarak çok soğuk iklime sahip ülkelerde rastlanılmaktadır. Bu problemler, sıcaklık derecesindeki ani değişimlerden ötürü bitümlü tabakaların engellenmiş büzülmesi ve bu değişimler sonucu aynı zamanda ortaya çıkması muhtemel olan ve malzemenin mukavemetini aşan çekme gerilmelerinden kaynaklanmaktadır.

Bu tür çatlama karşı direnç elde etmek için karışım tasarımı ve esas olarak bağlayıcının özellikleri üzerinde durulmalıdır.

1.8.4. Alt Tabakalarda Çatlakların Oluşumu ve Yayılması

Bu durum, yarı rijit kaplamalarda (yol tabanının çimentolu bir bağlayıcı içerdiği kaplamalar) ve çimento betonu kaplı yollar üzerindeki bitümlü üst tabakalarda ortaya çıkmaktadır.

Bu probleme karşı getirilecek çözüm bitümlü karışımların dizaynı, kaplamaların onarılacak olması durumunda çatlak yayılımını kısıtlayacak sistemlerin kullanımı, yapının dizaynı (özellikle, yarı rijit kaplamalarda çimentolu bir bağlayıcı içeren bir tabakanın yorulma tasarımı) ve metal veya polimer takviyeli ızgaralar ya da yeni inşa edilmiş kaplama durumunda modifiye bağlayıcılar kullanılabilir.

1.9. Kalıcı Deformasyonun Sızdırmazlık Üstündeki Etkisi

Sızdırmazlık elemanları imalatında yaygın olarak kullanılan Elastomer ve Plastomer malzemeler farklı kalıcı deformasyonlara sahip olup, uygulama şekli ve çalışma

ortamlarına bağılı olarak büyük farklılıklar gösterirler. Olası problemler, aşamalı olarak ele alınarak, aşağıda belirtilen bilgi akışı yardımıyla çözüme ulaştırılabilir.

- 1- Kalıcı deformasyon tarifi ve hesap yöntemi
- 2- Elastomer ve Plastomer malzemelerde kalıcı deformasyon farklılığı
- 3- Sıcak ortamda kalıcı deformasyon
- 4- Soğuk ortamda kalıcı deformasyon
- 5- Profil ve malzeme seçiminin kalıcı deformasyon üstündeki etkisi
- 6- Hacimsel değişiklikler ve alınacak önlemler
- 7- Malzeme sertlik etkisi
- 8- Kompozit elemanlarda kalıcı deformasyon
- 9- Zorunlu malzemeleri doğru kullanma yöntemleri

1.9.1. Kalıcı Deformasyon Tarifi Ve Hesap Yöntemi

Belli bir sıcaklıkta, belli bir zaman boyunca belli bir sıkışmaya tabii tutulmuş çalışma ortamı hava olan malzemenin, sıkıştırma işlemi sona erdikten sonra yüzde cinsinden deformasyona kalıcı deformasyon adı verilir.

Yuvasında sıkışmaya maruz bir o-ring bir süre sonra kalıcı deformasyona sahip olur. Sızdırmazlık yüzeyine uyguladığı kuvvette bir düşüşü gözlenir. Bu kuvvet düşüşü sızmalara neden olabilir. Kalıcı deformasyonu az olan malzemeler sızdırmazlık için elverişli malzemelerdir ancak bulundukları ortam şartları, seçilen malzeme sertliği ve geometrik yapıları göz önüne alınması gereken noktalarlardır.

1.9.2. Elastomer Ve Plastomer Malzemelerde Kalıcı Deformasyon Farklılığı

Elastomer malzemeler, baskı altında tutulduktan sonra eski boyutlarına ulaşmaya gayret ederler buna karşılık Plastomer malzemelerde bu özellik yok denecek kadar azdır.

Kimyasal ortama dayanıklılıkları nedeniyle tercih edilen plastomerlerin başında PTFE - Teflon gelir ancak kalıcı deformasyonu fazladır. Mecbur kaldıkça kullanılan PTFE o-ring ve contalar belli bir süre sonra sızdırmazlık açısından sakıncalar doğururlar. Bu malzemelerin doğru kullanım şekilleri daha sonraki bölümlerde yer verilecektir.

1.9.3. Sıcak Ortamlarda Kalıcı Deformasyon

Sıcak ortam kalıcı deformasyonu uzun vadede kötü yönde etkiler. Bunun nedeni sıcaklık arttıkça ilk aşamada malzeme sertliği azalır ancak sürekli sıcak ortamda kalan malzeme sertleşmeye ve kırılgan bir karakter almaya başlar, malzemenin bu periyodu hem sızdırmazlık hem de kalıcı deformasyon açısından çok tehlikelidir.

Kısa aralıklarla oluşan ortam sıcaklığı kalıcı deformasyon açısından sorun yaratmaz. Yumuşayan malzeme elastikiyetini koruduğu için yüzeydeki baskı kuvvetinde aşırı bir azalma olmaz.

1.9.4. Soğuk Ortamlarda Kalıcı Deformasyon

Soğuk ortamlarda kalıcı deformasyon etkisi daha tehlikeli boyutlardadır. Sıcaklık azaldıkça elastomer malzemelerin sertliği artar ve malzemeler elastik özelliklerini kaybederek yüzeye uyguladıkları baskı kuvvetini azaltırlar. Sıcaklık düşüşü devam etmesi halinde, malzeme sertliği artarak belli bir sıcaklıkta malzeme cam gibi kırılgan bir duruma gelir.

Yağa dayanıklı elastomerler genellikle düşük sıcaklıklarda daha az elastikiyete sahiptirler. Buna karşılık yağa dayanıklı olmayan elastomerler düşük sıcaklıklarda elastikiyetlerini korurlar.

Yağa dayanıklı elastomerler düşük sıcaklıklarda elastikiyetlerini katkı maddeleri yardımıyla koruyabilirler. Ancak katılan bu maddelerin kristalizasyon özelliğine önemle dikkat edilmesi gerekir. Düşük sıcaklıklarda kristalize olan katkı maddesi elastomeri rijit hale sokabilir.

1.9.5. Profil Ve Malzeme Seçiminin Kalıcı Deformasyon Üstündeki Etkileri

Sızdırmazlık fonksiyonu, bu amaç için kullanılan elemanın yüzeye yeterli kuvvet uygulaması halinde gerçekleşebilir. Sızdırmazlık kuvvetleri iki bölümde incelenir.

F1: Ön sızdırmazlık baskı kuvveti.

Sistem basıncının '0' olması halinde sızdırmazlık elemanının yüzeye uyguladığı kuvvettir. Bu kuvvetin yeterli olmaması halinde sızdırmazlık sağlanamaz. Kalıcı deformasyon, malzeme sertliği ve eleman geometrisi bu kuvvetleri etkiler.

F: Sistem sızdırmazlık baskı kuvveti.

Sistem çalışma basıncına geçtikten sonra sızdırmazlık elemanının yüzeye uyguladığı kuvvettir. Bu kuvvetin sızdırmazlık için yetersiz olması söz konusu değildir çünkü sistem basıncı mevcut F1 kuvvetine ilave kuvvet oluşturur. Sızdırmazlık elemanının geometrisi oluşacak bu kuvvetin büyüklüğü üstünde rol oynar. Bu kuvvetin artması halinde dinamik yüzeylerle temas eden noktalarda aşınmalar başlar.

F1 ön baskı kuvvetinin yeterli düzeyde olması için dikkat edilecek noktalar;

- Özellikle soğuk ortamlarda kalıcı deformasyonu ve sertlik değişimi az olan malzeme seçimine gitmek
- Kalıcı deformasyonu yüksek olan malzeme kullanımı zorunlu olması halinde yardımcı malzemelerden faydalanarak kalıcı deformasyon etkisini mümkün oranda azaltmak
- Eleman dudak yapısı ve profil yardımıyla yeterli ön baskı kuvveti elde etmek
- Basınca duyarlı profil seçmek
- Kalıcı deformasyonu fazla olan malzemelerde hacimsel sıkışmaya maruz kalacak kesitlerden kaçınmak
- Özellikle Poliüretan malzemelerde profil ve dudak seçimine dikkat etmek

1.9.6. Hacimsel Değişikliklerin Etkisi

Akışkanlara temas eden elastomer elemanlar hacimsel olarak değişikliğe uğrarlar. Şişme veya büzülme şeklinde kendini gösteren bu değişiklikler elastomer malzemenin sertlik ve kalıcı deformasyonunu farklılaştırır.

Şişme olayında malzeme sertliği azalır, kalıcı deformasyon artmaz. Hacimsel genişleme yüzey baskı kuvvetini artı yönde etkiler bu nedenle sızdırmazlık açısından bir sorun yaşanmaz. Büzülmenin nedeni malzemede oluşan hacimsel kayıplardır. Sızdırmazlık ön baskı kuvvetini eksi yönde etkiler ve sızmalara neden olabilir. Büzülme oranı düşük malzemeler tercih edilmeli, sıkıştırma oranı artırılarak baskı kuvveti istenilen düzeye çıkarılmalıdır.

1.9.7. Malzeme Sertlik Etkisi

Elastomer malzemelerin baskı kuvveti, kullanılan malzemenin sertliğine, baskı altındaki kesitine ve sıkıştırma oranına bağlıdır. Sertlik özelliğinden kaynaklanan problemler genellikle düşük basınç ve düşük sıcaklıklarda ortaya çıkar ve baskı kuvvetini etkileyerek sızmalara yol açar.

Düşük basınçlı ortamlarda yumuşak malzeme kullanılmalıdır. Malzemenin basınca cevap vermesi ve sızdırmazlığı sağlayacak baskı kuvvetini oluşturması ancak bu şekilde mümkün olabilir. Ancak malzemelerin kataloglarda belirtilen sertlikleri, oda sıcaklığındaki sertlikleridir ve sıcaklığın düşmesi halinde büyük farklılıklar gösterebilirler. Sertleşen malzemenin düşük basınçlara cevap vermesi mümkün değildir.

Oda sıcaklığında 70 Shore A olan malzeme -30 C‘ da 85 Shore A olur, bu sertlik düşük basınç ortamı için elverişsizdir. Seçilecek 50 Shore A sertlikte bir malzeme aynı ortamda 70 Shore A’ ya ulaşır ve sızdırmazlık fonksiyonunu yitirmez.

Sıcaklığın artması durumunda malzeme sertliği azalır ve baskı kuvvetinde düşüşler kaydedilir. Ancak yumuşayan malzeme hacimsel olarak genişler, bu genişleme baskı kuvvetini pozitif yönde etkiler ve sızdırmazlıkta sorunu yaşanmaz.

1.9.8. Zorunlu Malzemeleri Doğru Kullanma Yöntemleri

Çeşitli sızdırmazlık uygulamalarında, malzemelerin kalıcı deformasyonunun düşük olması, çalışma şartlarına bağlı olarak yetersiz kalabilir. Bu nedenle diğer özellikleri ön plana çıkar. Ancak bu malzemelerin kullanımı yardımcı elemanların varlığıyla mümkün olabilir.

Değişik çalışma ortamlarına göre uygun malzemeler;

Sürtünme: Poliüretan, Teflon

Yüksek basınç: Poliüretan, Teflon, plastik

Yüksek sıcaklık: FPM (Viton), Kalrez, Teflon

Korozif ortam: Teflon, EPDM, Kalrez

Yüksek hız: Teflon

Birinci prensip, kalıcı deformasyonu yüksek malzemeleri sürekli baskı altında tutacak kesitlerden kaçınmak.

F1 ön baskı sızdırmazlık kuvvetini yeterli seviyede tutacak yardımcı elastomer elemanlardan faydalanmak.

Elastomerlerin yetersiz kalacağı çok sıcak ve korozyif ortamlarda özel yay sistemlerinden faydalanarak ön baskı kuvveti oluşturmak.

Elastomerlerin yetersiz kaldığı kimyasal ve korozyif ortamlarda kaplama (Capsulated) o-ring kullanmak gerekir. Kaplama malzemesi PTFE veya FEP, kimyasal dayanım, sürtünme ve yapışma açısından üstün özelliklere sahip malzemelerdir ancak yeterli elastikiyete sahip değildir.

Sonuç olarak çalışma şartlarına uygun malzeme ve profil seçimiyle kalıcı deformasyon konusu korkulacak bir konu olmaktan çıkar ve kontrol altında tutulabilir. Ancak soğuk tabiat şartlarına sahip bölgelerde basınçlı sistemlerin devreye giriş anında oluşabilecek kaçaklar göz önünde tutulmalı. Soruna, verilen bilgiler ışığında kademeli olarak yaklaşarak çözüm üretilmelidir.

1.10. Sürekli Tekerlek İzi Oluşumu için Bitümlü Tabakalarda Ana Parametreler

1.10.1. Arazi Gözlemleri Sonuçları

Dış nedenlerden ötürü bitümlü tabakalardaki sürekli tekerlek izi oluşumunun yaygınlaşması sonucunda bu problemi kontrol altına almak amacıyla hemen hemen bütün ülkeler çeşitli önlemler getirmiştir. Kullanılan yöntemlerden birisi de sürekli tekerlek izi oluşumuna neden olan parametrelerin gözlemlenmesi ve analiz edilmesidir.

Farklı ve değişken yöntemlere göre tasarlanmış ve farklı iklimsel bölgelerde kullanılan çeşitli sayıdaki karışımlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda birbirine benzer sonuçlar bulunmuş, bitüm ve mastiğe (bitüm + filler) ilişkin parametrelerin önemli olmasına rağmen diğer karışım bileşenleri ve serme işlemine (kompozisyonun homojenliği, kompaksiyon) ilişkin parametrelerin de çok önemli rol oynadıkları görülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Büyük oranda maksimum parçacık boyutu ile yüksek mikro pürüzlülüğün yanında olabildiğince kübik şekle sahip sert parçalanmış agregalar kullanılmalıdır. Agregaların kırılmış yüzey sayısı (parçalanma oranı) arttıkça tekerlek izi oluşumuna karşı

direnç de artmakta olup, tekerlek izi deneylerinde %50 ila %100 arasında bir farklılık açık şekilde gözlenebilmektedir.

- Yuvarlak kumların kullanımı kısıtlanarak parçalanmış kumlardan yararlanılmalıdır.

- Tabakanın stabilitesini etkilemeksizin kolayca serilmesine olanak tanımak sureti ile bitümlü tabaka için gerekli olan fonksiyona uygun derecelendirmeler kullanılmalıdır.

- Temiz malzemeler kullanılmalıdır.

- Aşırı derecede bitüm (mastik) doldurulmasından kaçınılmalıdır. Aksi halde mineral iskeletin yer değiştirme problemi ortaya çıkacaktır.

- Bağlayıcının sıcaklığa karşı hassaslığı ile mastik sertliği kontrol edilmelidir.(bağlayıcı ve dolgu maddesinin özellikleri, oranlama)

- Serme işlemi sırasında kompozisyonda değişiklikler olmasından kaçınılmalı ve sıkıştırma işlemi dikkatli şekilde oluşturulmalıdır.

İlk dört sonuç kuvvetlerin transferinde, parçacık başına temas sayısının ve parçacıklar arası sürtünmenin olabildiğince fazla ve dayanıklı olmasına çalışılarak mineral iskeletin kararlı ve etkin olmasını sağlamaya yöneliktir. Bunu başarmak amacıyla dikkatli şekilde kontrol

- Edilen yüksek kaliteli malzemeler kullanılmalıdır.

- Bu koşulları sağlayan malzemelerin ve kullanılan farklı boyuttaki parçaların oranlarının seçimi karışımın mineral iskeletindeki boşluk oranı yüzdesini doğrudan etkilemektedir (bağlayıcı veya mastik için elverişli boşluklar). Bundan ötürü kolayca anlaşılabilceği üzere bu boşlukların aşırı şekilde doldurulması tavsiye edilmemekte olup (beşinci sonuç), aksi takdirde mineral iskeletin kuvvetlerin transfer edilmesindeki etkinliği azalacak ve sıcaklık değişimlerine hassas olan karışım kısmı sürekli tekerlek izi oluşumuna karşı dirençte daha büyük bir rol oynayacaktır.

- Dolayısıyla, sıkıştırılmış bir karışım içerisindeki agregalar arasındaki boşluklar ile saptanan doldurma derecesi başrolü oynamaktadır. Bu durum, düşük derecede boşluk yüzdesine sahip karışımların, bu düşük boşluk yüzdesinin aşırı doldurmadan kaynaklanmasından ötürü tekerlek izi oluşumuna karşı niçin daha az dirençli olduklarının nedenini ortaya koymaktadır (çalışabilirliğin artması ve sızdırmaz bir giydirme tabakasının elde edilmesinin kolaylaşması cazip gelse de durum oldukça tehlikelidir).

- Karışımın kohezyonu ve sızdırmazlığının sağlanmasında bağlayıcı ve mastiğin rolünün kısıtlanması arzu edilse bile, bu bileşenler sıcaklığa hassas özellikleri ile birlikte,

doldurma derecesi doğru olduğunda kendi rijitliklerini tekerlek izi oluşumuna karşı direnç olarak kullanmaktadırlar. Bu durum altıncı sonuçta açıklanan ve bu bileşenlerin özellikle sıcaklıktaki ani değişiklikler altında, serme ve hizmet koşulları süresince karışımın performansını doğrudan etkileyen özellikleri ile ilişkilidir.

- Homojen kompozisyon ile efektif kompaksiyon yalnızca karışımın sürekli tekerlek izi oluşumuna karşı direncine katkıda bulunmaktadır. Bu kurala yapılan herhangi bir ihlal yüzey düzensizlikleri sonucunu doğuracaktır (enine ve boyuna düzensizlikler).

1.10.2. Mekanik Deney Sonuçları

Bitümlü karışımlar sürekli tekerlek izi oluşumuna karşı direncinin araştırılması amacıyla kullanıldığında, bu deneyler arazi gözlemlerinden elde edilen sonuçlara sayısal kanıtlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu deneyler, alternatif karışım kompozisyonlarının sayısal açıdan karşılaştırılmasında kullanılan yararlı araçlar konumundadır. Buna ek olarak, saptama deneyleri, teorik ve yarı teorik performans tahmin modellerinde kullanılabilen bazı doğal karışım özelliklerine erişim kazandırmaktadır. Bütün bunlara ilave olarak not edilmesi gereken diğer bir husus da, arazide hangi kompozisyonların kullanılması gerektiğinin ortaya konulması amacıyla karışım tasarım yöntemlerine bazı deneylerin dahil edilmiş olmasıdır (özellikle Marshall deneyi). Bu tür uygulamalarda, laboratuarda hazırlanmakta olan briketin yolda serilecek olan gerçek karışımı ne kadar temsil ettiği konusu üzerinde durulmalı ve laboratuarda gözlenen davranışın gerçek arazi performansını ne derecede yansıttığına odaklanılmalıdır. Bu hususun göz ardı edilmesi durumunda başarısızlık ihtimali yükselecektir.

1.11. Tekerlek İzi Oluşumunun Sakıncaları

Tekerlek izi oluşumu, yolu kullananlar için de ciddi bir güvenlik meselesidir. Su tekerlek izlerinde biriktiğinde, su yastığı olayı için potansiyel oluşturur. Su yastığı olayı, kaplama ile lastik arasında ince bir su tabakası oluşması ve bunun neticesinde lastiğin yüzeye temasını kaybetmesidir. Bu olay direksiyon hakimiyetinin kaybedilmesiyle sonuçlanabilir. Aynı şekilde şerit değiştirme durumunda da aynı sorun yaşanabilmektedir.

Yüzey özellikleri söz konusu olduğunda, bu özelliklerin sağlanması gerekliliği yanında unutulmaması gereken diğer bir husus da lastiğin kaplamayı iyi bir şekilde

kavramasından ayrı olarak, enine düzgünlüğün çok önemli bir faktör olduğudur. Tekerlek izleri bulunan bir yolun gerçekte, yalnızca konfor değil aynı zamanda güvenlik açısından da çeşitli sakıncaları vardır.

- Şerit değiştirme esnasında araç kontrolü zorlaşır.
- Tekerleğin izlediği hat üzerinde, kayma ve buz oluşumuna neden olan su birikintileri oluşur.
- Kötü havalarda daha uzun fren mesafeleri olur.

Bitüm kaplamalı yolları etkileyebilecek asıl problem mekanizmaları; bir taraftan boyuna profil düzensizlikleri ve özellikle tekerleğin geçtiği güzergahlarda (tekerlek izleri) enine profil deformasyonu ile kendini gösteren kalıcı deformasyon mekanizmaları ile diğer taraftan da bir kaplamanın sızdırmazlığı ile birlikte taşıma kapasitesini de azaltan çatlama mekanizmasıdır.

Sonuçtaki kusurların yolu kullananların konfor ve güvenliği üzerinde ortaya çıkardığı ters etkiler, yol yapılarının ve tabakaların, yüzey özelliklerinin kaplamanın tahmin edilen hizmet ömrü boyunca belirli bir eşik değer altına düşmesinin önleneceği şekilde tasarımı gerekli kılmaktadır.

1.12. Başlıca Laboratuvar Sıkıştırma Teknikleri

Asfalt karışımlar laboratuvarlarda farklı yöntemlerle sıkıştırılabilirler. Superpave yoğurmalı pres tekniği, Hveem sıkıştırma tekniği ve Marshall sıkıştırma tekniği en sık kullanılan yöntemlerdir.

1.12.1. Superpave Yoğurmalı Pres Tekniği

Bu metotta imal edilen presin belli başlı birkaç özelliği mevcuttur. Bunlar; standardın öngördüğü basınç, dönme işlemi ve aç tıbbikinden ibarettir. Yoğurmalı preste; 150 mm iç çapında, 200 mm yüksekliğinde kalıplar, dakikada 30 devir yapmayı sağlayan motor düzeneği, sıkıştırma esnasında sabit kalacak şekilde 600 kPa (6 kg/cm^2) basınç uygulayan hidrolik sistem ve yatayda 1,25 derecelik aç uygulayacak düzenek mevcuttur. Bunları yerine getirmek için 150 ve 220 kWatt'lık iki motor monte edilmiştir. Sıkıştırma esnasında basıncı gösteren 40 bar göstergeli bir manometre de prese takılmıştır. Superpave karışım tasarım metodunun amaçlarından birisi yoğurma esnasında karışımın yoğunluk

bilgilerini elde etmektir. Bunun için her devirde sıkışma miktarını yani numune boyunu ölçebilecek bir düzeneğe ihtiyaç vardır. Bunu yerine getirmek için pres üzerinde bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir (Kuloğlu ve Namlı, 2005).



