

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PİRİNANIN BİTÜM MODİFİKASYONUNDA KULLANIMININ
ARAŞTIRILMASI**

Gülşah ÖZ KICI

**Danışman
Prof. Dr. Mehmet SALTAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Gülşah ÖZ KICI]

TEZ ONAYI

Gülşah ÖZ KICI tarafından hazırlanan "**Pirinanın Bitüm Modifikasyonunda Kullanımının Araştırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

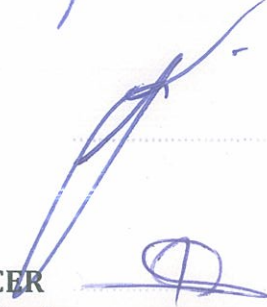
Danışman

Prof. Dr. Mehmet SALTAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Serdal TERZİ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Şebnem KARAHANÇER
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gülşah ÖZ KICI



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı	5
1.2. Amaç.....	5
1.3. Metodoloji.....	6
1.4. Kapsam.....	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
3. MATERYAL	13
3.1. Agregası.....	13
3.2. Bitüm	15
3.3. Pirina.....	15
4. METOT.....	17
4.1. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler	17
4.1.1. Penetrasyon deneyi (TS EN 1426, ASTM D5)	18
4.1.2. Yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427, ASTM D36)	19
4.1.3. Düktilite deneyi (TS EN 12589)	20
4.1.4. Elastik geri dönme deneyi (TS EN 13398)	21
4.1.5. Özgül ağırlık deneyi (TS 1087)	22
4.2. Karışım Tasarım Yöntemleri	22
4.2.1. Superpave karışım tasarım yöntemi	23
4.2.1.1. Superpave karışım tasarımı kapsamı	24
4.2.1.2. Superpave karışım tasarımında trafik	25
4.2.1.3 Superpave yoğurmalı kompaktör ile sıkıştırma.....	26
4.2.1.4. Optimum bitüm oranı tayini	27
4.2.1.5. Nem hassasiyeti tayini	28
4.3. Bitüm Modifikasyonu	30
4.3.1. Bitüm modifikasyon amaçları	32
4.3.2. Bitüm modifiyerlerinde aranan özellikler.....	32
4.3.3. Modifiyer olarak kullanılan malzemelerin sınıflandırılması	33
4.4. Atık Malzemelerin Asfalt Karışımlarındaki Yeri	34
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	36
5.1. Modifiye Bitüm Üzerine Uygulanan Deneyler	36
5.1.1. Penetrasyon deney sonuçları	36
5.1.2. Yumuşama noktası deney sonuçları	38
5.1.3. Düktilite deney sonuçları.....	39
5.1.4. Elastik geri dönme deney sonuçları.....	40
5.1.5. Özgül ağırlık deney sonuçları	41
5.2. Superpave Karışım Tasarımı Deney Sonuçları	42
5.3. Nem Hassasiyeti Deney Sonuçları	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR	53

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PİRİNANIN BİTÜM MODİFİKASYONUNDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Gülşah ÖZ KICI

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

Artan nüfus ve araç kullanımı yüksek performanslı yollara duyulan ihtiyacı artırmıştır. Bu sebeple dünya üzerinde en çok kullanılan ve uygulama alanı en geniş olan bitümlü sıcak karışımların (BSK) performansını artırmaya yönelik çalışmalar araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bitümlü sıcak karışımların temel bileşenlerinden olan bitümün performans özelliklerinde ve karışım içerisindeki davranışında iyileştirme yapılması BSK'ların hem servis ömürlerinin uzamasına hem de kullanım konfor ve güvenliğinin artmasına katkı sağlamaktadır. Bu iyileştirmeler öncelikle BSK'ların ana bileşeni olan bitümün iyileştirilmesi (modifikasyonu) ile sağlanmaktadır. Bitüm modifikasyon işlemleri çeşitli katkı malzemeleri ile yapılabildiği gibi atık malzemeler ile de yapılabilmektedir. Modifikasyonun atık malzemeler ile yapılması hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli fayda sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında; zeytinyağı üretimi aşamasında ortaya çıkan zeytin posası atığının (pirina) bitüm modifikasyonunda kullanımı araştırılmıştır. Pirina 300-350 °C'lik fırında yakılmış ardından öğütülerek 200 No.lu elekten geçirilmiştir. İşlemler sonucunda elde edilen pirina ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında 160 °C sıcaklık ve 4000 devir/dakika hıza sahip yüksek devirli karıştırıcı yardımı ile 2 saat süre boyunca bitüm ile karıştırılmış ve modifikasyon işlemi tamamlanmıştır. Pirina ile modifiye edilen bitüm penetrasyon deneyi, yumuşama noktası deneyi, düktilite deneyi, elastik geri dönme deneyi ve özgül ağırlık deneylerine tabi tutulmuş ve performans değerleri modifiye edilmemiş bitüm ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen modifiye bitüm kullanılarak Superpave karışım tasarımı yöntemine göre karışımlar hazırlanmıştır.

Bitüm deneyleri sonuçlarına göre; pirina ile modifiye edilmiş bitüm kullanımı modifiye edilmemiş bitümün penetrasyon değerini düşürürken, yumuşama noktası değerini artırmaktadır. Düktilite değeri ise kullanılan pirina oranına bağlı olarak düşmektedir. Elastik geri dönme deneyi sonuçlarına göre pirina modifiyeli bitümlerin beklenen elastik geri dönme oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Superpave tasarım yöntemine göre bitüm karışım deneyleri yapılmış ve nem hassasiyeti sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yardımı ile TSR değerleri

hesaplanmıştır. Pirina modifiyeli karışımların nem hassasiyetine karşı performanslarının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Superpave, bitümlü sıcak karışım, bitüm modifikasyonu, pirina, sürdürülebilirlik.

2019, 56 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF USING POMACE IN BITUMEN MODIFICATION

Gülşah ÖZ KICI

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr.Mehmet SALTAN

Growing urban populations and vehicle using increased the need for high-performance roads. For this reason, studies aimed at improving the performance of commonly used hot mix asphalt (HMA) attract the attention of researchers. Improving the performance characteristics and behavior of bitumen, which is one of the main components of bituminous hot mixtures, contributes both to the service life of HMAs and to increase the comfort and safety of use. These improvements are primarily achieved through the modification of bitumen as the main component of the HMAs. Bitumen modification can be carried out with various additives as well as with waste materials. Modification with waste materials provides significant environmental and economic benefits.

In this thesis; the use of olive oil waste (pomace), which emerged during the production of olive oil, in bitumen modification was investigated. Pomace was burned in a 300-350 °C oven and then milled and passed through No. 200 sieve. The resulting pomace was homogeneously mixed into the bitumen for 2 hours with the help of a high speed mixer with a temperature of 160 ° C and a speed of 4000 rpm at a rate of 2%, 4%, 6%, 8% and 10% by weight and the modification was completed. For Pomace modified bitumen, penetration test, softening point test, ductility test, elastic return test and specific gravity test were applied and performance values were compared with unmodified bitumen. Also obtained modified bitumen was used in mixtures and Superpave mix design was used for performans analysis of this mix.

According to results of the bitumen tests, the use of modified bitumen decreases the penetration value compared to the use of unmodified bitumen and increases the softening point value. The ductility value decreases depending on the ratio of the used pomace. According to the results of elastic recovery test, it was seen that the bitumen modified with pomace has sufficient elastic recovery rates. Bitumen mixture tests were performed according to Superpave desing method and moisture sensitivity results were examined. TSR values were calculated with the obtained results. It has been determined that HMAs prepared with pomace modified bitumen has better moisture sensitivity performance.

Keywords: Superpave, hot mix asphalt, bitumen modification, pomace, sustainability.

2019, 56 pages



TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen ve cesaretlendiren, bilgi ve tecrübeleriyle karşılaştığım zorlukları aşmama yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Mehmet SALTAN'a teşekkürlerimi ve sonsuz saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Şebnem KARAHANÇER, Arş. Gör. Ekinhan ERİŞKİN ve Mustafa Yasin AKBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın ve tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan biricik eşim Arş. Gör. Aydın KICI'ya teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Gülşah ÖZ KICI
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. KGM satıh cinsine göre yol ağı dağılımı	1
Şekil 3.1. Gradasyon eğrisi	14
Şekil 3.2. Kurutulmuş pirina.....	16
Şekil 4.1. Penetrasyon deney aleti.....	19
Şekil 4.2. Yumuşama noktası deney aleti	20
Şekil 4.3. Düktilite deney aleti	21
Şekil 4.4. Superpave karışım tasarımı yöntemi akış şeması	25
Şekil 4.5. Superpave yoğurmalı kompaktörü (Superpave Gyrotory Compactor)27	27
Şekil 4.6. Superpave indirekt çekme dayanımı deney aleti.....	29
Şekil 4.7. Yakma işleminden sonra (solda) ve öğütmeden sonra (sağda) pirina 31	31
Şekil 4.8. Yüksek devirli karıştırıcı.....	31
Şekil 5.1. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin penetrasyon değerleri.....	38
Şekil 5.2. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin yumuşama noktaları.....	39
Şekil 5.3. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin düktilite sonuçları.....	40
Şekil 5.4. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitüm özgül ağırlıkları	42
Şekil 5.5. %2 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği	43
Şekil 5.6. %4 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği	44
Şekil 5.7. %6 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği	44
Şekil 5.8. %8 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği	45
Şekil 5.9. %10 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği.....	45
Şekil 5.10. Optimum bitüm oranlarının karşılaştırılması	46
Şekil 5.11. IDT_{kuru} ve $IDT_{ıslak}$ değerleri.....	48
Şekil 5.12. TSR değerlerindeki değişim.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan agrega özellikleri	13
Çizelge 3.2. Kullanılan agrega gradasyonu	14
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan bitümün özellikleri.....	15
Çizelge 4.1. Superpave karışım tasarımı trafik seviyeleri.....	26
Çizelge 4.2. Modifikasyonda kullanılan çeşitli modifiyerler	33
Çizelge 5.1. Modifiye bitüm penetrasyon değerleri.....	37
Çizelge 5.2. Modifiye bitüm yumuşama noktası değerleri.....	38
Çizelge 5.3. Modifiye bitüm duktilite deney sonuçları	40
Çizelge 5.4. Modifiye bitüm elastik geri dönme oranları.....	41
Çizelge 5.5. Modifiye bitüm özgül ağırlıkları.....	41
Çizelge 5.6. Nem hassasiyeti deney sonuçları	48



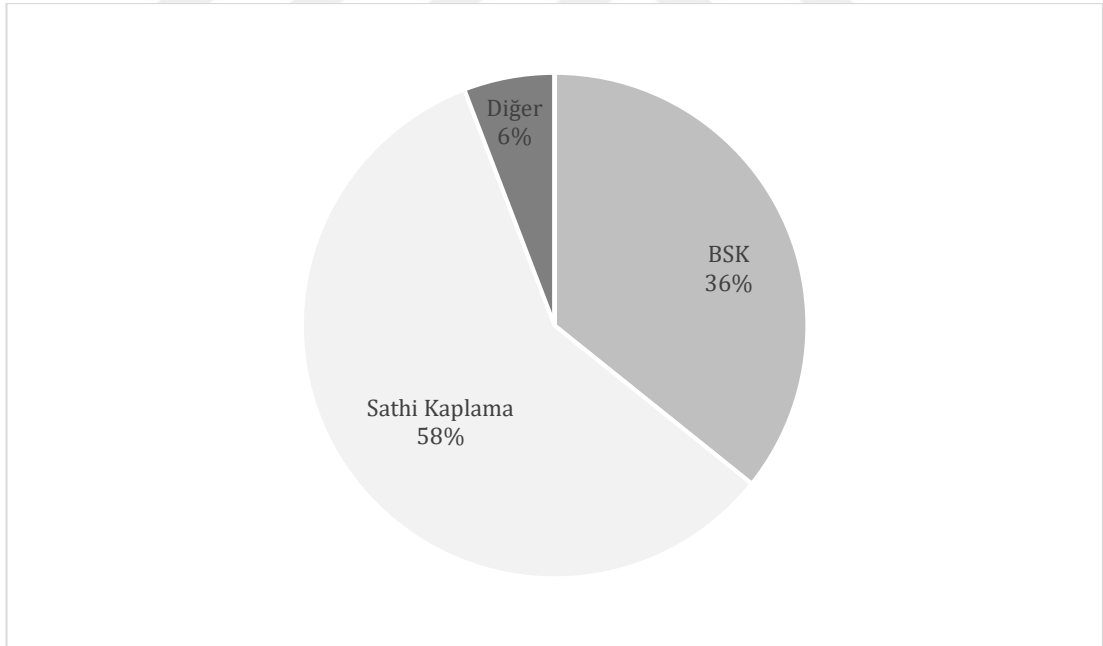
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	Amerikan eyalet yolları ve ulaştırma birliği kurumu
APP	Ataktik polipropilen
ASTM	American society for testing and materials
BSK	Bitümlü sıcak karışım
EVA	Etilen vinil asetat
G _b	Bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığı
IDT _{kuru}	Kuru indirekt çekme mukavemeti
IDT _{ıslak}	İndirekt çekme mukavemeti
KGM	Karayolları genel müdürlüğü
MPa	Megapascal
SBS	Styrene-butadiene-styrene
SBR	Styrene-butadiene-rubber
SHRP	Strategic highway research program
Superpave	Superior performing asphalt pavements
TSE	Türk standartları enstitüsü
TSR	İndirekt çekme dayanımı oranı
VFA	Bitümle dolu boşluk oranı
VMA	Mineral agregalar arası boşluk oranı

1. GİRİŞ

Yol gövdesi altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Altyapı, yarma ve dolgulardan oluşmakta iken, üstyapı ise trafik yüklerini altyapıya (taban zeminine) dağıtan tabakalı bir yapıdır. Bu tabakalar; kaplama, temel ve alttemel tabakalarıdır. Kaplama tabakaları, trafik yükleri ve çevresel etkilerin altındadır. Trafik yükleri, taşıtların hareketleri sırasında radyal çekme ve basınç gerilmeleri ile düşey basınç gerilmeleri oluşturmaktadır. Dingil yükü tekrarı gerilmelerin şiddetini ve derecesini etkilemektedir (KGM, 2008).

