

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASFALT KAPLAMALARDA SİNERJETİK FAYDA KONUSUNUN
ANLAŞILMASINDA MARSHALL ORANI YAKLAŞIMININ KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Kürşat Coşkun ÇOLAK

TEMMUZ 2006

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASFALT KAPLAMALARDA SİNERJETİK FAYDA KONUSUNUN
ANLAŞILMASINDA MARSHALL ORANI YAKLAŞIMININ KULLANILMASI**

İnş.Müh. Kürşat Coşkun ÇOLAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“İnşaat Yüksek Mühendisi”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.06.2006

Tezin Savunma Tarihi : 21.07.2006

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Atakan AKSOY

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Fazıl ÇELİK

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Abdurrahman DOKUZ

Enstitü Müdürü: Prof.Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2006

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında sürekli desteğini gördüğüm, bu tezi hazırlamamda en büyük katkıyı sağlayan tez danışmanım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Atakan AKSOY'a ve Sayın Prof. Dr. Fazıl ÇELİK'e öncelikle teşekkürlerimi sunuyorum.

“Asfalt Kaplamalarda Sinerjetik Fayda Konusunun Anlaşılmasında Marshall Oranı Yaklaşımının Kullanılması” adlı bu tezin bilim camiasına ve ilgili sektöre faydalı olacağını, uygulamada asfalt problemlerinin çözümünde yararlı olacağını ummaktayım.

Doğuş-Polat Ortak Girişimi laboratuvarlarında çalışmalarım için gerekli ortamı sağlayan Polat Yol-Yapı Araklı-İyidere Şantiye Şefi Sayın Özgür ŞAHİNTAŞ'a, çalışma için gerekli numunelerin hazırlanmasında benden yardımlarını esirgemeyen Laboratuvar Sorumlusu Sayın Necati BUĞAN'a, laboratuvar elemanları Haydar İSMAİLOĞLU ve Fetullah DÜZGÜN'e, tecrübeleriyle bu çalışmaya katkıda bulunan Sayın Dr. Şeref ORUÇ'a, yine yardımlarını aldığım Sayın Arş. Gör. Erol İSKENDER ve bu çalışmada her zaman yanımda olan Sayın İnş. Müh. Celaleddin Ensar ŞENGÜL'e teşekkür ediyorum.

Bu çalışmamı, öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme ithaf ediyorum.

Kürşat Coşkun ÇOLAK

Trabzon 2006

İÇİNDEKİLER

	<i>Sayfa</i>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
SİMGELER LİSTESİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1 Giriş	1
1.2 Konunun Özgeçmişi.....	1
1.3 Kalıcı Deformasyon Oluşumu.....	6
1.3.1 Kalıcı Deformasyona Neden Olan Faktörler	6
1.4 Kalıcı Deformasyon ve Çatlama Mekanizmaları.....	8
1.4.1 Kalıcı Deformasyon Mekanizmaları	8
1.4.1.1 Yapısal Tekerlek İzi Oluşumu	8
1.4.1.2 Sürekli Tekerlek İzi Oluşumu.....	10
1.4.1.3 Yıpranmaya Dayalı Tekerlek İzi Oluşumu	11
1.4.2 Çatlama Mekanizmaları	12
1.4.2.1 Yorulma Çatlaması (Yükler).....	12
1.4.2.2 Yorulma Çatlaması (Sıcaklıktaki Değişimler).....	13
1.4.2.3 Termal Büzülme Çatlaması.....	13
1.4.2.4 Alt Tabakalarda Çatlakların Oluşumu ve Yayılması.....	13
1.5 Sürekli Tekerlek İzi Oluşumu için Bitümlü Tabakalarda Ana Parametreler ..	14
1.5.1 Arazi Gözlemleri Sonuçları.....	14
1.5.2 Mekanik Deney Sonuçları.....	15

1.5.3	Karışımların Arazideki Performanslarının Tahmin Edilmesinde Briket Hazırlamanın Önemi	16
1.6	Tekerlek İzi Oluşumunun Sakıncaları.....	16
1.7	Katkı Kullanımı	17
1.7.1	Sönmüş Kirecin Bağlayıcı Üzerine Etkisi	21
1.7.2	Katkı Malzemesi Olarak Sönmüş Kireç Kullanımı	22
1.7.2.1	Kirecin özellikleri	22
1.7.2.2	Kirecin Katılma Teknikleri	24
1.7.2.3	Kuru Yöntem.....	24
1.7.2.4	Nemli Agregaya Uygulanma Biçimi.....	25
1.7.2.5	Slurry Yöntem.....	25
1.7.3	Stiren Butadien Stiren Katkılar.....	25
1.7.4	Bitümün Modifikasyonu.....	28
1.7.4.1	Bitümle Uyum.....	28
1.7.4.2	Isı.....	29
1.7.4.3	Karıştırma Tekniği.....	30
1.7.4.4	Üretim-Kullanım Arasındaki Süre.....	30
1.7.5	Katkılarla Plentte Modifikasyon.....	31
1.7.5.1	Bitümle Uyum.....	31
1.7.5.2	Isı.....	31
1.7.5.3	Karıştırma Tekniği.....	31
1.7.5.4	Üretim-Kullanım Arasındaki Süre.....	32
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	33
2.1	Çalışmada Uygulanan Deney Yöntemleri.....	33
2.1.1.	Asfalt Çimentosuna Uygulanan Deneyler.....	33
2.1.1.1	Özgül Ağırlık Deneyi.....	33
2.1.1.2	Yumuşama Noktası Deneyi.....	33
2.1.1.3	Parlama Noktası Deneyi.....	34
2.1.1.4	Penetrasyon Deneyi.....	34
2.1.1.5	Düktilite Deneyi.....	34
2.1.1.6	Çözünürlük Deneyi... ..	35
2.1.2	Agrega Örneklerine Uygulanan Deneyler.....	35

2.1.2.1	Elek Analizi.....	35
2.1.2.2	Aşınma Deneyi.....	36
2.1.2.3	Hava Etkilerine Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi).....	37
2.1.2.4	Cıılanma Direnci Deneyi.....	38
2.1.2.5	Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyleri.....	38
2.1.2.6	Yassılık Deneyi.....	38
2.1.3	Asfalt Karışım Tasarımı.....	39
2.1.3.1	Marshall Deneyi.....	39
2.1.3.2	Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi	40
2.2	Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	44
2.2.1	Agrega.....	44
2.2.1.1	Agregaların Deney Sonuçları.....	45
2.2.1.2	Gradasyon.....	45
2.2.2	Bitüm.....	48
2.2.3	Katkı Maddesi.....	49
2.2.3.1	Sönmüş Kireç ve Sbs Modifiye Katma İşlemi.....	50
2.2.3.2	Hazırlanan Briketlerdeki Katkı Oranları.....	51
2.2.4	Briketlerin Koşullandırılması.....	52
2.2.5	Stabilite ve Akma Değerlerinin Tespiti.....	52
3.	BULGULAR ve İRDELEME.....	54
3.1	Sönmüş Kireç ve Sbs Modifiye Uygulaması Sonuçları.....	54
3.1.1	Katkısız ve Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları	54
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	61
5.	KAYNAKLAR.....	62
6.	EKLER.....	65
	ÖZGEÇMİŞ.....	66

ÖZET

Kalıcı deformasyon, asfalt karışımlar için önemli bir bozulma mekanizmasıdır. Styrene- Butadiene- Styrene (SBS) modifiyerlerle sönmüş kirecin birarada kullanımı sinerjetik gelişme olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada asfalt kaplamalarda, sinerjetik fayda araştırılmış ve seçilen örnekler üzerinde performans derecelendirme yöntemlerinden Marshall oranı kullanılarak, sönmüş kireçle birlikte kullanılan SBS modifiyerin sıcak asfalt karışım performansına etkisi saptanmaya çalışılmıştır. SBS modifiyesi laboratuvar ortamında gerçekleştirildi. Karışımdaki filler içeriği %1 azaltılıp yerine sönmüş kireç ilave edildi. Çalışma için, katkısız kontrol briketleri, sönmüş kireç ilaveli briketler ve %2,4 ve 6 oranında SBS modifiyer ilaveli 48 adet briket hazırlandı. Deneylerde kullanılan numuneler Marshall yöntemine göre hazırlandı ve kontrol ve modifiye karışımlar için özdeş briketler üretildi. Hasar sistemi belirlendikten sonra hazırlanan briketlere uygulandı. Marshall oranları elde edildikten sonra sinerjetik performans araştırması yapıldı. Elde edilen sonuçlardan; Marshall oranının sinerjetik performans değerlendirmesinin bir göstergesi olmadığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tekerlek izi oluşumu, sinerjetik fayda, Marshall oranı, asfalt karışımlar

SUMMARY

Using Marshall Quotient Approach To Understand Synergistic Benefit Subject In Asphalt Pavements

Permanent deformation is an important distress mechanism for asphalt mixtures and innovative approaches are put forward in context with this problem. Incorporating some additives to asphalt mixtures reveals in innovative solutions. Hydrated lime addition together with SBS modification to asphalt mixtures is called synergy development. The purpose of this study is to research synergistic benefits. SBS modification was realized at laboratory conditions and hydrated lime was used as a part of filler replacement. Filler content was decreased at a ratio of 1 percent and hydrated lime added. Both control mixtures and modified mixtures with hydrated lime were prepared. In addition to lime addition SBS modification was used at 2, 4, and 6 percents of bitumen. Design process was materialized with Marshall Method. Identical samples for control and modified mixtures were manufactured. Damage system was determined and applied on connected samples. Marshall Quotients were obtained and synergistic performance comparisons were done. In the result that it is thought that Marshall Quotient is not an indicator of the synergistic performance evaluation.

Key Words: Rutting, synergistic benefit, Marshall quotient, additives, asphalt mixtures

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1	Tekerlek izinde yapısal oturma örneği.....	8
Şekil 2	Kaplama performans eğrileri.....	9
Şekil 3	Tekerlek izi oluşumlarına örnekler.....	11
Şekil 4	Genel bir tekerlek çivisi görünümü.....	11
Şekil 5	Çivili lastik görünümü (studded tire).....	11
Şekil 6	Çivili lastiklerin yol üzerindeki hasarları.....	12
Şekil 7	40°C’de dinamik sünme deneyinde zaman-kalıcı deformasyon ilişkisi.....	26
Şekil 8	SBS katkı maddesinin genel görünümü.....	27
Şekil 9	SBS bağ şekilleri.....	27
Şekil 10	Üç boyutlu SBS yapısı.....	27
Şekil 11	Asfaltla kaplanmış SBS moleküllerinin üç boyutlu görünümü	28
Şekil 12	Pratik özgül ağırlık-Bitüm yüzdesi Grafiği.....	42
Şekil 13	Asfalt dolu boşluk yüzdesi-Bitüm yüzdesi Grafiği.....	42
Şekil 14	Boşluk yüzdesi-Bitüm yüzdesi Grafiği.....	43
Şekil 15	Stabilite,kg-Bitüm yüzdesi Grafiği.....	43
Şekil 16	Akma-Bitüm yüzdesi Grafiği.....	43
Şekil 17	VMA-Bitüm yüzdesi Grafiği.....	43
Şekil 18	Seçilen gradasyon ve önerilen şartname limitleri.....	47
Şekil 19	Çalışmada Kullanılan Asfalt Karışım Briketleri.....	51
Şekil 20	Su banyosu cihazı (Tempette Junior TE-8J, TECHNE).....	52
Şekil 21	Stabilite ve akma değerlerinin ölçüldüğü cihaz	53
Şekil 22	Briketlerin boşluk oranı değerleri.....	54
Şekil 23	Briketlerin asfaltla dolu boşluk değerleri.....	57
Şekil 24	Briketlerde agregadaki boşluk değerleri.....	57
Şekil 25	Katkılı ve katkısız briketlerin stabilite değerleri.....	58
Şekil 26	Katkılı ve katkısız briketlerin Akma değerleri.....	58
Şekil 27	Briketlerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma) değerleri.....	59

TABLolar LİSTESİ

		Sayfa
Tablo 1	Bitüm Modifikasyon Tipleri.....	19
Tablo 2	Fiber Malzemeleri.....	19
Tablo 3	Modifiyelerin etki alanları.....	20
Tablo 4	Üstyapı problemlerine karşılık gelen katkılar.....	21
Tablo 5	Kireçtaşı Uluslar arası Standart Sanayi sınıflaması.....	24
Tablo 6	Türk bitümlerinin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar.....	26
Tablo 7	Aşınma Deneyi Örnek Sınıflaması.....	36
Tablo 8	Aşınma Deneyinde Kullanılan Küre Sayıları	37
Tablo 9	Sağlamlık Deneyinde Uygulanan Miktar.....	37
Tablo 10	Donma Kaybı İçin Kullanılan Elek	38
Tablo 11	Aşınma dizaynı Mashall deneyi sonuçları	41
Tablo 12	Optimum bitüm miktarı ve karşılık gelen parametreler	44
Tablo 13	Kaba ve ince agrega özellikleri	45
Tablo 14	Dane Boyutu Dağılımı.....	46
Tablo 15	Seçilen agrega gradasyonu ve bu gradasyona göre önerilen sınır değerleri.....	46
Tablo 16	Kaba ve İnce Agrega Özgül Ağırlıkları	48
Tablo 17	Bitümlü bağlayıcı (AC 60-70) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları	48
Tablo 18	Söndürülmüş Toz Kireç (SKK 80-T) Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri	49
Tablo 19	SBS modifiye (Kraton D 1101) ilave edilen bitümün özellikleri	50
Tablo 20	Hazırlanan Karışımlardaki Katkı Maddesi Oranları	51
Tablo 21	Kontrol ve SBS modifiyeli asfalta karışımlar için ortalama boşluk içerikleri	55
Tablo 22	Sönmüş kireç-SBS modifiye asfalt karışımlar için ortalama boşluk içerikleri	56
Ek Tablo 1	Briket Deney Sonuçları.....	65

SİMGE LİSTESİ

- a : Yük çubuğunun genişliği
APA : Asfalt Kaplama Analiz Aleti
E : Elastisite Modülü
h : Yükseklik
HDPE : Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HL : Hydrated Lime
MD : Mod faktörü
MQ : Marshall Oranı
N_f : Yorulma ömrü
P : Uygulanan yük
P_B : Ağırlıkca Bitüm Oranı (%)
RR : Tekerlek İzi Oranı
SBS : Styrene- Butadiene- Styrene
SEBS : Styrene-Ethylene/ Butylene-Styrene
S_{mix} : Karışımın Esneklik Modülü
TEM : Transmisyon Elektron Mikroskobu
T_{RB} : Yumuşama Noktası
V : Hacimce Boşluk (%)
V_b : Hacimce Bitüm Yüzdesi (%)
VFA : Asfaltla Dolu Boşluk (%)
VMA : Mineral Agrega İçerisindeki Boşluk (%)
 σ : Gerilme
 σ_r : Çekme Gerilmesi
 σ_z : Basınç Gerilmesi
 ϵ : Deformasyon
2a : Dairesel yayılı yük çapı
2 α : yük çubuğunun genişliği ile orijinin birleştiği nokta arasındaki açı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Asfalt kaplamalar konfor başta olmak üzere, sağladığı diğer avantajlar nedeni ile tüm ülkeler tarafından yol üst yapısında en çok tercih edilen kaplama türüdür. Esnek yol kaplamaları konusunda oluşan geniş bilgi birikimine rağmen, trafik izinde oturma başta olmak üzere, çatlama ve soyulma gibi birçok faktöre bağlı karmaşık problemlerle sıklıkla karşılaşmaktadır [1].