Şekil 1.10. Yoğurmalı pres

1.12.2. Hveem Sıkıştırma Yöntemi

Hveem metodu amerikan karayolları teşkilatı tarafından kullanılmakta olan şekli ile ancak maksimum dane büyüklüğü 1 inç(2,54cm) olan agregası sıvı asfalt veya penetrasyon asfaltı kullanılarak hazırlanacak kaplama karışımları için kullanılır. Bu metod sıcak karışım asfalt kaplamaların arazi kontrolünde ve laboratuvar dizaynı içinde kullanılabilir. Hveem metodunda 2,5 inç(6,35cm) yüksekliğinde ve 4 inç(10,16cm) çapında deney numuneleri kullanılır. Bu numuneleri yapmak için asfalt agregası karışımı özel şekilde ısıtılır, karıştırılır ve tokmaklanır. Hveem metoduyla karışım dizaynı için istenen temel özellikler şu deneylerle bulunur. Agregaya karışacak asfalt miktarını takribi bulmak için bitüm deneyi yapılır. Sonra bunu sıkıştırılmış kaplama karışımları ile hazırlanmış numuneler üzerinde stabilometre, şişme kohezyometre ve yoğunluk boşluk analizi deneyleri takip eder. Stabilometre deneyinde, sıkışmış karışımın dikey yük tatbiki altında yatay olarak yerinden oynatılmaya karşı gösterdiği direnci ölçmek için özel bir üç eksenli deney düzeneği kullanılır. Kohezyometre deneyiyle sıkıştırılmış karışımın kopma direnci ölçülür (URL-1, 2005).

1.12.3. Marshall Sıkıştırma Yöntemi

Agrega, mineral filler ve bitümlü bağlayıcının sıcaklıkları, karıştırma sıcaklığına gelinceye kadar ısıtılır. Bitümlü bağlayıcı ve agregalar bir mala veya mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılır ve bu işlem mümkün olduğu kadar çabuk tamamlanır. Karıştırmanın sonucunda, karışımın sıcaklığı grafikte bulunacak sıkıştırma sıcaklığı alt limit değerinin altına düşmemelidir. Şayet sıcaklık, bu değerin altına düşmüşse karışım atılmalı ve işlem tekrarlanmalıdır. Karıştırma sırasında ve karıştırmadan sonra malzemenin yeniden ısıtılmasına müsaade edilmemelidir. Ayrıca karışım hazırlanma süreci devam ederken diğer taraftan sıkıştırma tokmağı ve sıkıştırma kalıbının iç yüzü temizlenmeli ve bir etüvde 93–147°C ye kadar ısıtılmalıdır. Isıtılmış kalıp taban levhası üzerine yerleştirilerek içine 10.16 cm çapında filtre kâğıdı konulmalıdır. Karışım, sıkıştırma kalıbı içine yerleştirilerek ısıtılmış bir demir çubuk ile 25 defa şişlenir, kalıp içindeki numune üzerine 10,16cm çapında filtre kâğıdı konulur ve sıkıştırmaya geçilir. Sonra 45,72cm (18 inch) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne trafik değeri 100 psi lastik basıncı olması için 50 darbe, trafik değeri 200 psi lastik basıncı olması için 75 darbe vurulur. Numuneler sıkıştırıldıktan kısa bir müddet sonra kalıptan çıkarılarak, düz bir yüz üzerine dikkatlice konur ve oda sıcaklığında bir gece soğumaya bırakılır. Sıkıştırılmış numunelerin yüksekliği $6,35 \pm 0,8\text{cm}$ olmalıdır (Ceylan, 2006).



Şekil 1.11. Marshall sıkıştırma düzeneği

1.13. Marshall Deneyi

Marshall deneyi, TCK şartnamelerinde tanımlanan ve kullanılan stabilite deneyidir. ASTM D1559 standardına göre uygulanan deneyin yapılması sırasında her bir bitüm yüzdesinde üç adet standart briket hazırlanır. Marshall cihazı yardımıyla, bitümlü karışımın plastik akmaya karşı stabilitesi elde edildikten sonra hesaplamaya geçilir, asfalt çimentosu yüzdesine bağımlı olarak pratik birim ağırlık, stabilite, asfaltla dolu boşluk, boşluk yüzdesi ve akma ilişkileri belirlenir. Bulunan değerler şartname değerleri ile kontrol edilerek optimum asfalt yüzdesi bulunur (Lee, 1936).

Ülkemizde ve diğer birçok ülkede bitümlü kaplama karışımlarının dizaynında kullanılan Marshall metodu, maksimum dane boyutu 2,54cm (1 inch) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanan sıcak karışımlara uygulanır.

Marshall metodu ile hazırlanan sıcak karışım dizaynı aşağıdaki işlem sırasına göre yapılır.

- Agrega gradasyonunun belirlenmesi
- Agrega ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi
- Agrega ve bitüm miktarlarının hesabı
- Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar
- Stabilite ve akma değerlerinin bulunması
- Optimum bitüm miktarının belirlenmesi

Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir (Aren Cleven, 2000).

- Her bir bitüm yüzdesi için en az 3 briket hazırlanacaktır. O nedenle her brikette kullanılacak agrega miktarı toplam briket sayısına göre ayrı ayrı kaplara doldurularak 24 saat bekletilmek üzere 165°C'lik etüve konulur.

- Kullanılacak asfalt çimentosu etüve konularak 165°C'ye kadar ısıtılır.
- Deneyde kullanılması gerekli olan mikser kabı, Marshall tokmağı, briket kalıbı, pala, kürek vb aletler de 165°C'lik etüvde ısıtılır.

- 165°C'lik etüvde ısıtılmış olan agrega yine 165°C'lik etüvde ısıtılmış olan karıştırma kabına boşaltılır ve kuru olarak karıştırılır. Bu şekilde hazırlanan agrega içerisine bir çukur açılır ve agrega ağırlığına göre karışımın içerisine konulması gereken asfalt miktarı açılan çukura ilave edilir.

- Asfalt çimentosunun agrega içerisinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlamak maksadıyla karıştırma işleminin mekanik bir karıştırıcı ile veya kürek kullanarak elle mümkün olduğu kadar çabuk ve iyi bir şekilde yapılması gerekir.

- Karışım, kalıba boşaltılır ve ısıtılmış bir spatula ile iç kısımlarından 10 kez, çevresinden 15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirilir. Sonra 45,7cm (18 inch) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne dizayn trafik sınırlamasına göre belirlenen 35,50 veya 75 darbe uygulanarak sıkıştırma yapılır.

- Sıkıştırılan numuneler numaralandırılır ve kalıpla birlikte soğumaya bırakılır. Daha çabuk bir soğutma istendiğinde masa vantilatörü kullanılabilir.

- Numune kalıptan kriko ile çıkarılır ve düzgün bir yüzey üzerine konulur, numuneler, normal olarak bir gece soğumaya bırakılır.

1.13.1. Briketlerin Yüksekliklerinin Belirlenmesi

Standart briket yüksekliği 63.5mm olup mukavemet değeri bu standart yüksekliğe göre değerlendirilir. Standart briket yüksekliğine karşılık gelen katsayı 1'dir. Yüksekliğin 63,5mm den büyük olduğu durumda bu katsayı azalır, 63.5mm den küçük olduğu durumda yükselir. Briketin ölçülen stabilitesi ile numunenin yüksekliğine bağlı katsayının çarpımı, 63,5 mm yüksekliğindeki (standart) brikeye göre düzeltilmiş stabilite değerini verir. Bunun için bir setteki her briketin değişik yerlerinden üç okuma alınır ve bu okumaların ortalaması briket yüksekliği olarak Marshall deney formuna kaydedilir (Şengül, 2006).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu kısımda, çalışmada kullanacağımız malzemeler, malzemelere uygulanan deneyler, karışımlara uygulanan performans deneyleri ve deney sonuçları sunulmuştur.

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılacak agregalar Trabzon Araklı- Dağbaşı mevkiinden alınan kayaçların Doğuş&Polat Ortak Girişimi Araklı şantiyesinde bulunan konkasörde kırılmasıyla elde edilmiştir. Agregalara, aşınma kaybı, hava tesirlerine dayanıklılık vb. gerekli deneyler yapılmıştır. Agregalar, $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No:4, No:10, No:40, No:80 ve No:200 eleklerden geçirilerek çaplarına göre ayrı ayrı depolanmıştır.



Şekil 2.1. Çeşitli boyutlarda elenerek depolanan agregalar

Elek analizi deneyi yapılarak agrega karışımının tane boyutu dağılımı belirlenmiştir. Elde edilen gradasyon ile Marshall briketleri hazırlanarak optimum bitüm içeriğinin tespiti yapılmış ve optimum bitüm içeriğindeki, karışım ile ilgili deney sonuçları belirlenmiştir. Asfalt betonu karışımların agrega ve bitümlü bağlayıcı olmak üzere iki ana bileşenden meydana geldiği bilinmektedir. Gerekğinde karışımın dış etkilere karşı direncini artırmak için belirli katkıları da ilave edilmektedir.

Bu çalışmada agrega olarak kullanılan bazalt Araklı-Dağbaşı İl Yolu 32+750km'deki Sularbaşı taş ocağından alınarak Dulköy mevkiindeki konkasör tesislerinde üretilmiştir.

(3/4"-3/8"), (3/8"-No:4) ve (No:4-0) grubu agregaları ile aşınma tabakası dizaynı yapılmış olup, agrega deney sonuçları Tablo 2.1.' de sunulmaktadır.

Tablo 2.1. Agrega deneylerinden bulunan sonuçlar

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık % kayıp	2,30
Aşınma kaybı %'si	9,60
Absorbsiyon %'si	0,85
Yassılık indeksi %	14,70
Likit limit	N.P.
Soyulmaya karşı mukavemet (AC 60-70 ile)	30-35

Çalışmada 60–70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır. Asfalt çimentosuna yapılan deneyler ve deney sonuçları Tablo 2.2.'de özetlenmiştir.

Katkı maddesi olarak sönmüş kireç ve stiren bütadien stiren (SBS) kullanılmıştır. Sönmüş kireç, filler yerine %2 ve %4 oranlarında agrega karışımına ilave edilmiştir. SBS ise yalnızca %5 oranında bitüme eklenerek modifiye bitüm elde edilmiştir. Kullanılan SBS katkısı Şekil 2.2'te gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları

Deney	Yöntem	Birim	Değer
Özgül ağırlık (25°C)	ASTM D-70	gr/cm ³	1.024
Parlama noktası	ASTM D-92	°C	300
Penetrasyon (25°C)	ASTM D-5	0.1 mm	64
Düktilite (25°C)	ASTM D-113	cm	100+
Isıtma kaybı (163°C)		%	0.05
Isıtma kaybı penet.	ASTM D-5	%	57.8
Orijinal penetrasyon	ASTM D-5	%	57.8
Isıtma kaybından sonra düktilite	ASTM D-113	cm	51.5+
Yumuşama noktası	ASTM D-36	°C	55

Bitümün SBS ile modifikasyonundan önce, karışımların istenmeyen oksidasyonu gibi ters etkilerden kaçınmak için SBS'nin yapışmamış toz halinde olup olmadığı kontrol edilmiştir. Düşük hızda karıştırma operasyonu ile daha önceden 180⁰C'ye kadar ısıtılan bitüm içerisine, polimer tozlarının kümeleşmesinden kaçınmak için yavaş yavaş katılmıştır. SBS eklenmesinden sonra karıştırma hızı artırılmış ve 2 saat daha karıştırmaya devam edilmiştir. Karıştırmadan sonra, 160⁰C sıcaklıkta 1 saat dinlendirilmiştir. Polimer

ve asfalt arasında faz ayrışması gözlemlenmemiş ve modifikasyonun uygun olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 2.2. SBS katkısının görünümü

2.1.1. Karışım Oranlarının Tespiti

(3/4"-3/8"), (3/8"-No:4) ve (No:4-0) dane boyutunda üretilen üç grup agregadan alınan örneklerle elek analizi deneyi yapılmak suretiyle, 15 elek analizi ortalamaları değerlendirilerek tasarıma esas alınan tane boyutu dağılımları Tablo 2.3'de ve karışımın tane boyutu dağılımı, tolerans sınırları ve şartname limitleri de Tablo 2.4'de sunulmuştur.

Tablo 2.3. Tasarıma esas alınan tane boyutu dağılımları

Elek açıklığı		(19-9,5)mm % geçen	(9,5-4,75) mm % geçen	(4,75-0) mm % geçen
mm	inch			
19,1	¾	100		
12,7	½	61,9		
9,52	3/8	22,1	100,0	
4,76	No:4	1,7	5,2	100,0
2,00	No:10	1,6	1,8	69,5
0,42	No:40	1,5	1,6	29,9
0,177	No:80	1,4	1,4	19,3
0,075	No:200	1,3	1,2	11,8

Üç grup agreganın dane boyutu dağılımları esas alınarak aşınma tabakası karışım oranları aşağıdaki gibi tespit edilmiştir.

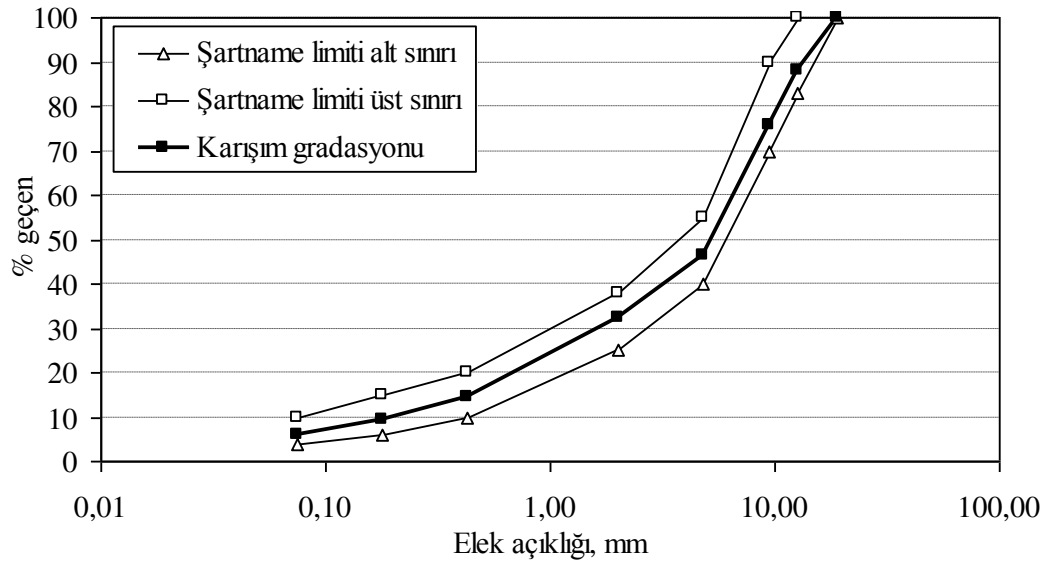
(3/4"-3/8") grubu agrega ağırlıkça, %31

(3/8"-No:4) grubu agrega ağırlıkça, %24

(No:4-0) grubu agrega ağırlıkça, %45

Tablo 2.4. Karışımın tane boyutu dağılımı, tolerans sınırları ve şartname limitleri

Elek açıklığı		Karışım % geçen	Tolerans limitine göre % geçen	Şartname limiti % geçen
mm	inch			
19	¾	100	100	100
12	½	88,2	93,2-83,2	83-100
9,5	3/8	75,9	80,9-70,9	70-90
4,75	No:4	46,4	51,4-41,4	40-55
2,00	No:10	32,2	36,2-28,2	25-38
0,425	No:40	14,3	18,3-10,3	10-20
0,180	No:80	9,4	13,4-6,4	6-15
0,075	No:200	6,0	8,0-4,0	4-10



Şekil 2.3. Agrega karışımının tane boyutu dağılımı eğrisi ve şartname limitleri

2.2. Yöntem

2.2.1. Marshall Deneyine Göre Yapılan Hesaplamalar ve Sonuçları

Tablo 2.4’de verilen karışım gradasyonu esas alınarak Marshall yöntemine göre optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi için;

Kaba agreg a yüzdesi (N0:4 üzeri): 53,6

İnce agreg a yüzdesi (No:4-No:200 arası): 40,4

Filler yüzdesi (No:200’dan geçen): 6,0

Tablo 2.5. Kullanılan malzemenin özgül ağırlıkları ve bitüm penetrasyonu

Kaba agreg a hacim özgül ağırlığı	2,832
Kaba agreg a zahiri özgül ağırlığı	2,894
İnce agreg a hacim özgül ağırlığı	2,751
İnce agreg a zahiri özgül ağırlığı	2,889
Filler zahiri özgül ağırlığı	2,910
Bitüm özgül ağırlığı	1,019
Bitüm penetrasyonu	67

Tablo 2.7’den de görüleceği üzere optimum bitüm içeriğinin tayini için her sete gerekli analizler yapılmış ve ortalama değerler gösterilmiştir. Hesaplanan ortalama değerlere göre Şekil 2.3 hazırlanmıştır.

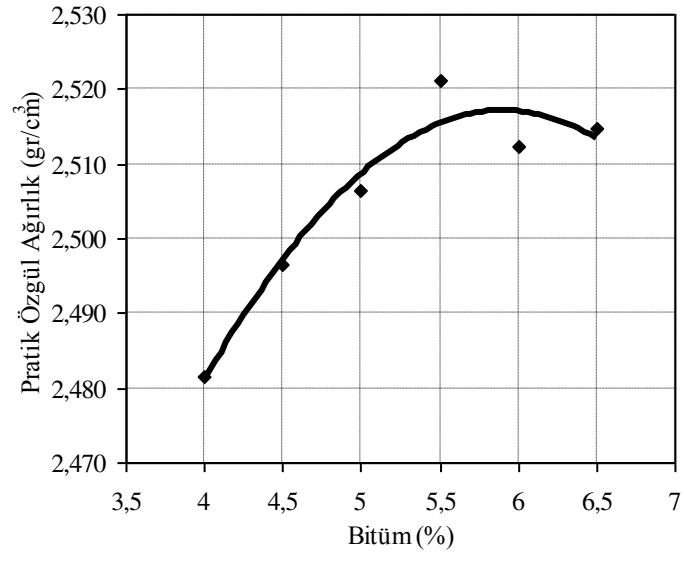
Optimum bitüm içeriği, %4 hava boşluğunu veren bitüm yüzdesi olarak alınmış ve %5,15 olarak tespit edilmiştir. Optimum bitüm miktarındaki deney sonuçları Tablo 2.6’da özetlenmektedir.