Karayolları Genel Müdürlüğü'ne (KGM) ait toplam yol uzunluğu 2018 itibari ile 67.333 km olup bu yolların 24.082 km ile %36'lık kısmı Bitümlü Sıcak Karışım'dan (BSK) oluşmaktadır (Şekil 1.1). 2000'li yılların başı itibariyle %10'un altında olan BSK kaplamalar 2018 yılında %36'ya kadar yükselmiştir (KGM, 2019).



Şekil 1.1. KGM satıh cinsine göre yol ağı dağılımı

BSK'lar bitüm ve granüler malzemenin belirli sıcaklıkta ve belirli oranlarda karıştırılması ile oluşturulmaktadır. İlk asfalt yol ABD Washington D.C. Eyaletinde 1876 yılında yapılmıştır. Bu kaplamada Trinidad Gölü'nden elden

edilen bitüm kullanılmıştır (Huang, 2004). Günümüzde ise, bitüm tüm dünyada en çok kabul edilen yol malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bitüm, yol kaplamalarında agrega ile birlikte kullanılan önemli bir malzemedir (Arslan vd., 2012). Hem termoplastik hem de viskoelastik özellik göstermektedir. Termoplastik yapıları dolayısıyla iklimsel koşullara bağlı olarak farklı sıcaklıklarda farklı davranış göstermektedir. Viskoelastik davranışları gereği farklı yükleme hızlarına olan tepkileri de farklıdır. BSK karışımların performansını anlamak ancak onu oluşturan en önemli öge olan bitümü anlamak ile başlar. Bu nedenle bitüm özellikleri literatürde var olan test yöntemleri ile belirlenmektedir.

En eski mühendislik malzemelerinden biri olan bitüm, doğal halde bulunan ya da ham petrolün damıtılması sırasında elde edilen, rengi koyu kahverengiden siyaha kadar değişebilen, katı, yarı katı ve sıvı halde olabilen kuvvetli bağlayıcı özelliğe sahip hidrokarbonlardan oluşan bağlayıcı bir maddedir. Bitümler, kökenlerine göre doğal bitümler ve yapay (rafineri) bitümler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Taşcı, 2010).

Bitümler, kesilme hızlarına ve kür almalarına bağlı olarak sınıflara ayrılmaktadır. BSK kaplamalarda AC sınıfı bitümler kullanılmaktadır. Bu bitümler petrolün damıtılmasıyla elde edilebilir. Bu bitümler kendi içerisinde penetrasyon değerlerine göre de sınıflandırılmaktadır. BSK'nın kullanılacağı bölgeye bağlı olarak farklı penetrasyon değerinde bitümler seçilmektedir.

BSK'da kullanılan bitüm petrol ürünlerinin damıtılması ile elde edildiğinden, Türkiye gibi petrol bakımından fakir ülkeler için bitüm ciddi bir maliyete sebep olmaktadır. Bu nedenle, bitüm modifikasyonu hem BSK'da kullanılan bitüm oranını azaltarak maliyeti düşürmek hem de BSK performansını artırmak amacı ile uygulanmaktadır. Bitüm modifikasyonu günümüz araştırmacıları tarafından oldukça önemsenen bir konudur.

Bitümlü bağlayıcının performans değerlerinin artırılması amacıyla bitüm modifikasyonu için Styrene Butadiene Styrene (SBS) veya Styrene Butadiene Rubber (SBR) gibi polimer modifiyerlerin yanında nano-SiO₂, TiO₂, CaCO₃, Fe₃O₄, ZnO ve nano-killer gibi modifiyerler de kullanılmaktadır. Nano malzemelerle yapılan bitüm modifikasyonu sonucunda bitümün yaşlanma direnci artmıştır. Reolojik ve termal özelliklerinde de iyileşme gözlenmiştir (Fang vd., 2013).

Üretim ve kullanım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, insan ve çevre sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan ve dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi sakıncalı her türlü madde atık olarak adlandırılmaktadır. Atıkların; kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, depolanması, geri kazanılması işlemleri bir bütün olarak atık yönetimi olarak ifade edilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015). Atık yönetimi çevresel kirlenmenin ve küresel ısınmanın arttığı günümüz dünyasında oldukça önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Atık malzemelerin alternatif geri dönüşüm yöntemleri ile kullanılması atık yönetimi bakımından önemlidir.

Endüstriyel faaliyetler sonucunda ortaya çıkan atık malzemeler; tüm atık malzemeler düşünüldüğünde en büyük hacme sahiptir. Çevresel problemlere sebep olan en önemli atıklardan biri araba lastiği atığıdır. Araba lastiği atığının bitüm modifikasyonunda değerlendirilmesiyle elde edilen modifiye bitümün kayma direnci, esnekliği ve çatlama direncini arttırmıştır. Ayrıca ses sönümleyici özelliği ile trafik gürültüsünü de azalttığı gözlemlenmiştir (Terrel ve Walter, 1986; Presti, 2013).

Pirina (zeytin posası) zeytinyağı üretimi sonucu ortaya çıkan yarı katı bir atık malzemedir. Zeytinyağı üretildikten sonra geriye kalan çekirdek, kabuk ve posadan oluşan pirina yaklaşık olarak %75-80 kuru madde, %3-5 ham kül, %35-50 ham selüloz, %5-10 ham protein ve %8-15 ham yağ içeriğine sahiptir. Türkiye, 91.700.000 adet zeytin ağacı ve 1.800.000 ton zeytin üretimi ile İspanya, İtalya ve Yunanistan'ın ardından dünyanın 4. büyük zeytin üreticisidir. Bu üretimin yaklaşık %75'inin zeytinyağı üretiminde kullanıldığı düşünüldüğünde ve yağlık

zeytinden de yaklaşık %35-40 oranında ham pirina elde edildiği göz önüne alınırsa ülkemizde yıllık olarak yaklaşık 472.500-540.000 ton ham pirina elde edildiği söylenebilmektedir (Filya vd., 2006).

Pirina miktarındaki bu potansiyel düşünüldüğünde onun bitüm modifikasyonu gibi farklı alanlarda değerlendirilmesi ekonomik ve çevresel açıdan faydalı olabileceği düşünülmektedir. Türkiye gibi ciddi miktarlarda pirina atığı üreten ve petrol bakımından fakir olan ülkelerde bitüm modifiyeri olarak pirina kullanımının araştırılması faydalı olacaktır.

BSK kaplamalar tabakalı imalata uygun olarak tasarlanmakta ve uygulanmaktadır. Tabakalı uygulamaların en önemli avantajı, ekonomik ve uygulanabilir olmasıdır. Bu tabakalar arasında en önemli tabaka bitüm ile oluşturulan ve trafik yüklerine ilk olarak maruz kalan üst tabakalardır. Bu bitümlü tabakaların doğru tasarlanması kaplama ömrü başta olmak üzere tüm üstyapının ömrünü doğrudan etkilemektedir.

Bitümlü tabakaların performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin başında bitümün kendi özellikleri gelmektedir. Bitümün penetrasyon değeri, yumuşama noktası, viskozite değeri gibi birçok özellik kaplamanın performansını etkilemektedir. Karışımlarda kullanılan agrega özellikleri ve gradasyonu ile bitüm agrega karışım oranı da büyük önem taşımaktadır.

BSK'larda kullanılacak bitüm oranının belirlenmesinde birçok çalışma yapılmıştır. Buna bağlı olarak karışımlar içinde boşluk oranının %4 seviyesinde tutabilecek bir bitüm oranının karışım performansı için önemli olduğu gösterilmiştir. Bu konuda, en çok kullanılan tasarım yöntemi AASHTO ve Superpave tasarım yöntemleridir. Günümüzde Superpave tasarım yöntemi, BSK performansını belirlemede en güncel olan yöntemdir. Superpave karışım tasarım yöntemi Hveem ve Marshall yöntemlerinin yerini almak üzere tasarlanmıştır. Marshall yönteminde kullanılan sıkıştırma aletleri yerine Superpave yoğurmalı

kompaktör sıkıştırması kullanılarak; sıkıştırma, beklenen trafiğe göre düzenlenmiştir (Pavement Interactive, 2019).

1.1. Problemin Tanımı

Servis ömrü süresince güvenli ve konforlu şekilde hizmet vermesi beklenen üstyapılar; karşılaması beklenen trafik etkileri yanında çevresel ve iklimsel koşulları da göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Üstyapı servis ömrü projenin tamamlanıp hizmete açılmasından son servis kabiliyeti değerine ulaşana kadar geçen süredir. Servis ömrü üstyapının projelendirme aşamasında kullanılan kriterlerden, yapımı esnasında uygulanan işlemlerden, bakım-onarım çalışmalarına kadar birçok etmeden etkilenmektedir.

Üstyapılarda maruz kaldıkları trafik yükleri ve iklimsel faktörler sebebiyle bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmalar çatlaklar, deformasyonlar ve ayrışmalar şeklinde gerçekleşmektedir. Çatlaklar çoğunlukla üstyapının maruz kaldığı tekrarlı trafik yüklerinden dolayı oluşmaktadır. Ayrıca sıcaklık değişimleri de üstyapı çatlaklarına sebep olmaktadır. Üstyapı deformasyonları ise yetersiz stabilite değerine sahip bitüm kullanımlarından, uygulama sırasındaki yetersiz sıkıştırma işleminden, yanlış seçilen tabaka kalınlıklarından etkilenmektedir. Ayrışmalar uygulama hataları, uygunsuz agrega karışımları, karışımın homojen olmaması ve yüksek penetrasyona sahip bitüm kullanımı gibi sebeplerden dolayı oluşmaktadır. Bu tip bozulmalara sebebiyet vermemek için BSK'ların temel bileşenlerinden olan bitümün performans özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

1.2. Amaç

Bitüm performansının iyileştirilmesinin en etkin yöntemi bitüm modifikasyonudur. Bitüm modifikasyonu çok farklı malzemeler ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada zeytinyağı üretimi esnasında ortaya çıkan pirina atığının bitüm performansının iyileştirilmesi amacıyla kullanımı araştırılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı, hem atık malzeme olarak bulunan pirinanın üstyapı

inşaatında değerlendirilmesi hem de BSK'ların temel bileşenlerinden olan bitümün performans değerlerinin iyileştirilmesidir.

1.3. Metodoloji

Bu tez çalışmasında zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan pirina, bitüm modifikasyonunda kullanıma uygun hale getirilmesi için yüksek sıcaklıklı fırında yakılmış ve bitüm ile tam anlamıyla bağlanabilmesi amacıyla öğütülüp istenen dane boyuta getirilmiştir. Bitüm modifikasyonu için mekanik yöntem seçilip yüksek devirli karıştırıcı yardımı ile işlem tamamlanmıştır. Pirina ile modifiye edilen bitümün performansı Superpave karışım tasarımına uygun olarak değerlendirilmiştir. Modifiye edilen bitüme yumuşama noktası, düktilite, elastik geri dönme, penetrasyon deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen modifiye bitümle BSK karışımlarının performansı İndirekt Çekme Dayanımı ile belirlenmiştir. Ayrıca karışımların nem hassasiyet değerleri incelenmiştir.

1.4. Kapsam

Çalışmanın ilk aşamasında zeytinyağı proses sonucunda ortaya çıkan pirina hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra üstyapı karışım tasarım yöntemleri hakkında bilgiler verilmiş ve modifikasyon işlemi anlatılmıştır. Bitüm modifikasyonu için ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında yüksek sıcaklıklı fırında yakılmış pirina kullanılmıştır.

Sonraki aşamada modifikasyon işlemi uygulanan bitüme performans deneyleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Karışım deneylerinin Superpave karışım tasarımı yöntemine uygun olarak uygulama aşamaları verilmiş olup bulgular incelenmiştir. Elde edilen tüm bulgular değerlendirilerek pirinanın bitüm modifikasyonuna uygun olup olmadığı irdelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Atık malzemelerin yol inşaatında kullanılması konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Öksüz (2011) yaptığı çalışmada, volkanik cüruf, hurda cam ve cam şişe atıklarının esnek üstyapılarında filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmanın ilk kısmında filler oranı %7 tutularak optimum bitüm oranı Marshall Stabilite Deneyleri ile belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise %5'ten %9'a kadar farklı filler oranlarında hurda cam, cam şişe atık, volkanik cürufun her biri için numuneler hazırlanarak Marshall Stabilite Deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar geleneksel filler malzemesi kullanılarak oluşturulmuş numunelerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, maliyet ve çevre konuları göz önüne alındığında, hurda cam tozu, cam şişe tozu ve volkanik cüruf tozunun filler malzeme olarak asfalt betonu karışımlarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Taşcı (2010) yaptığı çalışmada piroliz edilmiş atık araç lastiklerinden elde edilen atık yağ ve karbon siyahını kullanarak bitümü modifiye etmiştir. Bu şekilde modifiye edilmiş bitümün reolojik özellikleri incelenen çalışmada, penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kesme reometresi vb. deneyler uygulanmıştır. Ayrıca karışım deneyleri de yapılarak, bitüme eklenen katı maddelerin bitüm özellikleri üzerinde etki yaptığı sonucuna varılmıştır. Modifiye edilmiş bitümün penetrasyon derecesi artmış, yumuşama noktası ise azalmıştır. Ayrıca atık lastik yağı, bitümün yaşlanma etkilerini azaltmıştır. Marshall tasarım yöntemi ile yapılan karışım deneyi sonucunda, modifiye bitüm ile yapılacak kaplamanın plastik deformasyona karşı olan direncinin daha fazla olacağı sonucuna varılmıştır.