Tekerlek izi oluşumu ve su hasarı, günümüzde asfalt kaplamalarda yaygın şekilde oluşan bozulma çeşitleridir. Sönmüş kireç gibi mineral fillerlerin kullanımının su duyarlılığında bir azalma sağladığı bilinmektedir. Kireç ile polimerlerin bir arada kullanılmasının ayrı ayrı kullanılmasından daha fazla gelişme sağlayabildiği görülmüştür [2]. Sönmüş kirecin asfalt karışımlara birçok fayda sağlamasına rağmen, genelde soyulma önleyici bir katkı olarak kullanılmaktadır [3]. Stabilitenin akmaya oranı olarak hesaplanan Marshall Oranı, özel test koşulları altında yaklaşık bir yükten kaynaklanan deformasyon oranı sunmaktadır. Servis ömründe malzemelerin kalıcı deformasyona karşı dirençlerinin ölçümünde kullanılabilir [4].

Yukarıdaki bilgiler ışığında bu çalışmanın ana amacını; farklı oranlarda SBS ve sönmüş kireç birleşimleri oluşturup Marshall Oranı yaklaşımı ile bu katkıların sinerjetik faydalarını irdelemek oluşturmaktadır.

1.2.Konunun Özgeçmişi

Aksoy, A., Şamlıoğlu, K., Tayfur, S., Özen, H. yaptığı çalışmada, sırasıyla iki yağ amini (Wetfix I, Lilamin VP 75P), bir katalizör (Chemcrete) ve bir polimer (granüler lastik) olmak üzere dört katkı maddesinin asfalt karışımlarda oluşan su hasarına olan etkisinin incelendiği, binderin reolojik özelliklerinin geleneksel yöntemler kullanılarak ölçüldüğü, karışımların mekanik özelliklerinin Marshall, dolaylı çekme ve Lottman testleri kullanılarak değerlendirildiği, asfalt karışımlarda Chemcrete, %0.2 oranında Wetfix, %4,6

oranlarında Lilamin VP 75P kullanıldığı, asfalt briketlerinde dolaylı çekme gerilme oranlarının Marshall stabilite oranlarından daha düşük çıktığı belirtilmektedir [5].

Walkering, S.D. ve Vonk, W.C. yaptığı çalışmada, farklı oranlarda SBS polimerler ile modifiye edilmiş bitümlerin kullanıldığı, karşılaştırma EVA bileşeni ile modifiye edilen aynı bitümün kullanıldığı, iki farklı bitümden hazırlanan karışımlara 40°C ve 50°C’de statik sünme ve dinamik sünme deneylerinin uygulandığı, her iki sıcaklıkta yapılan dinamik sünme deneyleri arasında tatmin edici bir ilişki olduğu, dinamik sünme deneyi sonunda toplam kalıcı deformasyonlar ve laboratuvar tekerlek izi testlerindeki son tekerlek izi derinliği arasında ilişkinin bulunduğu, dinamik sünme deneyinin SBS modifiye bitümlerin davranışlarını incelemek için kullanılabileceği belirtilmektedir [6].

Aksoy, A., Açar, E. çalışmasında, sönmüş kirecin, çeşitli yönleriyle asfalt kaplamaların performansını yükselttiği, dayanım artırdığı; 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 [7].

İskender, E., karışım performansının değerlendirilmesi için statik ve dinamik sünme deneylerinin yapıldığı çalışmada, Marshall tasarımı için 18, sünme deneyleri için 36 olmak üzere toplam 54 Marshall briketi üretilmiş, geleneksel (katkısız), modifiye (laboratuarda Modifiye edilmiş) ve premodifiye (fabrikasyon olarak modifiye edilmiş) bitümle hazırlanan 36 özdeş briketeye düşük sıcaklık (0°C) ve yüksek sıcaklıkta (40°C) statik sünme ve dinamik sünme deneyleri uygulandı. Genel olarak geleneksel karışımların 0°C sıcaklıkta 40°C’den daha az deformasyona uğradıkları, modifiye ve premodifiye karışımların yüksek sıcaklıklarda (40°C) daha az deformasyon gösterdikleri, tekrarlı sünme deneyinde özdeş briketler arasında 40°C sıcaklıkta daha iyi bir korelasyon olduğu fakat 0°C’de eğriler arasındaki farkın daha büyük olduğu belirtilmektedir [8].

Mostafa AE, Gerardo WF, Imad LA. yaptığı çalışmada, 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 [9].

Jian-Shiuh Chen, P.E., Min-Chih, L., Ming-Shen, S. çalışmasında, asfalt bağlayıcıyı modifiye etmek için SBS(styrene-butadiene-styrene) kopolimerin kullanıldığı, bağlayıcının morfolojik ve teknik özelliklerinin transmisyon elektron mikroskobu (TEM) dönele 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 [10].

Little, D.N., Petersen, J.C. çalışmasında, sönmüş kirecin bağlayıcının içinde filler olarak değerlendirildiği ve kalsiyum karbonat içeren aynı orandaki fillerle karşılaştırıldığı, karışımlara yorulma ve kalıcı deformasyon testlerinin, mastiklere reolojik test, düşük sıcaklık uzaması testi, kırılma testi ve torsiyonel yorulma testlerinden oluşan kapsamlı laboratuvar testlerinin yapıldığı, uygulanan testlerle filler olarak kullanılan sönmüş kirecin geniş sıcaklık aralıklarında mastiklerde ve karışımlarda mikroçatlak oluşum derecesine ve oranını, mikrohasar iyileşmesini, plastik ve viskoelastik akmayı önemli ölçüde etkilediğinin doğrulandığı, test sonuçlarının açıklanmak için bitümün mikroyapısına ve eklenen akışkanların reolojik modellerine bağlı olan hipotezlerin sunulduğu, filler olarak kullanılan sönmüş kirecin etkisinin bitümle olan etkileşimine bağlı olduğu belirtildi [11].

Hınıslioğlu, S., Açar, E. yaptığı çalışmada, asfalt betonunda polimer ilavesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) içeren çeşitli plastik atıkların kullanım olasılığının araştırıldığı, farklı karıştırma zamanı, karıştırma sıcaklığı ve HDPE içeriğinin HDPE-modifiye bağlayıcının Marshall stabilitesi, akma ve Marshall oranına (stabilitenin akmaya

oranı) etkisinin araştırıldığı, %4,6ve 8 oranında (optimum bitüm ağırlığının) HDPE, 145°C, 155°C, 165°C sıcaklıklarda AC-20 kullanılarak, 5, 15, 30 dakika karıştırma zamanlarında sıcak karışım asfalt hazırlandığı, HDPE ile modifiye edilen asfalt betonunda Marshall stabilitesi (gerilme) değeri ve Marshall oranında (deformasyona karşı direnç) önemli artış olduğu, %4 HDPE içeriğinde, 165°C sıcaklıkta ve 30 dakika karıştırma süresinde Marshall stabilitesi, akma ve Marshall Oranı için optimum durumların belirlendiği, Marshall oranının kontrol karışımıyla karşılaştırıldığında %50 arttığı, atık HDPE'li modifiye bitümün yüksek stabilite ve Marshall oranından dolayı kalıcı deformasyona karşı daha iyi direnç sağlayacağı ve plastik atıkların dönüşümüyle çevreyi korumaya katkıda bulunduğu vurgulandı [12].

Epps, J. A. çalışmasında, sıcak karışıma sönmüş kireç ilave etmenin, trafik yüklerinin meydana getirdiği gerilmelerin yayılmasına yardımcı olduğu ve dayanımı arttırdığı gözlemiş, genellikle kalıcı deformasyon diye nitelendirdiğimiz tekerlek izi potansiyelini azalttığını vurgulamıştır [13].

Johansson, L. çalışmasında, bitümlü kaplamalarda soyulma önleyici katkı olarak hidrate olmuş kirecin kullanıldığı; kirecin bitümün erken yaşlanmasını geciktirdiği ve böylece adezyon mekanizmasını iyileştirdiği belirtildi [14].

Rogge, D. F., Leahy, R. B., Blair, R. yaptığı çalışmada, 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 [15].

Johansson, L. çalışmasında, sönmüş kirecin bitümle olan etkileşimi konusunda fillere sönmüş kireç takviyesi yapılarak kaplamanın dayanımında önemli ölçüde bir artış sağlandığı, bunun yanında sönmüş kirecin fiziksel sertliği arttırmadığı, sönmüş kireç ile modifiye edilmiş kaplamanın, trafik altında oluşan yükün kaplamaya dağılmasının, modifiye edilmemiş geleneksel kaplamaya göre daha fazla olduğu ve deformasyonun kalıcı olmaması yönünde olumlu sonuçlar doğurduğu, sönmüş kirecin düşük sıcaklık sertleşmesini arttırmasına rağmen, çatlak oluşumuna karşı direnci de aynı oranda arttırdığı, gevrekliği azalttığı, yaşlanma ile oluşan problemlere karşı etkinin yüksek sıcaklıkta düşük sıcaklığa göre daha etkili olduğu vurgulandı [16].

Modifiye bitümlerle imal edilmiş yollardaki plastik deformasyon ve yorulma çatlaklarının incelendiği, atık kauçuk katkılı modifiye bitümlü karışımların, en iyi

dayanımı gösterdiği, diğer modifiyeli karışımlara göre daha iyi sonuç elde edildiği belirtildi [8].

Bitümün modifikasyonu için termoplastik elastomerlerden (styrenic block copolymers) en yaygın kullanılan Styrene – Isoprene – Styrene ve Styrene – Butadiene – Styrene blok kopolimerlerinin kullanıldığı, modifiye bitümün yumuşama noktasının, duktilitesinin, adezyon ve kohezyonunun karıştırma sıcaklığındaki viskozitesinin, servis sıcaklığındaki viskozitesinin ve yaşlanmasının belirlendiği, kalıcı deformasyon direncini tahmin içinde Marshall deneyi, statik ve dinamik sünme deneylerinin uygulandığı, Marshall stabilitesi ve gerçek tekerlek yükü uygulamasına dayalı tekerlek izi oluşumu arasında bir ilişkinin olmadığı, statik ve dinamik sünme deneylerinde de; modifiye bitümün geleneksel bitümden daha iyi performans gösterdiği, sonuç olarak da, tekerlek izi oluşum direncinin en az on kat arttığı, modifikasyon seviyesine bağlı olarak yorulma direncinin 2,5 ile 4,5 kat arttığı, düşük seviyede modifikasyonda bile SBS modifiye bitümün adezyon özelliğinin dikkate değer bir şekilde arttığı dile getirildi [8].

Karışım performansının değerlendirilmesi amacıyla SBS katkılı modifiye bitümle yapılmış bir yol üzerinden karot örnekleri alarak, bu briketlere statik sünme, dinamik sünme ve diğer bazı deneylerin uygulandığı, statik deneylerin malzemenin elastik olarak hareket etmesine izin vermediği, bu nedenle SBS modifiye asfaltın deformasyon dirençlerini olduğundan düşük gösterdiği, geri dönen deformasyonların statik sünme deneyinden elde edilen sonuçlara göre SBS'li karışımların daha iyi sonuç verdiği, tekrarlı sünme deneyi sonucunda katkılı karışımlarda oluşan kalıcı deformasyon miktarının katkısızlara oranla genelde daha düşük olduğu belirlendi [8].

Marshall yöntemine göre hazırlanan briketler üzerinde performans deneyleri olarak statik sünme, dinamik sünme, Marshall, dolaylı çekme ve su hasarı deneylerini gerçekleştirildiği, yoğun tane boyutu dağılımına sahip agrega bileşenindeki filler malzemesinin farklı oranlarda portland çimentosu ile değiştirildiği, statik sünme ve dinamik sünme deneyleri ile tekerlek izi oluşum potansiyellerinin sıcak karışımla karşılaştırmalı olarak incelendiği, statik sünme deneyinde briketlerin 28 günlük kür süresinin ardından deneye tabi tutulduğu, statik sünme deneyinde karışımdaki çimento miktarı arttıkça briketlerde meydana gelen deformasyonun azaldığı, dolayısıyla çimento katkı miktarı artarken tekerlek izi oluşma riskinin düştüğü, diğer yandan karışımdaki kalıntı bitüm içeriği arttıkça briketlerde meydana gelen deformasyon artmaktadır. Buna

bağlı olarak karışımın tekerlek izi oluşma riskinin arttığı, sıcak karışımın tekerlek izi oluşma riskinin ise çimento katkılı soğuk karışımlardan daha yüksek olduğu, dinamik sünme deneyinde ise sıcak karışımın kalıcı deformasyon direncinin çimento katkılı tüm soğuk karışımlarından daha düşük bulunduğu belirtildi [8].

Mohammad, L.N., C. Abadie, R. Gokmen and A.J. Puppala çalışmasında, sönmüş kireç, sıcak karışım asfaltlara 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 oranla oldukça büyük iyileşmelerin gözlemlendiğini vurgulamaktadırlar [2].

1.3. Kalıcı Deformasyon Oluşumu [17]

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.

1.3.1. Kalıcı Deformasyona Neden Olan Faktörler [8]

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, çözünebilir tuzların birikmesi ya da kristalleşmesi ile yüzeye zarar vermesi ve termal ya da çekme çatlaklarıdır. Yüklemeyle ilgili 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 üstü yapı 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, üstü yapı 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 alttemelin stabilite yetersizliğidir. Gözlemler plastik deformasyona neden olan üstü yapı faktörlerinin aşağıdaki gibi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

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

1.4. Kalıcı Deformasyon ve Çatlama Mekanizmaları [8]

1.4.1. Kalıcı Deformasyon Mekanizmaları

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

1. Yapısal tekerlek izi oluşumu
2. Bitümlü tabakalarda sürekli tekerlek izi oluşumu ve
3. Yıpranmaya dayalı tekerlek izi oluşumuna değinilmişti.

Bu bölümde ilgili maddeler konu başlıkları altında incelenmektedir.