Tablo 2.6. Optimum bitüm içeriğindeki deney sonuçları

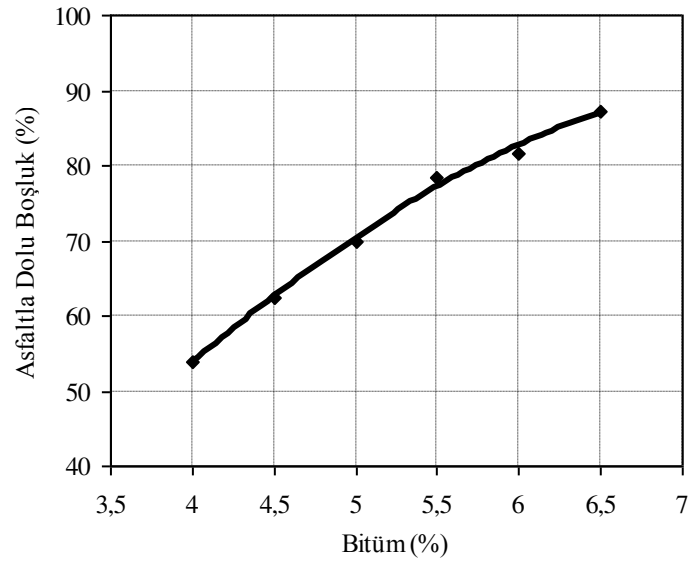
Optimum bitüm, %	5,15
Boşluk, %	4,00
Pratik yoğunluk, gr/cm ³	2,51
Asfaltla dolu boşluk, %	72
Akma, mm	3,2
VMA, %	14,70
Stabilite, kg	1530

Tablo 2.7. Marshall deney formu

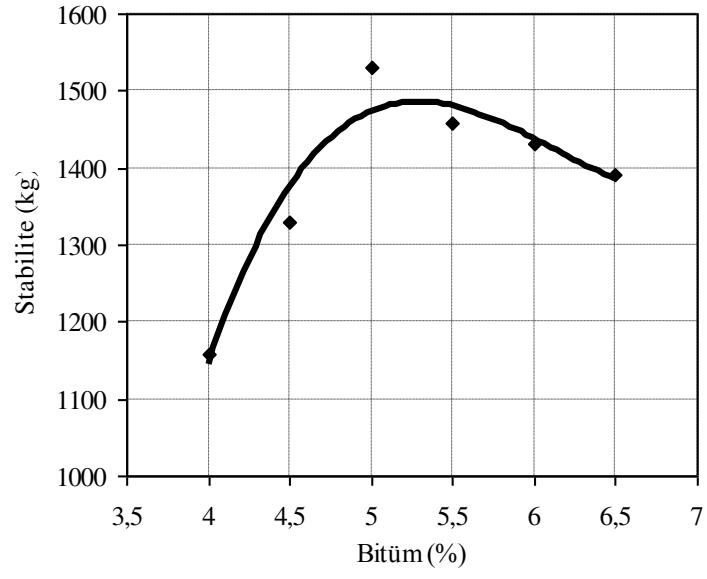
Briket No	Bitüm		Sıcaklık	Briket Yük.	Havad. Ağırlık	Sudaki Ağırlık	Doy. Yüz. K. Ağırlık	Hacim	Pratik Özgül Ağırlık	Max T. Özgül Ağırlık	Boşluk	VMA	Asfaltla Dolu Boşluk	Akma mm	Stabilite
	Wa, %	Wb, gr	°C	mm	A, gr	C, gr	B, gr	B-C, cm ³	Dp, gr/ cm ³	Dt, gr/ cm ³	Vh, %	VMA, %	Vf, %	mm	kg
1	4,0	46,0	140,0	63,1	1189,5	715,2	1195,2	480,0	2,478	2,664	6,86	14,88	53,92	2,50	1160
2	4,0	46,0	140,0	63,2	1196,0	721,1	1202,2	481,1	2,486					2,00	1151
3	4,0	46,0	139,0	63,1	1193,0	724,3	1205,3	481,0	2,480					2,30	1164
									2,481					2,27	1158
4	4,5	52,0	140,0	62,8	1197,0	724,4	1204,0	479,6	2,496	2,644	5,57	14,77	62,29	2,50	1335
5	4,5	52,0	141,0	62,7	1198,6	723,7	1203,5	479,8	2,498					2,30	1315
6	4,5	52,0	142,0	62,7	1199,2	725,6	1206,2	480,6	2,495					2,80	1335
									2,496					2,53	1328
7	5,0	58,0	141,0	62,6	1202,3	724,7	1204,2	479,5	2,507	2,624	4,47	14,84	69,87	3,00	1540
8	5,0	58,0	141,0	62,3	1204,0	723,5	1204,9	481,4	2,501					2,80	1512
9	5,0	58,0	140,0	62,2	1201,5	725,4	1203,9	478,5	2,511					3,30	1540
									2,506					3,03	1531
10	5,5	63,0	140,0	61,1	1206,9	729,9	1207,4	477,5	2,528	2,604	3,19	14,75	78,34	3,60	1475
11	5,5	63,0	140,0	61,1	1204,8	727,1	1205,6	478,5	2,518					3,30	1454
12	5,5	63,0	140,0	62,0	1207,1	730,5	1209,9	479,4	2,518					3,80	1448
									2,521					3,57	1459
13	6,0	69,0	141,0	60,7	1209,1	727,8	1209,9	482,1	2,508	2,585	2,82	15,44	81,72	3,80	1425
14	6,0	69,0	142,0	60,7	1209,2	729,6	1209,8	480,2	2,518					3,80	1438
15	6,0	69,0	140,0	60,5	1209,3	728,5	1210,1	481,6	2,511					3,60	1428
									2,512					3,73	1430
16	6,5	75,0	140,0	60,3	1209,9	726,7	1209,1	482,4	2,508	2,567	2,03	15,76	87,11	3,80	1406
17	6,5	75,0	139,0	60,4	1215,4	734,7	1215,9	481,2	2,526					4,10	1390
18	6,5	75,0	139,0	60,2	1215,9	731,6	1216,0	484,4	2,510					4,10	1375
									2,515					4,00	1391



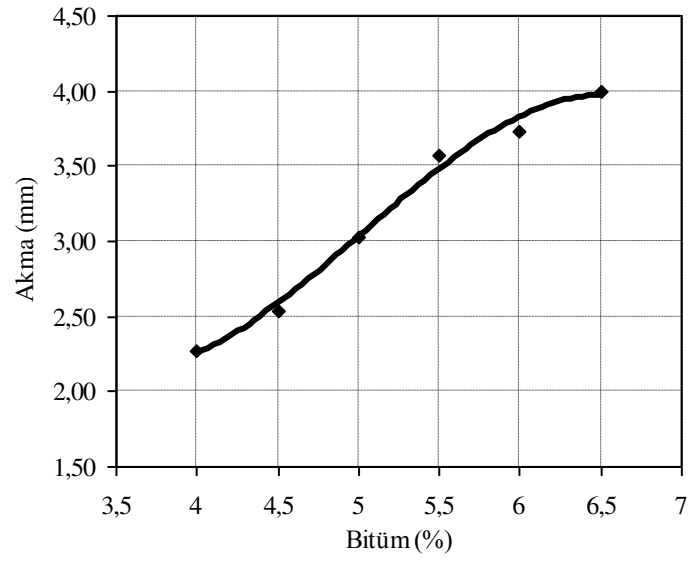
Şekil 2.4. Pratik özgül ağırlık-bitüm içeriği ilişkisi



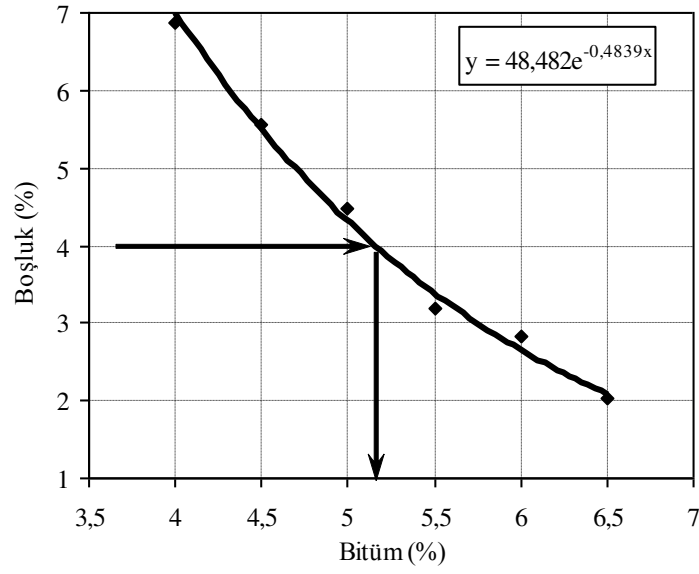
Şekil 2.5. Asfaltla dolu boşluk- bitüm içeriği ilişkisi



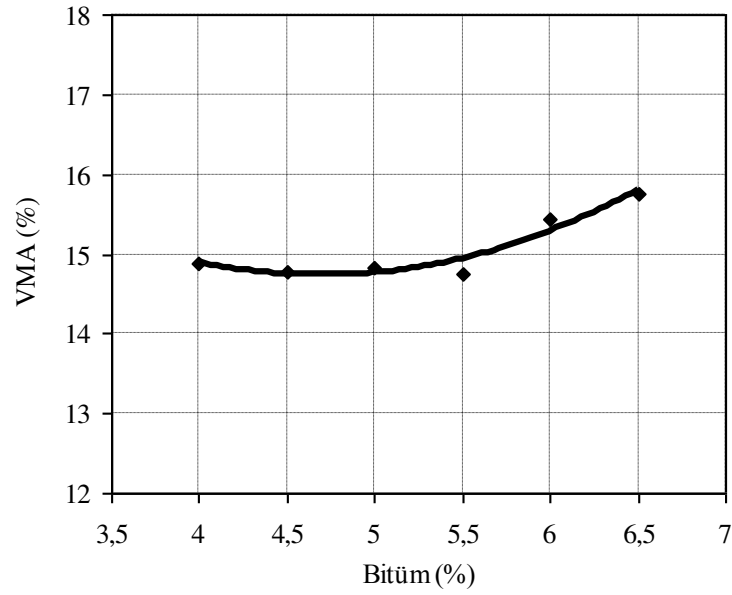
Şekil 2.6. Stabilité-bitüm içeriği ilişkisi



Şekil 2.7. Akma-bitüm içeriği ilişkisi



Şekil 2.8. Boşluk–bitüm içeriği ilişkisi



Şekil 2.9. VMA-bitüm içeriği ilişkisi

Optimum bitüm içeriğinde, 100mm çaplı 25'er adet hiç katkısız, 2%K, 4%K, 2%K5%SBS ve 4K%5%SBS katkılı Marshall briketi, 150mm çaplı 25 adet hiç katkısız, 2%K, 4%K, 2%K5%SBS ve 4K%5%SBS katkılı Asfalt briketi sünme deneylerinde kullanılmak üzere üretildi. 100 mm ve 150 mm çaplı iki numune örneğinin her ikisinin her karışım türünden 5' er tane Marshall briketi hazırlandı.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Optimum bitüm içeriğine sahip 100 mm çaplı 5 tane katkısız, 5 tane %2 kireç katkılı, 5 tane %4 kireç katkılı, 5 tane %2 kireç+%5 SBS katkılı ve 5 tane %4 kireç+%5 SBS katkılı toplam 25 tane Marshall briketinin kırılması suretiyle akma(mm) ve stabilite değerleri elde edildi. Tablolar oluşturularak değerler verildi. Aynı işlemler 150 mm çaplı Marshall briketi için yapıldı. Hem 100 mm hem de 150 mm çaplı örnekler için Marshall oranları belirlendi. 100mm çaplı örneklerden elde edilen sonuçlarla 150mm çaplı örneklerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı.

3.1. 100 mm Çaplı Marshall Briketleri Deney Sonuçları

100 mm çaplı Marshall briketlerinden, katkısız ve katkılı seçeneklerde 5'er adet özdeş briket üretildi. Üretilen briketlere Marshall stabilite deneyi uygulandı. Özdeş briketlerin özellikleri ve elde edilen stabilite ve akma değerleri Tablo 3.1.–Tablo 3.5.'de sunuldu.

Tablo 3.1. Geleneksel (katkısız) karışım briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği mm	Pratik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Max Teorik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite kg
	ORT.	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf				
1	61,2	2,506	2,618	4,3	15	71,5	4,80	1552	1,062	1648
2	60,6	2,515	2,618	3,9	14,7	73,3	4,50	1325	1,079	1430
3	61,0	2,524	2,618	3,6	14,4	74,9	3,70	1430	1,067	1526
4	60,1	2,521	2,618	3,7	14,5	74,4	4,50	1134	1,094	1241
5	60,8	2,513	2,618	4	14,7	72,9	4,60	1274	1,073	1367

Tablo 3.2. %2 Kireç katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği mm	Pratik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Max Teorik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite kg
	ORT.	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf				
1	60,4	2,488	2,618	5	15,6	68,1	3,30	1243	1,085	1349
2	61,0	2,49	2,618	4,9	15,5	68,4	3,60	1372	1,067	1464
3	62,3	2,487	2,618	5	15,6	68,1	4,00	1340	1,031	1382
4	63,7	2,484	2,618	5,1	15,7	67,4	5,00	1412	0,995	1405
5	60,3	2,48	2,618	5,3	15,8	66,9	4,20	1118	1,088	1216

Tablo 3.3. %4 Kireç katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği mm	Pratik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Max Teorik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite kg
	ORT.	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf				
1	62,6	2,476	2,618	5,4	16	66,2	5,30	1486	1,023	1520
2	62,3	2,471	2,618	5,6	16,2	65,3	4,20	1636	1,031	1687
3	60,1	2,469	2,618	5,7	16,2	65	3,50	1449	1,094	1585
4	61,3	2,466	2,618	5,8	16,3	64,6	3,90	1383	1,059	1465
5	61,9	2,476	2,618	5,4	16	66,1	3,90	1566	1,04	1629

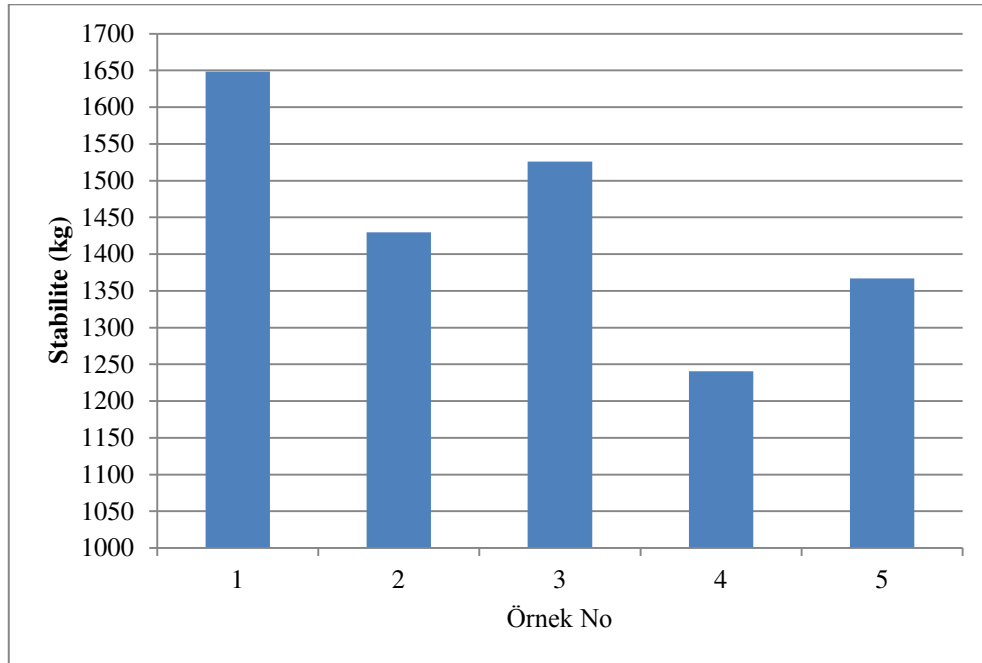
Tablo 3.4. %2 Kireç %5 SBS katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği mm	Pratik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Max Teorik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite kg
	ORT.	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf				
1	60,8	2,517	2,618	3,9	14,6	73,6	3,60	1635	1,073	1754
2	60,6	2,517	2,618	3,8	14,6	73,6	4,20	1486	1,079	1603
3	61,2	2,516	2,618	3,9	14,6	73,4	5,10	1672	1,062	1776
4	61,0	2,515	2,618	3,9	14,7	73,2	4,60	1455	1,067	1552
5	61,4	2,511	2,618	4,1	14,8	72,4	4,40	1346	1,056	1421

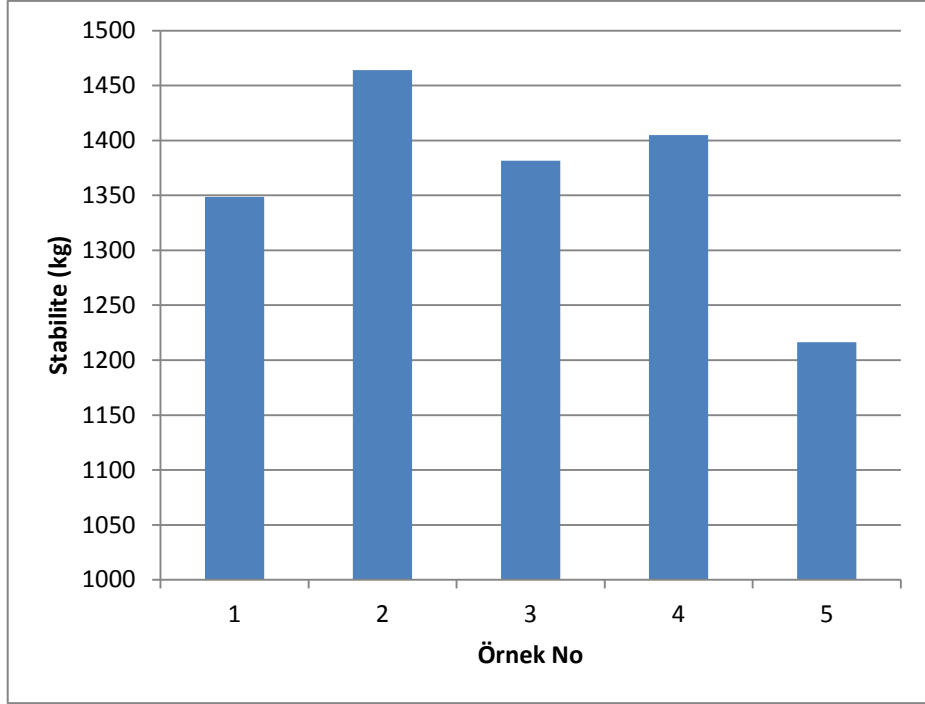
Tablo 3.5. %4 Kireç %5 SBS katkılı karışım briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği mm	Pratik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Max Teorik Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite kg
	ORT.	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf				
1	62,7	2,461	2,618	6	16,5	63,7	5,60	1687	1,021	1722
2	63,8	2,451	2,618	6,4	16,8	62,1	4,70	1430	0,992	1419
3	62,9	2,463	2,618	5,9	16,4	64	4,00	1737	1,016	1765
4	62,7	2,462	2,618	6	16,5	63,8	4,20	2029	1,021	2072
5	62,7	2,458	2,618	6,1	16,6	63,2	4,10	1578	1,021	1611

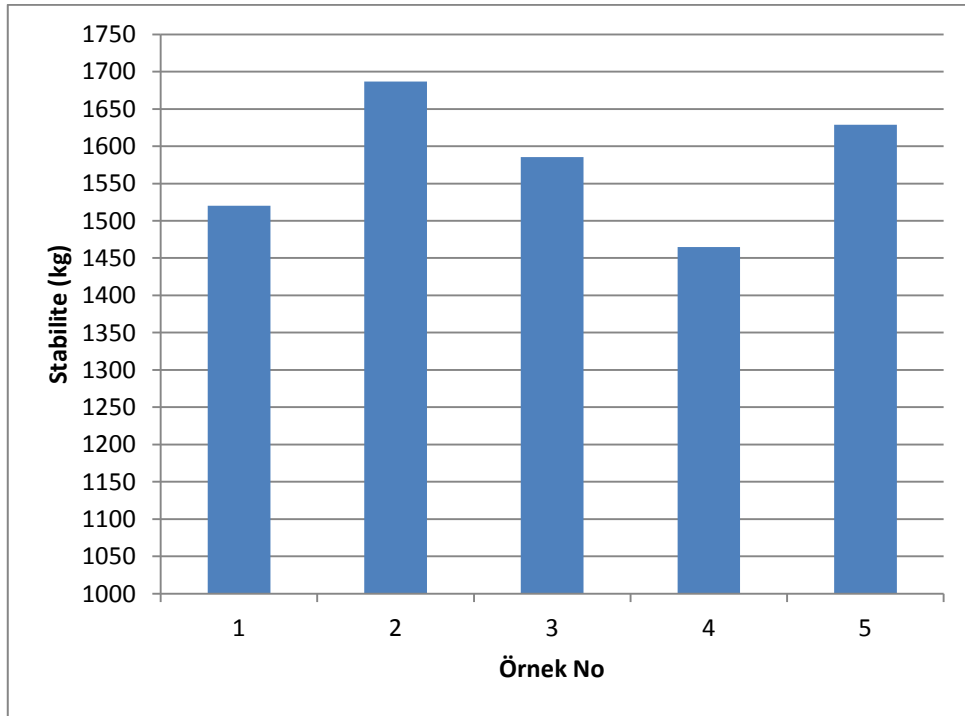
Her karışım için, özdeş briketlerin stabilite ve akma değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 3.1- Şekil 3.10. da gösterildi. Briketler her ne kadar özdeş olarak hazırlansa da, sıkıştırma düzeneğinden dolayı, kaba agregaların ve hava boşluklarının uzaysal dağılımından kaynaklandığı düşünülen, stabilite ve akma değerlerinde farklılıklar görülmüştür.