Karahançer (2017) yaptığı çalışmada, çoğul duvarlı karbon nanotüp, çinko oksit nano tozu ve %50 oranında silika ile modifiye edilmiş karbon nanotüpleri kullanarak, bitümü modifiye etmiştir. Bitüm nano malzemeler ile yüksek devirli karıştırıcılar aracılığı ile belirli sıcaklık, süre ve devir sayısında karıştırılmıştır. Elde edilen bu modifiye bitüm ve bu bitümle oluşturulan karışımlar Superpave karışım tasarımına göre performans testine tabii tutulmuştur. Bitüm üzerinde,

dönel ince film halinde ısıtma deneyi, basınçlı yaşlandırma kabı, dinamik kesme reometresi, kiriş eğilme reometresi ve dönel viskozimetre deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca bu çalışma ile fayda/maliyet analizleri yapılarak nano malzemelerin karışım maliyetini ne ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Sonuç olarak; nanotüp ile modifiye edilmiş bitümlerin tekerlek izi ve yorulma çatlaklarına karşı dayanımı artırdığı gözlenmiştir. Fayda/maliyet analizlerine bakıldığında, çoğul duvarlı karbon nanotüp dışındaki tüm nano modifiyeli bitümlerin maliyetinin azaldığı saptanmıştır.

Yener ve Yadollahi (2013) yaptıkları çalışmada pirina pirolizi yapmış ve ardından bitüm modifikasyonunda kullanmıştır. Modifiye edilmiş bitümün özelliklerini (yumuşama noktası, penetrasyon, soyulma direnci) incelenmiştir. Bunun için ağırlıkça %1, 3 ve 5 oranlarında pirina kullanılarak 70/100 penetrasyon değerine sahip bitüm modifiye edilmiştir. Elde edilen modifiye bitümün penetrasyon değerinin artarken, yumuşama noktası değerinin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, bu modifiye bitümün agrega ve bitüm arasındaki bağı kuvvetlendirerek, soyulma direncini artırdığı belirlenmiştir. Soyulma direncindeki bu artış, durabiliteyi artırarak servis ömrü boyunca asfalt karışımının performansını olumlu yönde etkileyeceği belirtilmiştir.

Ziari vd. (2015) yaptıkları çalışmada bentonit ile modifiye edilmiş bitüm ile hazırlanan bitümlü sıcak karışımın yorulma ve tekerlek izi performansını değerlendirmiştir. Modifiyer olarak bentonit ağırlıkça %10, 15, 20, 25 ve %30 oranlarında bitüme eklenmiştir. Elde edilen modifiye bitüm ve modifiye edilmemiş bitüm yumuşama noktası, penetrasyon ve düktilite gibi birçok teste tabi tutulmuştur. Ayrıca karışım deneyleri de yapılarak, tekerlek izi testleri, stabilite, elastisite modülü gibi testler uygulanmıştır. Ayrıca, karışımın yorulma ömrü de değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, bentonit modifiyesinin bitümün özelliklerini iyileştirdiği ve tekerlek izi dayanımını artırdığı gözlenmiştir. Ayrıca, bitümlü sıcak karışımın (BSK) kesme dayanımı değerlerinin de arttığı ve yorulma dayanımının geleneksel BSK'lara göre arttığı belirlenmiştir.

Tabatabaei vd. (2013) yaptıkları çalışmada, polimer modifier olarak stiren butadien lastik (Styrene-Butadiene-Rubber) kullanarak bitümü modifiye etmişlerdir. Ardından elde edilen bu bitümün reolojik özellikleri incelenerek analiz edilmiştir. %3, 4 ve 5 oranlarında stiren butadien lastik ile modifiye edilmiş bitümlerden en iyi performansı %5'lik oranla modifiye edilen bitüm göstermiştir.

Saltan ve Uysal (2018) yaptıkları çalışmada, trioktahedral mika minerali olarak bilinen vermikülitin BSK'da kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada Marshall tasarım yöntemi kullanılarak optimum bitüm içeriği hesaplanmıştır. Hesaplanan optimum bitüm yüzdesine göre vermikülit modifiyeli bitümler hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, vermikülit ile modifiye edilmiş BSK'ların daha yüksek Marshall stabilite değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, optimum bitüm oranlarına bakıldığında, vermikülit ile modifiye edilmiş bitümlerle hazırlanan karışımlarda optimum bitüm oranının %8 oranında azaldığı görülmüştür.

Atasağun (2009) yaptığı çalışmada, çörekotu küspesi ile bitümü modifiye etmiştir. Elde edilen bu modifiye bitümün reolojik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, yumuşama noktası, penetrasyon, dinamik kesme reometresi, dönel ince film halinde ısıtma deneyi ve kırış eğilme reometresi deneyleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, modifiye edilmiş bitümün penetrasyon değerleri artmış ve yumuşama noktası değerleri azalmıştır. Ayrıca bu katkı sayesinde bitümün yaşlanma değerleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu gözlenmiştir.

Bostancıoğlu (2012) yaptığı çalışmada, fındık kabuğu atıklarının kimyasal aktivasyon yöntemi ile elde edilen aktif karbon ile, bitkisel atıkların hidrolizi ile elde edilmiş furan reçinesinin bitüm modifikasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı oran, boyut ve karıştırma koşullarında bitüm modifiye edilmiştir. Elde edilen modifiye bitüme, ince film halinde ısıtma, dinamik kayma reometresi ve dönel viskozimetre deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, modifiye edilmiş bitümlerin sertlik derecesinin arttığı ve sıcaklık hassasiyetlerinin düştüğü gözlenirken, reolojik özelliklerinin geliştiği gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen bu bitüm ile karışımlar hazırlanarak Marshall

testi, dolaylı çekme mukavemeti, su hasarı, dolaylı çekme esneklik modülü ve Nicholson deneylerine tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, karışımların tekerlek izinde oturma dirençleri arttığı ve yorulma dayanımlarının iyileştiği gözlenmiştir. Nem hasarına olan dirençler incelendiğinde, furan reçinesinin etkili bir modifiyer olacağı gösterilmiştir.

Torun (2015) yaptığı çalışmada rejenere polyolefinden elde edilen PR Plast S katkı malzemesinin bitüm modifikasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. PR Plast S katkı malzemesi bitüme doğrudan eklenmiş ve numuneler katkı ve katkısız olarak Marshall tasarım yöntemine uygun olarak hazırlanmış ve optimum bitüm oranları tespit edilmiştir. PR Plast S katkıli bodifiye bitümlerin katkı oranının artırılmasıyla karışım mukavemet değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca PR Plast S katkıli ve katkısız numunelere Hamburg Tekerlek İzi Deneyi uygulanmış ve Pr Plast S ile modifiyikasyon işleminin numunelerin tekerlek izi direncinin artırdığı sonucuna varılmıştır.

Raufi (2018) tarafında yapılan çalışmada bitüm modifikasyonu için çeşitli nanomalzemelerden yararlanılmıştır. Belirli oranlarda nano-Bentonit, nano-CaCO₃, nano-organosilan olmak üzere 3 çeşit nano malzeme ile bitüm modifikasyonu yapılmıştır. Elde edilen modifiye bitümlerde nano malzemelerin dağılımını kontrol etmek amacıyla fluoresan mikroskopiden yararlanılmıştır. Modifiye bitümle hazırlanan karışımlara Marshall stabilite ve akma deneyi uygulanmıştır. Ayrıca karışımın nem hassasiyetini incelemek amacıyla modifiye Lotman deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçları değerlendirildiğinde her 3 tip nano modifiyerin de İndirekt Çekme Dayanımı Oranı (TSR) değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Yıldırım vd. (2018) yaptıkları çalışmada belirli oranlarda atık lastik ve cam lifi ile modifiye edilen bitümün performans özelliklerini değerlendirmiştir. Elde edilen modifiye bitümler kullanılarak Marshall karışım tasarım yöntemiyle numuneler oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlar incelediğinde Marshall stabilitelerinin azaldığı gözlenmiştir. Modifiye edilen bitümün ise şartname koşullarını sağladığı görülmüştür.

Yılmaz ve Kök (2008) yaptıkları demir elik sanayi atığı olan ferrokrom cürufunun BSK'larda agrega olarak kullanımını araştırmıştır. Ferrokrom cürufu hem agrega olarak kullanılmış hem de styrene-butadien-styrene (SBS) ile modifiye edilmiş bitümle oluşturulan ferrokrom cüruflu karışımların oluşturulması amaçlı kullanılmıştır. SBS ile modifiye edilen bitüm ve ferrokrom cürufu kullanarak oluşturulan karışım numunelere Marshall stabilite ve akma, indirekt çekme dayanımı, indirekt çekme modülü ve s nme rijitliği testleri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde kaba agrega olarak ferrokrom cürufu kullanımının tüm deneysel çalışmalar için diğer kullanımlarından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Ahmedzade vd. (2007) yaptıkları çalışmada Bingöl Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden temin edilen sıcaklık değerlerini kullanarak Superpave tasarım yöntemine göre numuneler hazırlamıştır. B 70/100 ve B 100/150 penetrasyonlu iki ayrı bitümlü bağlayıcı kullanarak hazırlanan numuneler Dinamik Kayma Reometresi deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları değerlendirildiğinde B 70/100 penetrasyonlu bağlayıcı ile hazırlanan numunelerin bölgesel hava şartları düşünüldüğünde tekerlek izi direnimi bakımından daha kullanılabilir olduğu g r lm ştir.

Deniz ve Lav (2011) alışmalarında modifiye katkı malzemelerinden olan ve maliyeti düşüren nadir malzemelerden olan granüler sülfürü kullanmıştır. Belirli oranlarda granüler sülfür kullanarak Marshall tasarım yöntemine göre numuneler hazırlanmış ve Marshall stabilite ve akma testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre granüler sülfür modifikasyonu ile stabilite değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca BSK'larda yüksek granüler sülfür oranlarıyla elde edilen modifiye bitümlerin maliyet açısından belirli oranlarda kazanç sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Keskin (1998) alışmasında BSK'larda meydana gelen bozulmalara çözüm olarak bitüm modifikasyonunu değerlendirmiştir. Geri dönüşüme uygun plastik katkı malzemesi olarak PTT kablo atıkları bitümü modifiye etmek amacıyla kullanılmıştır. Marshall karışım tasarım yöntemine göre hazırlanan numuneler

stabilite testine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalar sonunda PTT kablo atıklarının bitüm modifikasyonunda kullanımının mevcut stabilite değerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.



3. MATERYAL

Bu bölümde bitümlü sıcak karışımları oluşturan bileşenler tanıtılmış, kullanılan bitüm ve agregalar hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, bitüm modifikasyonu üzerinde durulmuş, modifiyer olarak kullanılan pirinadan bahsedilmiştir.

3.1. Agregalar

Çalışmada kırmataş ocaklarında üretilen mineral agregalar kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Bu kırmataş malzeme Isparta Belediyesi Asfalt Şantiyesi'nden temin edilmiştir. Agregalar istenen gradasyonu sağlamak amacıyla elek analizine tabi tutulmuştur. Agregaların sert, sağlam ve organik maddelerden arındırılmış olmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan agregalar özellikleri

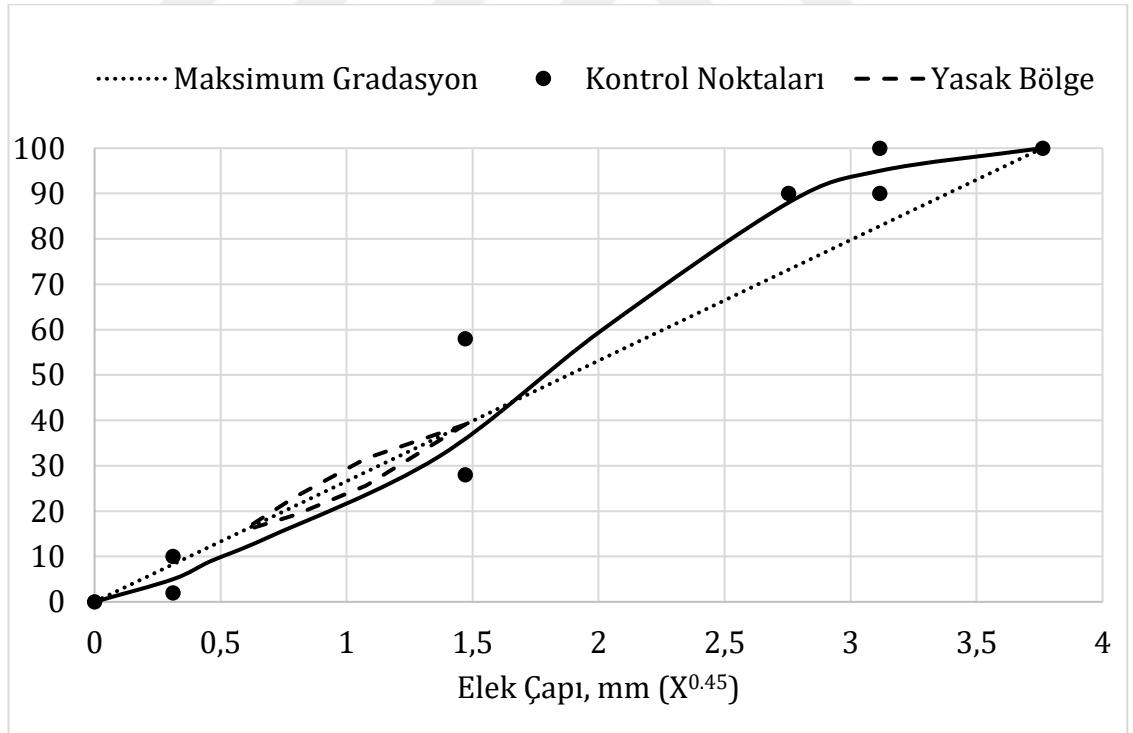
Elek Çapı	Özellik	Standart	
4.75-0.075 mm	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	ASTM 127-88	2.660
	Yüzey Kuru Özgül Ağırlık		2.652
	Su Emme (%)		0.130
25-4.75 mm	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C 128-88	2.750
	Yüzey Kuru Özgül Ağırlık		2.428
	Su Emme (%)		2.800
0.075 mm	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C 131	2.720