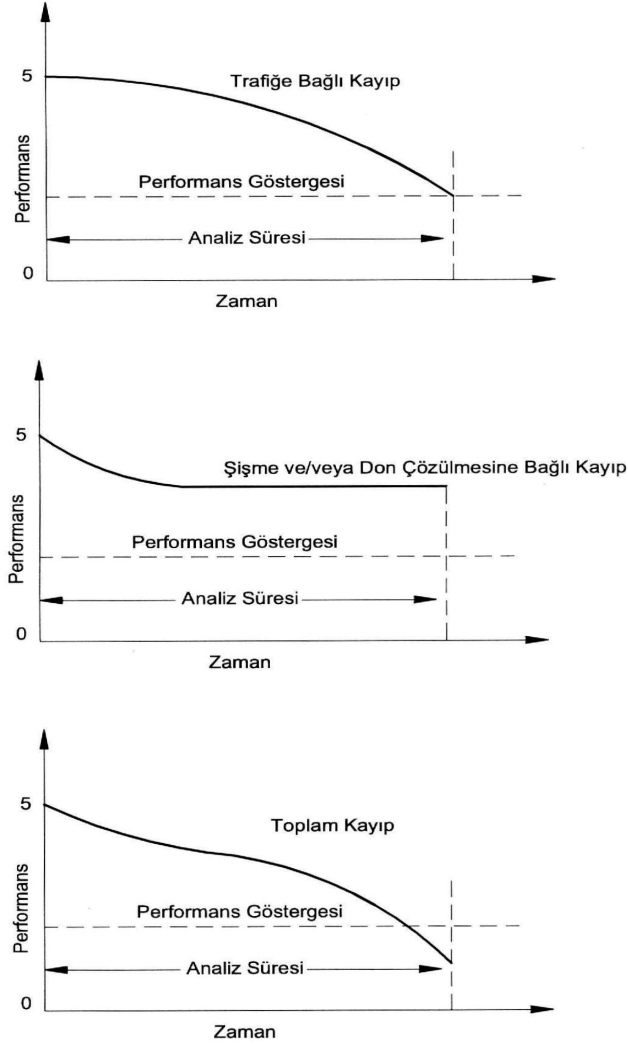
1.4.1.1. Yapısal Tekerlek İzi Oluşumu

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. Tekerlek izinde yapısal oturma örneği [8]



Şekil 2. Kaplama performans eğrileri [8]

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 çözüm güçlendirme olup, bu amaçla mevcut kaplamanın kalıcı taşıma kapasitesinden sorumlu tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Bu taşıma kapasitesi genellikle, belli bir yük altında yüzey sapsmasından yararlanılarak belirlenmektedir.

1.4.1.2. 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.

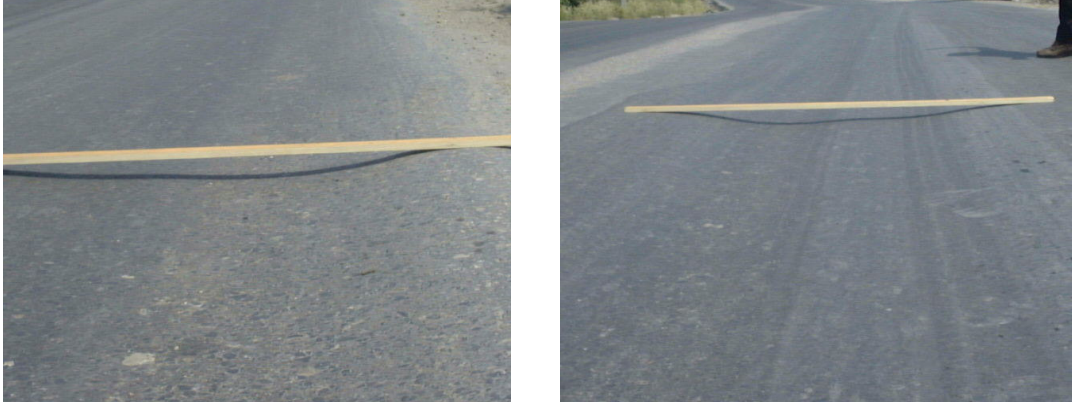
Bu tür tekerlek izi oluşumu yapısal tasarımdan daha çok karışım tasarımı ile ilişkilidir. Konuyla ilgili faktörler, çeşitli bileşenlerin özellikleri, karışım içerisindeki oranları ve serme işlemidir.

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.

1.4.1.3. Yıpranmaya Dayalı Tekerlek İzi Oluşumu

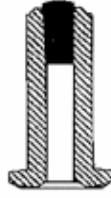
Üçüncü bir deformasyon oluşumu ise; özellikle Kuzey Avrupa Ülkeleri ile bir zamanlar Avrupa'da kullanılan ve çivili lastik olarak tanımlanan lastiklerin oluşturduğu aşınma ile meydana gelen tekerlek izi çeşididir.

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 3. Tekerlek izi oluşumlarına örnekler [8]

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



Şekil 4. Genel bir tekerlek çivisi görünümü [8]



Şekil 5. Çivili lastik görünümü (studded tire) [8]



Şekil 6. Çivili lastiklerin yol üzerindeki hasarları [8]

1.4.2. 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;

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

1.4.2.1. 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.

1.4.2.2. 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.

1.4.2.3. 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.

1.4.2.4. 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.

1.5. Sürekli Tekerlek İzi Oluşumu için Bitümlü Tabakalarda Ana Parametreler [8]

1.5.1. 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 tasarımlanmış 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:

1. Büyük oranda maksimum parçacık boyutu ile yüksek mikro pürüzlülüğün yanında olabildiğince kübik şekle sahip sert parçalanmış agregalar kullanılmalıdır. Agregaların kırılmış yüzey sayısı (parçalanma oran) arttıkça tekerlek izi oluşumuna karşı direnç de artmakta olup, tekerlek izi deneylerinde %50 ila %100 arasında bir farklılık açık şekilde gözlenebilmektedir.
2. Yuvarlak kumların kullanımı kısıtlanarak parçalanmış kumlardan yararlanılmalıdır.
3. Tabakanın stabilitesini etkilemeksizin kolayca serilmesine olanak tanımak sureti ile bitümlü tabaka için gerekli olan fonksiyona uygun derecelendirmeler kullanılmalıdır.
4. Temiz malzemeler kullanılmalıdır.
5. Aşırı derecede bitüm (mastik) doldurulmasından kaçınılmalıdır. Aksi halde mineral iskeletin yer değiştirme problemi ortaya çıkacaktır.
6. Bağlayıcının sıcaklığa karşı hassaslığı ile mastik sertliği kontrol edilmelidir.(bağlayıcı ve dolgu maddesinin özellikleri, oranlama)
7. 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

8. edilen yüksek kaliteli malzemeler kullanılmalıdır.
9. 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.
10. 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).
11. 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.
12. 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).

1.5.2. 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 diğerk 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 ettiğii konusu üzerinde durulmalı ve laboratuarda gözlenen davranışın gerçek arazi performansını ne derecede yansıttığına odaklanılmalıdır. Bu hususun göz ardı edilmesi durumunda başarısızlık ihtimali yükselecektir.

1.5.3. Karışımın Arazideki Performanslarının Tahmin Edilmesinde Briket Hazırlamanın Önemi

Bitümlü bir karışımın arazide yük ve iklimsel etkilerin birleşik etkimesi altında nasıl bir performans göstereceklerinin değerlendirilmesine yönelik mekanik deney briketleri hazırlanması işlemini içermektedir. Deney sonuçlarının başarıyı garanti etmesi için, bu briketler gerçekte serilecek olan karışımı olabildiğince iyi şekilde temsil etmelidir. Belirli bir karışım tasarımı için, bu temsil etme özelliğii yalnızca, arazide kullanılan farklı olan (ivmelendirilmiş tam-ölçekli deneyler hariç) laboratuarda sıkıştırma (kompaksiyon) yönteminin arazide sıkıştırma ile elde edilen karışım bileşenleri düzeninin aynısını sağlaması durumunda elde edilebilecektir.

Bunun anlamı, karışım bileşenlerinin düzeninin önemli rol oynamasından ötürü bir mekanik deneyin, briketlerin hazırlanması yönteminden ayrı tutulamayacağı olup, karışım tasarımcıları kütleleri değil hacimleri ele almalıdır, (agrega, mastik, bağlayıcı tarafından işgal edilen hacim, agregadaki boşluk hacmi, sıkıştırılmış karışımındaki boşluk hacmi, vs.)

Günümüzde, laboratuarda yürütülen sıkıştırma prosedürleri arasında, döner kayma sıkıştırıcısı kullanılarak gerçekleştirileninin yukarıda belirtilen koşulları en iyi şekilde karşıladığı açıkça ortaya konulmuştur.

1.6. Tekerlek İzi Oluşumunun Sakıncaları [8]

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 lastiğinin

yüzeyle 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.

1. Şerit değiştirme esnasında araç kontrolü zorlaşır.
2. Tekerleğin izlediği hat üzerinde, kayma ve buz oluşumuna neden olan su birikintileri oluşur.
3. 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 değerinin altına düşmesinin önleneceği şekilde tasarımı gerekli kılmaktadır.

1.7. Katkı Kullanımı [18]

Çok yüksek molekül ağırlıklı uzun zincirli polimerler, farklı ölçütlere dayanılarak sınıflandırılmaktadır. Yöntemlerden birisi, polimerleri elastomerler ve plastomerler olarak iki genel kısımda incelemektedir. İki kısım arasındaki temel fark, deformasyona karşı direnç mekanizmalarıdır. Elastomerlerin yük-deformasyon davranışı, kauçuk (rubber) bandın davranışına benzemektedir. Şöyle ki, çekme gerilmesinin artmasıyla uzama artmakta, yükün kalkmasıyla başlangıçtaki durumuna dönebilmektedir. Diğer yandan, plastomerler yüksek erken dayanım oluşturmakta fakat daha az esnek ve yüksek şekil değiştirmelerde elastomerlerden daha kırılğan olmaktadır.

Son yıllarda kullanımı oldukça artan modifiye bitümler ve modifiye karışımlar konusundaki çalışmalar ve yayınlarda farklı tip katkı maddelerinin karşılaştırmasından katkı maddesi olarak polimerlere ilginin arttığı ve bitüm katkı maddeleri sınıflandırılırken polimerler temel alınarak, polimer olan katkı maddeleri ve polimer olmayan katkı maddeleri şeklinde sınırlandırıldığı görülmektedir. Bu biçimdeki bir sınıflandırmaya göre Bitüm modifikasyon tipleri Tablo 1.'de verilmiştir.

Bazı başka fiber malzemeleri Tablo 2.'da verilmektedir

Yaygın olarak kullanılan kimi modifiyerlerin bitüm özellikleri üzerindeki etkisi Tablo 3.'da verilmektedir

Belli başlı üstyapı sorunlarına karşı, bağlayıcı ve üstyapı karışımının iyileştirilmesi için, yukarıdaki sınıflandırmalarda görülen ve yaygın olarak kullanılan modifiyerler Tablo 4.'de verilmektedir

Asfalt malzemelerin özellikleri, ham petrolün doğasına ve işleme sürecinin gerçekleştirildiği rafineri özelliklerine bağlı olmaktadır. Üretilen asfaltlar, endüstride kullanılan asfalt sınıflarına ve nihai tanımlamalara her zaman uyumlu olamamaktadır. Ayrıca, daha yüksek lastik basınçları oluşumu noktasında eğilim söz konusudur. Asfalt kaplamalar, hızlı bozulma ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemlerin önüne geçmek için asfalt çimentoları da katkıların kullanımı konusuna ilgi günden güne artmaktadır.

Son yıllarda, asfalt çimentoları için polimer katkıların kullanımı konusunda daha çok ilgi söz konusudur. Polimerlerin yol uygulamasında etkili olabilmesi için; bitüme karıştırılması, düşük sıcaklıklarda bitümü çok kırılğan veya karıştırma sıcaklığında modifiye bitümü çok viskoz yapmaması, bu koşullar altında orta ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı (resistance) kalıcı deformasyon, aşınma, çatlama, yorulma, soyulma ve yaşlanma gibi bağlamlarda geliştirmesi beklenmektedir. Diğer bir deyişle, kaplamanın performansını “çeşitli yönleriyle” geliştirmelidir. Birçok polimer, modifikasyon sürecinde kullanılmakta fakat termoplastik elastomerler bitüm katkı maddesi olarak yaygınca kabul edilmektedir. Polyolefinler daha çok su geçirmez membranların hazırlanmasında kullanılmaktadır, bununla birlikte başka birçok polimer üretilmekte ve önerilmektedir.

Tablo 1. Bitüm Modifikasyon Tipleri

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

Tablo 2. Fiber Malzemeleri

Bağız Başlıca Fiber Malzemeleri		
Doğal Fiberler	Yapay Fiberler	
	Organik tip	İnorganik tip
Selüloz	Polipropilen	Karbon
Yün	Polyester Poliüretan	Cam
Asbestler (Slikat)	Aromatik polimidler	Çelik

Tablo 3. 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 kırılma noktası
Solvent	Viskozite
Emülsifikasyon	Viskozite Islatma kabiliyeti Uygulama sıcaklığı
Islatma ajanları	Islatma kabiliyeti Adezyon

Tablo 4. Üstyapı problemlerine karşılık gelen katkılar

Üstyapının İyileştirilmesi İçin Kullanılan Bağzı Katkılar	
Problem Türü	Modifiyeler
Yaşlanma	SBR (Stren-butodien) Oksidan Antioksidan Mineral fiber
Yorulma	SBR (Stren-butodien) EVA (Etil vinil asetat) Oksidan
Kalıcı Deformasyon	SBS (Stren-butodien-stren) Mineral filler
Isısal Çatlamlar	SBS (Stren-butodien-stren) Ekstender (Genleştirici)

1.7.1. Sönmüş Kirecin Bağlayıcı Üzerine Etkisi [7]

Çeşitli katışım yöntemleri ile sıcak asfalt karışımına ilave edilen ve filler gibi inert bir madde olmayıp karışım içinde faydalı reaksiyonlara girebilen Sönmüş kireç, asfalt çimentosunun polar molekülleriyle reaksiyona girerek soyulmayı önlemede etkili olmaktadır. Bu moleküller, kireçle reaksiyona girdiğinde artık suya ilgi duymayan ve çözünmeyen tuzlar oluşturur. Ayrıca, sönmüş kireç parçacıklarının karışım içerisinde dağılması ile karışım daha rijit ve sağlam olmaktadır. Mekaniksel olarak asfalt-agrega bağının kırılması yönünde risk azaltıcı etki uygulamakta ve ortamda su olmasa dahi bu anlamda olumlu etki göstermektedir.

Kimyasal olarak, sönmüş kireç güçlü bir alkali malzemedir. Büyük oranda nötürleştirme gücüne sahiptir. Kireçteki kalsiyum; agregaya yüzeyindeki hidrojen, sodyum ve potasyum ile yer değiştirir. Kalsiyumca zengin yüzeyler, uzun zincirli organik asitlerle tepkimeye girerek suya karşı dirençli (yalıtılmış) yüzeyler oluşturur. Genellikle, %1-2 oranında sönmüş kireç, doğrudan doğruya harç (slurry) formunda uygulanır.