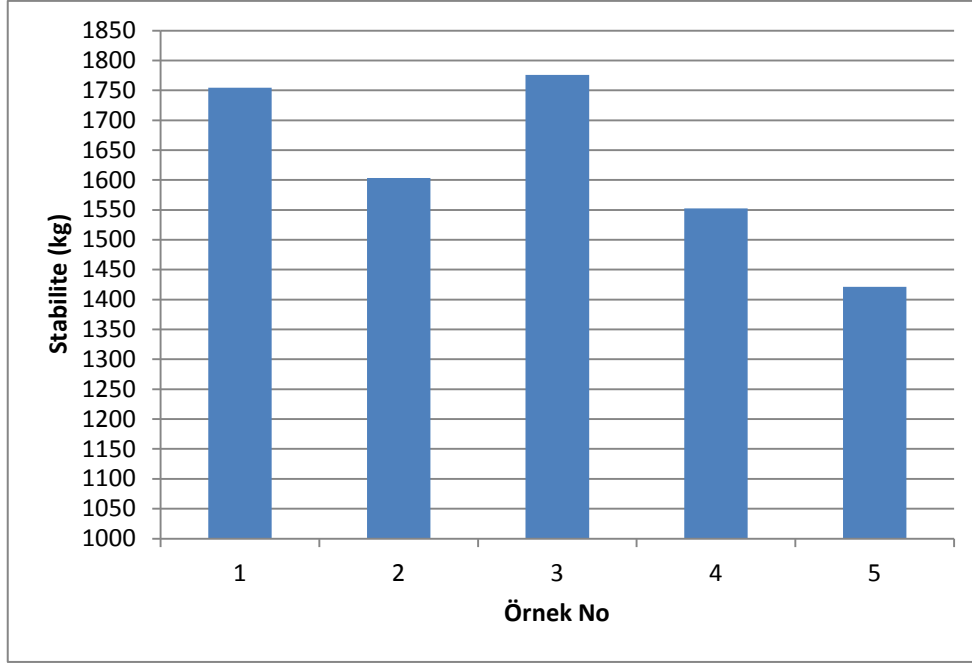
Şekil 3.1. 100 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin stabilite dağılımı



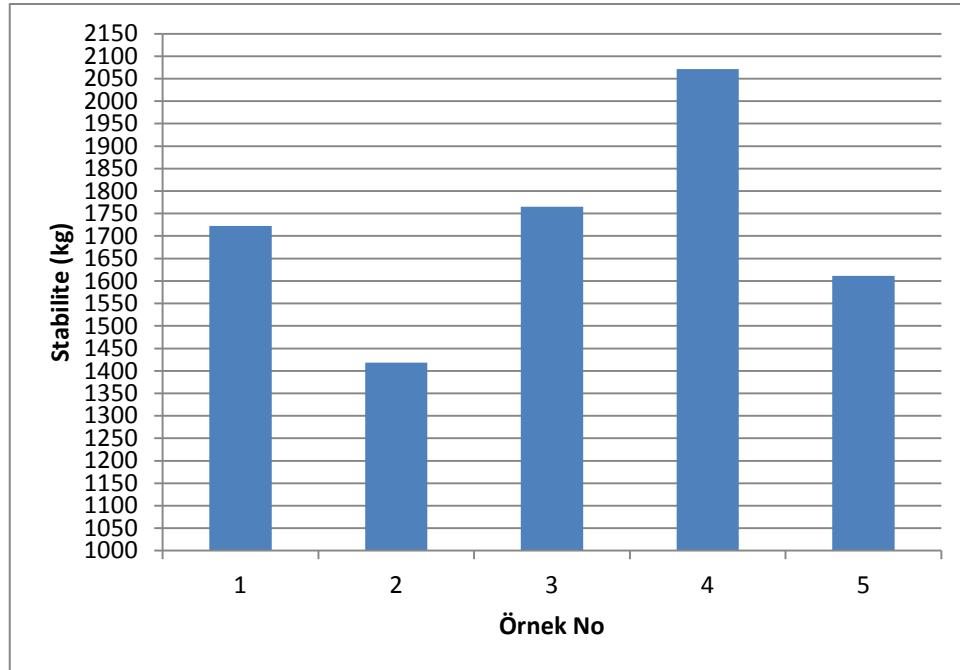
Şekil 3.2. 100 mm çaplı %2 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları



Şekil 3.3. 100 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları



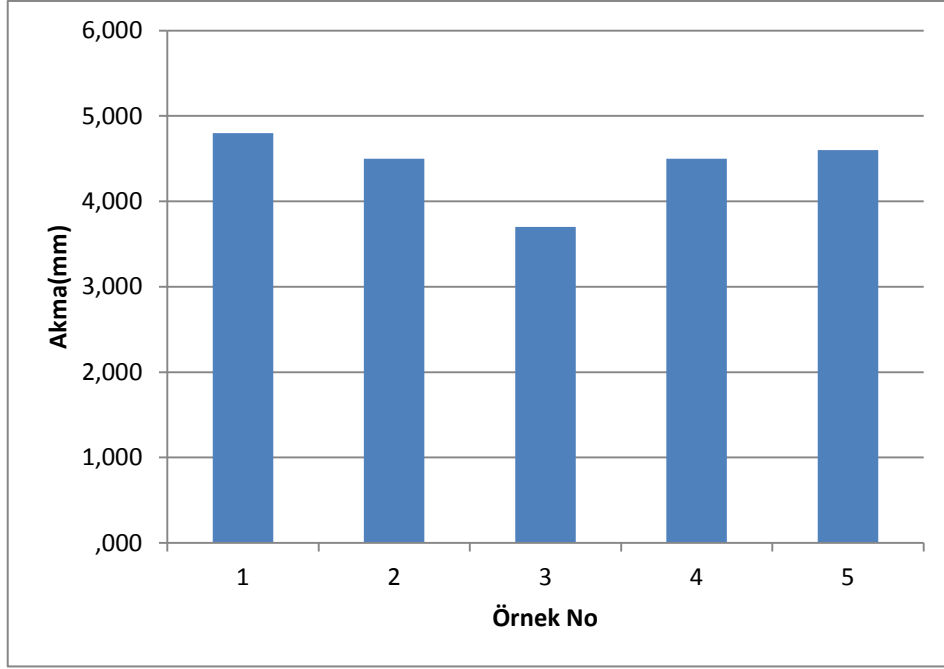
Şekil 3.4. 100 mm çaplı %2 kireç +%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları



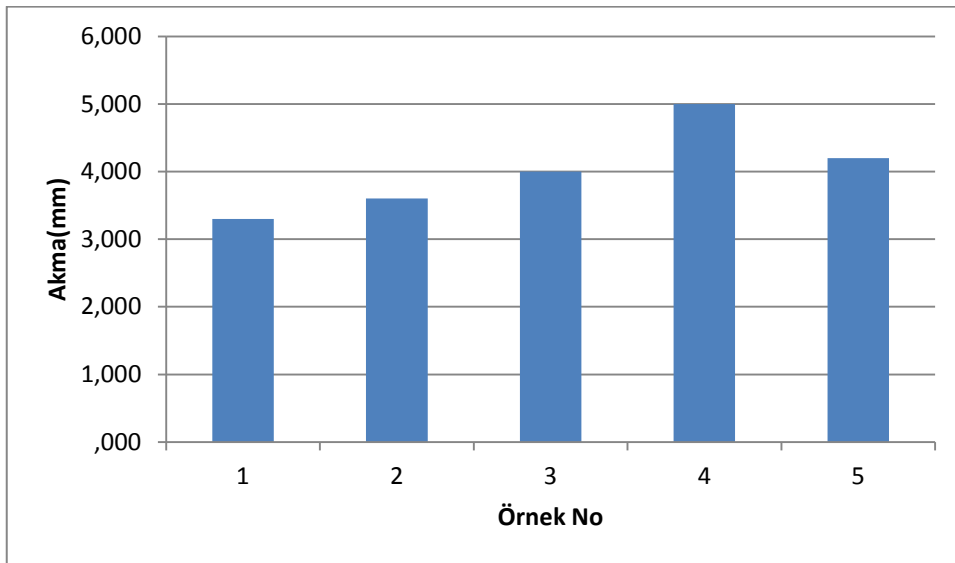
Şekil 3.5. 100 mm çaplı %4 kireç +%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları

Grafiklerden, her seçenek için, en büyük ve en küçük stabilite değerleri arasındaki fark hesaplandı. Katkısız karışımlarda 400kg, %2 kireç katkılı karışımlarda 250kg, %4

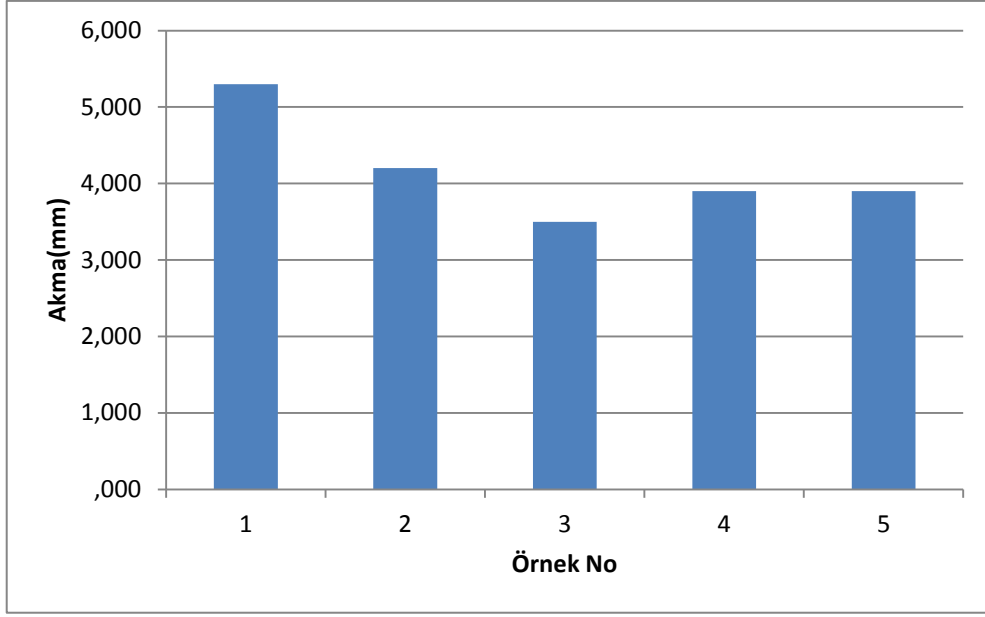
kireç katkıli karışımlarda 220kg, %2 kireç ve %5 SBS içeren karışımlarda 355kg ve %4 kireç ve %5 SBS içeren karışımlarda 653 kg stabilite farkı bulundu. Hazırlanan karışımlar için, stabilite değerlerine göre %4 kireç içeren karışımlardan daha yakın sonuçların elde edilebildiği görüldü.



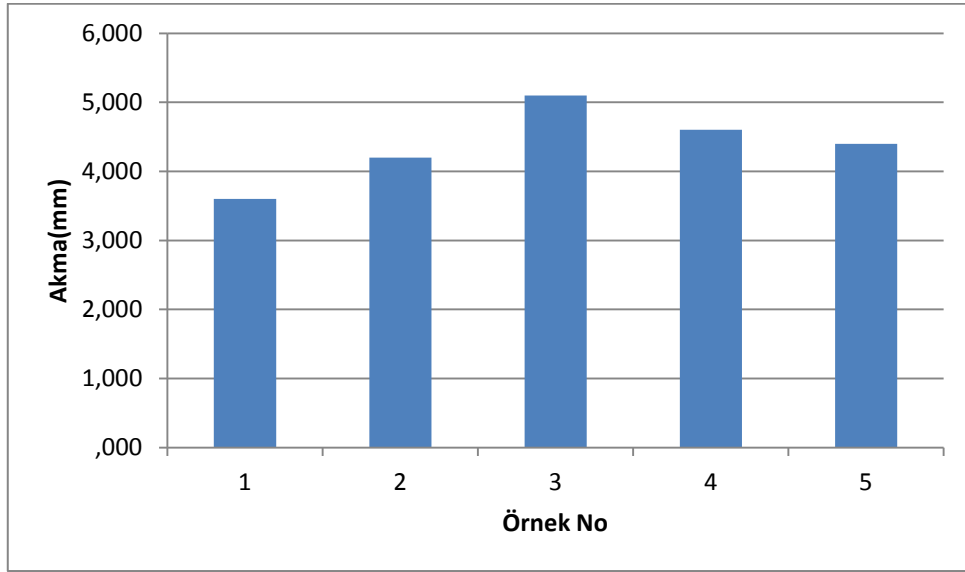
Şekil 3.6. 100 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin akma değeri dağılımları



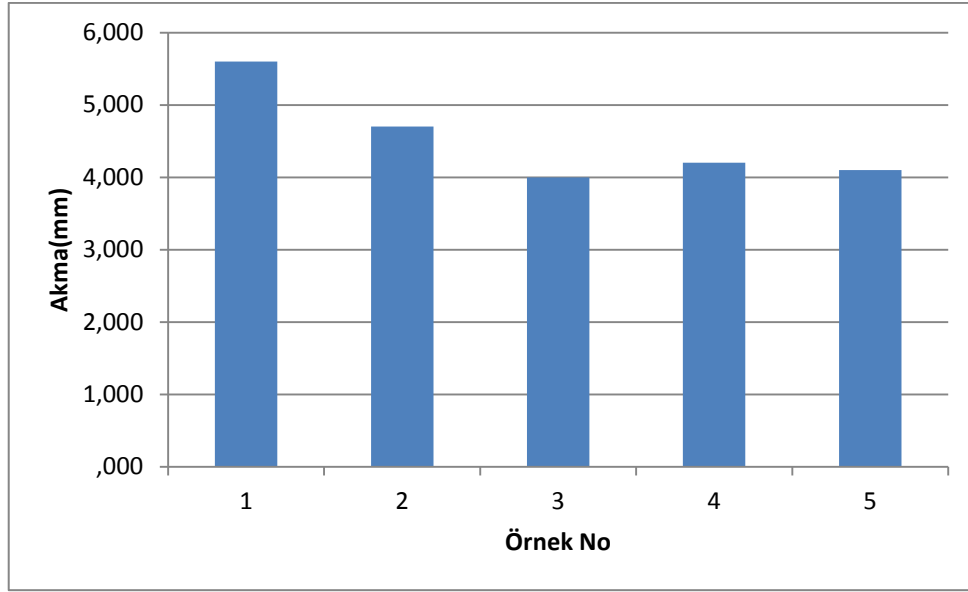
Şekil 3.7. 100 mm çaplı %2 kireç katkıli karışım briketlerinin akma dağılımları



Şekil 3.8. 100 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları



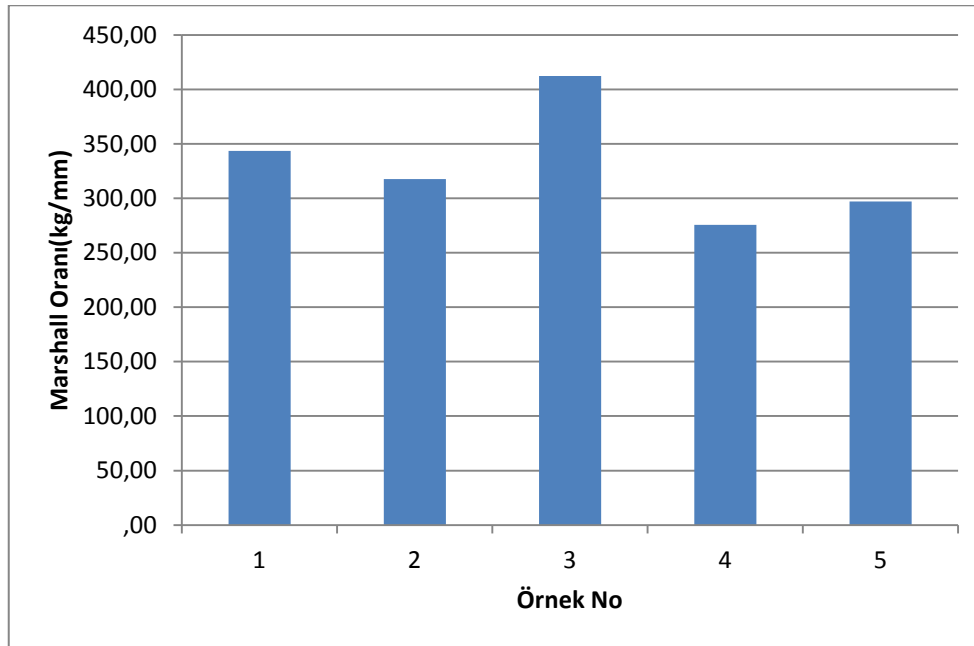
Şekil 3.9. 100 mm çaplı %2 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları



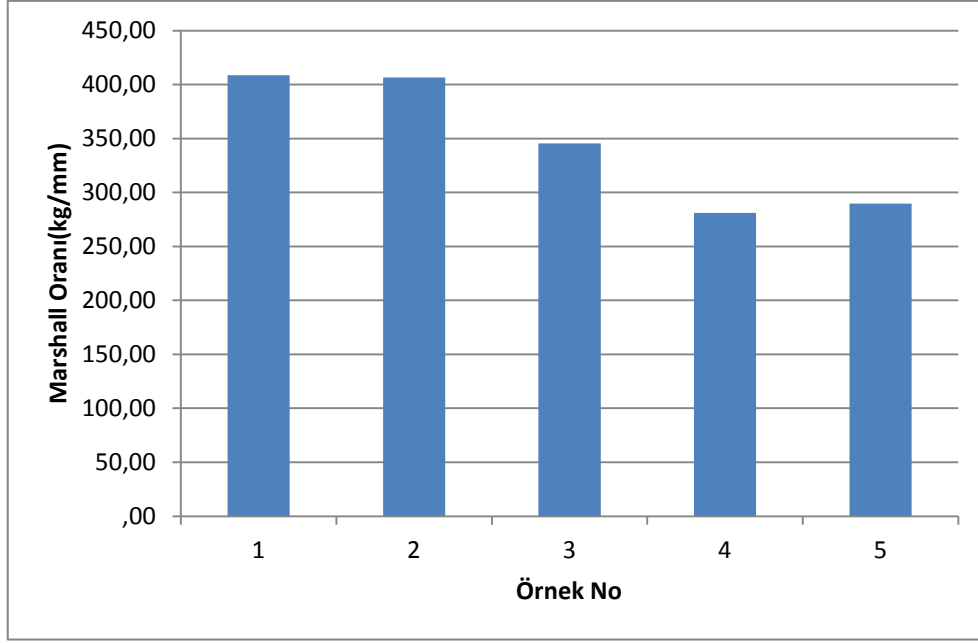
Şekil 3.10. 100 mm çaplı %4 kireç+%5 SBS katkıli karışım briketlerinin akma dağılımları

100 mm çaplı Marshall briketlerinden elde edilen akma değerleri arasında çok büyük farklılıklar oluşmadı. Genelde değerler birbirine paralel oluştu.

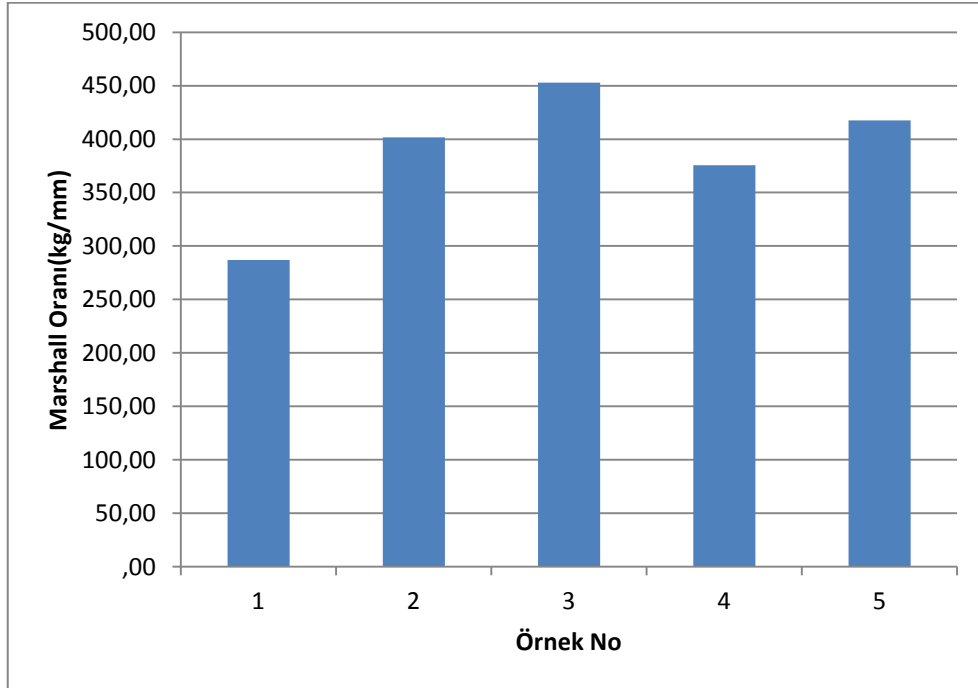
Akma ve stabilite değerleri oranlanarak Marshall oranları (MQ) belirlendi. Her örnek için Marshall oranı Şekil 3.11.-Şekil 3.15. de verildi.



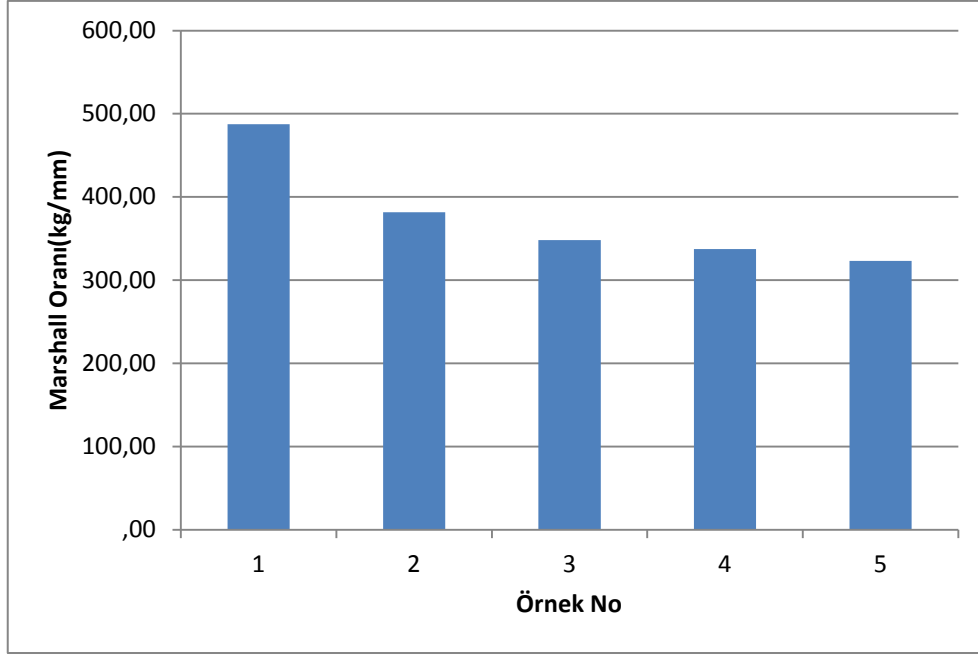
Şekil 3.11. 100 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin MQ dağılımları



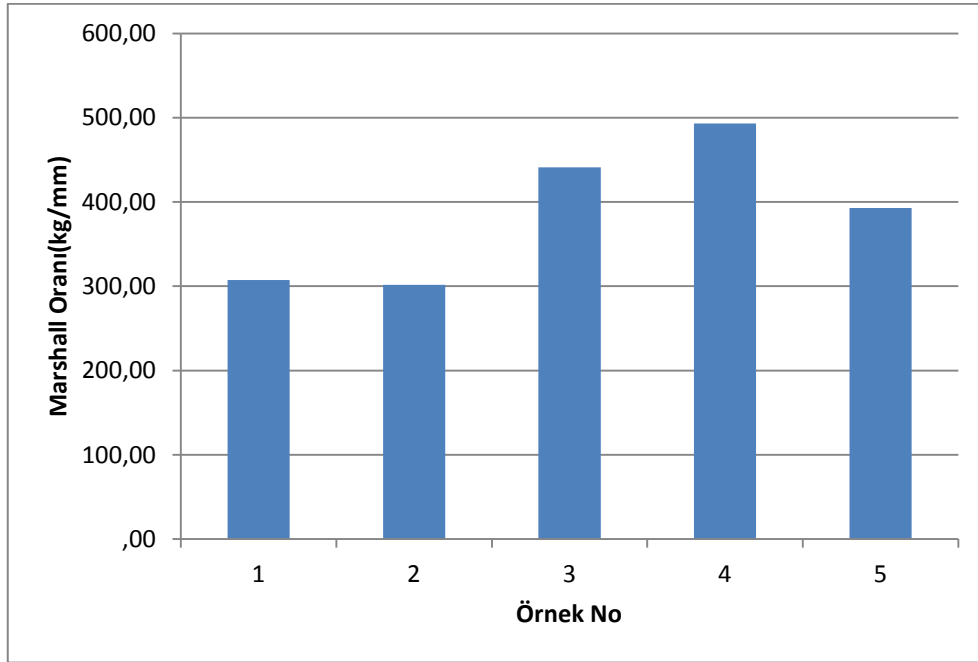
Şekil 3.12. 100 mm çaplı %2 Kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları



Şekil 3.13. 100 mm çaplı %4 Kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları



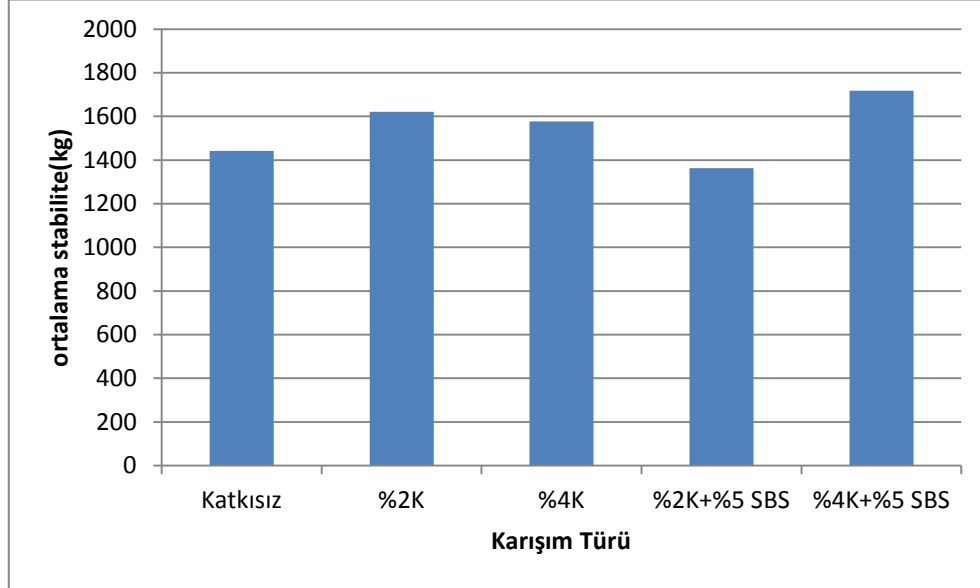
Şekil 3.14. 100 mm çaplı %2 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları



Şekil 3.15.100 mm çaplı %4 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları

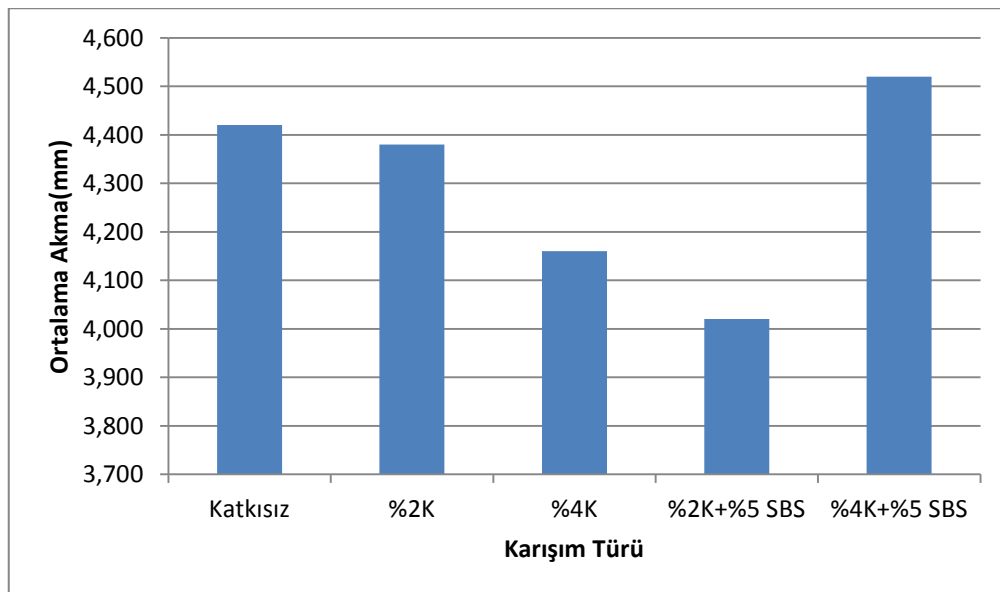
100 mm olarak bütün karışım türü seçenekleri ile hazırlanan Marshall briketlerinden elde edilen ortalama stabilite değerlerine göre, %2 sönmüş kireç + %5 SBS içeren karışımların en düşük stabilite değerini gösterdiği, diğer karışım türlerinin katkısız

karişımlardan daha yuğsek stabilite değerleri verdiği görüldü. %4 sönmüş kireç + %5 SBS katkılı karişımlar en yuğsek stabilite değerini verdi.



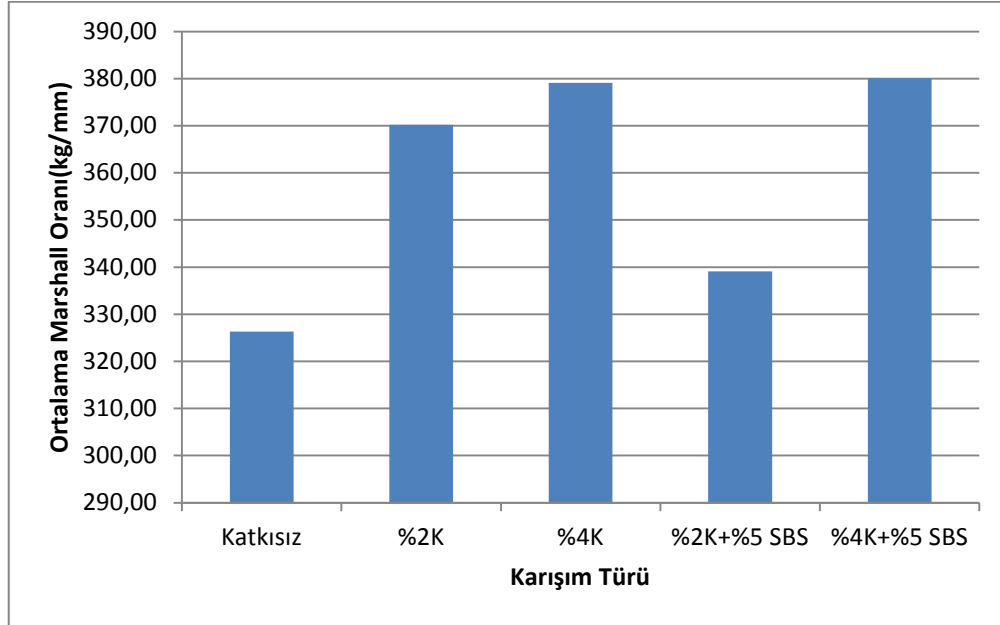
şekil 3.16. 100 mm çaplı örneklerin karişımlara göre ortalama stabilite değerleri

şekil 3.17’den en yuğsek akma değerlerinin %4 sönmüş kireç + %5 SBS ilaveli karişımların verdiği görüldü. Katkısız karişımlar ikinci sırada yer alırken diğer karişımlar katkısız karişımlarda göre daha küçük akma değerlerini gösterdi.



şekil 3.17. 100 mm çaplı örneklerin karişımlara göre ortalama akma değerleri

Katkı uygulamalarının faydalılığı en etkin olarak MQ grafiğinden görüldü. Katkısız karışımlarda en küçük MQ değerleri belirlendi. Bütün katkılı karışım türleri geleneksel karışımlara göre daha yüksek oranlar ortaya koydu.



Şekil 3.18. 100 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama MQ değerleri

3.2. 150 mm Çaplı Marshall Briketleri Deney Sonuçları

Marshall tasarım yöntem ile 150 mm çaplı kalıplar kullanılarak Marshall briketleri de üretildi. Böylece aynı karışımların örnek boyutlarının mekanik deney sonuçlarına etkisinin de değerlendirilebilmesi amaçlandı. Hazırlanan briketlerin özellikleri ile akma ve stabilite değerleri Tablo 3.6. -Tablo 3.10. da sunuldu.

Tablo 3.6. Geleneksel karışım briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Akma (mm)	Düzeltilmiş Stabilite kg
	ORT.	Dp	Dt		
1	64,0	2,544	2,618	9,20	1920
2	63,7	2,552	2,618	9,00	1728
3	63,3	2,561	2,618	8,40	1714
4	63,5	2,557	2,618	8,00	1481
5	63,9	2,538	2,618	7,20	1872

Tablo 3.7. %2 sönmüş kireç katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Akma mm	Düzeltilmiş Stabilitate kg
	ORT.	Dp	Dt		
1	64,1	2,537	2,618	8,20	2004
2	65,8	2,518	2,618	8,00	1740
3	64,4	2,541	2,618	7,80	1784
4	64,3	2,536	2,618	8,60	1938
5	63,6	2,548	2,618	7,70	1704

Tablo 3.8. %4 sönmüş kireç katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Akma mm	Düzeltilmiş Stabilitate kg
	ORT.	Dp	Dt		
1	64,1	2,539	2,618	7,20	1620
2	64,3	2,541	2,618	6,00	1893
3	64,7	2,518	2,618	6,70	2011
4	63,4	2,556	2,618	5,80	1313
5	64,0	2,558	2,618	7,30	1717

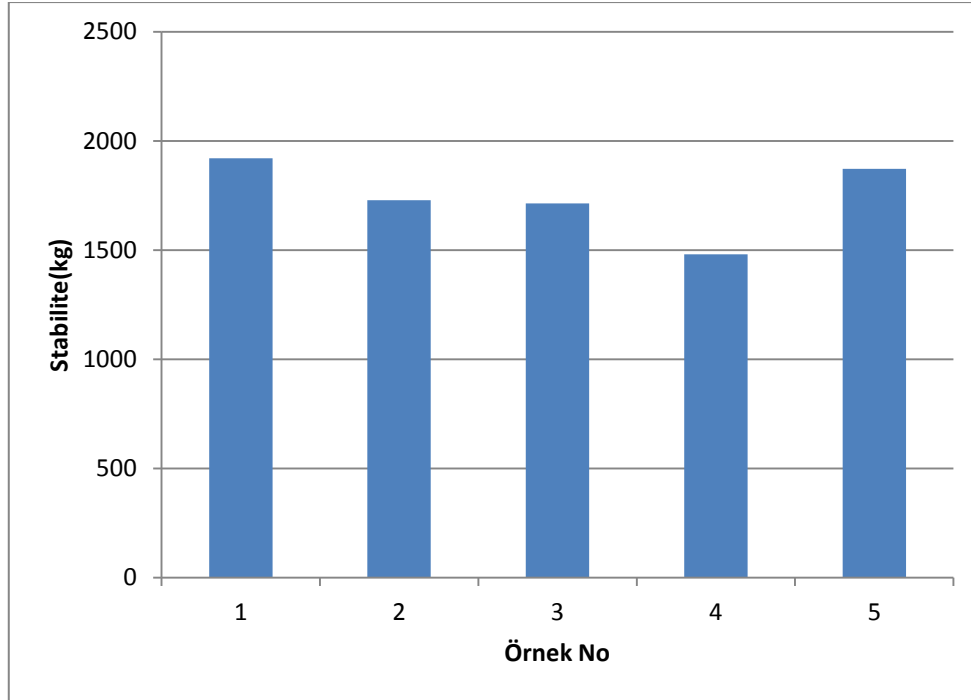
Tablo 3.9. %2 sönmüş kireç %5 SBS katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Akma mm	Düzeltilmiş Stabilitate kg
	ORT.	Dp	Dt		
1	64,1	2,521	2,618	6,3	1713
2	65,8	2,532	2,618	5,8	1588
3	64,4	2,523	2,618	5,7	1784
4	64,3	2,546	2,618	6,9	1695
5	63,6	2,531	2,618	7,4	1852

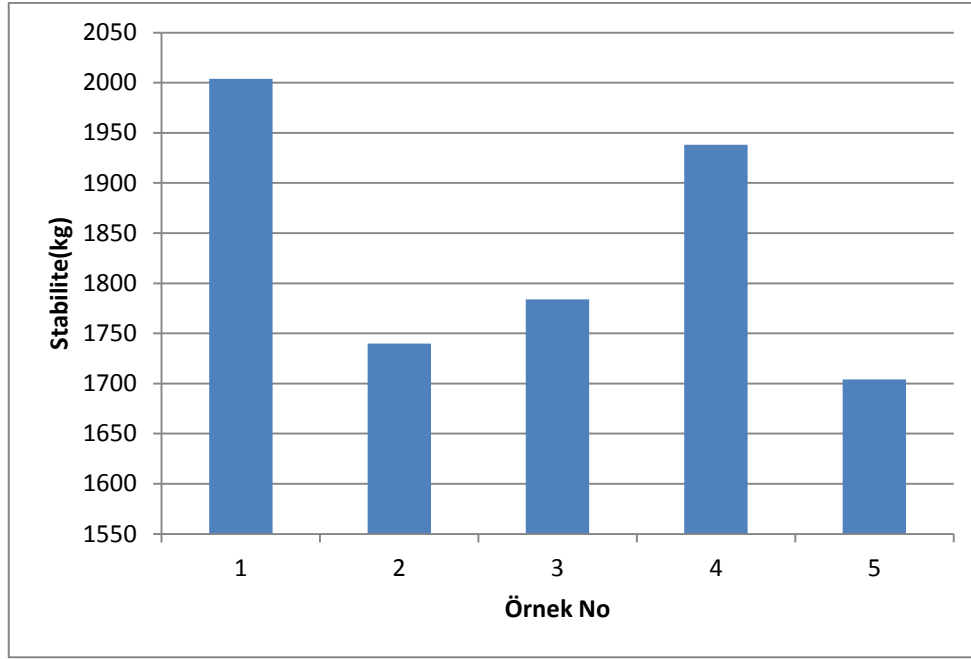
Tablo 3.10. %4 sönmüş kireç %5 SBS katkılı briket özellikleri ve deney sonuçları

Briket No	Briket Yüksekliği	Pratik Özgöl Ağırlık	Max Teorik Özgöl Ağırlık	Akma mm	Düzeltilmiş Stabilite kg
	ORT.	Dp	Dt		
1	63,4	2,559	2,618	6,10	1935
2	65,4	2,511	2,618	6,90	1734
3	64,4	2,533	2,618	5,40	1941
4	64,4	2,539	2,618	7,70	1771
5	64,9	2,537	2,618	7,20	1823

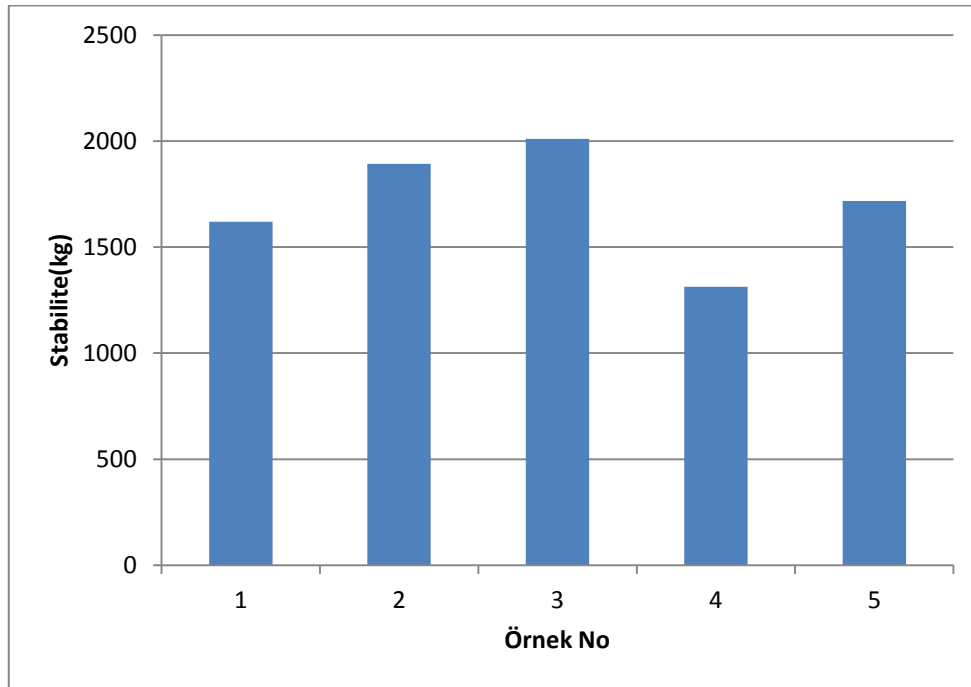
Marshall stabilite deneyinden elde edilen ve Tablo 3.6.- Tablo 3.10.' da gösterilen veriler derlenerek Şekil 3.19-Şekil 3.36' da sunuldu.



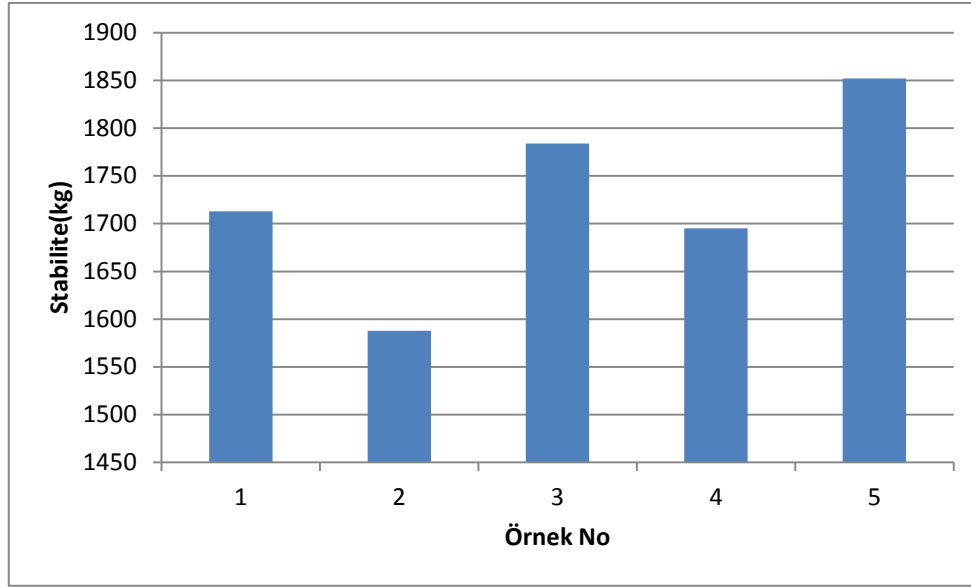
Şekil 3.19. 150 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin stabilite dağılımları



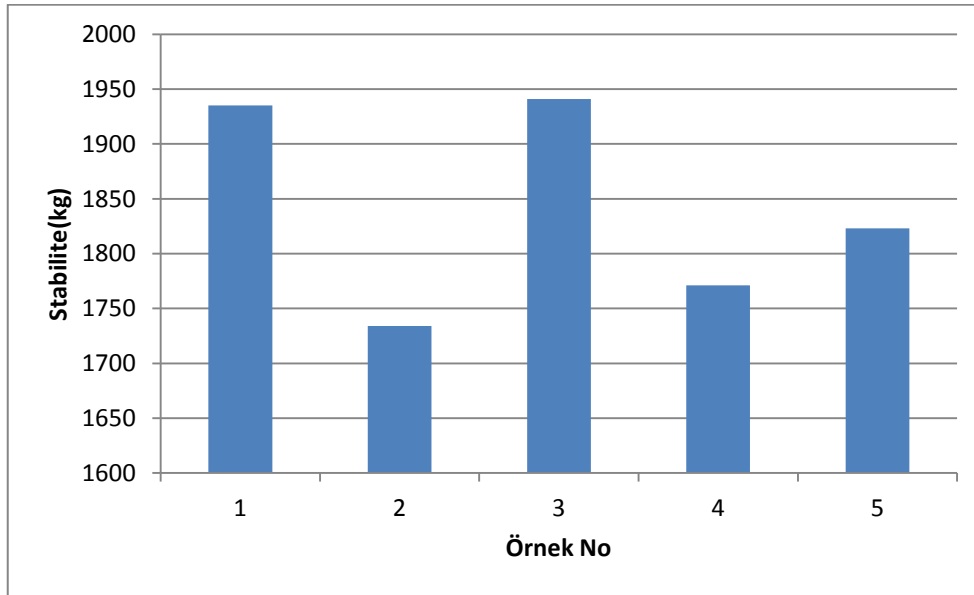
Şekil 3.20. 150 mm çaplı %2 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları



Şekil 3.21. 150 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları

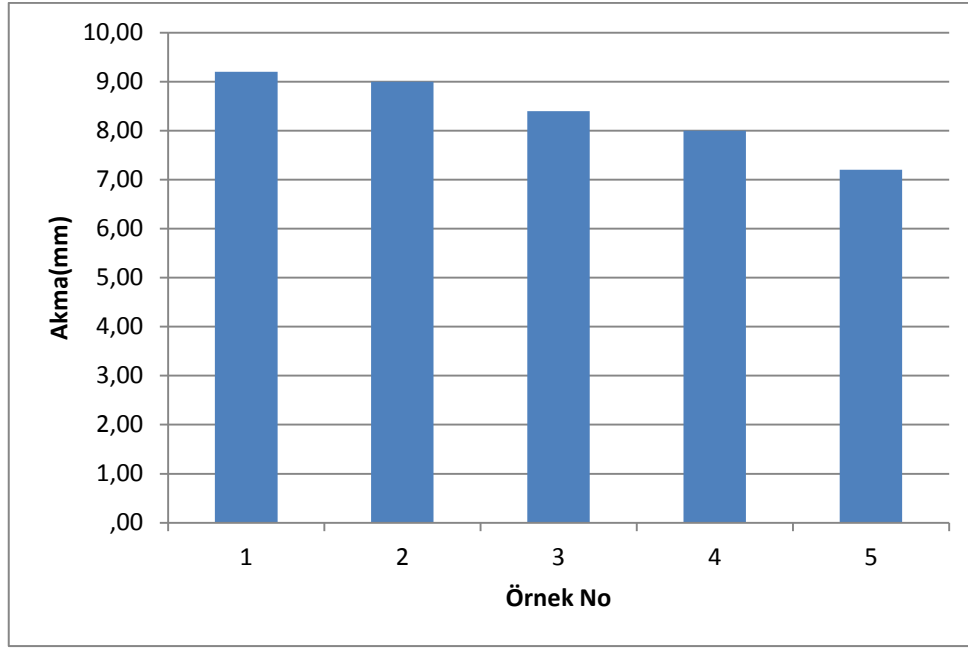


Şekil 3.22.150 mm çaplı %2 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları

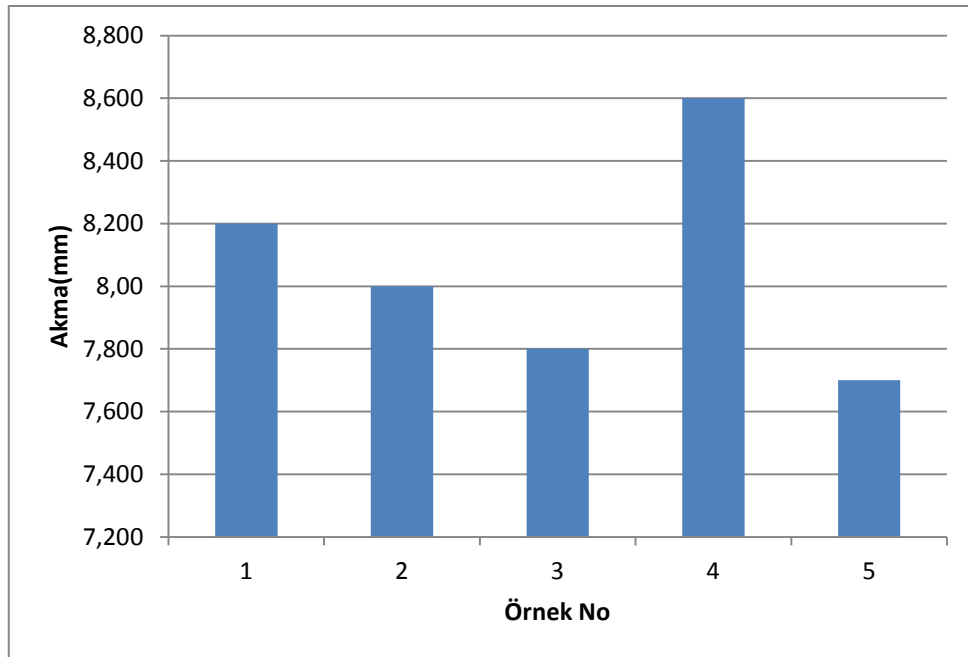


Şekil 3.23. 150 mm çaplı %4 kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin stabilite dağılımları

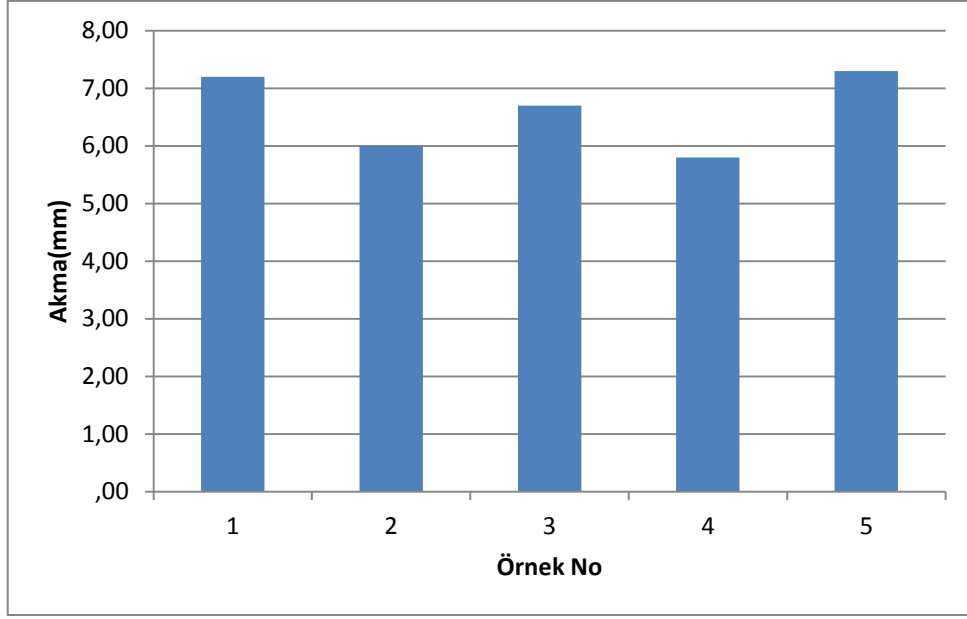
Şekil 3.9.–Şekil 3.23’ den kireç içeren karışımlarla üretilen briketlerden elde edilen stabilite değerleri arasındaki farkın katkısız karışımlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Katkısız karışımlar diğerlerine göre daha yakın stabilite değeri vermektedir.



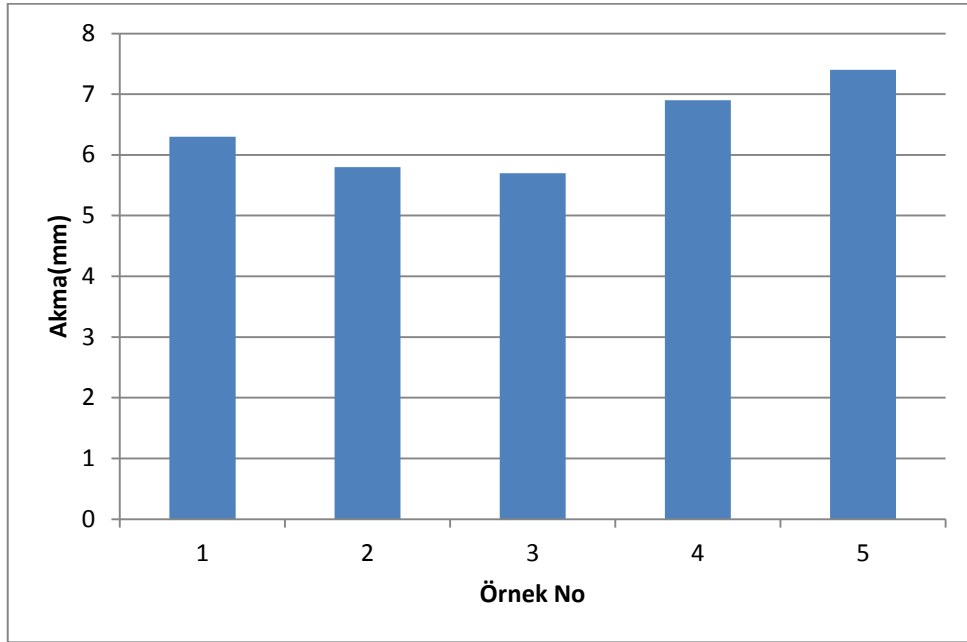
Şekil 3.24. 150 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin akma dağılımları



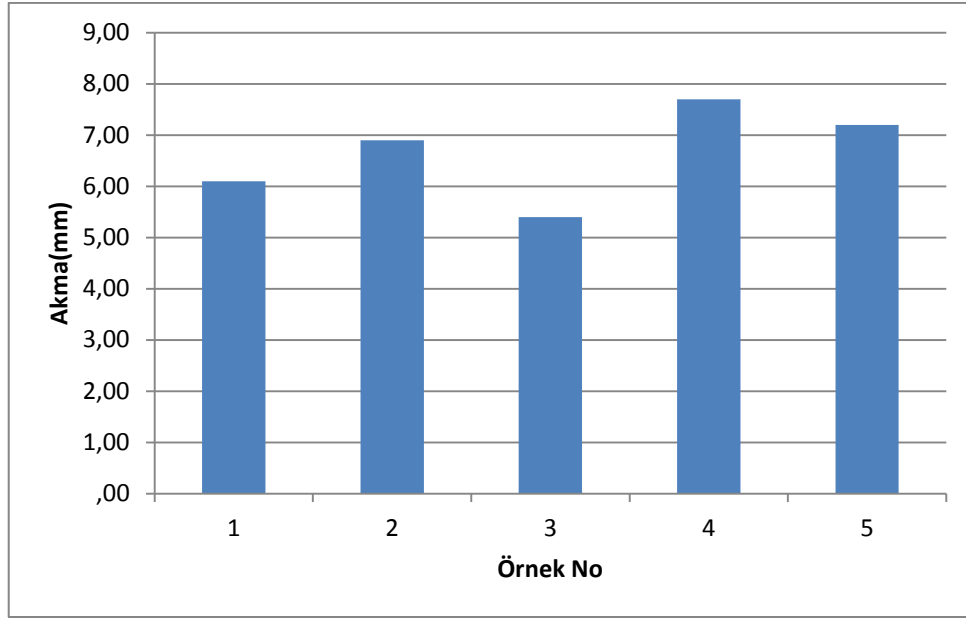
Şekil 3.25. 150 mm çaplı %2 kireç katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları



Şekil 3.26. 150 mm çaplı %4 kireç katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları

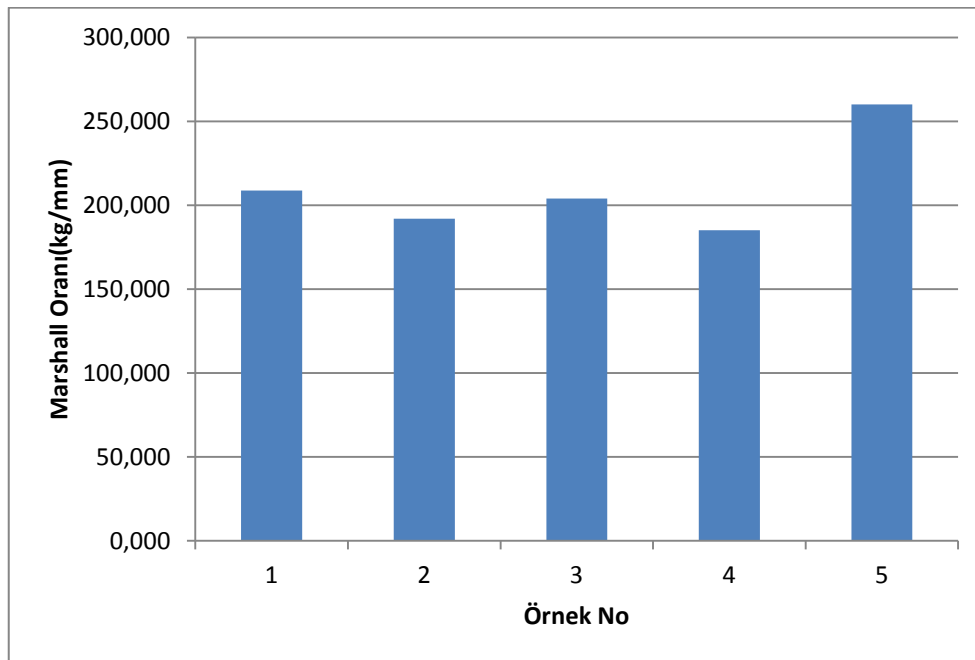


Şekil 3.27. 150 mm çaplı %2 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları

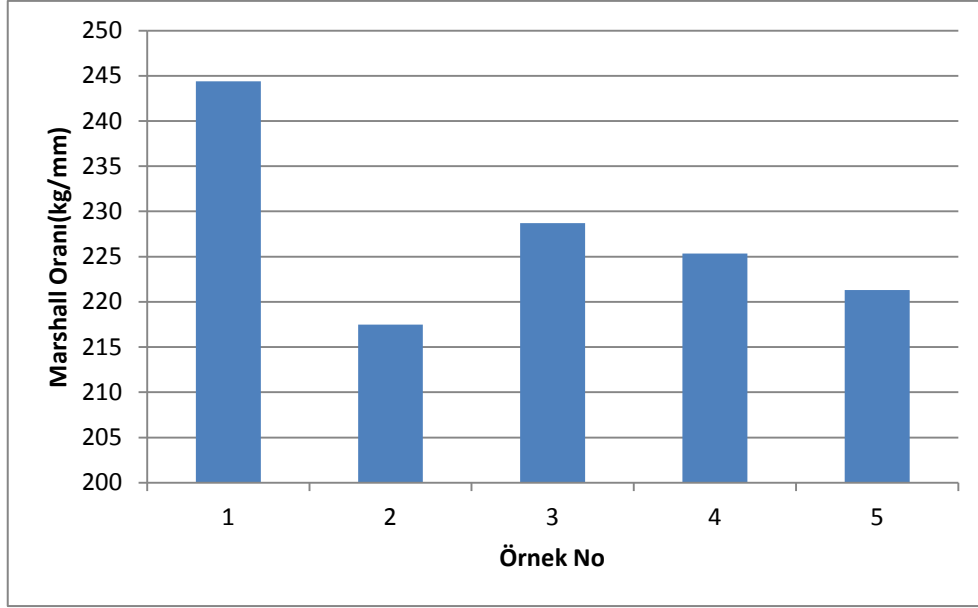


Şekil 3.28. 150 mm çaplı %4 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin akma dağılımları

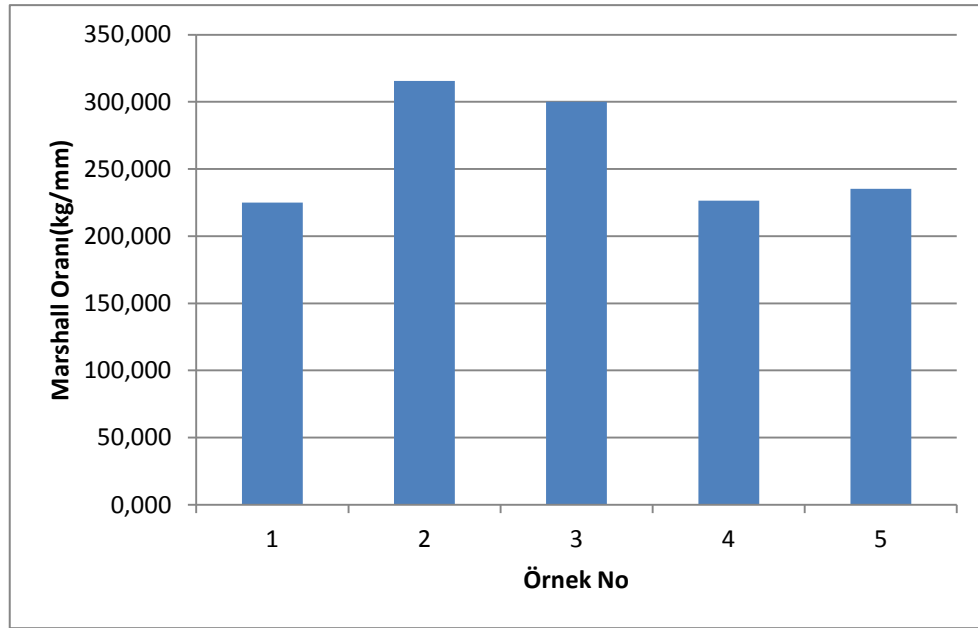
150 mm çaplı örneklerde, stabilite değerlerinde olduğu gibi, akma değerlerinde de katkısız karışımlarla üretilen Marshall briketlerinden elde edilen akma değerlerinin birbirleriyle daha uyumlu olduğu görülmektedir. Sönmüş içeren karışımlardan alınan akma değerleri daha değişken olmaktadır.



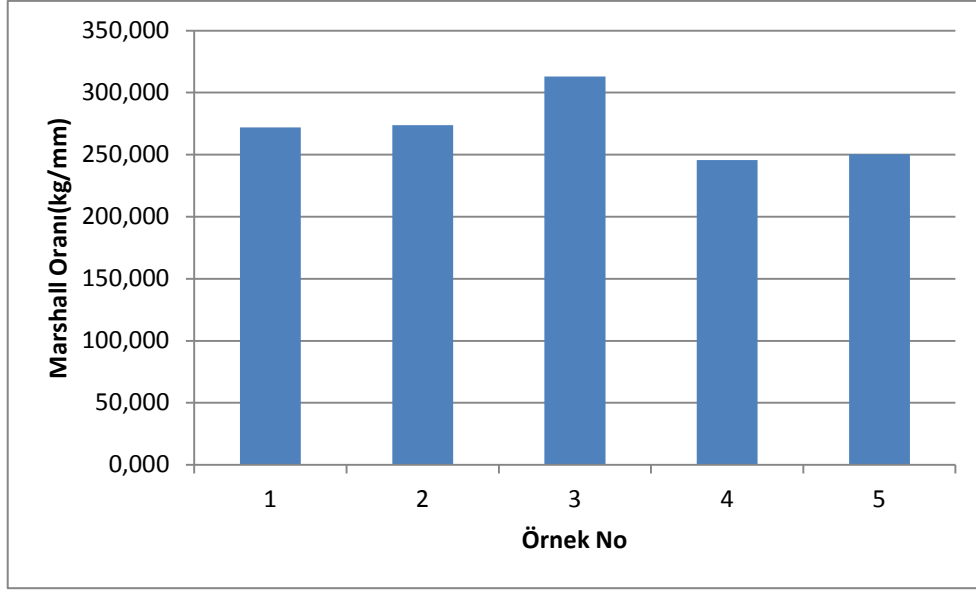
Şekil 3.29. 150 mm çaplı geleneksel karışım briketlerinin MQ dağılımları



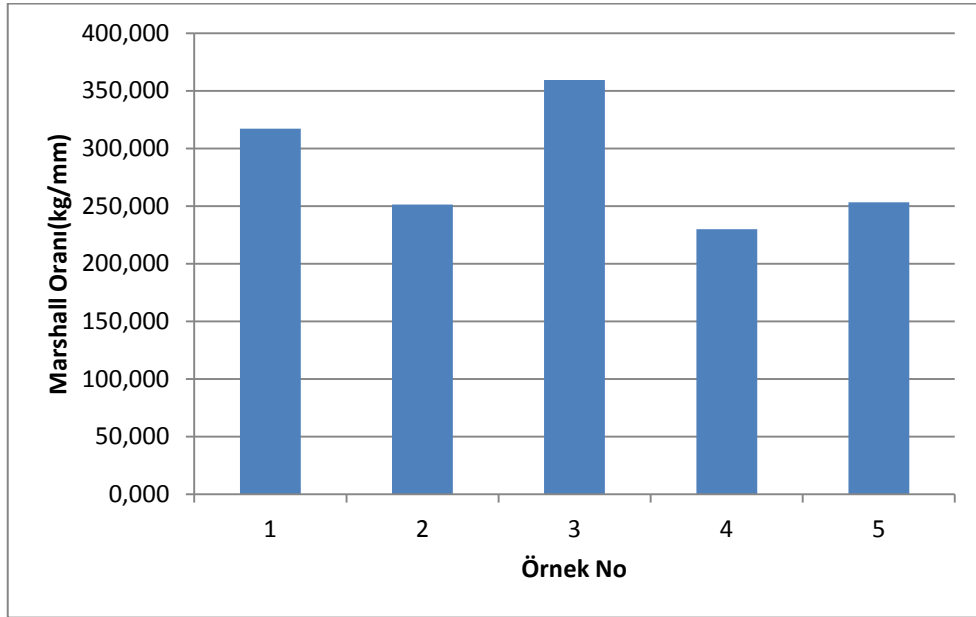
Şekil 3.30. 150 mm çaplı %2 sönmüş kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları



Şekil 3.31. 150 mm çaplı %4 sönmüş kireç katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları



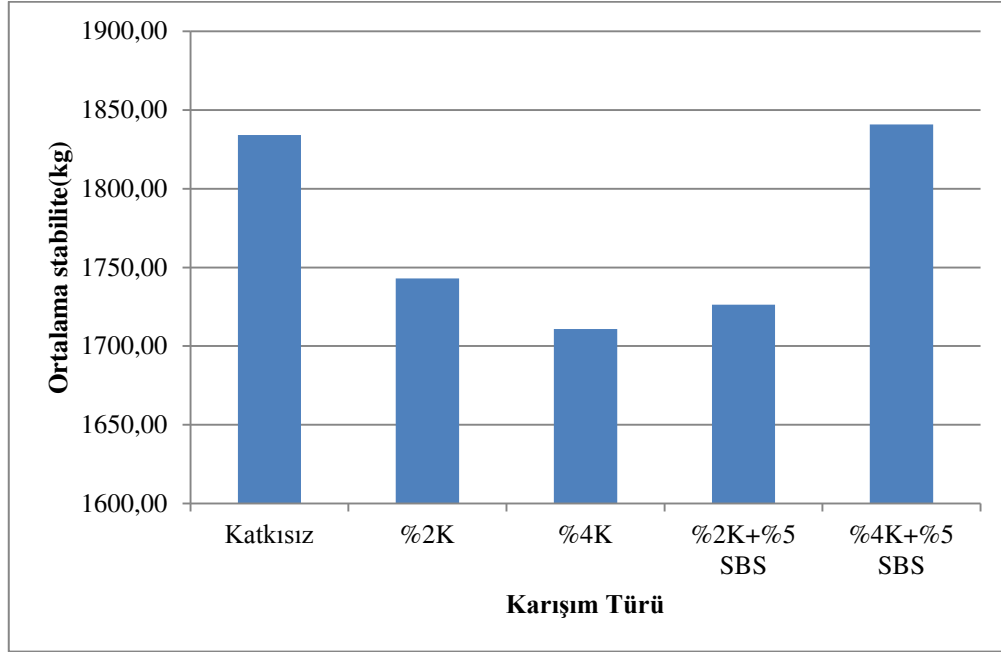
Şekil 3.32. 150 mm çaplı %2 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları



Şekil 3.33. 150 mm çaplı %4 sönmüş kireç+%5 SBS katkılı karışım briketlerinin MQ dağılımları

150 mm çaplı Marshall briketlerinin stabilite değerleri akma değerlerine bölünerek Marshall oranı (MQ) değerleri belirlenmiştir. Belirlenen MQ değerleri Şekil .3.29.-Şekil 3.33’de gösterilmiştir. MQ değerlerinin, Stabilite ve Akma değerlerinin aksine daha uyumlu (daha küçük farklar) olduğu görülmüştür.