Çalışmada kullanılan tüm karışımlarda aynı gradasyon oranı kullanılmıştır. Sürekli gradasyon seçilerek oluşturulan numuneler için gradasyon limitleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan agrega gradasyonu

Elek Çapı (mm)	Limit % Geçen	Gradasyon % Geçen	Ağırlık (gr)
19 mm (3/4")	100	100	0
12.5 mm (1/2")	83-100	95	60
9.5 mm (3/8")	70-90	88	84
4.75 mm (No. 4)	40-55	60	336
2mm (No. 10)	25-38	32	336
0.425 mm (No. 40)	10-20	14	216
0.18 mm (No. 80)	6-15	9	60
0.075 mm (No. 200)	4-10	5	48
Filler (<No. 200)	0	0	60
Toplam	%100	%100	1200

Bu gradasyon seçiminde Superpave tasarım yöntemine bağlı kalınmıştır ve oranlar buna göre seçilmiştir. Bu gradasyona ait gradasyon eğrisi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Gradasyon eğrisi

3.2. Bitüm

Çalışmada Isparta Belediyesi Asfalt Şantiye'sinden tedarik edilmiş AC 50-70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Bitüm üzerine standart deneyler yapılarak, Çizelge 3.3'de verilen değerler bulunmuştur.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan bitümün özellikleri

Özellik	Ortalama Değer
Penetrasyon (25 °C)	62.2
Yumuşama Noktası	49.9
Düktilite (5cm/dk)	>100
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	0.995
Parlama Noktası	180 °C
Yanma Noktası	230 °C

3.3. Pirina

Pirina (zeytin posası) tarım endüstrisi tarafından zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan yarı katı macun kıvamında önemli bir atıktır (Nunens vd., 2019). Zeytinyağı üretimi dünyada 3.13 milyon ton civarındadır (International Olive Council, 2018). İspanya tek başına zeytinyağı üretiminin %50'sini üstlenmektedir.

Türkiye zeytinyağı üretimi konusunda İspanya, İtalya ve Yunanistan'ın arkasından 4. sırada bulunmaktadır. Zeytinyağı üretimi sırasında yaklaşık %35-40 oranında ham pirina elde edilmektedir (Filya vd., 2006). Bu oran göz önüne alındığında hem Türkiye'nin hem de dünyanın pirina bakımında ciddi bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, Balıkesir Edremit Bölgesi'nden elde edilen zeytinin sıkılması sonucunda ortaya çıkan pirina kullanılmıştır. Pirina ham halinde yaklaşık olarak %30-40 oranında neme sahipken, doğal kurutma yöntemleri ile bu nem oranı yaklaşık %12-15 oranına düşürülmüştür (Şekil 3.2).

Pirina içeriğinde; zeytin çekirdeği, zeytinyağı, su ve posa içermektedir. Düşük protein içeriğine sahip olmakla beraber kuru madde oranı %75 civarındadır (Filya vd., 2006).



Şekil 3.2. Kurutulmuş pirina

4. METOT

Bu bölümün ilk kısmında bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneyler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. İkinci kısımda karışım tasarım yöntemlerinden Marshall ve Superpave yöntemleri anlatılmıştır. Üçüncü kısımda bitüm modifikasyonu üzerinde durulmuş ve bitüm modifikasyonu süreci anlatılmıştır. Son olarak atık malzemelerin asfalt karışımlarında olan kullanımına değinilmiş ve pirinadan bahsedilmiştir.

4.1. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler

Bitümlü sıcak karışımların en önemli bileşenleri agrega karışımı ve bitümdür. Bitüm performansı doğrudan karışımın performansını etkilediğinden özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bitümlü bağlayıcıların şartnamelerde belirtilen bazı kriterleri sağlaması gerekmektedir. Bu kriterler istenilen sınır değerine sahip değilse bu bitümün bağlayıcı olarak karışımlarda kullanılması uygun değildir.

Karışımında gerekli olan bitüm oranını azaltmak ve karışım performansını artırmak için bitüm modifikasyonu kullanılabilir. Modifiye edilen bitümlerin malzeme özellikleri değişebilmektedir. Bu değişimleri saptamak, modifiye edilen bitümün şartnamelerde istenilen değerleri sağlayıp sağlamadığını tespit etmek amacıyla bitüm deneyleri uygulanmaktadır.

Uygulanacak bitüm deneyleri yine standartlarda belirlenen deney yöntem ve metodları kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Aksi takdirde yapılan deneyler geçerli kabul edilmez. Türkiye’de genelde TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve ASTM (American Society for Testing and Materials) standartları kullanılmaktadır.

Uygulanan deneyler arasında kıvam deneyleri olarak yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427, ASTM D36) ve penetrasyon deneyi (TS EN 1426, ASTM D5) en önemli bitüm deneyleri arasında gelmektedir. Ayrıca düktilite (TS EN 12589) ve elastik geri dönme (TS EN 13398) deneyleri de bitümün yorulma dayanımı

açısından bakılması gereken önemli kriterlerdendir. Ayrıca özgül ağırlık deneyi de, (TS 1087) karışımdaki bitümün ağırlıkça yüzdesini bulabilmek için uygulanması gereken bitüm deneyleri arasındadır.

Bu bölümde bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneyler ile TS EN ve ASTM'ye göre metot ve yöntemleri sunulmuştur.

4.1.1. Penetrasyon deneyi (TS EN 1426, ASTM D5)

Penetrasyon deneyi bitümlü bağlayıcıların kıvamını belirlemede uygulanması gereken önemli bir deneydir. Bu deney sayesinde sertlik ve kıvamlilik tayin edilir. Sertlik ve kıvamlilik tayin edilmesinin sebebi bitümün karışım tasarımında bağlanma yeteneğini öngörmektir.

Penetrasyon değeri belirli boyutları ve özellikleri olan bir iğnenin belirli bir yük altında (100 gr), 5 sn'lik bir sürede dikey olarak 25 °C deki bitüme battığı mesafedir Penetrasyon deney aleti düzeneği Şekil 4.1'de verilmiştir. 0.1 mm cinsinden belirlenen bu mesafe bitümün penetasyon değeridir. Kıvamlilik ve penetrasyon değeri arasında ters orantı bulunmaktadır. Penetrasyon değeri arttıkça bitüm yumuşak kıvama geçer.

Bitüm sıcaklığı artışı da penetrasyon değerini artırmaktadır. Yüksek ve düşük penetrasyona sahip bitümler farklı amaçlar için farklı karışım tiplerinde kullanılmaktadır. Genellikle 50-70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcıların sıcak karışımlar için uygun olduğu bilinmektedir.



Şekil 4.1. Penetrasyon deney aleti

4.1.2. Yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427, ASTM D36)

Bitümlü bağlayıcılara uygulanan bir başka kıvam deneyi yumuşama noktası deneyidir. Yumuşama noktası tayini ile bitümlü bağlayıcının sıcaklık etkisinde akma davranışı gözlenebilmektedir. Bitümlerin reolojik özellikleri sanıldığı gibi aksine oldukça karmaşıktır. Aynı penetrasyon değerine sahip bitümlü bağlayıcılar bile farklı yumuşama noktası değerlerine sahip olabilmektedir. Bu nedenle yumuşama noktası tayini oldukça önemlidir.

Yumuşama noktası tayini, standartlara uygun olarak hazırlanmış deney düzenekleri aracılığı ile tespit edilmektedir (Şekil 4.2). Bu deney düzenine yüzük bilye deneyi de denilmektedir. Bunun için, standart pirinç halka içerisine doldurulan bitümlü bağlayıcının üzerine standart çelik bilye (3.5 gr) yerleştirilip 25 °C'deki su dolu beher içerisine konular ve deney düzeni oluşturulur. Beher

içerisindeki suyun sıcaklığı kademeli olarak artırılır. Sıcaklığın artması ile bitümlü bağlayıcı yumuşar. Bitüm üzerinde bulunan çelik bilye 25 mm alttaki düzeneğin tabanına değdiği anda deney durdurulur. Bilyenin tabana değdiği andaki su sıcaklığı bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası olarak kabul edilir.

Bitümlü bağlayıcıların yumuşama noktaları karışımların kullanılacağı bölgeye göre değişmektedir. Sıcak bölgelerde yumuşama noktası nispeten daha yüksek bitümler tercih edilebilmektedir. Ayrıca yumuşama noktası karışım sıcaklığını belirlemek açısından da oldukça önemlidir.



Şekil 4.2. Yumuşama noktası deney aleti

4.1.3. Düktilite deneyi (TS EN 12589)

Uzama ve çekme anlamına gelen düktilite, bitümlü bağlayıcıların esneklik-süneklik davranışını belirlemek açısından önemlidir. Düktilitesi yüksek olan bitümlü bağlayıcıların agrega ile bağlanma kabiliyeti yüksektir. Düktilite 25 °C sıcaklıkta 50 mm/dk'lık sabit hızda standart bir briket içerisindeki bitümlü

bağlayıcının iki ucundan çekilmesi yolu ile kopmadan uzadığı mesafenin santimetre cinsinden ifadesidir.

Deneyin yapılışında, pirinçten yapılmış standart ölçülerdeki düktilite kalıbı iç yüzeyi gres yağı ile yağlandıktan sonra akışkan haldeki bitümlü bağlayıcı doldurulur. Ardından numune bir süre oda sıcaklığında bekletilir ve kalıp sıcak spatula yardımı ile düzeltilir. Daha sonra kalıp 25 °C'lik su banyosunda 1.5 saat boyunca bekletilir. Bekletilen kalıp alt levhadan çıkartılıp düktilite deney aletine (Şekil 4.3) yerleştirilir ve deney başlatılır. 50 mm/dk'lık hızda çekilen kalıp içerisindeki bitümlü bağlayıcının kopmasına kadar olan uzama miktarı belirlenir.



Şekil 4.3. Düktilite deney aleti

4.1.4. Elastik geri dönme deneyi (TS EN 13398)

Belirli sıcaklıktaki bitümlü bağlayıcının elastik deformasyonunu belirlemek için kullanılır. Elastik geri dönme deneyi düktilite deney aleti kullanılarak gerçekleştirilir.

Standart ölçülerdeki düktilite kalıbı iç yüzeyi gres yağı ile yağlandıktan sonra akışkan haldeki bitümlü bağlayıcı doldurulur. Ardından bir süre oda sıcaklığında

bekletilir ve kalıp sıcak spatula yardımı ile düzeltilir. Daha sonra kalıp 25 °C'lik su banyosunda 1.5 saat bekletilir. Daha sonra deney başlatılır. Deney aleti düktilite deney aleti üzerinde bulunan metraj yardımı ile bitümlü bağlayıcı numunesi bitüm başından sonuna kadar olan mesafe 20 cm olana kadar çalıştırılır. Daha sonra deney aleti durdurulup uzayan numune tam ortasından kesilir. Bitümlü bağlayıcı numunesi yarım saat 25 °C'lik düktilite deney aletinde bekletip süre sonunda numunenin son boyu her iki tarafın ölçülmesi ile bulunur. İlk ve son boyun birbirine oranı elastik geri dönme oranını verir.

4.1.5. Özgül ağırlık deneyi (TS 1087)

Bitümlü bağlayıcıların özgül ağırlıkları piknometre yöntemi ile belirlenmektedir. Bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığı 25 °C'deki hacmi belirli olan ağırlığının aynı hacimdeki saf su ağırlığına bölünmesi ile elde edilmektedir. Piknometre ilk olarak boş olarak hassas terazide tartılır. Daha sonra saf su ile hava kalmayacak şekilde doldurulur ve tartılır. Sonrasında piknometre yaklaşık olarak yarısına kadar bitümlü bağlayıcı ile doldurulur ve hassas şekilde tartılır. Son olarak yaklaşık olarak yarısına kadar dolu olan piknometrenin kalan kısmı saf su ile doldurup hassas tartım yapılır. Denklem 4.1'den yararlanılarak bitümlü bağlayıcıların özgül ağırlık değerleri hesaplanır.

$$G_b = \frac{(c-a)}{(b-a)-(d-c)} \quad (4.1)$$

Burada a ; gram cinsinden piknometre ağırlığını, b ; gram cinsinden piknometre+su ağırlığını, c ; gram cinsinden piknometre+bitümlü bağlayıcı ağırlığını, d ; gram cinsinden piknometre+bitümlü bağlayıcı+su ağırlığını ve G_b ; gr/cm³ cinsinden bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığını ifade etmektedir.

4.2. Karışım Tasarım Yöntemleri

Bitümlü karışımlardan beklenen özellikler ancak doğru orandaki bitümün doğru gradasyona sahip agrega karışımı ile doğru sıcaklıklarda karıştırılarak elde

edilebilmektedir. Bu amaçlarla çeşitli deneysel analizlere dayalı karışım tasarım yöntemleri geliştirilmiştir.