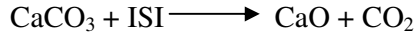
1.7.2. Katkı Malzemesi Olarak Sönmüş Kireç Kullanımı [19]

1.7.2.1. Kirecin özellikleri

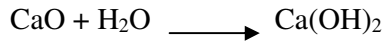
Kirecin hammaddesi olan kireçtaşı ve kalker, genellikle kalsiyum karbonat (CaCO_3)'dan oluşur. İçindeki kalsiyum karbonat oranını baz alarak yapılan sınıflandırmaya göre kireçtaşı cinsleri şöyle sıralanır:

- | | |
|---|--|
| 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 miltarda 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: $CaMg(CO_3)_2$ 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. Kireçtaşının doğal, tuvenan ve ayıklanmış haldeki uluslar arası sanayi tasnifindeki kodlaması aşağıda verilmektedir.

Tablo 5. Kireçtaşı Uluslar arası Standart Sanayi sınıflaması

Kireçtaşı Uluslar arası 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)

1.7.2.2. Kirecin Katılma Teknikleri [7]

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.

1.7.2.3. 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.

1.7.2.4. Nemli Agregaya Uygulanma Biçimi

Bu yöntem, çoğunlukla tercih edilmektedir. Yaklaşık olarak %2-3 düzeyinde doygun 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.

1.7.2.5. 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.

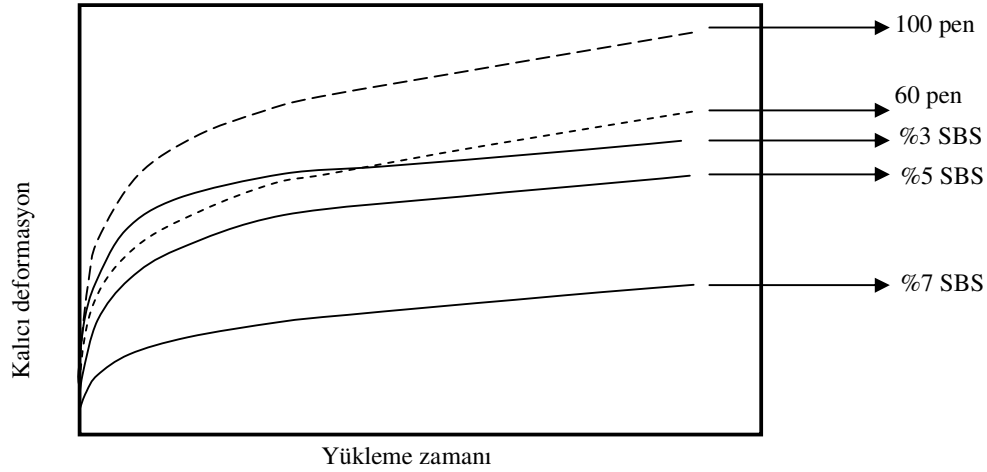
1.7.3. Stiren Butadien Stiren Katkılar [8]

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. Tabloda 6.’de bu değerlendirmeden bulunan sonuçlar verilmektedir.

Tablo 6. 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
	150 °C	160
	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 7'da verilmektedir.



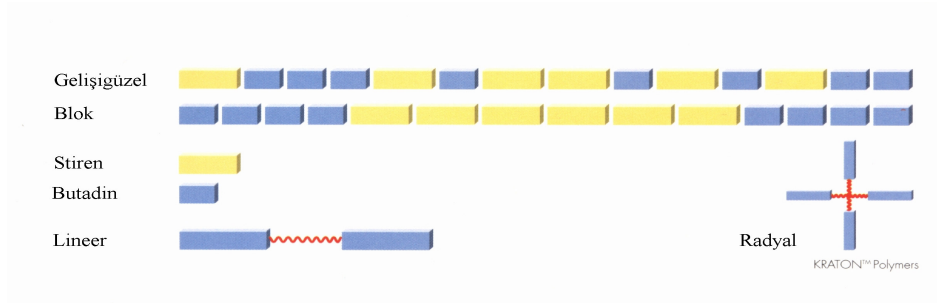
Şekil 7. 40°C'de dinamik sünme deneyinde zaman-kalıcı deformasyon ilişkisi

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.

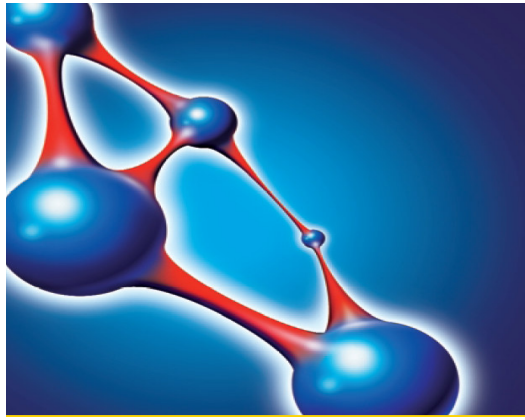


Şekil 8. SBS katkı maddesinin genel görünümü [8]

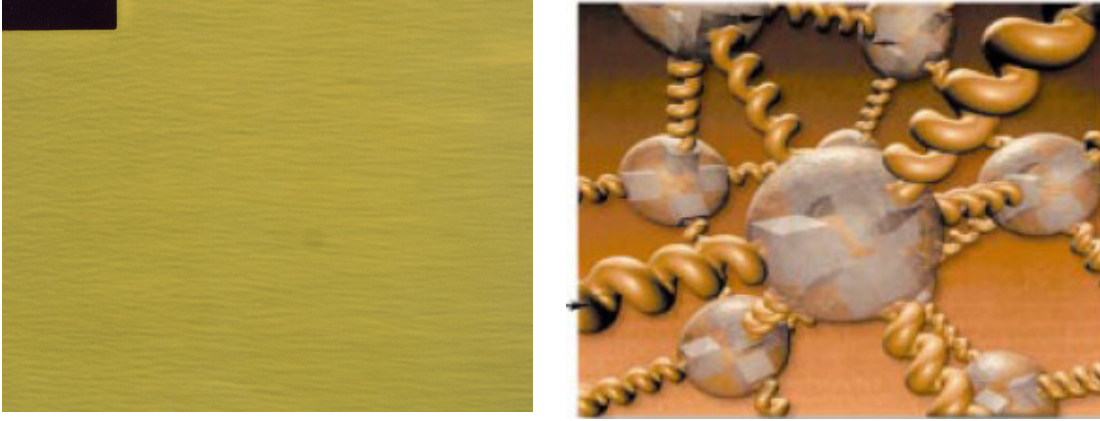
Şekil 9 -11'de ise kullanılan SBS'in bağ şekilleri ve üç boyutlu görünümü verilmiştir.



Şekil 9. SBS bağ şekilleri [8]



Şekil 10. Üç boyutlu SBS yapısı [8]



Şekil 11. Asfaltla kaplanmış SBS moleküllerinin üç boyutlu görünümü [8]

1.7.4.Bitümün Modifikasyonu [20]

1.7.4.1.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 petrolerden üretildiği bilindiğinden, bir rafineriden sağlanan AC'nin kaynağı değişikçe 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;

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

Örneğin; %14,6 asfaltın içeriğine sahip malzeme üretiminde "uygun" sonuç verebilirken diğer yanda %13,5 asfaltın 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.

1.7.4.2. 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 sıcaklık 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 kullanılabilceği 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.

1.7.4.3. 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.

1.7.4.4. 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 ısısının altına düşüleceğinden yeniden kullanım durumunda yani tekrar ısıtılması gerektiğinde kimyasal yapısı bozularak kullanılmaz duruma gelir.

1.7.5. Katkılarla Plentte Modifikasyon

1.7.5.1. Bitümle Uyum

Polimer-bitüm uyumluluğu PMB üretimi için temel koşuldur. Eğer sağlanmaz ise üretimin gerçekleşmesi mümkün değildir. Oysa, katkılarla plentte modifikasyon tekniğinde bitüm-polimer uyumu şart değildir. Bu konuyu açıklamak için, kimyasal olarak temel bazı tanımların iyi anlaşılması gerekmektedir. Katkılarla plentte modifikasyon tekniği ile, modifiye bitüm tekniği sıkça karıştırılmaktadır. Bazı polimerlerin (polietilen, ataktik polipropilen gibi) plentte karışıma katılması işleminde bir reaksiyon oluşturmadıkları araştırmalar sonucunda gözlenmektedir. PMB işleminde, polimerler ile bitüm arasında bir reaksiyona girmek durumundadır. Oysa, plentte modifikasyon yönteminde katkı olarak bahsedilen polimerler, bitüm içinde soğukta tekrar kristalize olarak dağılan faz durumuna geçer ya da tamamen sürekli bir ağ oluşturur. Bu katkılar bitüm içindeki fraksiyonlar ile ya hiç birleşmez ya da çok az birleşme sağlarlar.

1.7.5.2. Isı

Katkılarla plentte modifikasyonda, PMB üretiminde olduğu gibi yüksek ısılara ihtiyaç yoktur. Plent mikserine direkt atılan katkıların en önemlilerinden biri Polyolefin polimerlerdir. Granüler haldeki bu tür katkılar mikser içerisindeki ısıtılmış agrega üzerine direkt olarak atılırlar ve daha sonra bitümün püskürtülmesi ile de karışımın modifiye edilmesi sağlanır. Genel olarak katkılar 140-170°C sıcaklık aralığında erirler. Bu sıcaklıklar, PMB üretiminde istenilen sıcaklıkların yanında oldukça düşük kalmaktadır. Uygulamada, genel bir yaklaşım olarak geleneksel karışım sıcaklıklarını 5-10°C artırmak ve böylece katkıların daha iyi erimelerini sağlamak tercih edilmektedir.

1.7.5.3. Karıştırma Tekniği

Katkılar drum mix tipi plentte bir doz ölçer aracılığı ile tambura, batch tipi plentlerde ise önceden tartılmış torbalar içinde mikserine karıştırılmaktadır. Katkılarla plentte

modifikasyon yönteminin, PMB yöntemine göre önemli avantajlarından biri de, özel bir karıştırma tekniğine ihtiyaç duyulmamasıdır. Burada önemli olan mikserdeki karıştırma süresidir. Yapılan uygulamalarda, karıştırma süresinin maksimum %20-25 oranında artırılmasının hiçbir endişeye gerek kalmayacak yeterli olduğu görülmüştür.

1.7.5.4. Üretim-Kullanım Arasındaki Süre

PMB üretiminde kaliteyi etkileyen, olumsuz hava koşulları veya şantiye aksaklıkları nedeni ile kullanılmayan modifiye bitümün yaratacağı sorular üretim-kullanım arasındaki süreyi çok önemli hale getirmektedir. İhtiyaç fazlası ve hemen kullanılmayan PMB'nin büyük maddi kayıplara neden olacağı açıkça görülmektedir. Katkılarla plentte modifikasyon yönteminde hiçbir zaman söz edilmeyecek bir kavram üretim-kullanım arasındaki süredir. Zira modifikasyon normal üretim sırasında yapılabilmektedir, katkıları karışıma katıldıklarından bekleme süreleri yoktur. Olumsuz koşullar üretim miktarını etkilemez. Soğuk depolanabildikleri ve basit bir besleme sistemi sayesinde mikserde direkt ilave edilebildikleri için, düşük miktardaki üretimlerde de hiçbir ilave masrafa neden olmadan hemen kullanılabilirler.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu araştırmada, biri katkısız olmak üzere sekiz farklı asfalt karışım grubu üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirildi. Her karışım grubundan 6, toplam 48 adet briket üretildi. Hazırlanan karışım gruplarından bir tanesine herhangi bir katkı maddesi ilave edilmedi. Karışım gruplarından 4 tanesine %1 oranında sönmüş kireç, 6 tanesine %2,4 ve 6 oranlarında SBS modifiyer ilave edildi. Hazırlanan 48 adet briket su hasarı koşullandırma işlemine tabi tutuldu. Daha sonra briketlerin stabilite ve akma ölçümleri yapıldı ve Marshall Oranları tespit edildi.

2.1 Çalışmada Uygulanan Deney Yöntemleri [1]

Bu çalışmada; bitüm, agrega ve iki farklı katkı maddesi kullanıldı. Bitüme, agregaya ve bitüm-agrega birleşimine uygulanan deneyler aşağıdaki gibidir.

2.1.1. Asfalt Çimentosuna Uygulanan Deneyler

Asfalt çimentosuna uygulanan ve aşağıda ifade edilen deneyler Doğuş-Polat Ortak Girişimi Araklı-İydere Yolu Polat Yol Yapı Aş , DSİ 22. Bölge Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü Laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.1.1.1. Özgöl Ağırlık Deneyi

TSE 1087 özgöl ağırlık deneyini ifade eder. Asfalt çimentosunun özgöl ağırlığı, 25°C'de hacmi bilinen bir miktarının ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesinden elde edilen orandır.

2.1.1.2. Yumuşama Noktası Deneyi

TSE 120 standardı ile yürütülür. Asfaltların sıcaklık değişmelerine karşı olan duyarlılıklarını ölçmek için en kısa ve en basit yöntem yüzük ve bilya yöntemi ile yumuşama noktasının bulunmasıdır. Yumuşama noktası; bir su banyosu içine

yerleştirilmiş, üzerinde bir bilya bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü maddenin belli bir hızla ısıtılmasıyla yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır.

2.1.1.3. Parlama Noktası Deneyi

TSE 123 standardı ile tanımlanır. Bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Bir malzemenin parlama noktasının bilinmesinin, malzemenin uygulama aşaması sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından çok önemli bir yeri vardır.

2.1.1.4. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi TSE 118 standardı ile yapılır. Penetrasyon deneyi ile asfalt çimentolarının sertlik veya kıvamlılıkları tespit edilir. Penetrasyonun kelime anlamı, batma veya içe girme demektir. Standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde, asfalt örneği içerisine dikey olarak batma mesafesi penetrasyon miktarını belirler. Deney sırasında örneğin sıcaklığı sabit tutulur, koşulların belirtilmediği durumda ağırlık 100 gram, sıcaklık 25°C ve zaman 5 saniye olarak alınır. Penetrasyon birimi 1/10 milimetredir. Aletin göstergesindeki her bir bölüm 0,1 mm. yi gösterir. Deney sonunda okunan değer 100 ise, asfaltın penetrasyonu 100 demektir; yani iğne asfaltın içerisine 1 cm. girmiş demektir. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır, penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar. Asfalt çimentosunun kıvamlılığı arttıkça karışım içerisindeki agregaları birbirine daha kuvvetle bağlayacağı doğaldır.

2.1.1.5. Düktilite Deneyi

TSE 119 standardı ile tanımlanmıştır. Düktilitenin kelime anlamı “uzama” veya “çekilebilme” demektir. Düktilite yeteneği fazla olan asfalt çimentoları, düktilite değeri daha düşük olan asfalt çimentolarına göre daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptirler. Diğer yandan, çok yüksek düktilite değerine sahip asfaltlar ise, ısı değişimlerine karşı fazla duyarlık gösterirler. Bu nedenle, çeşitli asfaltların düktilite değerleri sınırlandırılmıştır.