Her seçenekte üretilen beş özdeş örnekten elde edilen sonuçların ortalaması alınarak, karışım türü-stabilite ilişkisi Şekil 3.34. karışım türü-akma ilişkisi Şekil 3.35. ve karışım türü-MQ ilişkisi de Şekil 3.36.' da gösterilmektedir.

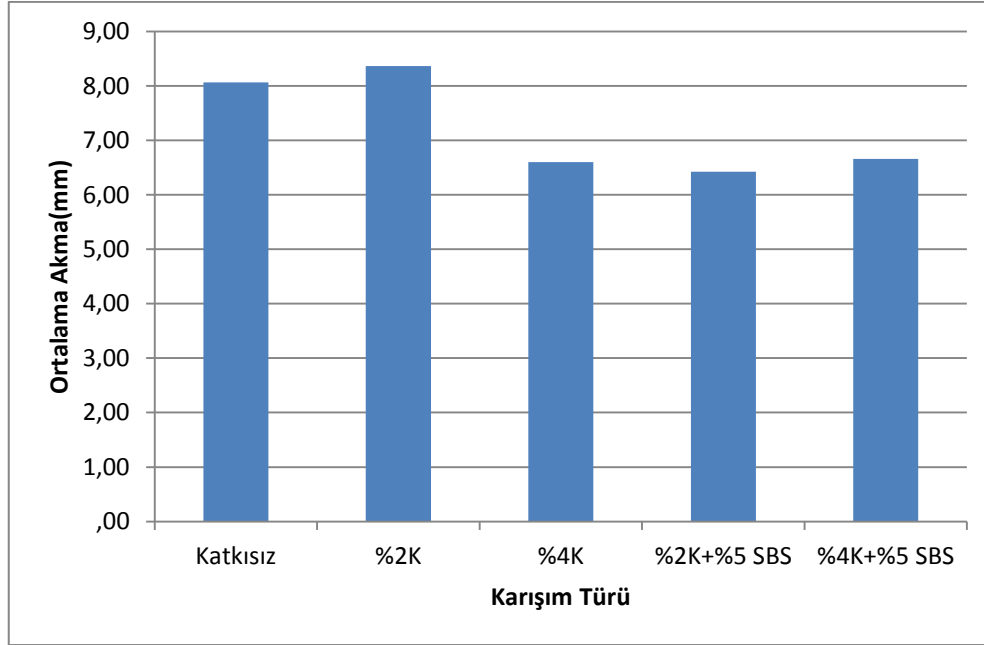


Şekil 3.34. 150 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama stabilite değerleri

150 mm olarak hazırlanan Marshall briketlerinden elde edilen stabilite değerlerine göre, %4 sönmüş kireç + %5 SBS içeren karışımların en yüksek stabilite değerini gösterdiği, katkısız karışımların ikinci sırada yer aldığı ve diğer bütün karışımların katkısız karışımlardan daha düşük stabilite değerleri verdiği görüldü. En küçük stabilite değerleri %4 sönmüş kireç ilaveli karışımlardan elde edildi.

Karayolu kaplamasında kaplama performansını asfalt betonunun stabilitesi belirlemektedir. Asfalt betonunun düşük stabilitede olması kaplamada birçok bozulmaya neden olabilir. Asfalt beton kaplamanın stabilitesi karışımın özelliklerine, bitüm miktarına, yumuşama noktasına, bitümün viskozitesine, agrega gradasyonuna, yerinde imalat şartları ile trafik ve iklim şartları gibi özelliklere bağlıdır. Karayolu kaplamasında görülen en önemli bozulmalardan bir tanesi de tekrar eden yüklerin etkisi ile oluşan yorulma çatlaklarıdır. Diğer taraftan asfalt karışımlarının istenilen sıcaklıklarda olmasında asfaltın performansını ve ekonomik ömrünü belirleyen temel faktörlerden biridir. Asfalt betonunda numunelerin stabilitesi Marshall deneyi ile hasarlı ve ultrases metodu ile de hasarsız olarak

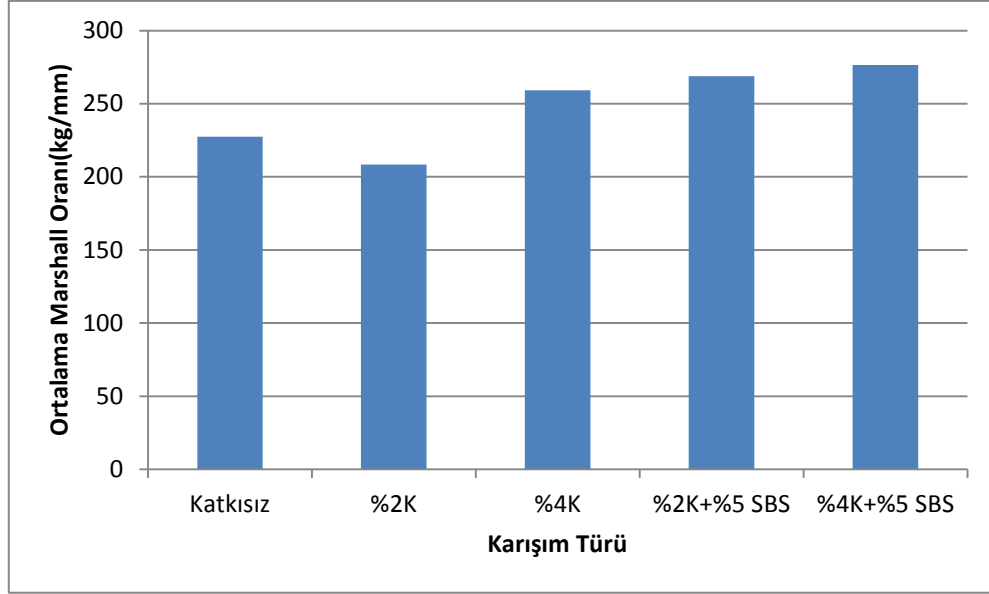
belirlenebilir. Uygulamalarda, kesin sonuç vermesi nedeniyle tahribatsız yöntemler yerine maliyeti yüksek ve zaman kaybına neden olan tahribatlı metotlar kullanılmaktadır (Özgana vd., 2009).



Şekil 3.35. 150 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama akma değerleri

Şekil 3.35'ten en yüksek akma değerlerinin %2 sönmüş kireç katkılı karışımlardan alındığı, katkısız karışımların yine ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. %2 sönmüş kireç + %5 SBS içeren karışımlar en küçük akma değerlerini verdi.

Marshall akması, asfalt betonunun çatlamaksızın alt tabakadaki hareketlere ve yavaş oturmalarla karşı kendisini ayarlama yeteneğidir. Akma değeri asfalt betonu kaplamaların davranışlarını belirleyen, karışımın plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan bir değerdir. Akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır ve stabiliteye karşıt bir özellik olarak dikkate alınabilir (Ahmedzade vd., 2008).

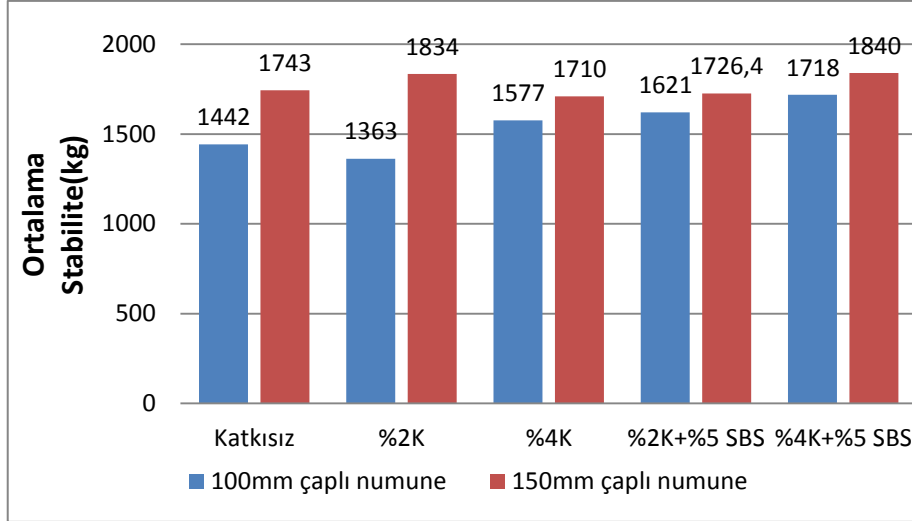


Şekil 3.36. 150 mm çaplı örneklerin karışımlara göre ortalama MQ değerleri

Genel olarak katkı uygulamalarının (%2 sönmüş kireç katkılı karışımlar hariç) MQ değerini artırdığı görüldü. En yüksek MQ değerini %4 sönmüş kireçli + %5 SBS içeren karışımlar verdi.

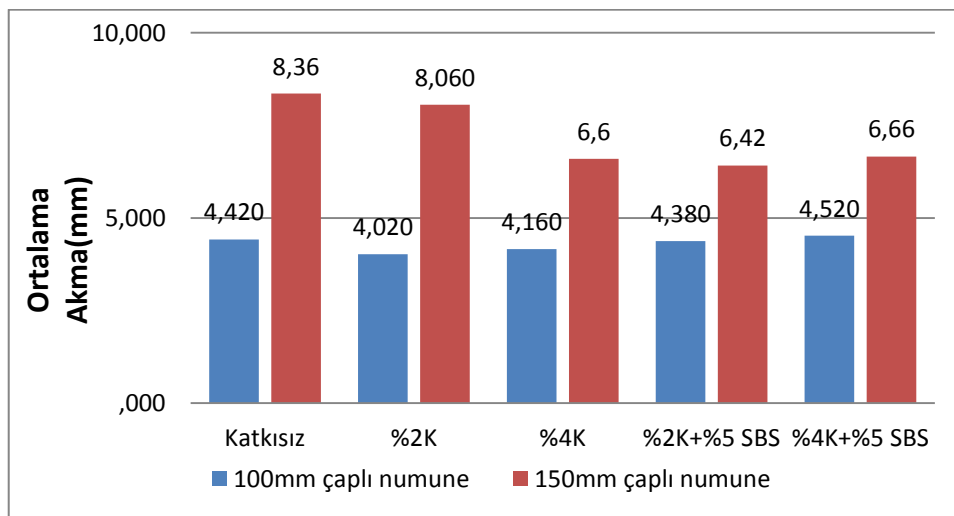
3.3. 100 mm ve 150 mm Çaplı Örnek Verileri Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi

Bu tez çalışmasının amaçlarından birisini, değişik briket çaplarının (100 mm ve 150 mm), farklı karışımlardan (değişik katkılarla ve katkı kombinasyonları ile hazırlanmış) elde edilen akma, stabilite ve MQ değerleri üzerindeki etkilerinin araştırılması oluşturmaktadır. Bu maksatla, Şekil 3.37.'de karışım türleri ile ortalama stabilite değerleri arasındaki ilişki örnek çaplarına bağlı olarak hazırlandı. Şekil 3.37.'den 150 mm çaplı örneklerden elde edilen stabilite değerlerinin 100 mm çaplı olanlara göre bütün karışım türlerinde daha büyük olduğu görülmektedir. %2 sönmüş kireç + %5 SBS içeren karışımda örnek çaplarının sonuca etkisinin minimum olduğu yani bu seçenekteki stabilite değerlerinin birbirine en yakın olduğu görüldü. %2 sönmüş kireç içeren karışımda ise en büyük stabilite farkları oluştu.



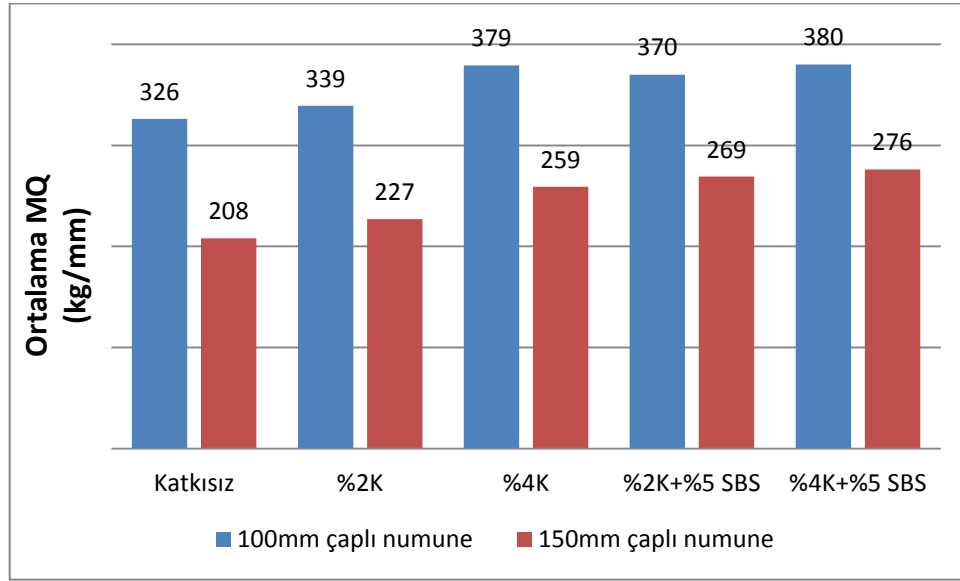
Şekil 3.37. 100 mm ve 150 mm çaplı briketlerin ortalama stabilite değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.38.' de 100mm ve 150 mm çaplı örneklerin akma değeri ortalamaları gösterilmiştir. 150 mm çaplı bütün karışımlar 100 mm çaplı örneklerden daha büyük akma değerleri göstermiştir. Katkısız karışımlar arasında daha büyük akma farkları görülürken kirecin artan oranı ve SBS katkılı karışımlarda bu farkın daha düşük olduğu görülmüştür. Stabilite değerlerine benzer şekilde, akma değerlerinde de, örnek çapının etkisi en az %2 sönmüş kireç + %5 SBS içeren karışımlarda görüldü. Örnek çapının etkisi en çok %2 sönmüş kireç içeren karışımlarda ortaya çıktı.



Şekil 3.38. 100 mm ve 150 mm çaplı briketlerin ortalama akma değerlerinin karşılaştırılması

Örnek çapına bağlı olarak, karışım türü ile MQ değerleri arasındaki ilişki Şekil 3.39.'da gösterildi. Daha yüksek MQ değerleri daha rijit karışım anlamına gelmekte ve kalıcı deformasyona karşı daha dirençli karışım anlamına gelmektedir. Laboratuarda hazırlanan karışımlar ile küçük çaplı örneklerden (100 mm) daha büyük MQ değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Bir başka deyişle örnek çapının 100 mm' den 150mm'ye artırılması MQ değerinde azalmaya neden olmaktadır.

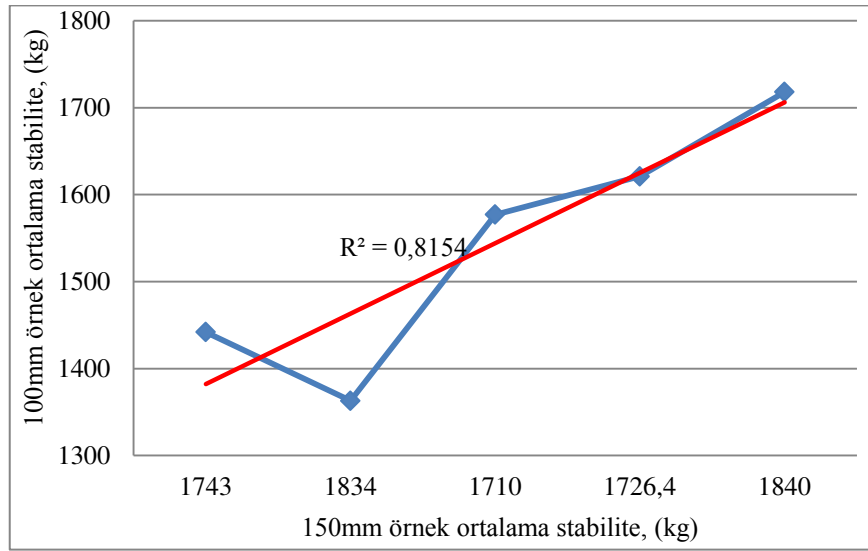


Şekil 3.39. 100 mm ve 150 mm çaplı briketlerin ortalama MQ değerlerinin karşılaştırılması

Katkısız karışımların her iki örnek çapı boyutunda da en küçük MQ değerini verdiği görülmüştür. Katkı ilave etmenin karışımın MQ değerini artırdığı açıkça görülmektedir. Sönmüş kireç ilavesi ile birlikte MQ oranında da bir artışın olduğu, daha yüksek sönmüş kireç oranında MQ değerinin daha a arttığı sonucuna varılmıştır. Sönmüş kireç ile SBS bir arada kullanılarak sinerjik etki de araştırılmıştır. SBS içeren karışımlar sönmüş kirecin tek başına kullanıldığı seçeneklerdekine göre daha yüksek performans göstermiştir. Bu etki 150 mm çaplı örneklerde 100 mm çaplı olanlara göre daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki 100 mm çaplı örneklerde benzer seçenekler arasındaki fark (%4 K ile %4K+%5SBS ve %2K ile %2k+%5 SBS) 150 mm çaplı olanlara göre daha düşük seviyelerde kalmaktadır.

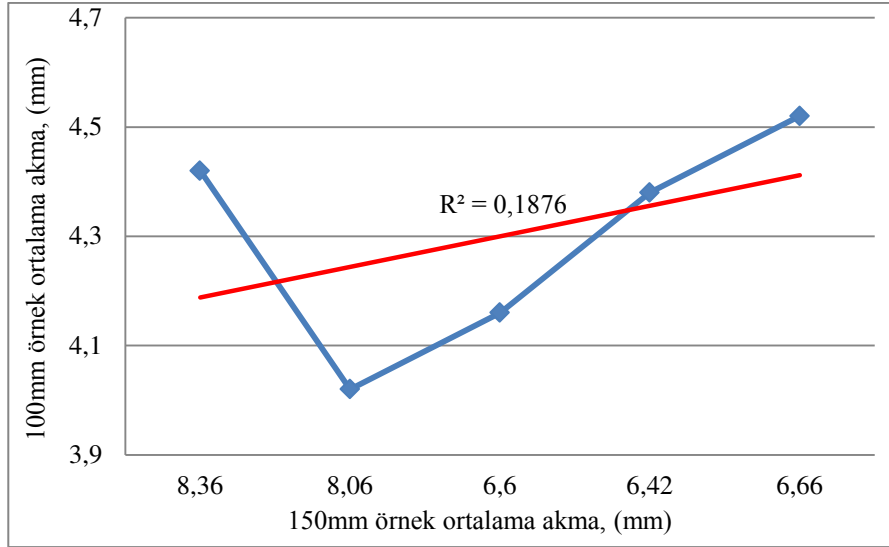
Örnek çaplarının bağlı olarak belirlenen akma, stabilite ve MQ değerlerinin ilişkileri korelasyon katsayısı bağlamında Şekil 3.40-Şekil 3.42'de verildi. Şekil 3.40'da

yatay ekseninde 150 mm çaplı örneklerin ortalama stabilite değerleri ve düşey ekseninde 100 mm çaplı örneklerin stabilite değerleri yerleştirilerek, MS Excel programı yardımıyla doğrusal ilişki korelasyon katsayısıyla (R^2) belirlendi. 0,8154 gibi yüksek korelasyon katsayısı oluştu. 0,80 değerinin üzerindeki korelasyon katsayılarının yüksek ilişkiyi ifade ettiği düşünüldüğünde, stabilite değerlerinin örnek çapına göre yüksek korelasyon oluşturduğu anlaşılmaktadır.



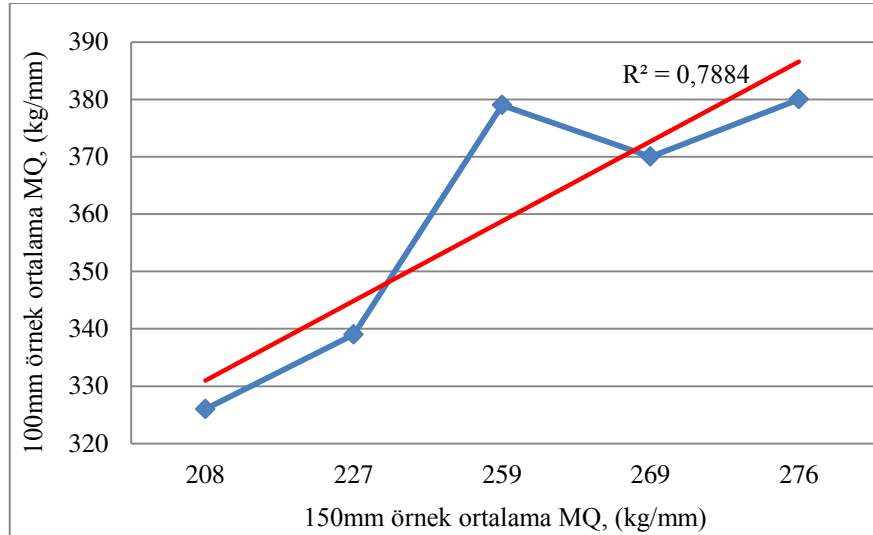
Şekil 3.40. Örnek çapına bağlı olarak stabilite değerleri arasındaki ilişki

Akma değerleri arasındaki korelasyonun belirlenebilmesi amacıyla Şekil 3.41 hazırlandı. Yatay ekseninde 150 mm çaplı örneklerin, düşey ekseninde de 100 mm çaplı örneklerin akma değerleri gösterildi. Doğrusal ilişki $R^2=0,1876$ olarak belirlendi. Stabilite değerleri arasındaki yüksek korelasyona rağmen, akma değerleri arasında bir uyumun olmadığı görüldü. Katkısız karışımların stabilite değerleri arasındaki uyumun derecesini azalttığı, akma değerlerinde de uyumun bozulmasına neden olduğu anlaşıldı.