Karışım tasarım yöntemlerinin temel amacı, istenilen agrega ve bitüm oranlarına göre optimum karışım oranların hesaplanmasıdır. Kaplamalardan beklenen en temel özellik tekrarlı trafik yükleri altında bozulmadan hizmet edebilecek bir durabiliteye sahip olmasıdır. Yükler altında iyi bir mukavemet göstermesi beklenen karışımların akma değerleri de belirli değerler arasında kalmalıdır. Ayrıca işlenebilir yapıda olmalıdır.

Bu özellikler agrega ve bitüm kalitesi ile agrega bitüm karışım oranından ciddi biçimde etkilenmektedir. Ayrıca agrega gradasyonu da bu özellikler üzerine etkilidir. Bu bakımdan karışım tasarım yöntemleri öncelikle agrega gradasyonu ve karışım oranlarının belirlenmesini amaçlamaktadır.

4.2.1. Superpave karışım tasarım yöntemi

ABD Strategic Highway Research Program (SHRP) tarafından geliştirilen SUPERPAVE (superior performing asphalt pavements) üstün performanslı kaplama yöntemi anlamına gelmektedir. Var olan tasarım yöntemleri ile laboratuvar ortamında yapılan analizlerin ve uygulama esnasındaki parametrelerin uyuşmamasından dolayı kaplama öngörülen servis kabiliyetini gösterememektedir. Ayrıca mevcut iklim koşulları analizler sırasında dikkate alınmamaktadır. Bu sebeple gerçekte var olan ile tasarımda oluşturulan beklentiler arasında farklar oluşmaktadır. Laboratuvar analizleri ile pratikte oluşan durum arasındaki farkların giderilmesi amacıyla gerek mevcut analizler iyileştirilmiş gerekse yeni tasarım yöntemleri oluşturulmuştur.

Superpave yöntemi Amerikan yollarında performansı artırmak amacıyla oluşturulmuş bir proje sonucunda elde edilmiştir. Bu proje kapsamında hem laboratuvar deneyleri yapılmış hem de deneme yolu yapılarak performansı incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, bitümlü kaplamaların arazideki davranışını da içeren bir şartname hazırlanmıştır (Karahancı,2017).

Superpave yöntemi, ihtiyaç duyulan kaplama performansının elde edilebilmesi için, agrega karışımı ile bitüm oranının belirlenmesinde ve gerekli ise bitüm modifiyerlerinin seçimini kolaylaştırmada kullanılan bir yöntemdir.

Marshall karışım yönteminin eksiklikleri Superpave yönteminin sunduğu yeniliklerle giderilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle Superpave yöntemi uzun yıllardır tüm dünyada yaygın olarak kullanılan Marshall karışım tasarım yönteminin yerini almaktadır. Bu iki tasarım yöntemi arasındaki en temel fark sıkıştırma metodudur. Marshall tasarımında belirli ağırlığa sahip tokmak ile belirli darbe sayısında sıkıştırma yapılırken, Superpave tasarım yönteminde arazi uygulamasına daha yakın bir sıkıştırma yöntemi kullanılmaktadır (Namlı ve Kuloğlu, 2007).

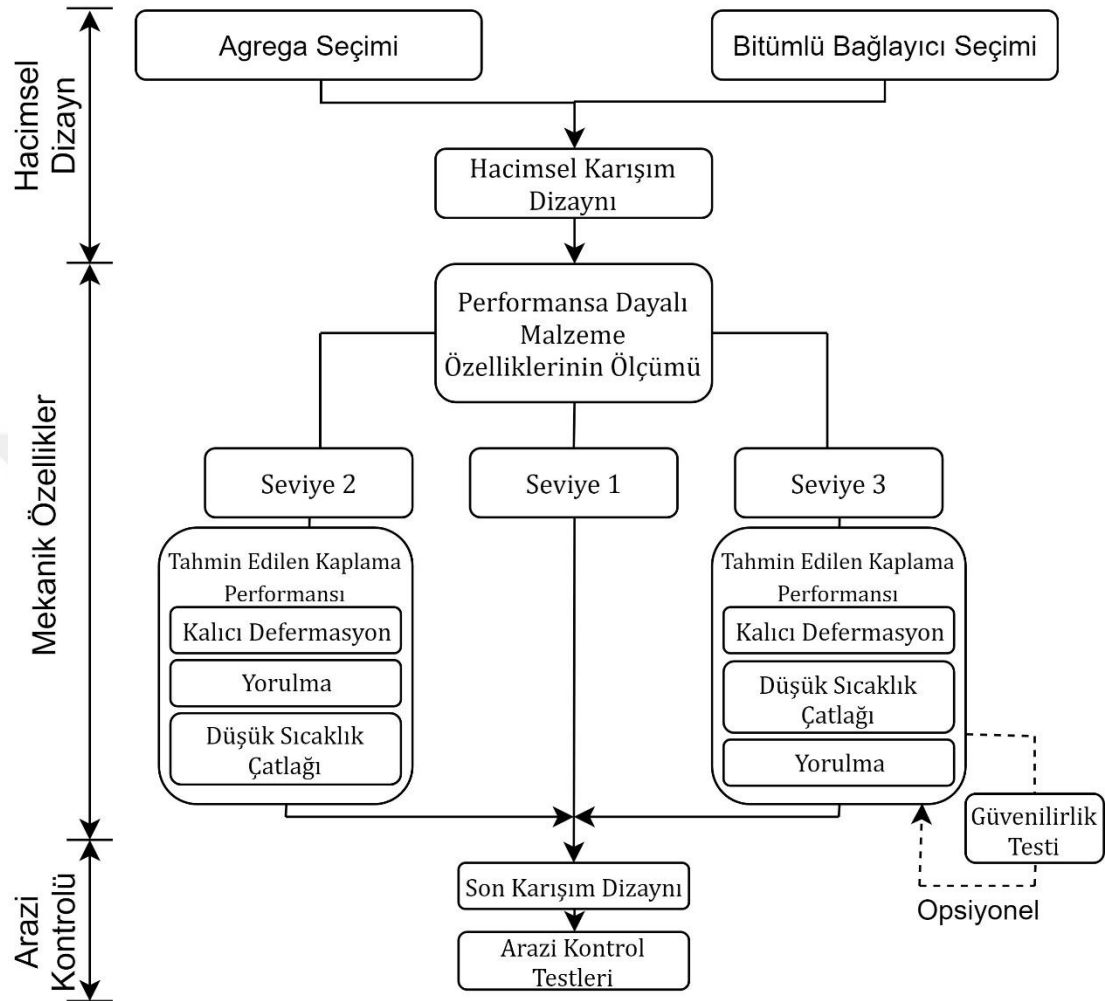
Arazide asfalt tabakaları silindirik sıkıştırmaya tabi tutulmaktadır. Buna benzer bir etki yapmak amacıyla Superpave yönteminde kompaktör (Superpave Gyrotory Compactor) adı verilen yağurmalı sıkıştırma yapan bir sıkıştırma yöntemi tercih edilir. Bu kompaktör aracılığı ile hedeflenen sıkışma oranında numuneler sıkıştırılabilmektedir.

Superpave tasarım yöntemi, çok kapsamlı bir yöntem olup, yoğun gradasyonu, geri dönüşüm agregalı modifikasyonlu veya modifikasyonsuz her çeşit bitümlü sıcak asfalt karışımlarının tasarımında kullanılabilir. Ayrıca taş mastik (stone matrix) olarak bilinen kaplamaların karışım tasarımında da kullanılabilir. Hem yeni inşaa edilecek binder tabakalarında hem de yenileme çalışmalarında güvenle uygulanabilir. Hem malzeme seçimi hem karışım yönteminin temel amacı kalıcı deformasyon, yorulma çatlağı ve sıcaklık farkları ile oluşan çatlakların azaltılmasını amaçlamaktadır (SHRP, 1994).

4.2.1.1. Superpave karışım tasarımı kapsamı

Superpave tasarım yönteminin kapsamı doğrudan, güvenilirlik, yapısal, çevresel ve trafik talebini dikkate alan bir yaklaşım ile var olan malzemelerin uygun

oranlarda kullanarak yeterli performans seviyesine ulaşmaktır. Bu kapsam Şekil 4.4'deki akış şemasında sunulmuştur.



Şekil 4.4. Superpave karışım tasarımı yöntemi akış şeması

4.2.1.2. Superpave karışım tasarımında trafik

Superpave tasarım yöntemine göre tasarım trafiği için seviye 1, seviye 2 ve seviye 3 olarak adlandırılan üç ayrı tasarım seviyesi bulunmaktadır. Dingil yükü 80 kN olan eşdeğer dingil yükü sayısı yaklaşımı kullanılır. Servis ömrü boyunca oluşacak eşdeğer dingil yükü sayısı ve trafik seviyesi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Superpave karışım tasarımı trafik seviyeleri

Tasarım Seviyesi	Tasarım Trafığı (80 kN ESALs)
1 (düşük)	$\leq 10^6$
2 (orta)	$\leq 10^7$
3 (yüksek)	$> 10^7$

Bu tabloya bakılarak eşdeğer dingil yükü sayısı dikkate alınarak, hangi tasarım basamağının seçileceği belirlenir (Seviye 1, Seviye 2 veya Seviye 3).

4.2.1.3 Superpave yoğurmalı kompaktör ile sıkıştırma

Superpave kompaktörü (gyratory) (Şekil 4.5) kaplama uygulaması sırasında yapılan sıkıştırma işlemini laboratuvar ortamında eşdeğer şekilde gerçekleştirebilir. SHRP standartlarındaki kompaktörler kullanılarak arizide gerçekte oluşan sıkıştırma daha yakın bir biçimde simüle edilebilmektedir.

Bu kompaktörler sayesinde, sıkıştırma sırasında anlık olarak yoğunluk, hava boşluğu gibi parametreler izlenebilir. Kompaktörler, 150 mm çapında silindirik kaplama karışımı numuneleri oluşturabilir. Sıkıştırma işleminde, dikey yönde bir sıkıştırma ve yoğurma hareketinin kombinasyonunu kullanır.

Numuneler uygun sıcaklık şartlarında laboratuvarlarda veya asfalt şantiyelerinde hazırlanabilir. Gevşek halde bulunan kaplama karışımı, ısıtılmış kalıplara yerleştirildikten sonra 0.6 MPa'lık bir basınç uygulayan düşey yönlü tokmak aracılığıyla sıkıştırılır. $1.25^\circ \pm 0.02$ içsel açı ile dakikada 30 turla, trafik ve diğer faktörlere göre önceden belirlenmiş tekrar sayısı kadar sıkıştırılır. Sıkıştırılma sonunda zaman kaybedilmeden numune kalıptan çıkartılır.



Şekil 4.5. Superpave yoğurmalı kompaktörü (Superpave Gyrotory Compactor)

4.2.1.4. Optimum bitüm oranı tayini

Superpave karışım dizaynını için öncelikle agrega gradasyonu belirlenir. Gradasyon içindeki her agrega boyutu için özgül ağırlıkları hesaplanır. Kullanılacak modifiyerli veya modifiyersiz bitüm için özgül ağırlık değerleri hesaplanır.

Kütlece belirlenen oranlarda bitüm önceden seçilen gradasyona göre hazırlanmış ve etüvde şartname sıcaklığına kadar ısıtılmış agrega karışımı ile karıştırılır. Her agrega danesinin bitüm ile tam olarak kaplanması sağlanmalıdır. Gevşek karışım, daha önceden ısıtılmış silindirik deney kalıplarına vakit kaybedilmeden doldurulur.

Optimum bitüm belirlenmesi amacıyla şartnameden, eşdeğer dingil yükü sayısına bağlı olarak, yoğurma tekrar sayısı belirlenir. Numuneler belirlenen tekrar sayıları kadar sıkıştırılır. Farklı bitüm oranlarında oluşturulmuş

numunelerin sıkıştırma işlemi sonucunda oluşan boşluk oranı, özgül ağırlığı, bitümlle doldurulmuş boşluk oranı değerleri kaydedilir.

Farklı bitüm oranlarına göre oluşan boşluk oranları grafiğe aktarılır ve %4 boşluk oranına denk gelen bitüm oranı optimum bitüm oranı olarak seçilir. Özgül ağırlık, bitüm ile dolu boşluk oranı (VFA), mineral agregalar arası boşluk oranı (VMA) grafikleri seçilen optimum bitüm oranı için istenen sınırlar arasında kalıp kalmadığı kontrol edilir.

4.2.1.5. Nem hassasiyeti tayini

Asfalt kaplamalar ömürleri boyunca çok defa yağışlara maruz kalır. Yağışlarla beraber, donma çözülme olayları da kaplamaya zarar verebilmektedir. Bu bakımdan kaplama ömrü ve kaplamanın ömrü boyunca göstereceği performans ciddi oranda nem hassasiyetinden etkilenmektedir.

Laboratuvar ortamında hazırlanan karışımların nem hassasiyetlerinin deneysel yöntemler ile kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Neme karşı çok hassas olan kaplamalar beklenen performansı sergileyemeyecektir. Bu nedenle Superpave tasarım yönteminde nem hassasiyeti göz önünde bulundurulur. Superpave tarafından önerilen deney şu şekilde uygulanır. Seçilen optimum bitüm oranına göre hazırlanan numuneler 24 saat ortam sıcaklığında bekletildikten sonra üç ayrı noktadan çap ve yükseklikleri ölçülür. Ölçümleri yapılan numuneler önceden 40 °C'ye hazırlanmış etüvde 72 saat boyunca bekletilir. 72 saat sonunda numunler etüvden çıkartılarak kuru ağırlıkları tartılır. Daha sonra numunler 25 °C'ye kadar soğutulur.