Düktilite kısaca; asfalt çimentosundan yapılmış standart bir briketin, belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden ifadesi olarak tanımlanabilir. Bir asfalt çimentosunun düktilitesini ölçmek için standart bir kalıba o asfalt çimentosundan bir örnek dökülür. Sonra, örnek düktilite cihazındaki yerine konur. Su banyosu 25°C 'ye ayarlanmış olmalıdır. Asfalt briketi bu sıcaklıkta 5+0,25 cm/dakika hızla çekilir. Örnek belli bir uzamadan sonra kopar. Kopma anındaki uzama miktarının cm cinsinden karşılığı düktilite değeridir.

2.1.1.6. Çözünürlük Deneyi

TSE 1090 ile tanımlanır. Bu deney, içinde mineral madde bulunmayan veya çok az bulunan, yol katranları ve petrol asfaltları gibi bitümlü yol malzemelerinin organik çözücüler içerisindeki çözünürlüğünün belirlenmesini kapsar. Deneyde; karbon sülfür, karbon tetraklorür, benzen, triklor etilen çözücülerinden biri kullanılır. Kullanılacak çözücünün seçiminde; karbon tetraklorür petrol kökenli asfaltlar için, benzen katran esaslı bitümlü maddeler için, triklor etilen petrol kökenli asfaltlar için kullanılır.

2.1.2. Agrega Örneklerine Uygulanan Deneyler

Agregaların yol yapımında kullanılabilmesi amacıyla; aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık, su absorpsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve tane şekillerinin, sürtünme etkileri ile meydana gelecek cilalanmaya karşı olan dirençlerinin bilinmesine gerek vardır.

Bu kısımda ifade edilen deneyler; Doğuş-Polat Ortak Girişimi Araklı-İyidere Yolu Polat Yol Yapı AŞ, DSİ 22. Bölge Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.1.2.1. Elek Analizi

Elek analizi deneyi ASTM E 11-87 ile tanımlanan deney yöntemi olup, nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın tane büyüklüğü dağılımının tespit edilmesini kapsar.

2.1.2.2. Aşınma Deneyi

ASTM C131 standardına sahiptir. Bu deney, agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını belirtir. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanılarak Los Angeles makinesi ile tespit edilir. Los Angeles Aleti; iki ucu kapalı, iç çapı 71 cm ve iç uzunluğu 51 cm olan içi boş çelik bir silindirden oluşur. Silindir, içinden geçmeyen aksla yatay durumda dönmeyi sağlayacak şekilde yapılmıştır. Örneği silindir içine koyabilmek için özel bir kapak vardır. Bu kapak, silindirin iç yüzeyine tamamen uyacak şekilde sıkıca kapatılabilmektedir. İç yüzde silindir eksenine paralel olmak üzere 9 cm genişliğinde ve silindir boyunca uzanan yeter kalınlıkta ve deformasyon yapmayacak şekilde yerleştirilmiş çelik raf bulunur. Bu raf, örnek koyma deliğinden dönme doğrultusunda en az 127 cm uzaklıktadır. Aşınma yükleri yaklaşık olarak 4.68 cm çapında dökme demir veya çelik kürelerdir. Her birinin ağırlığı 390 ile 445 gram kadardır.

Tablo 7. Aşınma Deneyi Örnek Sınıflaması

Elek Büyüklüğü (mm)		Granülometri Sınıfları, Gerekli Örnek Miktarları (gram)						
Geçtiği	Kaldığı	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37.5					5000	5000	
37.5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000
19	12.5	1250	2500					
12.5	9.5	1250	2500					
9.5	6.3			2500				
6.3	4.75			2500				
4.75	2.36				5000			
Toplam		5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000

Los Angeles Aşınma Deneyinde kullanılacak küre sayıları ve yükleme ağırlıkları Tablo 8.'de görülmektedir.

Tablo 8. Aşınma Deneyinde Kullanılan Küre Sayıları

Sınıfı	Küre Sayısı	Yükleme Ağırlığı (g)
A	12	5000 ⁺ .25
B	12	4584 ⁺ .25
C	8	3330 ⁺ .20
D	6	2500 ⁺ .15
E	12	5000 ⁺ .25
F	12	5000 ⁺ .25
G	12	5000 ⁺ .25

2.1.2.3. Hava Etkilerine Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi)

ASTM C88 standardına göre yürütülür. Bu deney yöntemi, agregaların doygun sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltileri ile ufalanmaya karşı dayanıklılığının tespit edilmesini kapsar. Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında, laboratuarda kısa süre içinde bir karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

Tablo 9. Sağlamlık Deneyinde Uygulanan Miktar

Dane Boyu (mm)		Ağırlık (gram)	
9.5-4.75		300	
19-9.5	12.5-9.5	330	1000
	19-12.5	670	

Tablo 10. Donma Kaybı İçin Kullanılan Elek

Agrega Boyutu (mm)	Donma Kaybı Eleği (mm)
19 -9.5	8
9.5 -4.75	4

2.1.2.4. Cilalanma Direnci Deneyi

BS 813 standartı cilalanma deneyini tanımlar. Bu deneyin amacı, çeşitli yol taşlarının trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuvarında kısa bir zamanda tespit etmektir. Yoldaki koşullara benzer fakat hızlandırılmış bir cilalanma elde etmek için bir makine geliştirilmiştir.

Deneme iki kısımdan oluşur. Birinci kısımda taş örnekler cilalanma makinesinde hızlandırılmış cilalanma işlemine tabi tutulmakta ikinci kısımda ise cilalanan taş örneklerinin sürtünme cihazı ile cilalanma değerleri tespit edilmektedir.

2.1.2.5. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Bir agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacmindeki ağırlığının aynı hacimde ve 25°C' de suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Danenin hacim tanımlamasına bağlı olarak genellikle kuru hacim özgül ağırlık ve zahiri hacim özgül ağırlık tanımlamaları yapılır. Zahiri özgül ağırlık geçirimsiz boşluklarla beraber katı dane hacmini, kuru hacim özgül ağırlık ise asfalt absorbe eden boşluklar dışındaki tüm hacmi kapsar .

No 4 eleği üzerinde kalan malzeme kaba, No 4 ile No 200 arası ince ve No 200 eleğinden geçen malzeme de mineral filler agregası olarak tanımlanır.

2.1.2.6. Yassılık Deneyi

Bir malzemenin yassı kabul edilebilmesi için, deneye alınan herhangi bir agregada danesinin kalınlığının, nominal boyutunun 0.6'sından küçük olması gerekir. Yassı

danelerden oluşan bir yapı, trafik yükü altında stabil değildir. Yassı daneler yük altında kolaylıkla kırılır ve karışımın mukavemeti azalır.

BS 812 standart numarası ile literatürde yerini bulmuştur. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam örnek ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney 6.3 mm'den büyük ve 63 mm'den küçük malzemeye uygulanır.

2.1.3. Asfalt Karışım Tasarımı

Bu kısımda optimum bitüm yüzdesini bulmaya yönelik uygulanan tasarım süreci vurgulanmaktadır. Tasarım sürecinde parametrelerin tespitine yönelik olarak Marshall briket hazırlama yöntemi kullanılmıştır.

Deneyler, Doğuş-Polat Ortak Girişimi Polat Yol Yapı AŞ Araklı-İyidere Yolu Laboratuvarında gerçekleştirildi.

2.1.3.1. 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.

Ülkemizde ve diğer birçok ülkede bitümlü kaplama karışımlarının dizaynında kullanılan Marshall metodu, maksimum dane boyutu 2,54 cm (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

- Stabilité ve akma değerlerinin bulunması
- Optimum bitüm miktarının belirlenmesi

Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir[21].

Briketler aşağıdaki işlem sırasına göre hazırlanır :

1. 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.

2. Kullanılacak asfalt imentosu etüve konularak 165°C'ye kadar ısıtılır.

3. Deneyde kullanılması gerekli olan mikser kabı, Marshall tokmağı, briket kalıbı, pala, kürek vb aletler de 165°C'lik etüvde ısıtılır.

4. 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.

5. Asfalt imentosunun 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.

6. Karışım, kalıba boşaltılır ve ısıtılmış bir spatula ile i kısımlarından 10 kez, çevresinden 15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirilir. Sonra 45.7 cm (18 inch) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin n ve arka yüzüne dizayn trafik sınırlamasına göre belirlenen 35, 50 veya 75 darbe uygulanarak sıkıştırma yapılır.

7. Sıkıştırılan numuneler numaralandırılır ve kalıpla birlikte soğumaya bırakılır. Daha abuk bir soğutma istendiğinde masa vantilatörü kullanılabilir.

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

2.1.3.2 Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi

zellikleri belirlenen asfalt imentosu ve agrega granülometrisi ile Marshall Karışımı Tasarım Tekniği çerçevesinde briketler hazırlandı. Hazırlanan briketlerde asfalt imentosu,

Tablo 11. Aşınma dizaynı Mashall deneyi sonuçları

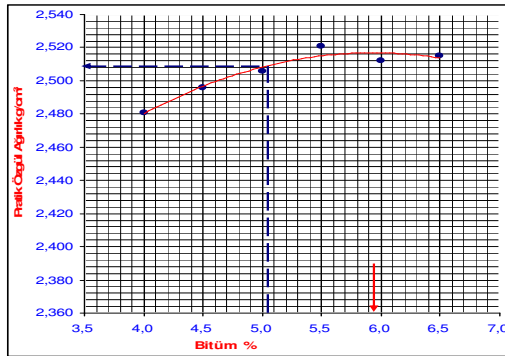
Briket No	Bitüm (%)	Ortalama Briket Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teorik Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
1	4,0	63,1	1189,5	480,0	2,478	2.664	6,86
2	4,0	63,2	1196,0	481,1	2,488		
3	4,0	63,1	1193,0	481,1	2,480		
Ortalama					2,481		
4	4,5	62,8	1197,0	479,8	2,496	2.644	5,57
5	4,5	62,7	1198,6	479,8	2,498		
6	4,5	62,7	1199,2	480,6	2,495		
Ortalama					2,496		
7	5,0	62,6	1202,3	479,5	2,507	2,624	4,47
8	5,0	62,3	1204,0	481,4	2,501		
9	5,0	62,2	1201,5	478,5	2,511		
Ortalama					2,506		
10	5,5	61,1	1206,9	477,5	2,528	2,604	3,19
11	5,5	61,1	1204,8	478,5	2,518		
12	5,5	62,0	1207,1	479,4	2,518		
Ortalama					2,521		
13	6,0	60,7	1209,1	573.20	2,508	2,685	2,82
14	6,0	60,7	1209,2	578.52	2,518		
15	6,0	60,5	1209,3	573.65	2,511		
Ortalama					2,512		
16	6,5	60,3	1209,9	573.17	2,508	2,567	2,03
17	6,5	60,4	1215,4	573.31	2,526		
18	6,5	60,2	1215,9	571.55	2,510		
Ortalama					2,515		
Bitüm Özgül Ağırlığı			1,019	Kaba Agrega (%)	53,6	Kaba Ag. Hac. Öz. Ağ.	2,832
Bitüm Penetrasyonu			67	İnce Agrega (%)	40,4	Kaba Ag. Zahiri Öz. Ağ.	2,894
Agrega AC Abs.			0,31	Filler (%)	6	İnce Ag. Hac. Öz. Ağ.	2,751
Agrega Kar. Ef. Öz. Ağ.			2,848	Agrega Kar. Hac. Öz. Ağ.	2,803	İnce Ag. Zahiri Öz. Ağ.	2,889
Karışımdaki agregası			1150	Agrega Kar. Zah. Öz. Ağ.	2,893	Filler Zahiri Öz. Ağ.	2,910

kuru granül agrega ağırlığının yüzdesi olarak 4.0-4.5-5.0-5.5-6.0-6.5 değerlerinde 6 farklı oranda olmak üzere her asfalt çimentosu yüzdesinde 3 adet briket üretildi. Sıkıştırma işlemi briketlerin ön ve arka yüzlerine 75 darbe olarak uygulandı. Karıştırma, 145 °C sıcaklıkta yapıldı. Briketlerin alt ve üzerine filtre kağıdı konuldu. İşlem sonunda briketler soğumaya bırakıldı. Yeterli soğuma sağlandıktan sonra kalıplarından çıkarıldı ve özellikleri tespit edilip tablolaştırıldı.

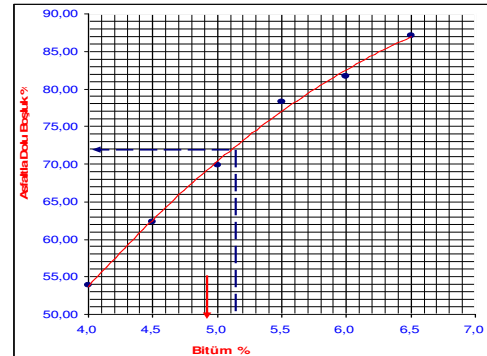
Yukarıdaki açıklamalar ışığında hazırlanan Marshall Briketlerine ait veriler tablolar halinde aşağıda sunulmaktadır. Tasarım verileri Tablo 11.'de görülmektedir.

Saptanan karışım gradasyonu ve Marshal yöntemi ile briketlerin, yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra, elde edilen değerlerle oluşturulan grafikler Şekil 12-17 de belirtilmektedir.