Şekil 3.41. Örnek çapına bağlı olarak akma değerleri arasındaki ilişki

MQ değerleri arasındaki doğrusal ilişkinin Şekil 3.42’de gösterildi. Stabilité değerleri arasındaki yüksek ilişki ve akma değerleri arasındaki düşük uyuma (uyum yok ta denilebilir) rağmen karışımların ortalama MQ değerleri arasında 0,7884 derecesinde bir uyum hesaplandı. Burada uyumun derecesini %4 kireç katkılı karışımların düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 3.42. Örnek çapına bağlı olarak MQ değerleri arasındaki ilişki

Kalıcı deformasyon probleminin incelenmesi amacıyla; statik sünme, dinamik sünme, tekerlek izi testleri (Wheel tracking test) uygulanmaktadır (Robertus vd., 1995).

Deney sonuçları farklı deneyler için, farklı yükleme koşulları için (sıcaklık ve koşullandırma sistemleri) tartışmalı sonuçlar verebilmektedir (Visser vd., 2002). Marshall örneklerinde, 100mm çaplı örnekler üretilmekte, Nottingham asfalt test aleti ile 100mm çapında üretilmiş örnekler üzerinde statik ve tekrarlı sünme testleri uygulanabilmektedir. Statik sünme ve tekrarlı sünme testleri asfalt test aletinde seçilen yükleme koşullarında 100 mm çaplı Marshall örneklerine uygulanmaktadır. Statik yük ve bağlayıcı reolojisinde katkılarla oluşan değişim yüzünden statik sünme deneyi, büyük oranda hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu bağlamda, tekrarlı yükleme seçenekleri bir gereksinim olmuştur (Brown, 1995). Trafik davranışının simüle edilebilmesi için de ayrıca üstünlükler getirmiştir. Tekrarlı sünme deneyi, üstünlüklü bulunmasına karşın, farklı karışım türleri için, tekerlek izi testleri için (LCPC Wheel tracking test) farklı sonuçlar vermektedir (Ulmgren, 1996).

Tekrarlı sünme testleri, kalıcı deformasyon direncinin incelenmesi için tekerlek izi testlerine ilginç bir alternatif oluşturmaktadır. Farklı karışım türlerinin ayırt edilmesinde şüpheler bulunmaktadır. Sınırlı yanal basınç nedeniyle, örnek çapının 100mm değerinden 150mm değerine çıkarılması durumunda, kohezyon kuvvetlerinin değişiminden dolayı agregaların içsel sürtünme durumu daha iyi gözlenebilmektedir. Araştırmalar, 150mm çaplı örnekler için 100 mm örneklere göre (0.36), tekerlek izi testlerinde, daha yüksek korelasyon (0.91) oluştuğunu göstermiştir (Ulmgren, 1996).

Asfalt karışımların tekerlek izi oturmasına karşı dirençlerini değerlendirmek için; Marshall oranı, statik sünme, tekrarlı sünme, tekerlek izi (wheel tracking) testleri, dolaylı çekme deneyleri uygulanabilmektedir. Ancak, geleneksel ve modifiye karışımların tekerlek izi oluşum dirençleri, farklı deney yöntemleri, farklı yükleme süreleri, farklı deney parametreleri için farklılık gösterebilmektedir. Statik sünme deneyi bu anlamda, yükün statik karakter ve katkılarla bağlayıcı reolojisinin değişmesinden ötürü, seçkinliğini kaybetmiş durumdadır. Marshall oranı, genellikle plastomer türündeki sertleştiricilerle, ya da sönmüş kireç gibi filler katkılı karışımlarla hazırlanan karışımlarda daha uyumlu sonuçlar verebilmektedir. Elastomer katkılı karışımların değerlendirilmesinde, Marshall oranı değerlendirme yöntemiyle, beklenen ve gerçekleşen performans yöntemi gözlenememektedir. Marshall oranı (stabilite/akma), karışım granülometrisine bağlı olarak, örneğin yoğun gradasyonlu karışım ya da taş mastik karışımlar (SMA) için de yanıltıcı (controversial, misleading or conflicting) sonuçlar verebilmektedir.

Kaplama karışımlarının tasarımında, laboratuarda elde edilen sonuçlar ile uygulamadan elde edilen sonuçlar arasında önemli düzeyde farklılıkların olduğu bilinmektedir. Laboratuarda, mekanik özellikler bağlamında, uygulamadan daha iyi sonuç elde edildiği, ülkemizde yaygınca kullanılan Marshall sıkıştırma yöntemi ile laboratuarda tasarlanan boşluk düzeyinin üzerinde boşluk düzeylerinin uygulama aşamasında olduğu, yeterli sıkıştırma yapılsa dahi daha yüksek boşluk düzeylerinin varlığı bilinmektedir. Kaplamanın servis ömrü boyunca, özellikle ilk servis sürecinde, daha yüksek boşluk varlığının (en kötü boşluk kavramı; pessimum void concept) su hasarı gelişimine ve bununla birlikte plastik deformasyonlara neden olduğu değerlendirilmektedir (Chen ve Liao, 2002).

Güncel sıkıştırma biçimlerinden (gyratory compaction), dönel sıkıştırıcı uygulaması yapılması ile sorunlar daha iyi değerlendirilmeye başlanmış, ancak dönme açısının (angle of gyration) etkisi ile birlikte, güncel olan bu konu değerlendirme aşamasındadır (Ziauddin vd., 1988).

Asfalt kaplamalarda sinerjik yarar konusu, güncel bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı türde katkıların bir arada kullanılmasıyla, ayrı ayrı kullanımlarından elde edilecek kazanımların çok üzerinde performans düzeylerinin elde edilebilmesi “sinerjik kazanım” olarak bilinmektedir. Bu konuya, polimer-sönmüş kireç birlikteliği örnek olarak verilebilir. Sönmüş kireç, bitümlü sıcak karışımlara karıştırıldığında oluşturduğu yararlardan birisi de “birlikte çalışma” özelliğidir. Yararlar, bireysel kullanıldıklarında belirli olmalarına karşın, polimer katkılarla bir arada kullanıldıklarında çok daha fazla artmaktadır. Araştırmalar; kireç ve polimerlerin bir arada kullanıldıklarında yalnız başlarına kullanılmalarına göre büyük iyileşmelerin oluşabildiğini vurgulamaktadır (Mohammad vd., 2000).

“Nevada DOT şartnamesinde, sönmüş kireç uygulama oranı kuru agrega ağırlığının yüzde 1’inden az, yüzde 2,5’inden çok olamaz” denilmektedir. Kireç oranının artması ile birlikte, karışım yoğunluklarının düştüğü ve sıkışma yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Marshall karışım tasarımı ile birlikte, laboratuarda, bitümlü karışımlar % 3–4 arasında bir düzeyde optimum oranda tasarlanmasına karşın, uygulamada bu boşluk düzeyleri %5–7 arasında bir düzeyde gerçekleşmektedir. Bu farklılık, uygulamada, kısa süre içerisinde, trafiğe ilk açılan dönemlerde, “en kötü boşluk-pessimum void concept” hipotezine göre kendisini tekerlek izi ve su hasarı olarak ortaya koymaktadır. Kireç oranının, Nevada şartnamesinde verilen oranın aşılması durumunda, yoğunluk ve sıkışma yüzdesi

düşmesiyle birlikte, “en kötü boşluk” hipotezi anlamında, daha da olumsuz bir durum yaratabileceği düşünülmekte, bu bağlamda bu üst sınır koşulunun konulduğu anlaşılabilmektedir (Sebaalay vd., 2001).

Marshall oranının karışımların tekerlek izi direncini belirlemede kullanılabileceğini belirten çalışmaların (Zoorob ve Suparma, 2000; Hınıslıoğlu ve Ağar, 2004; Attaelmanan vd., 2011; Tapkin vd., 2010; Ahmetzade vd., 2008; Lavin, 2003; Nicholls, 1998; Nijboer, 1957) yanı sıra kullanılamayacağını belirten araştırmalar da (Tayfur vd., 2007) bulunmaktadır. Bu konuda açık bir uzlaşmanın olmadığı görülmektedir (Mirzahosseini vd., 2011).

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, sönmüş kireç, SBS ve her iki katkının birden kullanıldığı karışımlar Marshall oranı yaklaşımı ile değerlendirildi. Araştırmada, örnek çapının etkisi de incelendi. 100 mm ve 150 mm çaplarında Marshall briketleri üretildi. Karışım türüne bağlı olarak örnek çapının etkisi ve her iki örnek türü arasındaki korelasyon belirlendi. Çalışmada şu sonuçlara varıldı;

Karışım türlerinin ortalama stabilite değerlerine göre yapılan değerlendirmede, hem 100 mm hem de 150 mm çaplı örneklerde, genel olarak modifiye karışımlar (katkılı) geleneksel karışımlara göre daha yüksek stabilite değerleri oluşturmuştur. 100 mm çaplı örneklerde %2 sönmüş kireç katkı karışımlar, 150 mm çaplı örneklerde de %4 sönmüş kireç modifiye karışımlar istisna oluşturmaktadır. Her iki örnek boyutunda da %4 sönmüş kireç + %5 SBS içeren karışımların en yüksek stabilite değerleri verdiği görülmüştür.

150 mm çaplı örneklerden elde edilen stabilite değerleri 100 mm çaplı örneklerden elde edilenlere göre bütün karışım türleri için daha büyük oldu. %2 sönmüş kireç + %5 SBS içeren karışımda ortalama stabilite değerlerinin birbirine en yakın olduğu, %2 sönmüş kireç içeren karışımda ise en büyük stabilite farkları olduğu anlaşıldı.

150 mm çaplı Marshall briketlerde bütün karışımların akma değerleri ortalamaları 100 mm çaplı olanlara göre daha büyük çıktı. 150 mm çaplı örneklerde geleneksel karışımlar diğer karışımlardan daha yüksek akma değerine ulaştı. Diğer seçenekte de (100 mm) katkı uygulaması akma değerini genel anlamda azalttı fakat %4 sönmüş kireç + %5 SBS katkı seçenек geleneksel karışımlardan daha büyük akma değeri verdi. Diğer katkı karışımlar geleneksel karışımlardan daha düşük akma değerleri gösterdi.

Örnek çapına bağlı olarak, geleneksel karışımlar arasında daha büyük akma farkları görülürken kirecin artan oranı ve SBS katkı karışımlarda bu farkın daha düşük olduğu görüldü.

Katkısız karışımların her iki örnek çapı boyutunda da en küçük MQ değerini verdiği görülmüştür. Katkı ilave etmenin karışımın MQ değerini artırdığı açıkça görülmektedir. Sönmüş kireç ilavesi ile birlikte MQ oranında da bir artışın olduğu, daha yüksek sönmüş kireç oranında MQ değerinin daha da arttığı sonucuna varılmıştır. Sönmüş kireç ile SBS bir arada kullanılarak sinerjik etki de araştırılmıştır. SBS içeren karışımlar sönmüş kirecin tek başına kullanıldığı seçeneklerdekine göre daha yüksek performans

göstermiştir. Bu etki 150 mm çaplı örneklerde 100 mm çaplı olanlara göre daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki 100 mm çaplı örneklerde benzer seçenekler arasındaki fark (%4 K ile %4K+%5SBS ve %2K ile %2k+%5 SBS) 150 mm çaplı olanlara göre daha düşük seviyelerde kalmaktadır.

100 mm çaplı örnekler ile 150 mm çaplı örneklerin Marshall stabilite değerleri arasında $R^2=0,8154$ derecesinde yüksek uyum görüldü. Aynı uyum Marshall akma değerleri arasında görülemedi ($R^2=0,1876$). Buna karşın MQ değerleri arasında $R^2=0,7884$ derecesinde uyum oluştu.

5. KAYNAKLAR

- Ahmedzade, P., Alataş, T. ve Geçkil, T., 2008. Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı, İMO Teknik Dergi, Yazı 297, 4493-4507.
- Aksoy, A. ve Ağar, E., 2002. Yüksek Performanslı Sıcak Karışım Asfaltlar İçin Sönmüş Kirecin Bir Çözüm Yöntemi Olarak Kullanımı, IV. Balıkesir Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu.
- Aksoy, A., Yıldırım, Y., Özen, H., İskender, E. ve Tayfur, S., 2010. Asfalt Kaplamalarda Sinerjik Fayda Kavramının Anlaşılması, Mekaniksel Performans Deneyleri Ve Bilgisayarlı Tomografi Görüntüleri Yardımıyla Deformasyon Ve Çatlama Problemlerinin Değerlendirilmesi, TÜBİTAK.
- Aren Cleven, M., 2000. Investigation Of The Properties Of Carbon Fiber Modified Asphalt Mixtures, Master Of Science in Civil Engineering, Michigan Technological University.
- Atlas, R. M., 1981. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbons: an Environmental Perspective, Microbiology Review, (45), Pp. 180-209.
- Attaelmanan, M., Feng, C.P. ve Al, A.H., 2011. Laboratory evaluation of HMA with high density polyethylene as a modifier, Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 5, Pages 2764-2770.
- Bari, J. ve Witczak, M. W., 2005. Evaluation of the Effect of Lime Modification on the Dynamic Modulus Stiffness of HMA Use with the New Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Trb No. 1929, Pp. 10-19, Trb.
- Brown, S.F., 1995. Practical test procedures for mechanical properties of bituminous materials, Proc Inst Civil Eng – Transport, 111:289-97.
- Ceylan, S., 2006. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Carboniferous-Triassic Kayaç Tozlarının Kullanılması Ve Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Chen, J. S. ve Liao M. C., 2002. Evaluation of Internal Resistance in Hot Mix Asphalt Concrete, Construction and Building Materials, 16, 313-319.
- Choquet, D., Ku, G., Cassard, S., Malissen, B., Korn, H., Fridman, W.H., and Bonnerot, C., 1994. Different Patterns of Calcium Signaling Triggered Through Two Components of the B Lymphocyte Antigen Receptor, Journal of Biological Chemistry 269, 6491-6497.

- Dallas, N. Little and Jon A Epps., 2006. The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt, 2001 Updated By: Peter E. Sebaaly April, Prepared For The National Lime Association.
- Denning, J. H ve Carswell, J., 1981. Improvements in Rolled Asphalt Surfacing by the Addition of Organic Polymers, Department of the Environment Department of Transport TRRL, Report LR 989.
- Dunning, R. L. ve Mendenhall, R. L., 1978. Design of Recyled Asphalt Pavements and Selection of Modifiers, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication, ASTM, STP 662.
- Epps, J. A., 1992. Hydrated Lime Hot Mix, Presentation Manual, FHWA, AASHTO, NLA.
- Hicks, R., Gary ve Todd, V., Scholz., 2001. Life Cycle Costs for Lime in Hot Mix Asphalt, Report & Software.
- Hinislioglu, S. ve Ağar, E., 2004. Use of the Waste High Density Polyethylene as Bitumen Modifier in Asphalt Concrete Mix, Materials Letters, Vol.58, pp.267-271
- İskender, E., 2004. Asfalt Betonunda Kalıcı Deformasyon Probleminin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Jian-Shiuh Chen, P.E., Min-Chih, L. ve Ming-Shen, S., 2002. Asphalt Modified by Styrene- Butadiene-Styrene Triblock Copolymer: Morphology and Model, Journal of Materials in Civil Engineering, May/June.
- Kuloğlu, N. ve Namlı, R., 2005. Asfalt Karışımlarının Dönel Presle Sıkıştırılması. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. (3), 487-497.
- Lavin, P., 2003 Asphalt Pavements: A Practical Guide to Design, Production and Maintenance for Engineers and Architects. London.
- Lee, A.R., 1936. Adhesion in Relation to Bituminous Road Materials, Journal of the Society of Chemical Industry, 55, 23-9T.
- Lee, K. W., 1982. Prediction and Evaluation of Moisture Effects on Asphalt Concrete Mixtures in Pavement Systems, Doctor Of Philosophy, Austin, Texas University, December.
- Mcgennis, R. B, Machemehl, R. B ve Kennedy, T. W., 1981. Stripping and Moisture Damage in Asphalt Mixtures, Research Report 253-1, Centre for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University of Texas, Austin, December.

- Mirzahosseini, M. R., Aghaeifar, A., Alavi, A. H., Gandomi, A. H. and Seyednour, R., 2011. Permanent Deformation Analysis of Asphalt Mixtures Using Soft Computing Techniques. *Expert Systems with Applications*, Volume 38, Issue 5, Pages 6081-6100.
- Mohammad, L. N., Abadie, R., Gokmen and Puppala, 2000. Mechanistic Evaluation of Hydrated Lime in HMA, *Transportation Research Record*, Transportation Research Board, No.1723.
- Mostafa, A. E., Gerardo, W. F., Imad, L. A., 2003. Quantitative Effect of Elastomeric Modification on Binder Performance at Intermediate and High Temperatures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15, No. 1, February 1, 32-40.
- Nicholls, C., 1998. *Asphalt Surfacing: A Guide to Asphalt Surfacing and Treatments Used for the Surface Course of Road Pavements*, London, New York: E&FN Spon.
- Nijboer, L. W., 1957. Some considerations of the Marshall Test Method for Investigating Bituminous Masses, *Strasse and Autobahn*, 210–214.
- Noureldin, A. S., 1995. Long Term Performance of Asphalt Cement Binders; A Dual View, *Physical Properties of Asphalt Cement Binders*, ASTM STP 1241, John C. Hardin, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Özgana, E., Kapa, T., Beycioğlu, A. ve Emiroğlu, M., 2009. Asfalt Betonunda Marshall Stabilitesinin Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Tahmini, 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İats'09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye
- Pendrys, J. P., 1989. Biodegradation of Asphalt Cement-20 by Aerobic Bacteria, *Applied and Environmental Microbiology*, 55, 1357-62.
- Petersen, J. C., 1984. Chemical Composition of Asphalts as Related to Asphalt Durability; State of Art, *Transportation Research Record* 999, Pp13-30.
- Robertus, C., Mulder E. A. ve Koole, R. C., 1995. SBS Modified Bitumen for Heavy Duty Asphalt Pavements, *Second International Conference on Roads and Airfield Pavement Technology*, Singapore, September.
- Rogge, D. F., Leahy, R. B. ve Blair, R., 1995. Cold-in-Place(CIP) Recycling with Lime," *Transportation Research Instit.*, OR State Univ., Corvallis, OR, July.
- Sayın, E. ve Yıldırım, B., 2005. Asfalt Betonu Kaplamaların Farklı Sıcaklıklarda Dayanımı, *Fırat Üniv. Fen Ve Müh. Bil. Der.*, 17(3), 463-469.
- Sebaalay, P.E., McCann, M., Hitti, E. ve Epps, J.A., 2001. Performance of Lime in Hot Mix Asphalt Pavements. *University of Nevada, Technical Report*, Research Report No. 1358-2, February.

- Şengül, C. E., 2006. Asfalt Kaplamalarda Tekerlek İzinde Oturma ve Su Hasarı Problemlerinin Azaltılması için Sönmüş Kireç Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sengul, C. E., Aksoy, A. ve Iskender, E., 2006. Permanent Deformation Resistance Evaluation with Marshall Quotient Approach, Seventh International Congress On Advances in Civil Engineering, October 11-13, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey.
- Tapkin, S., Çevik, A., Uşar, Ü., 2010. Prediction of Marshall Test Results for Polypropylene Modified Dense Bituminous Mixtures Using Neural Networks, Expert Systems with Applications, Volume 37, Issue 6, June, Pages 4660-4670.
- Tayfur, S., 2001. Taş Mastik Asfalt (SMA) Kaplamalar İçin Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tayfur, S., Ozen, H. ve Aksoy, A., 2007. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers, Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 2, February, Pages 328-337.
- Terrel, R. L. ve Al-Swailmi, S., 1993. The Role of Pessimum Voids Concept in Understanding Moisture Damage to Asphalt Concrete Mixtures, Annual Meeting of The TRB.
- Ulmgren, N., 1996. Functional Testing of Asphalt Mixes for Permanent Deformation by Dynamic Creep Test Modification of Method and Round Robin Test, Eurasphalt & Eurobitume Congress.
- URL-1, 2005. <http://www.insaatmuhendisligi.net/index.Php?Topic=5330.0>
- Valkering, C. P., Lancon D. J. L., Hilster, E. D. and Stoker, D. A., 1990. Rutting Resistance of Asphalt Mixes Containing Non-Conventional and Polymer-Modified Binders, AAPT Conference, Albuquerque, USA.
- Visser, A.T., Long, F., Verhaeghe, A. ve Taute, A., 2002. Provisional Validation of the New South African Hot-Mix Asphalt Design Method (Mix Design-1:7-6). Ninth International Conference On Asphalt Pavements. Copenhagen, Denmark; August, P. 36-47.
- Wang, L., Wang. X., Mohammad, L. and Wang, Y., 2004. Application of Mixture Theory in The Evaluation of Mechanical Properties of Asphalt Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 167-174.
- Welborb, J. Y., 1984 Physical Properties as Related to Asphalt Durability; State of Art, Transportation Research Record 999, Pp31-36.
- Whiteoak, D., 1991. The Shell Bitumen Handbook, Shell Bitumen (UK).

- Ziauddin, A. K., Hamad Ia., Ibrahim, A. ve Rezgallah, R., 1988. Comparative Study of Asphalt Concrete Laboratory Compaction Methods to Simulate Field Compaction, *Construction and Building Materials* 12, 373-384.
- 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*, Vol.22, pp.233-242.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Ali TURAN, 1975 yılında Trabzon'da doğdu. 1991 yılında Yomra Lisesinden mezun oldu. 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksek Okulu İnşaat bölümünü bitirdi. 1997 yılında Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başladı. Aynı bölümden 2000 Bahar yarıyılı sonunda "İnşaat Mühendisi" ünvanıyla bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2004 yılında Toplu Konut İdaresinde(TOKİ) uzman İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı.

Mehmet Ali TURAN orta düzeyde İngilizce bilmekte olup TOKİ' de İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.