Bu aşamadan sonra numuneler şartlandırma amacıyla 25 °C'ye ayarlanmış su banyosuna yerleştirilir. Su banyosunda numunler 24 saat boyunca bekletilir. Şartlandırılmayacak numuneler indirek çekme mukavemeti deneyine tabii tutulur ve sonuçlar kaydedilir. Şartlandırılacak numuneler ise, vakit kaybedilmeden üstünde en az 2.5 cm su olacak şekilde su dolu bir kaba koyularak doygunluk oranı %55-80 arasına gelinceye kadar vakumlanır. Vakum işlemi

tamamlandıktan sonra sudaki ağırlık ve yüzey kuru suya doygun ağırlıkları hassas terazi ile tartılarak kaydedilir.

Tartılan numuneler su geçirmez film ile korunarak 16 saat süreyle -18 °C'lık kabine konular. 16 saat sonunda donma kabininden çıkarılan numuneler 60 °C'ye ayarlanmış su banyosunda 24 saat bekletilir. Bu işlemin ardından numuneler 25 °C'lık su banyosuna alınır ve 2 saat bekletilir. 2 saat sonunda su banyosundan çıkarılan numuneler indirek çekme mukavemeti deneyine tabii tutulur (Şekil 4.6). Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış numunelerin indirekt çekme mukavemeti deney sonuçları karşılaştırılarak çekme mukavemeti oranı Denklem 4.2'den (TSR) hesaplanır.

$$TSR = \frac{\text{Şartlandırılmış İndirekt Çekme Mukavemeti}}{\text{Şartlandırılmamış Çekme Mukavemeti}} \times 100 \quad 4.2$$



Şekil 4.6. Superpave indirekt çekme dayanımı deney aleti

4.3. Bitüm Modifikasyonu

Bitümlü kaplamalar; diğer üstyapı tabakalarının tekrarlı yükler ve iklimsel etkilerden korunması ve tekrarlı trafik yüklerinin karşılanması amacıyla inşaa edilmektedir. Bitümlü bağlayıcı ve agraga karışımının şartnamenin gerektirdiği sıcaklıklarda ve uygulama yöntemleriyle karıştırılması ile elde edilmektedir.

Bitümlü kaplamalar ağır trafik yükleri ve değişken iklim koşullarına maruz kalmalarından dolayı servis ömürlerinden daha önce bozulmaktadır. Bu bozulmalar hem sürüş konforunu hem de sürüş güvenliğini olumsuz etkilemektedir.

Bitümlü kaplamaların en önemli bileşenlerinden biri olan bitüm bağlayıcı hem termoplastik hem de viskoelastik davranış göstermektedir. Bitümlü bağlayıcı viskoelastik özelliğinden dolayı yüksek yükleme hızlarında elastik davranış ve yüksek dayanım gösterirken düşük yükleme hızlarında dayanımın düştüğü gözlenmektedir. Aynı zamanda termoplastik davranışa sahip bitümlü bağlayıcının sıcaklık etkeni ile kıvam özelliği değişkendir. Bitümlü bağlayıcıların bu iki temel özelliğinden dolayı davranışlarının değişkenlik göstermesi bitümlü bağlayıcının özelliklerinin değiştirilmeden iyileştirilmesine sebebiyet vermiştir. Bu nedenle bitümün modifiye edilmesi ön plana çıkmaktadır. Modifiye işlemi bitümlü bağlayıcının sıcaklığa karşı hassasiyetini azaltmayı, yumuşama noktasının yükseltilip servis kalitesini artırmayı ve bozulmayı geciktirmeyi amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, içerisindeki nem oranı %8'e kadar düşürülmüş olan pirina 300-350 °C'lik fırında yakılmıştır. Yakım işlemi sonunda elde edilen pirina öğütülmüş ve 200 No'lu elekten geçirilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Yakma işleminden sonra (solda) ve öğütmeden sonra (sağda) pirina

Yaklaşık olarak 140-160 °C'ye kadar ısıtılan bitüm ve ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında pirina 160 °C'ye ısıtılan yüksek devirli karıştırıcı (Şekil 4.8) kalıbına aktarılmıştır. 4000 devir/dakika hıza sahip yüksek devirli karıştırıcı 2 saatlik süre ile çalıştırılmış ve bitüm ile pirinanın homojen olarak karışması sağlanmıştır. Bu yolla, ağırlıkça 5 farklı pirina yüzdesiyle modifiye edilmiş bitüm, performans ve karışım deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.



Şekil 4.8. Yüksek devirli karıştırıcı

4.3.1. Bitüm modifikasyon amaçları

Bitümlü sıcak karışımlarda modifikasyon işlemi; yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşumu ve deformasyonu önlemek amacıyla yapılır. Düşük sıcaklıklarda ise termal çatlakların önlenmesi ve bitümlü bağlayıcının kırılma davranış sergilememesi amacıyla modifikasyon uygulaması kullanılır. Ayrıca servis ömrü boyunca tekrarlı yüklere maruz kalan bitümlü kaplamalarda modifikasyon işlemi yorulma mukavemetini arttırmak amacıyla da uygulanır.

Üstyapı taşıma gücünü ve bitümlü kaplamanın dayanımını da artırmayı hedefleyen bitüm modifikasyonu; agregayı saran bitüm filmini kalınlaştırarak oksidasyona karşı mukavemet sağlar. Böylece yansıma çatlaklarına karşı bitümlü kaplamayı güçlendirir.

Modifiye edilen bitümlü bağlayıcının kaplama içerisindeki davranışları iyileşeceğinden bitümlü kaplamanın servis ömrü boyunca meydana gelebilecek bozulmalara karşı dayanımı artar. Böylece periyodik bakım masrafları düşer. Bitüm modifikasyonu ile bitümlü kaplama maliyetleri de azaltılabilir. Kullanılan modifiyer sayesinde kaplama mukavemeti ve stabilitesi artar. Bu sayede kaplama tabakaları kalınlıkları azaltılarak maliyet de düşürülmüş olur.

4.3.2. Bitüm modifiyerlerinde aranan özellikler

Bitüm modifikasyonunda kullanılacak olan modifiyerin hem bitümlü bağlayıcının özelliklerini iyileştirmesi hem de ekonomik olarak elde edilmesi baz alınan temel etmenlerdir. Kolay erişilebilir hatta ve hatta sürdürülebilir materyallerden elde edilebilmesi hem çevre dostu hem ekonomik olmasına yarar sağlar. +Modifiyer olarak seçilen malzemenin bitümlü bağlayıcı ile homojen bir bağ oluşturması gerekmektedir. Ayrıca modifiye edilmiş bitüm sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikleri korumalıdır.

Modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışım uygulama esnasında şartname sıcaklık değerlerinde kendisinden beklenen özellikleri kaybetmemeli ve aynı zamanda

işlenebilir olmalıdır. Kullanılacak olan modifiyer yüksek sıcaklıklarda akma mukavemetini düşürmemeli, düşük sıcaklıklarda ise sert ya da kırılğan olmasını engellemelidir.

4.3.3. Modifiyer olarak kullanılan malzemelerin sınıflandırılması

Bitüm modifikasyonunda kullanılan modifiyerler bitümün performans özelliklerini iyileştiren ve bitümün agrega karışımı ile olan etkileşimini geliştiren katkı malzemeleridir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Modifikasyonda kullanılan çeşitli modifiyerler (Lorasokkay, 2014)

Bazı Yaygın Kullanılan Modifiyerlerin Rolü	
	Kimyasal Katkının 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 vinil asetat)	Sertlik Penetrasyon değeri Frass kırılma noktası Yumuşama noktası
SBS (stren-butadien-stren)	Penetrasyon değeri Yumuşama noktası Elastik geri dönme Düşük sıcaklık kırılğanlığı
Solvent	Viskozite
Emülsifikasyon	Viskozite Islatma kabiliyeti Uygulama sıcaklığı
Islatma ajanları	Islatma kabiliyeti Adezyon

Bitüm modifiyeri olarak kullanılabilen silikon kaplamaları olumsuz etkileyen nem gibi faktörlerin etkisini azaltmak amacıyla kullanılır. Aynı zamanda bitümlü sıcak karışımın depolanması esnasında köpük oluşumunu engellemek amacı ile de karışıma eklenmektedir. Bitümlü sıcak karışımların depolanma sürecinde sertleşmeye ve taşınma sırasında ayrılmaya engel olmak için de kullanılır.

Bitüm ve agrega karışımı arasındaki adezyonunu ve bitümlü bağlayıcı filminin su etkisiyle agrega yüzeyinden sıyırılma direncini artırmak amacıyla organik soyulmayı önleyici modifiyerler kullanılmaktadır.

Nem hassasiyetinin giderilmesi amacıyla kullanılan sönmüş kireç; bitümlü bağlayıcı ile arasında zayıf bağ kuran agrega karışımının su etkisi ile soyulmasını engellemektedir.

4.4. Atık Malzemelerin Asfalt Karışımlarındaki Yeri

Atık malzemeler çeşitli üretimler ve tüketimler sırasında ortaya çıkan ve çevresel zararları olabilen malzemeler olarak tanımlanabilir. Bu atık malzemelerin kullanım alanları oldukça dar olsa da gelişen teknolojiler ve araştırmalar neticesinde farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzün en ciddi problemlerinden biri atık yönetimidir. Atıkların çevreye zarar vermeden yok edilmesi veya farklı alanlarda kullanılması atık yönetiminin temel amacıdır. Bu amaçla çeşitli atık malzemeleri doğrudan veya bazı prosesler sonucunda, hem bitüm modifiyeri hem de karışım içerisinde kullanılmaktadır.

Atık lastiklerden elde edilen karbon karası, lastik kırığı, pet şişe atıkları, maden atıkları, cam atıkları, tekstil artıkları gibi çeşitli atıklar bitümlü sıcak karışımların modifikasyonunda kullanılmış veya kullanımı araştırılmıştır. (Lorasokkay, 2014; Taşcı, 2010; Saltan ve Uysal, 2018; Ürgül Acar, 2016; İnkaya, 2016; Öksüz, 2011). Bu atık malzemelere zamanla yenileri eklenmektedir. Bu çalışmalar göstermektedir ki, hem bitümlü sıcak karışımının performansının iyileştirilmesi

hem de atık yönetimi bakımından atık malzemelerin asfalt karışımlarında kullanılması oldukça faydalıdır.



5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

50/70 penetrasyona sahip bitüm ile kütlece %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında pirina yüksek devirli karıştırıcıda 160 °C ve 4000 devir/dk hızında 2 saat süreyle karıştırılarak modifiye edilmiştir. Modifiye edilen bitüm üzerinde; penetrasyon, yumuşama noktası, dütilite, elastik geri dönme ve özgül ağırlık deneyleri yapılarak modifiye bitümün performans değerleri ölçülmüştür. Her oran için elde edilen sonuçlar, modifiye edilmemiş bitüm özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

Bitüm deneylerinin ardından, Superpave tasarım yöntemine bağlı kalınarak farklı oranlarda modifiye edilmiş bitüm için karışıma esas optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Ardından, optimum bitüm oranlarına bağlı kalınarak her oran için karışımlar hazırlanarak Superpave yoğurmalı kompaktöründe (Superpave Gyrotory Compactor) sıkıştırılmıştır.

Hazırlanan numunelere Superpave tasarım yöntemine bağlı kalınarak AASHTO T-283'e göre nem hassasiyet uygulamaları yapılarak indirekt çekme dayanımı testine tabii tutulmuştur. Sonuçlar yine modifiye edilmemiş bitümle hazırlanan şahit numune sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Modifiye Bitüm Üzerine Uygulanan Deneyler

Modifiye edilmiş bitümün performans değerlerini incelemek amacıyla, penetrasyon, yumuşama noktası, dütilite, elastik geri dönme ve özgül ağırlık deneyleri prosedürlerine bağlı kalınarak uygulanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylı olarak verilmiştir.

5.1.1. Penetrasyon deney sonuçları

50-70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında pirina ile modifiye edildikten sonra bitümlü bağlayıcı performansını değerlendirmek amacıyla penetrasyon deneyine tabii tutulmuştur. Penetrasyon deneyi TS-EN-1426 ve ASTM-D5 standartlarına göre uygulanmıştır. Numunelerin

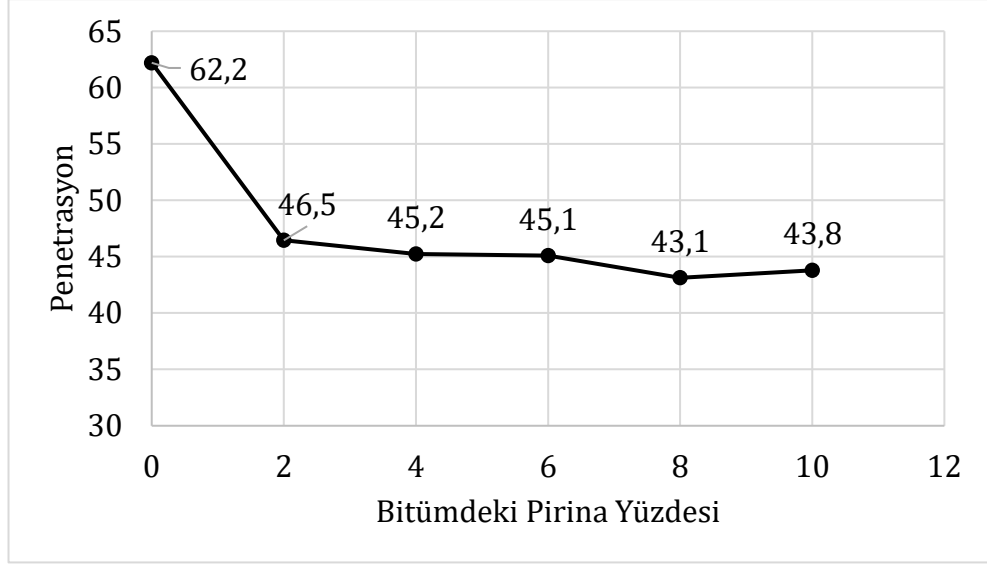
her biri için 4 farklı noktaya deney uygulanmış ve 4 değerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 5.1’de her yüzde için hesaplanan penetrasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Modifiye bitüm penetrasyon değerleri

Pirina Yüzdesi	Penetrasyon değeri
0	62.2
2	46.5
4	45.2
6	45.1
8	43.1
10	43.8

Şekil 5.1’de modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcı ve belirli oranlarda pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı penetrasyon değerleri verilmiştir. Modifiye edilmemiş bitüm penetrasyon değerine göre değerlendirme yapıldığında pirina ile modifiye edilmiş bitümün penetrasyon değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pirina modifikasyonu bitümlü bağlayıcının kıvamını artırmıştır. Bitümlü bağlayıcının agrega karışımı ile bağlanma yeteneğini gösteren kıvam; farklı iklim ve sıcaklık şartlarına göre bağlayıcı kullanım alanlarının tayininde referans alınmaktadır. Buna göre pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının sıcak iklim bölgelerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Pirina modifikasyonu ile elde edilen bitümün penetrasyon sınıfı değişmiştir. Modifikasyon sonucunda 50-70 penetrasyon sınıfındaki modifiye edilmemiş bitümün penetrasyonu düşürülmüştür. Böylece pirina modifikasyonu sayesinde uygun olmayan bitüm penetrasyonu uygun hale getirilebilir ve kullanılabilir.