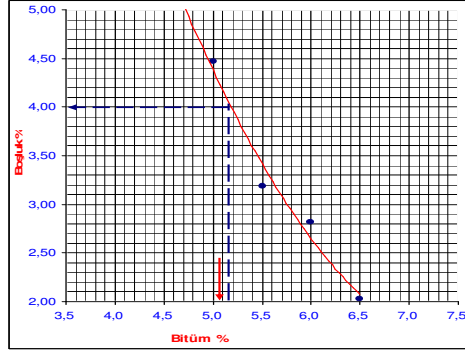
- Dp-Wa
- Vf-Wa
- Vh-Wa
- Stabilite-Wa
- Akma-Wa
- VMA-Wa grafikleri aşağıda görülmektedir;



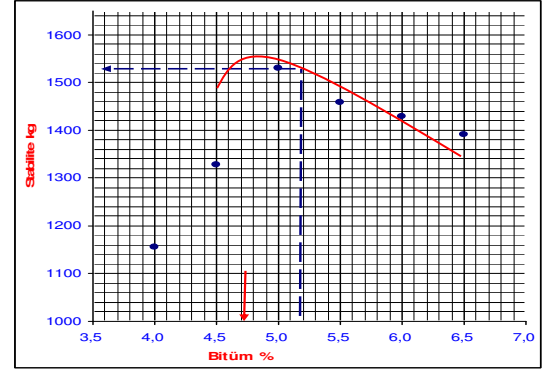
Şekil 12. Pratik özgül ağırlık-Bitüm yüzdesi Grafiği



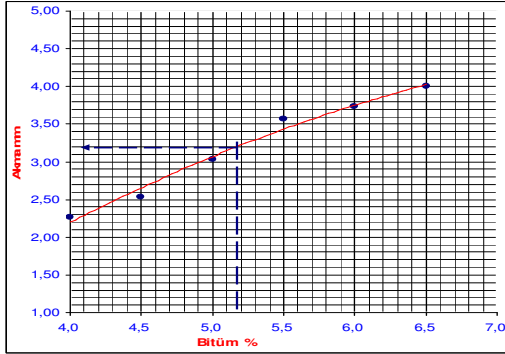
Şekil 13. Asfalt dolu boşluk yüzdesi-Bitüm yüzdesi Grafiği



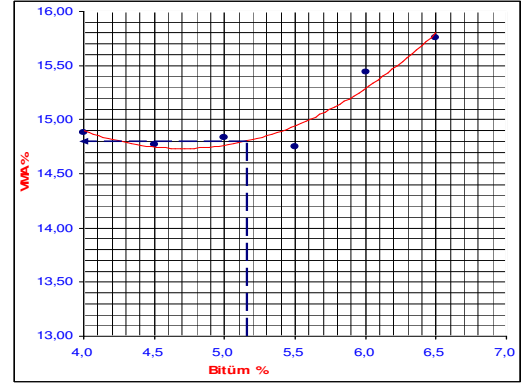
Şekil 14. Boşluk yüzdesi-Bitüm yüzdesi Grafiği



Şekil 15. Stabilite,kg-Bitüm yüzdesi Grafiği



Şekil 16. Akma-Bitüm yüzdesi Grafiği



Şekil 17. VMA-Bitüm yüzdesi Grafiği

İlk dört grafikten elde edilen bitüm yüzdesi değerlerinin ortalaması alınarak karışım dizaynının optimum bitüm yüzdesi bulundu.

$$\text{Optimum Bitüm \% 'si} = \frac{D_p \text{ için } W_a + V_f \text{ için } W_a + V_h \text{ için } W_a + \text{Stabilite için } W_a}{4}$$

$$\text{Optimum Bitüm \% 'si} = \frac{5,90 + 4,95 + 5,05 + 4,70}{4} = 5,15$$

Elde edilen elde edilen optimum bitüm miktarı ve diğer deney sonuçları Tablo 12.'de verilmiştir;

Tablo 12. Optimum bitüm miktarı ve karşılık gelen parametreler

Optimum bitüm miktarı	5,15
Stabilite (Kg)	1530
Pratik yoğunluk (gr/cm ³)	2,510
Boşluk yüzdesi (%)	4
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (%)	72
Akma (mm)	3,2
VMA (%)	14,80

2.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Araştırmada bitüm olarak, Kırıkkale Rafinerisinden temin edilen ve halen Araklı-İyidere asfaltlama çalışmalarında kullanılan 60-70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır.

Araştırmada Stabilite/Akma oranı performans ölçme yöntemi ile performans yönlü araştırma yapacağımız katkı malzemesi olan Sönmüş Kireç ve SBS polimer (Kraton D 1101) kullanılmıştır.

Seçilen asfalt çimentosu, agregalar ve bunların karışım tasarım briketleri üzerinde uygulanan test yöntemleri ve standartları aşağıda özetlenerek bir sonraki bölümde bu deney koşullarına göre gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2.2.1. Agregalar

Çalışmada kullanılacak agregaların temini için araştırma yapılmış, Trabzon İli Araklı-Dağbaşı yolu ayrımı Sularbaşı mevkiinden temin edilmiştir.

2.2.1.1. Agrega Deneý Sonuçları

Yapılan deneýlerden elde edilen sonuçlar Tablo 13.'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde temin edilen taşların st yapı agregası olarak oldukça elverişli oldukları görülmektedir.

2.2.1.2. Gradasyon

Üç grup agregadan alınan örneklerle yapılan 15 elek analizi sonucunun oluşan dane boyutu dağılımı aşağıda Tablo 14.'deki şekildedir.

Üç grup agreganın dane boyutu dağılımı esas alınarak saptanan aşınma tabakası Tip-2'ye uygun gradasyon veren karışım oranları; (3/4''-3/8'') grubu ağırlıkça %31, (3/8''-No:4) grubu ağırlıkça %24, (No:4-0) grubu ağırlıkça %45 şekindedir. Bu Tablo 15.'de verilen T.C.K. Aşınma Tabakası Tip 2 şartnamesine uygun agrega karışımı kullanılmasına karar verilmiştir (TCK, 1994). Ayrıca agrega gradasyonu şekil 12.'de verilmiştir.

Tablo 13. Kaba ve ince agrega zellikleri

KABA AGREGA		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	SONUÇ
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)	TS - 3694 (ASTM C - 131)	9,6
Yassılık İndeksi (%)	BS - 812 (Kısım – 105)	14,7
Soyulma Mukavemeti (%)	ASTM D-1664	30-35
Su Absorpsiyonu (%)	TS - 3526 (ASTM C - 127)	0,85
Donma Deneýi (%)	(ASTMC-88)	4,06
Cilalanma	BS 812	0,60
İnce agrega için Plastisite İndeksi	TS - 1900	(N.P.) Plastik Değil

Tablo 14. Dane Boyutu Dağılımı

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

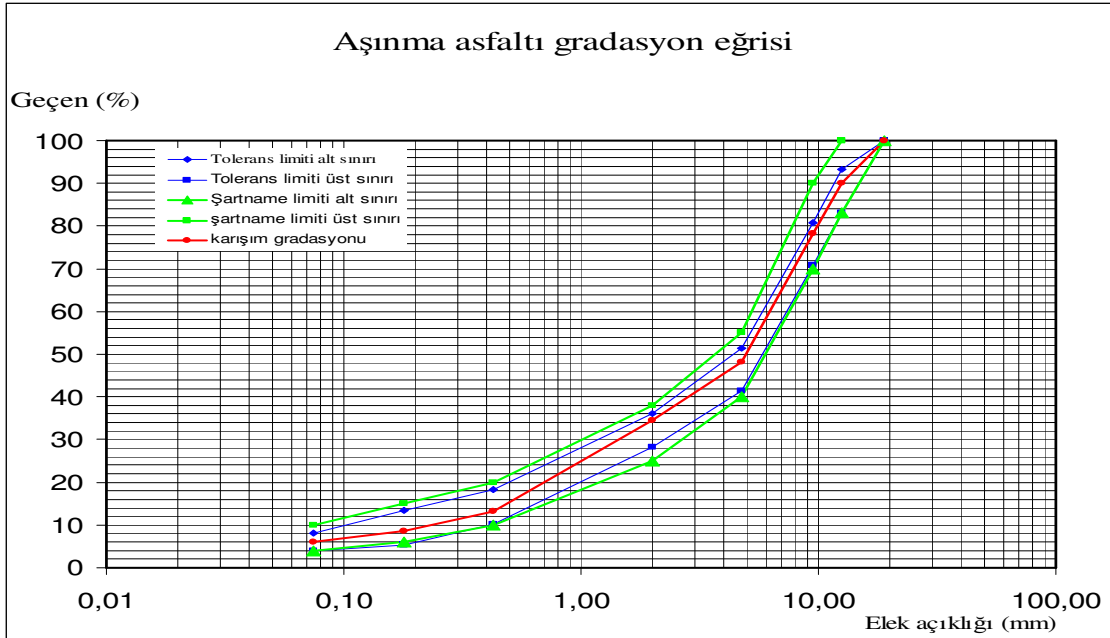
Tablo 15. Seçilen agrega gradasyonu ve bu gradasyona göre önerilen sınır değerleri

Elek Boyutu		Şartname Sınırları		Geçen (%)	Kalan (%)	Elekler Arası	
No	mm	Üst	Alt			(%)	(%)
¾''	19,1	100	100	100	0	11,8	129,8
½''	12,7	100	83	90,1	11,8	12,3	135,3
3/8''	9,52	90	70	78,3	24,1	29,5	324,5
No. 4	4,76	55	40	48,2	53,6	14,2	156,2
No. 10	2,0	38	25	34,4	67,8	17,9	196,2
No. 40	0,42	20	10	13,1	85,7	4,9	53,9
No. 80	0,177	15	6	8,5	90,6	3,4	37,4
No. 200	0,075	10	4	6	94	6	66
						100	1100

Yukarıdaki karışım gradasyonu esas alınarak Marshall Yöntemine göre optimum bitüm saptanmasına yönelik karışımlarda aşağıdaki dağılım kullanılmıştır.

Kaba Agrega Yüzdesi (No:4 üzeri)	:53,6
İnce Agrega Yüzdesi (No:4-No.200 üzeri)	:40,4
Filler Yüzdesi (No:200'den geçen)	:6

Sönmüş kireç katma işleminde, sönmüş kireç filler görevi göreceğinden katılacak kireç miktarı oranında filler azaltılmıştır. Sekiz grup numunenin dört grubunda sönmüş kireç kullanılmıştır. Bu dört grup numunede %1'lık filler sönmüş kireç kullanılarak karışım hazırlanmıştır.



Şekil 18. Seçilen gradasyon ve önerilen şartname limitleri

Yukarıda verilen gradasyona uygun olarak hazırlanan agregası karışımlarının kaba, ince ve filler olmak üzere yapılan özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar kaba ve ince agregası için Tablo 16.'de verilmiştir.

Tablo 16. Kaba ve İnce Agregası Özgül Ağırlıkları

	Zahiri Özgül Ağırlık gr/cm ³	Hacimsel Özgül Ağırlık gr/cm ³
Kaba Agregası	2,894	2,832
İnce Agregası	2,889	2,751
Filler Agregası	2,910	-
Agregası Karışımı	2,893	2,803

2.2.2. Bitüm

Çalışmada kullanılan bitüm Kırıkkale Rafinerisi kaynaklı 60-70 penetrasyonlu asfalt çimentosudur. Asfalt çimentosu, Doğuş-Polat Ortak Girişimi Araklı-İyidere Yolu Şantiyesinden temin edildi. Bağlayıcı üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 17. 'de verilmiştir.

Tablo 17. Bitümlü bağlayıcı (AC 60-70) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları

Özellikler	Test Yöntemi	Birim	Değer
Birim Hacim Ağırlık (25 °C)	ASTM D-70	gr/cm ³	1,019
Yumuşama Noktası (°C)	ASTM D36-76	°C	52
Parlama Noktası (Cleveland)	ASTM D-92	°C	210
Penetrasyon (25 °C)	ASTM D-5	0,1 mm	67
Düktilite (25 °C)	ASTM D-113	cm	100+

2.2.3. Katkı Maddesi

Deneylerde, karışıma katkı maddesi olarak Öztüre Kireççilik A.Ş. Firması tarafından Bartın tesisi'nde üretilen söndürülmüş toz kireç (SKK 80-T) ve SBS modifiye (Kraton D1101) kullanılmıştır. Sönmüş Kireç dört grup karışıma, % 1 oranında filler olarak agregaya katılmıştır. SBS modifiye altı grup karışıma % 2,4 ve 6 oranlarında bitüme ilave edilmiştir. Aşağıda Tablo 18.'de kullanılan söndürülmüş kirece ait firmadan temin edilen kimyasal ve fiziksel özellikler belirtilmektedir.

Tablo 18. Söndürülmüş Toz Kireç (SKK 80-T) Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri

SÖNDÜRÜLMÜŞ TOZ KİREÇ-Ca(OH)₂		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	ORAN (%)
Toplam CaO (%)	EN 459-2 Mad. 4.2.	85,78
Aktif Ca(OH) ₂ (%)	TS 32 Mad. 1.1.3.	82,04
MgO (%)	EN 459-2 Mad. 4.3	3,52
Toplam CaO+MgO (%)	TS	89,3
Kızdırma Kaybı (%)	En 459-2 Mad. 4.5.	22,51
Asitte Çözünmeyen (%)	TS 32 Mad. 1.1.5.	1,41
R ₂ O ₃ (%)	TS 32 Mad. 1.1.9.	0,47
SO ₃ (%)	EN 459-2 Mad. 4.6.	1,47
CO ₂ (%)	EN 459-2 Mad. 4.4.	3,89
FİZİKSEL ÖZELLİKLER		
İncelik-90 mikron üzeri (%)	EN 459-2 Mad. 5.2.	6,0
Yoğunluk gr/dm ³	EN 459-2 Mad. 5.8.	472

SBS modifiye (Kraton D 1101) ilave edilen bitümün özellikleri Tablo 19.'de verilmiştir.

Tablo 19. SBS modifiye (Kraton D 1101) ilave edilen bitümün özellikleri

DENEY ADI	STAND.	SONUÇ	TİP-1	TİP-2	TİP-3	TİP-4
PENETRASYON(25 °C,150G,5sn.) 0,1 mm min.	ASTM D-5	43	20	20	40	60
DÜKTİLİTE 25°C'de 5cm/dak cm min.	ASTM D-113	68	10	60	80	100
YUMUŞAMA NOKTASI (R/B,25°C) °C	ASTM D-36	65	65-75	65-75	60-70	50-60
FRAAS KIRILMA NOKTASI ^b , °C maks.	TS EN 12593	-17,1	-8	-12	-15	-20
ELASTİK GERİ DÖNME (25°C), % min.	PrEN 13398	78	25	50	50	50
PARLAMA NOKTASI, °C min.	ASTM D-92	260+	200	200	200	200
ÖZGÜL AĞIRLIK	ASTM D-72	1,01	1,0-1,1	1,0-1,1	1,0-1,1	1,0-1,1
YUMUŞAMA NOKTASI FARKI, °C maks.		1	4	4	4	4
PENETRASYON DEĞERİ FARKI, °C maks.		2	5	5	8	8
KÜTLE KAYBI, % maks.		0,06	1	1	1	1
YUMUŞAMA NOKTASINDAKİ DEĞİŞİKLİK						
Azalma, °C maks.	ASTM D-36	3	7	7	7	7
Artma, °C maks.			2	2	2	2
PENETRASYONDAKİ DEĞİŞİKLİK						
Azalma, % maks.	ASTM D-5	16	40	40	40	40
Artma, % maks.			10	10	10	10
DÜKTİLİTE, 25°C'de, 5cm/dak. cm min.	ASTM D-113	48	5	30	50	80
ELASTİK GERİ DÖNME (25°C), % min.	PrEN 13398	73	25	50	50	50

2.2.3.1. Sönmüş Kireç ve Sbs Modifiye Katma İşlemi

Karışıma sönmüş kireç kuru agrega ağırlığı cinsinden %1 oranında dört karışıma uygulandı. Sönmüş kireç katkı malzemesi doğrudan doğruya granül agregaya karıştırıldı. Karıştırma süresi normal briket hazırlama süresine göre 30 saniye kadar arttırıldı.

Sbs modifiye (Kraton D 1101) bitüme %2,4 ve 6 oranlarında ilave edildi. Topaklanmayı engellemek amacıyla 180 °C sıcaklıkta 10 dakika karıştırma süresi boyunca katkı yavaş yavaş dökülmüş ve karıştırma sonunda tekrar etüve konulmuştur.

Briketlerin hazırlanmasından sonra briketlerin havadaki ağırlıkları, sudaki ağırlıkları tespit edilerek hacimleri, hacim özgül ağırlıkları, teorik özgül ağırlıkları, boşluk yüzdeleri, asfalt dolu boşluk yüzdeleri hesaplanarak Bulgular ve İrdeleme kısmında sunulmuştur.

2.2.3.2. Hazırlanan Briketlerdeki Katkı Maddeleri Oranları

Çalışmada kullanılmak üzere sekiz farklı karışım üretildi. Her karışım grubundan 6'şar adet toplam 48 adet briket üretildi. Hazırlanan karışım guruplarında 4'üne %1 oranında sönmüş kireç (HL) ilave edildi. 6 karışım grubuna %2,4 ve 6 oranlarında SBS modifiyer (Kraton D 1101) ilave edildi. Tablo 20'de karışımlardaki katkı maddesi oranlarını göstermektedir.

Tablo 20. Hazırlanan Karışımlardaki Katkı Maddesi Oranları

	Briket Sayısı	Katkı Maddesi	
Kontrol	6	-	
HL1	6	1% kireç	-
HL1SBS2	6	1% kireç	2%SBS
SBS2	6	-	2%SBS
HL1SBS4	6	1% kireç	4%SBS
SBS4	6	-	4%SBS
HL1SBS6	6	1% kireç	6%SBS
SBS6	6	-	6%SBS



Şekil 19. Çalışmada Kullanılan Asfalt Karışım Briketleri

2.2.4. Briketlerin Koşullandırılması

Üretilen katkısız ve katkılı briketler su hasarı koşullandırılma işlemine tabi tutuldu. Sekiz farklı karışım grubundan hazırlanan briketler 50°C’de su banyosunda 48 saat süre ile bekletildi.. Sonrasında bu briketler oda sıcaklığında (25°C’de) 48 saat bekletildi.



Şekil 20. Su banyosu cihazı (Tempette Junior TE-8J, TECHNE)

Su banyosu ve ardından oda sıcaklığında bekletme işlemi iki kez daha tekrarlanarak üç aşamalı koşullandırma tamamlandı.

2.2.5. Stabilite ve Akma Değerlerinin Tespiti

Stabilite/akma oranı Marshall oranı olarak tanımlanmakta, karışım rijitliğinin ve asfalt betonunun deformasyon karşısındaki direncinin bir göstergesi olmaktadır. Oran değerleri, briketlerin deformasyon direncinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Daha yüksek bir oran değeri, daha rijit bir karışım ve bundan dolayı daha dirençli bir karışım olabilmektedir. Marshall oranı, taslak olarak (BSEN 12697–34: Sıcak karışım asfaltlar için Marshall Deneyi) yeniden düzenlenmiştir [22].

Aletin kelepçeleri arasına yerleştirilen numuneler basınca maruz bırakılır. Numunenin deforme olmasını (akmasını) sağlayan değer tespit edilir ve gerekli dönüşüm yapılarak (2,62 ile çarpılır) stabilite değerleri “kg” cinsine çevrilir. Burdaki akma miktarıda diğer göstergedeki okunur. Bu göstergedeki her bir birim 0.001 inch’e karşılık geldiğinden gerekli dönüşüm yapılarak (0.0256 ile çarpılır) akma değerleri “mm” cinsinden tespit edilir.



Şekil 21. Stabilite ve akma değerlerinin ölçüldüğü cihaz (Marshall Load Frame, ELE)

3. BULGULAR ve İRDELEME

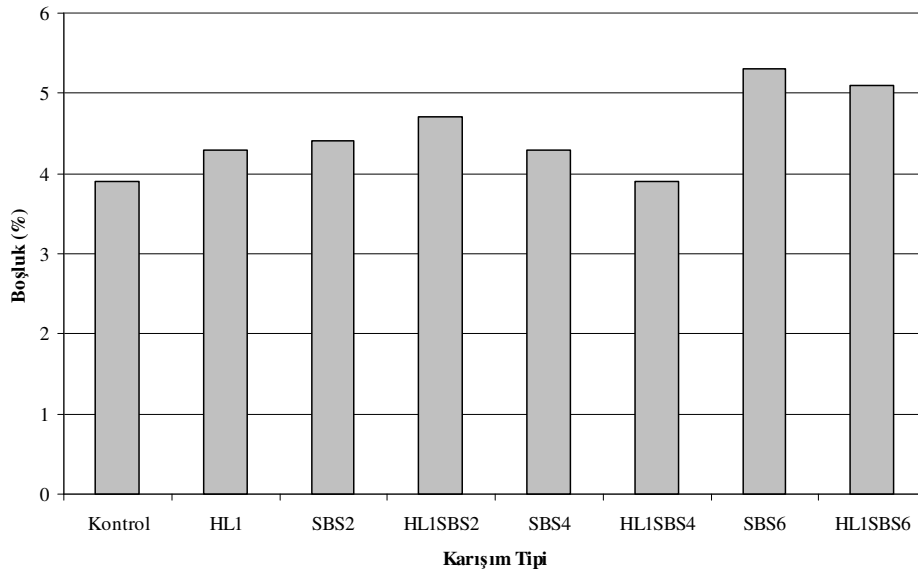
3.1. Sönmüş Kireç ve SBS Modifiye Uygulanması Sonuçları

Katkısız, % 1 oranında sönmüş kireç ve %2,4 ve 6 oranında SBS modifiye ilave edilen briketler hazırlanmış, karakteristik değerlerinin tespitine yönelik deneyler yapılmıştır.

Koşullandırılmış olan sönmüş kireç ve SBS modifiye katkıli briketler stabilite aletine yerleştirilerek stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir. Bu işlem sırasında stabilite aletinin yuvarlak kelepçeleri arasına yerleştirilen briketlere basınç uygulanarak hangi değerde akma davranışı sergiledikleri ve bu akma miktarının ne kadar olduğu tespit edilmiştir. Tüm briketlere bu işlem uygulandıktan sonra elde edilen bulgular aşağıda Tablo 21 ve Tablo 22’de verilmiştir.

3.1.1. Katkısız ve Katkıli Numunelerin Deney Sonuçları

Briketlerin boşluk oranı değerleri Şekil 22. ‘de verilmiştir.



Şekil 22. Briketlerin boşluk oranı değerleri

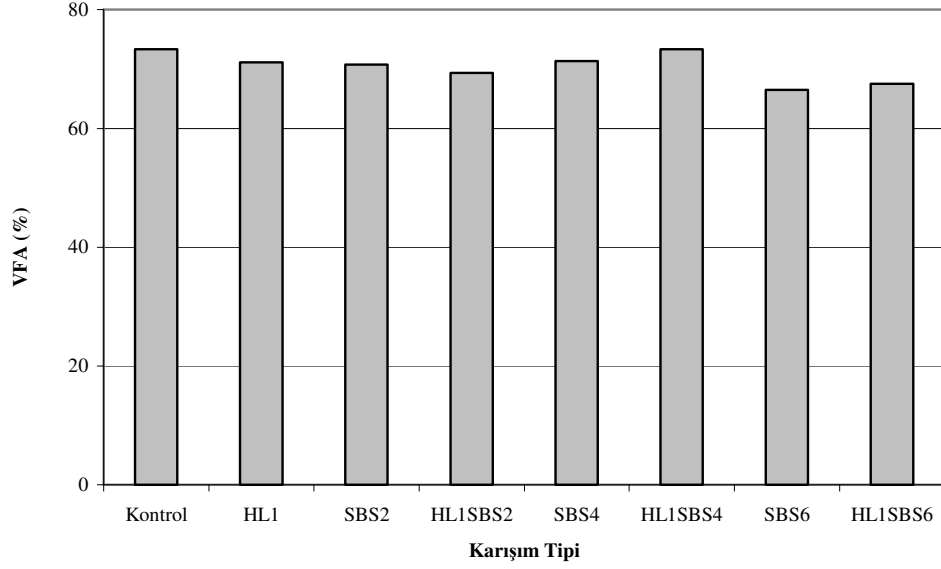
Tablo 21. Kontrol ve SBS modifiyeli asfalta karışımlar için ortalama boşluk içerikleri

Karışım tipi	Numune	Boşluk (%)	VMA (%)	VFA (%)	Akma (mm)	Akma	Stabilite (kg)	Ortalama stabilite (kg)
Kontrol	1	3,9	14,6	73,3	3,0	3,2	1628	1624
	2				3,2		1671	
	3				3,3		1627	
	4				2,5		1621	
	5				3,6		1644	
	6				3,6		1553	
SBS2	19	4,4	15,0	70,7	2,8	2,6	1481	1499
	20				2,8		1530	
	21				2,5		1500	
	22				2,5		1523	
	23				2,2		1494	
	24				2,7		1465	
SBS4	31	4,3	15,0	71,3	3,6	2,8	1304	1320
	32				3,3		1274	
	33				3,0		1383	
	34				2,0		1326	
	35				2,8		1300	
	36				2,3		1333	
SBS6	43	5,3	15,8	66,5	3,3	4,0	1197	1271
	44				4,6		1349	
	45				3,8		1346	
	46				4,3		1214	
	47				3,6		1297	
	48				4,3		1221	

Tablo 22. Sönmiş kireç-SBS modifiye asfalt karışımlar için ortalama boşluk içerikleri

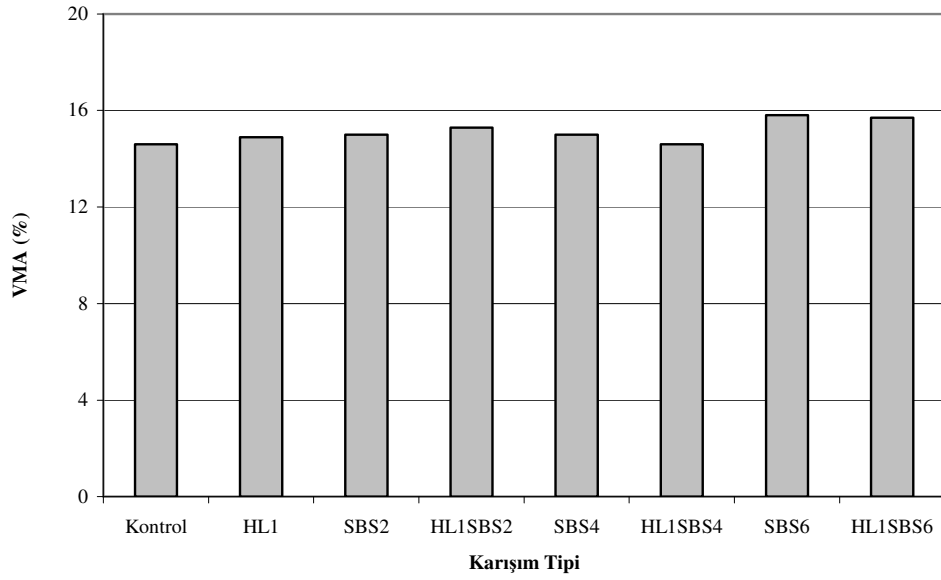
Karışım tipi	Numune	Boşluk(%)	VMA (%)	VFA (%)	Akma (mm)	Akma	Stabilite (kg)	Ortalama stabilite (kg)
HL1	7	4,3	14,9	71,1	4,1	3,3	1566	1522
	8				2,8		1526	
	9				3,0		1557	
	10				3,0		1484	
	11				3,3		1481	
	12				3,6		1517	
HL1SBS2	13	4,7	15,3	69,3	2,5	2,5	1545	1556
	14				2,4		1608	
	15				2,2		1553	
	16				2,8		1555	
	17				2,8		1553	
	18				2,5		1522	
HL1SBS4	25	3,9	14,6	73,3	3,3	3,4	1370	1372
	26				3,0		1375	
	27				3,6		1388	
	28				2,8		1367	
	29				3,8		1366	
	30				3,6		1364	
HL1SBS6	37	5,1	15,7	67,5	4,1	4,0	1316	1260
	38				4,1		1249	
	39				3,3		1274	
	40				4,1		1254	
	41				4,6		1200	
	42				3,8		1264	

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen asfaltla dolu boşluk oranları aşağıda Şekil 23.
'de gösterilmiştir.



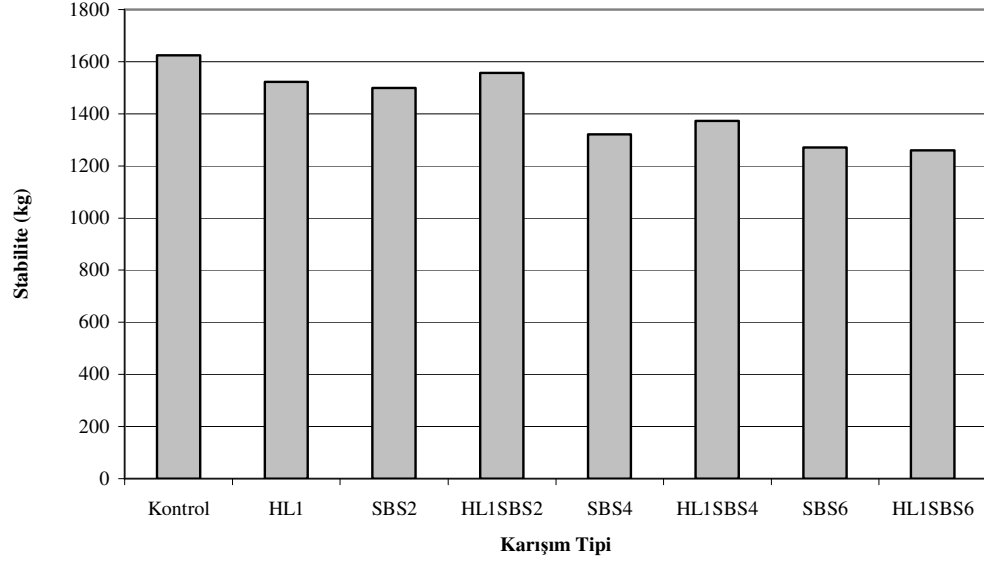
Şekil 23. Briketlerin asfaltla dolu boşluk değerleri

Briketlerde agregadaki boşluk değerleri Şekil 24.'de gösterilmiştir



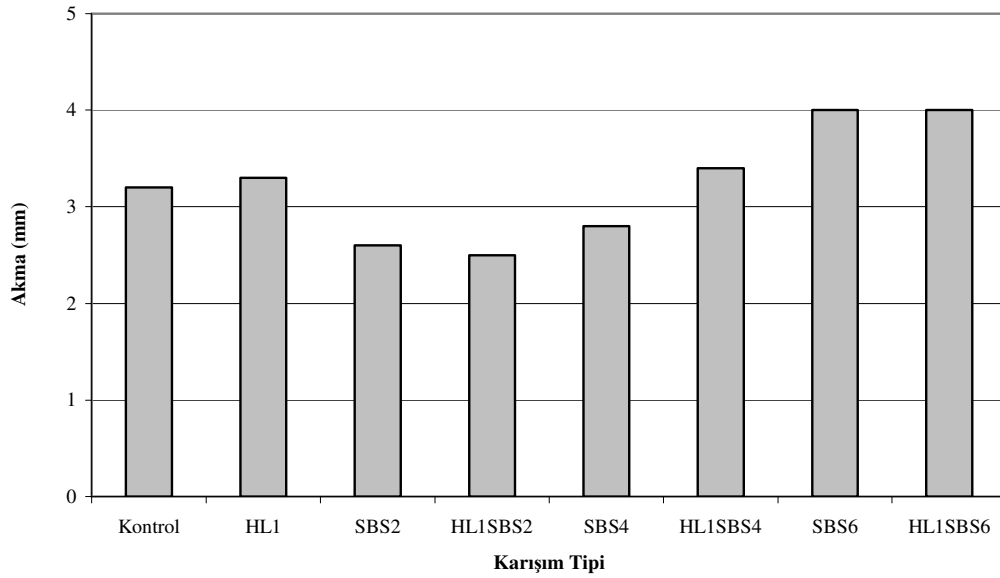
Şekil 24. Briketlerde agregadaki boşluk değerleri

Katkısız ve katkılı briketlerin stabilite değerleri ölçülmüş ve aşağı Şekil 25.'de belirtilmiştir.