Şekil 5.1. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin penetrasyon değerleri

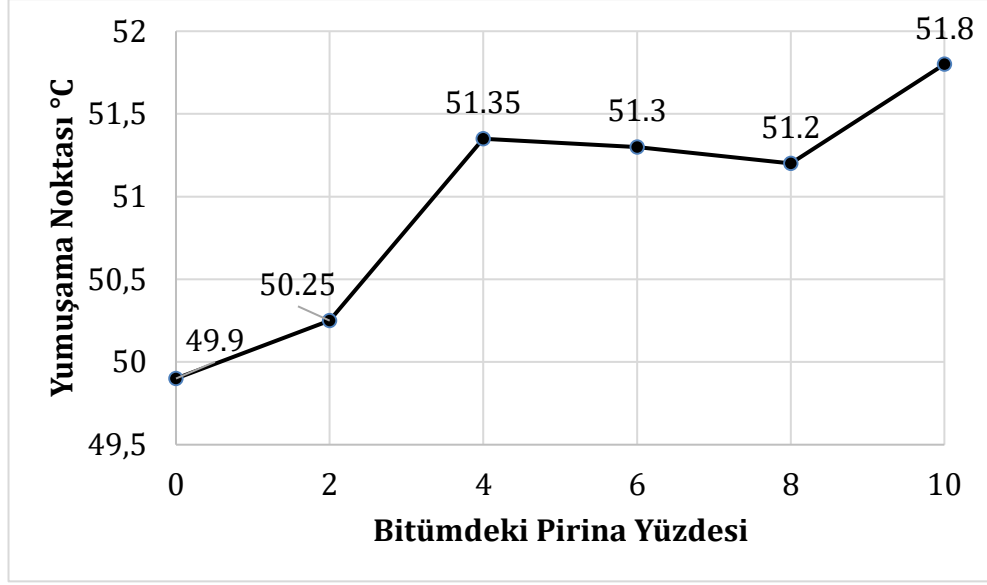
5.1.2. Yumuşama noktası deney sonuçları

Pirina ile ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya yumuşama noktası deneyi TS EN 1427 ve ASTM D36 şartnamelerine göre uygulanmıştır. Deney her ayrı pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı için 2 ayrı yüzük ile tek seferde yapılmıştır ve 2 değerın ortalaması alınarak yumuşama noktası sonucu elde edilmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Modifiye bitüm yumuşama noktası değerleri

Pirina Yüzdesi	Yumuşama Noktası (°C)
0	49.9
2	50.25
4	51.35
6	51.3
8	51.2
10	51.8

Şekil 5.2’de modifiye edilmemiş ve farklı oranlarda pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı yumuşama noktası değerleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre pirina modifikasyonu ile bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası değeri artmıştır.



Şekil 5.2. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin yumuşama noktaları

Yumuşama noktası, bitümlü bağlayıcıların kullanılacağı bölgeler hakkında bilgi vermektedir. Buna göre elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde pirina ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcının sıcak iklim bölgelerinde kullanılacağı görülmüştür.

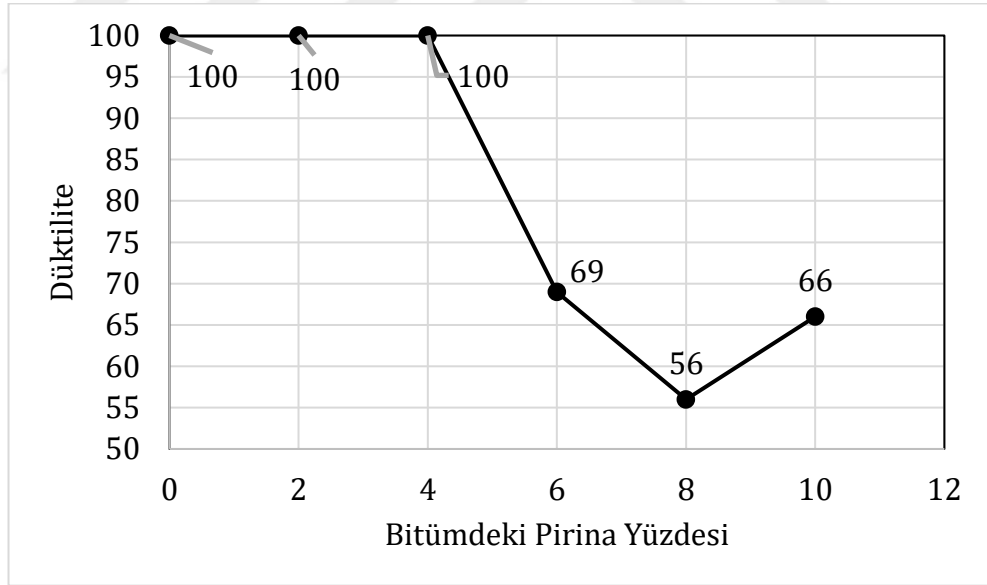
5.1.3. Düktilite deney sonuçları

Modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcı ile ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında pirina ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcı TS EN 12589 şartnamesine uygun olarak düktilite deneyine tabi tutulmuştur. 2 ayrı düktilite kalıbı ile tek seferde yapılan deney sonucu elde edilen 2 değerın ortalaması alınmış ve düktilite deneyi elde edilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Modifiye bitüm düktilite deney sonuçları

Pirina Yüzdesi	Düktilite Değeri (cm)
0	100
2	100
4	100
6	69
8	56
10	66

Şekil 5.3’de pirina ile modifiye edilen ve modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcı Şartname gereği >100 olan modifiye bitüm düktilite değerinin pirina modifikasyonu ile elde edilen bitümlü bağlayıcı için azaldığı görülmektedir. Bitümlü bağlayıcıların esneklik-süneklik davranışını belirlemeye yarayan düktilite; bitümlü bağlayıcının agrega karışımı ile bağlanma kabiliyetini göstermektedir. Şartname sınır değerini ağırlıkça %2 ve %4 oranlarında pirina ile modifiye edilmiş bitüm sağlamaktadır.



Şekil 5.3. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin düktilite sonuçları

5.1.4. Elastik geri dönme deney sonuçları

Pirina ile ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında modifiye edilmiş ve modifiye işlemi uygulanmamış bitümlü bağlayıcıya elastik deformasyonu

belirlemek amacıyla TS EN 13398 standardına uygun olarak elastik geri dönme deneyi uygulanmıştır.

Çizelge 5.4'de pirina ile modifiye edilmiş bitümün elastik geri dönme yüzdeleri verilmiştir. Şartname gereği modifiye bitümlü bağlayıcılarda elastik geri dönme değeri en az %60 olmalıdır. Pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı için şartname sınır değerleri sağlanmıştır.

Çizelge 5.4. Modifiye bitüm elastik geri dönme oranları

Pirina Yüzdesi	Elastik Geri Dönme Oranı (%)
2	96
4	93
6	93
8	93
10	93

5.1.5. Özgül ağırlık deney sonuçları

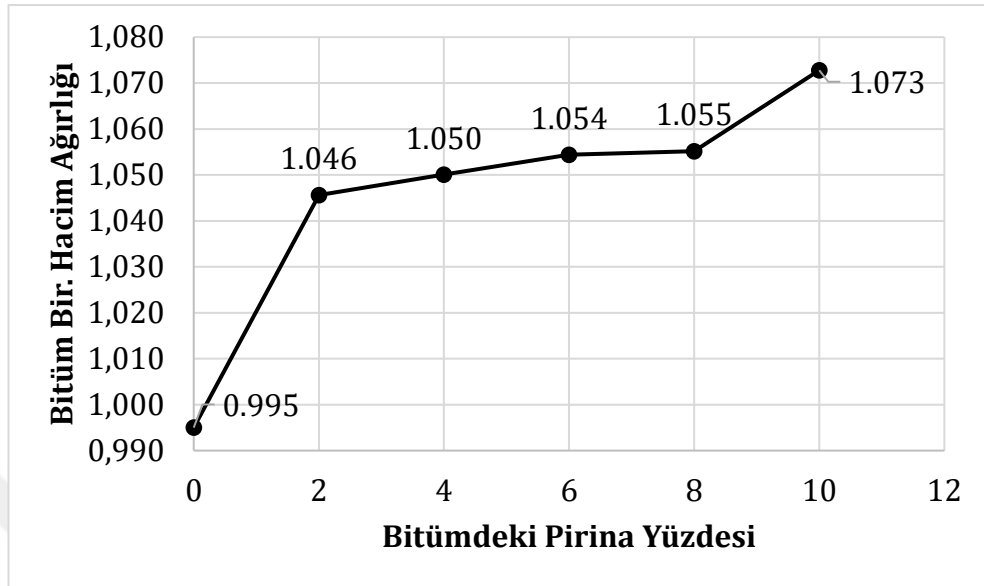
Modifikasyon işlemi yapılmamış bitümlü bağlayıcı ve pirina ile ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya TS 1087 standardına uygun olarak özgül ağırlık deneyi uygulanmıştır. Elde edilen özgül ağırlık değerleri Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Modifiye bitüm özgül ağırlıkları

Pirina Yüzdesi	Bitüm Özgül Ağırlığı (gr/cm³)
0	0.995
2	1.046
4	1.050
6	1.054
8	1.055
10	1.073

Pirina ile modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcının hesaplanan özgül ağırlıkları Şekil 5.4'de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara

göre; farklı pirina modifikasyon oranlarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hesaplanan bu değerler Superpave kaplama tasarımı sırasında kullanılmıştır.



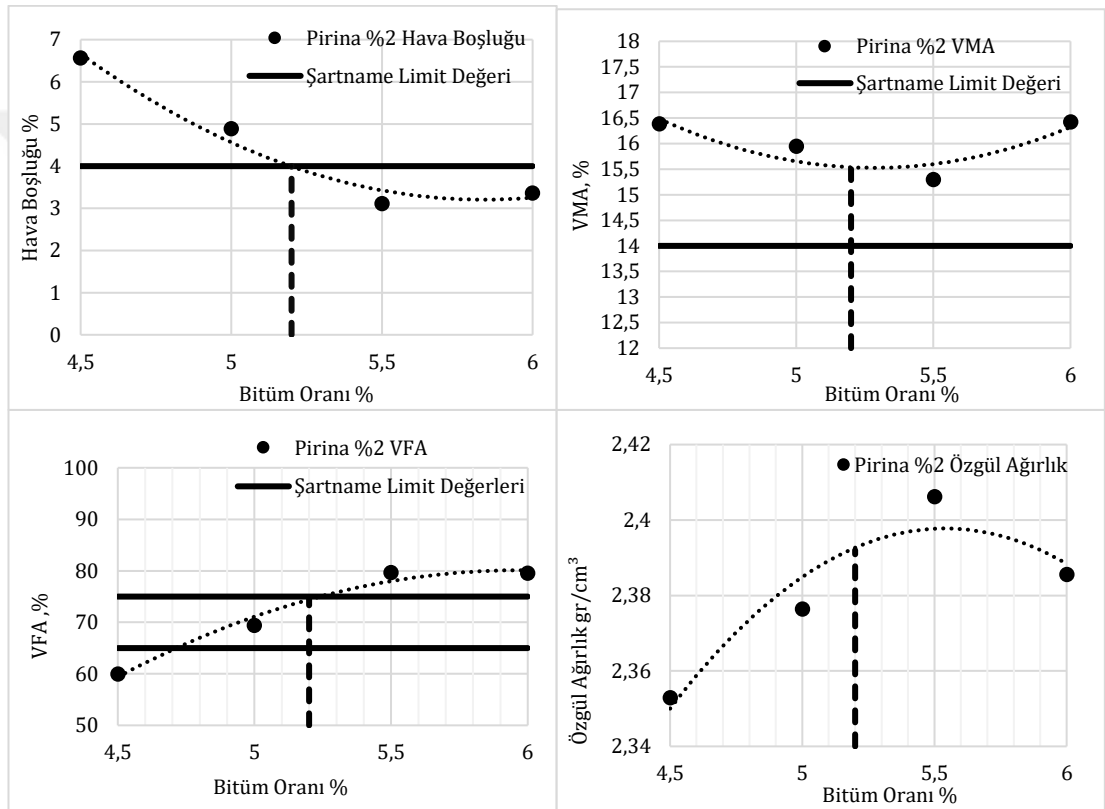
Şekil 5.4. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitüm özgül ağırlıkları