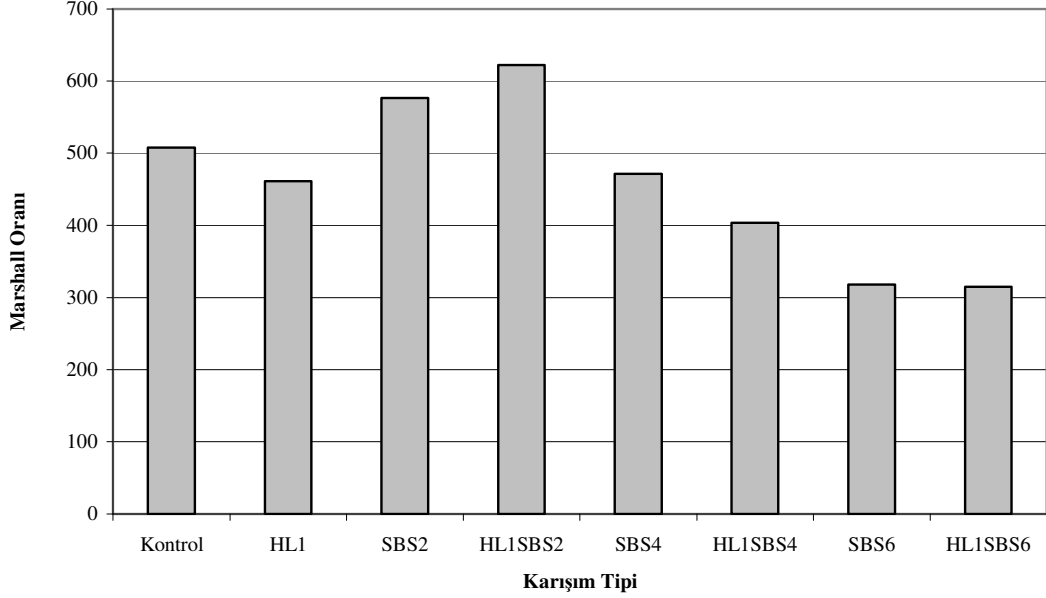
Şekil 25. Katkılı ve katkısız briketlerin stabilite değerleri

Bu briketlerin akma değerleri de stabilite değerlerinin tespiti sırasında okunmuştur. Okunan akma değerleri Şekil 26.'da gösterilmiştir



Şekil 26. Katkılı ve katkısız briketlerin Akma değerleri

Stabilite ve akma değerlerinden faydalanılarak briketlerin Marshall Oranları tespit edilmiştir. Bu değerler Şekil 27. 'da gösterilmiştir.



Şekil 27. Briketlerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma) değerleri

Yapılan deneylerde, en yüksek boşluk içeriği değerleri modifiye asfalt karışımlarda elde edildi. Mineral agrega içerisindeki boşluk oranları (VMA%) değerleri bütün karışımlarda yüksek elde edildi. HL1 ve SBS4 karışımları kontrol karışımlarıyla aynı VMA değerlerini gösterdi.

Yapılan deneylerde, karışımların stabilite değerleri azalma gösterirken, akma değerleri düzensizlik gösterdi. SBS2 ve HL1SBS2 karışımlarında en düşük akma değeri gözlemlendi. SBS6 ve HL1SBS6 karışımlarında en yüksek akma değerleri elde edildi.

En yüksek MQ değerleri SBS2 ve HL1 SBS2 karışımlarında elde edildi. SBS4, HL1SBS4, SBS6 ve HL1SBS6 karışımlarının MQ değerlerinin kontrol karışım MQ değerinden daha düşük olduğu gözlemlendi.

Plastisfaltın MQ (Marshall oranı) değeri kontrol karışımının MQ değerinden daha büyüktür. MQ değerinin kesme gerilme direncinin, kalıcı deformasyon direncinin ve bundan dolayı tekerlek izi oluşumunun bir ölçüsü olduğu bilinmektedir [23].

Marshall stabilitesinin Marshall akmasına oranı Marshall oranı (MQ) olarak adlandırılır ve karışımın sertliğinin ve asfalt betonunun deformasyona karşı direncinin bir göstergesidir. MQ değerleri modifiye edilmiş örneklerin deformasyon direncini değerlendirmek için hesaplandı. Yüksek bir MQ değeri sert bir karışımı gösterir ve bundan dolayı karışımın daha dirençli olma olasılığını gösterir [24-26].

Asfalt kaplama analiz aleti (APA) kullanılarak kireçtaşı agregalarına deneyler uygulandı (AAD-1+kireçtaşı+LS filler), (AAD-1+kireçtaşı+HL filler), (AAM-1+kireçtaşı+LS filler). Test 45°C sıcaklıkta uygulandı. 8000 turdaki tekerlek izi dört karışım için sırasıyla 4.5, 2.0, 3.5, 1.0 dir. APA testi yorulma çatlamaından ziyade tekerlek izi oluşumunu ölçmesine rağmen [27], tekrarlı yük sıkıştırıcısında kalıcı deformasyon deneylerinde zamana bağlı üçüncü derecede hasrın hem mikro çatlaklara hem de plastik akmayla ilgili olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı, HL karışımının sertleşme kabiliyeti filler etkisi ve karışım içinde mikro çatlak gelişim direnç kabiliyetinden dolayı APA deneyinde tekerlek izi oluşumuna direnç göstermesi mümkündür [28]. Sönmüş kireç fillerin artmasıyla tekerlek izi oluşum direnci arttı yada karışım sertleşti. Bu çalışmada kireç modifiyeli karışımlar için tekrarlı sünme testi ile APA tekerlek izi oluşum testi arasında uyumlu sonuçlar bulundu [28].

Agregadaki kenetlenmenin büyük kısmının kaba agregada olduğu literatürden anlaşılmaktadır. Agreganın morfolojik özelliklerinin görüntü değerlendirilmesi, stabil agrega iskeletinin daha çok içsel dirençten kaynaklandığını göstermektedir. Marshall stabilitesi ve dolaylı çekme gerilmesi gibi geleneksel testlerin HMA da içsel direncin ölçümünde yetersiz olduğu düşünülmektedir[29].

Karışımların sinerjetik performansının incelendiği bu çalışmada, HL1 ve HL1SBS6 karışımlarından anlamlı sonuçlar alınamadı. Beklene sonuçlar sadece HL1SBS2 ve SBS2 karışımlarında gözlemlendi.

Ne HL nede SBS ilaveli karışımlar beklenen eğilimi göstermedi. Yapılan deneyler sonucunda, Marshall Oranı (MQ) sinerjetik performans değerlendirilmesi yaklaşımının uygun olmadığı düşünülebilir.

Bu yenilikçi çalışmanın konusu tekrarlı sünme ve tekerlek izi deneyi gibi deneylerle yapılırsa daha anlamlı sonuçlar elde edilebilir.

Başka bir çalışmada [30], %2 sönmüş kireç içerikli karışımlarda daha düşük Marshall Oranı (MQ) elde edilmesine rağmen genel manada mantıklı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalıřmada karıřımlara %1 oranında sönmüş kireç ilavesi minimum deęer olarak dűřünűldű. Daha yűksek kireç içerikleri bu tip gradasyon ve agregalarda kullanılabilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; kalıcı deformasyona karşı asfalt karışımların sinerjetik performansı araştırılmıştır. Türkiye’de henüz fazla yaygınlaşmamış olan bu konuda çalışma yapılırken, katkılı ve katkısız 8 farklı karışım üzerinde performans deneyleri yapılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1- Bu çalışmada sinerjetik karışımlar için kalıcı deformasyon direnci araştırıldı. Bu araştırma yapılırken Marshall Oranı (MQ) yaklaşımı kullanıldı. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Marshall Oranı (MQ) yaklaşımıyla sinerjetik karışımlar için mantıklı değerler bulunamadığını göstermiştir.

Bu çalışmanın devamı yönünde ileride yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler sıralanabilir.

1-Asfalt karışımların sinerjetik performansının incelenmesinde, statik sünme ve dinamik sünme gibi daha olumlu sonuçlar veren deney yöntemlerini kullanılması faydalı olacaktır.

2-Karışımlarda sinerjetik performansının incelenmesinde, farklı oranlarda sönmüş kireç ve SBS modifiye bitüm kullanılması karışım performansının iyileşmesine katkıda bulunacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Aksoy, A., Asfalt Kaplamalarda Kireç Taşı Petrografisi-Soyulma İlişkisi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2001
2. Mohammad, L.N., C. Abadie, R. Gokmen and A.J. Puppala Mechanistic evaluation of hydrated lime in HMA. Transportation Research Record, Transportation Research Board, No.1723. (2000)
3. National Lime Association, The versatile chemical, how to add hydrated lime to asphalt, an overview of current methods. 2003
4. Kuloglu, N. Effect of astragalus on characteristics of asphalt concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 11, No.4, (1999), 283.
5. Aksoy, A., Şamlıoğlu, K., Tayfur, S., Özen, H., Effects of Various Additives on the Moisture Damage Sensitivity of Asphalt Mixtures, Construction and Buildings Materials, May, 2004
6. Walkering, S.D. ve Vonk, W.C., Cariflex TR in Bitumen for Asphalt Mixes: Improved Elastic Recovery and Higher Performance, Thermoplastic Rubbers Technical Manual, Koninklijke Shell Laboratorium, Amsterdam, Netherlands, April, 1992
7. Aksoy, A., Açar, E., Yüksek Performanslı Sıcak Karışım Asfaltlar İçin Sönmüş Kirecin Bir Çözüm Yöntemi Olarak Kullanımı, IV. Balıkesir Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 2002
8. İskender, E., Asfalt Betonunda Kalıcı Deformasyon Probleminin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004
9. Mostafa AE, Gerardo WF, Imad LA. Quantitative effect of elastomeric modification on binder performance at intermediate and high temperatures. Journal of Materials in Civil Engineering, 15, No. 1, February 1, (2003), 32–40.
10. Jian-Shiuh Chen, P.E., Min-Chih, L., Ming-Shen, S., Asphalt Modified by Styrene-Butadiene-Styrene Triblock Copolymer: Morphology and Model, Journal Of Materials In Civil Engineering, May/June, 2002
11. Little, D.N., Petersen, J.C., Unique Effects of Hydrated Lime Filler on the Performance-Related Properties of Asphalt Cements: Physical and Chemical Interactions Revisited, Journal Of Materials In Civil Engineering, March/April 2005

12. Hınıslioğlu, S., Açar, E., Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix, *Materials Letters*, 58, (2004), 267– 271
13. Epps, J. A., “Hydrated Lime Hot Mix,” Presentation Manual, FHWA, AASHTO, NLA, 1992
14. Johansson, L., Influence of Hydrated Lime On Bitumen Hardening, Licentiate Thesis, TRITA-IP FR 95-8, Royal Institute of Technology, Highway Engineering, Stockholm., 1995
15. Rogge, D. F., Leahy, R. B., Blair, R., “Cold-In-Place(CIP) Recycling with Lime,” Transportation Research Instit., OR State Univ., Corvallis, OR, July, 1995
16. Johansson, L., “Bitumen Aging and Hydrated Lime,” Ph. D., Dissertation, Kungl Tekniska Högkolan, Royal Institue of Technology, 1998
17. Tayfur, S., Taş Mastik Asfalt (SMA) Kaplamalar için Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001
18. Özen, H., Bitümlü Karışım Değişkenlerinin Performans Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Hizmet Ömrü Tahmini için Bir Model Kurulması, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999
19. Madencilik Özel İhtisas komisyonu raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri I Çalışma Grubu Raporu., Ankara 2001
20. Karşılaştırmalı Bitüm Modifiye Etme Yöntemleri, Upeks Yol Kimyasalları İth. İhr. Ltd. Şti.
21. Oruç, Ş., Torul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçerisindeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997
22. NCHRP Report 338, , "Asphalt Aggregate Mixture Analysis System (AAMAS)". 1991
23. Whiteoak D. Shell Bitumen Handbook. Shell Bitumen, UK 1991.
24. Robertus C, Mulder EA, Koole RC. SBS modified bitumen for heavy duty asphalt pavements. Second International Conference on Roads and Airfield Pavement Technology, Singapore, September 1995.
25. Zoorob SE, Suparma LB. Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (plastiphalt). *Cement&Concrete Composites*; 22, (2000),233-242.

26. Hınıslioglu S, Agar E. Use of the waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. *Materials Letters*; 58, (2004), 267-271.
27. Little DN, Petersen JC. Unique effects of hydrated lime filler on the performance-related properties of asphalt cements: physical and chemical interactions revisited. *Journal of Materials in Civil Engineering* (2005), 207-218.
28. Bhairampally RK, Lytton RL, Little DN. A numerical and graphical method to assess permanent deformation potential for repeated compressive loading of asphalt mixtures. *Transportation Research Record 1723*, Transportation Research Board, Washington DC, (2002), 150–158.
29. Chen J-S Liao M-C, Evaluation of internal resistance in hot mix asphalt concrete, *Construction and Building Materials* 16 ,(2002), 313-319
30. Şengül, C.E., Aksoy, A. And İskender, E., Permanent Deformation Resistance Evaluation with Marshall Quotient, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006

ÖZGEÇMİŞ

Kürşat Coşkun ÇOLAK, 1980 yılında Trabzon’da doğdu. 1990 yılında Gazipaşa İlköğretim Okulu’ndan mezun oldu. Aynı yıl Gümüşhane Anadolu Lisesine başladı. 1997 yılında Gümüşhane Ali Fuat Kadirbeyoğlu Anadolu Lisesinden mezun oldu. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yapmaya hak kazandı. “2002 Bahar yılı” sonunda “İnşaat Mühendisi” ünvanıyla mezun oldu. Anı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 2004 yılında Devlet Su İşleri XXII. Bölge Müdürlüğü 224. Şube Müdürlüğü’ne İnşaat Mühendisi olarak atandı.

Bekar olan Kürşat Coşkun Çolak, İngilizce bilmekte ve DSİ XXII. Bölge Müdürlüğü 224. Şube Müdürlüğü’nde görev yapmaktadır.