5.2. Superpave Karışım Tasarımı Deney Sonuçları

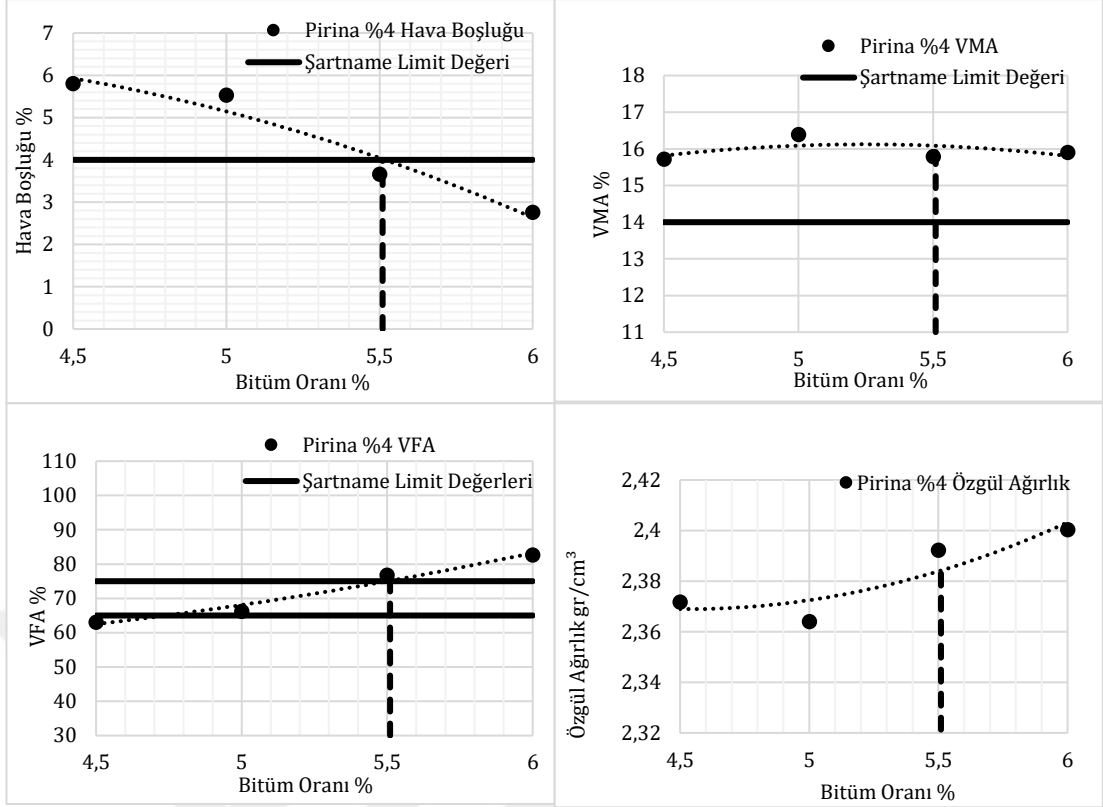
50/70 penetrasyon değerine sahip bitümün, %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında 200 nolu elekten geçen pirina ile modifiye edilmesinin ardından, her oran için modifiye bitümlere Superpave prosedürüne uygun olarak karışım tasarımı uygulanmıştır. Bu sayede karışımlarda kullanılması gereken optimum bitüm oranları hesaplanmıştır.

Superpave kaplama tasarım yöntemi ile optimum bitümlü bağlayıcı oranının belirlenebilmesi için her modifiye bitüm oranından 4'er tane olmak üzere toplam $4 \times 5 = 20$ adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler tasarım yoğurma sayısı 125 ve hava boşluğu oranı %4 olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Ayrıca modifiye edilmemiş bitüm için de aynı kriterler geçerli olacak şekilde 4 adet numune hazırlanmış ve sıkıştırılmıştır. Toplam $20 + 4 = 24$ adet numune hazırlanıp sıkıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile hava boşluğu, VMA, VFA ve özgül ağırlık grafikleri çizilmiştir. Çizilen hava boşluğu grafiğinden %4 hava boşluğuna tekabül eden bitümlü bağlayıcı oranı belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen

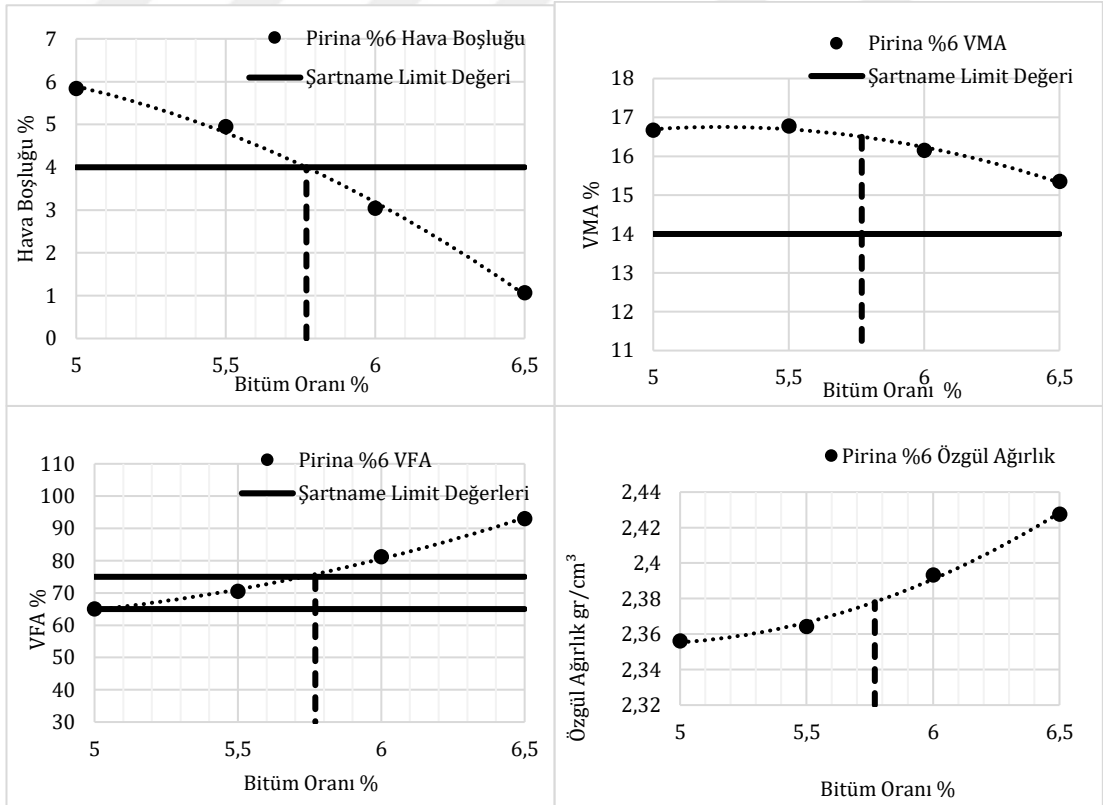
bitümlü bağlayıcı oranının VMA grafiğinden minimum %14 değerini aşmış olmadığı kontrol edilmiştir. Aynı şekilde çizilen VFA grafiğinden şartname sınır değerleri olan %65-75 aralığında kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir. Tüm şartlar sağlandıktan sonra %4 hava boşluğuna tekabül eden değer optimum bitümlü bağlayıcı oranı olarak seçilmiştir. Optimum bitümlü bağlayıcı oranı ağırlıkça %2 pirina ile modifiye edilmiş optimum bitümlü bağlayıcı için %5.2 (Şekil 5.5), %4 pirina için %5.51 (Şekil 5.6), %6 pirina için %5.77 (Şekil 5.7), %8 pirina için %5.92 (Şekil 5.8) ve %10 pirina için %5.54 (Şekil 5.9) olarak belirlenmiştir.



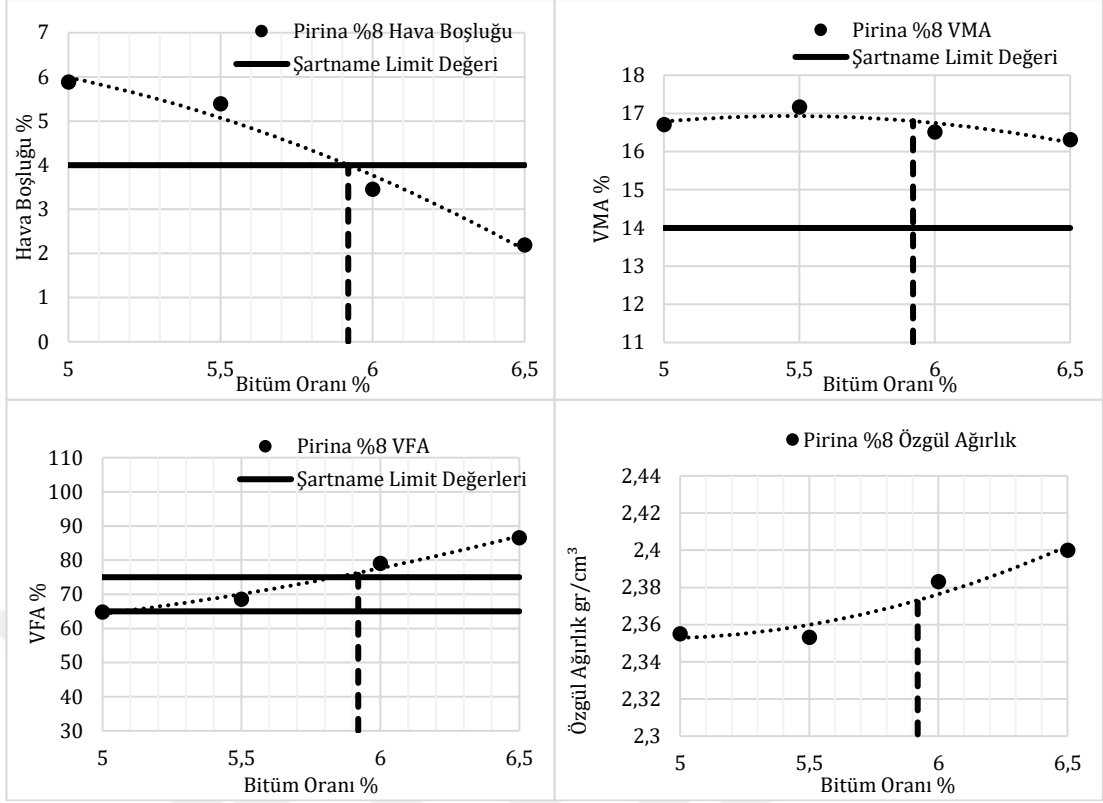
Şekil 5.5. %2 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği



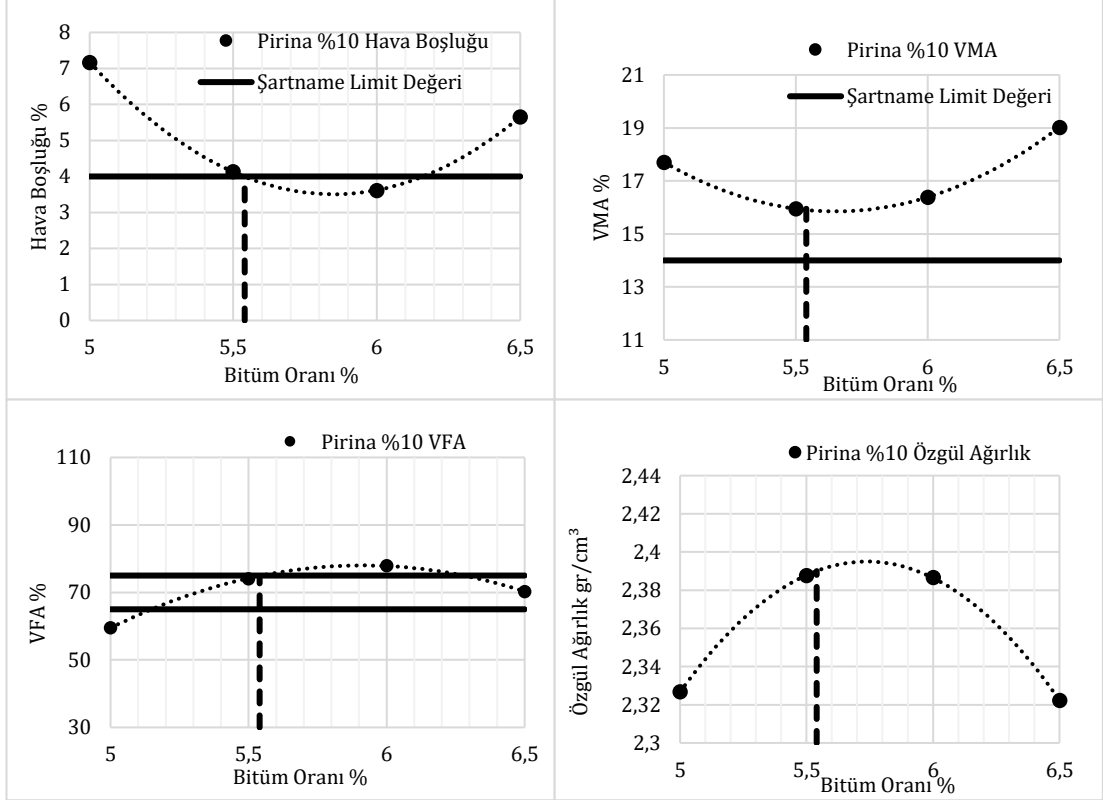
Şekil 5.6. %4 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği



Şekil 5.7. %6 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği



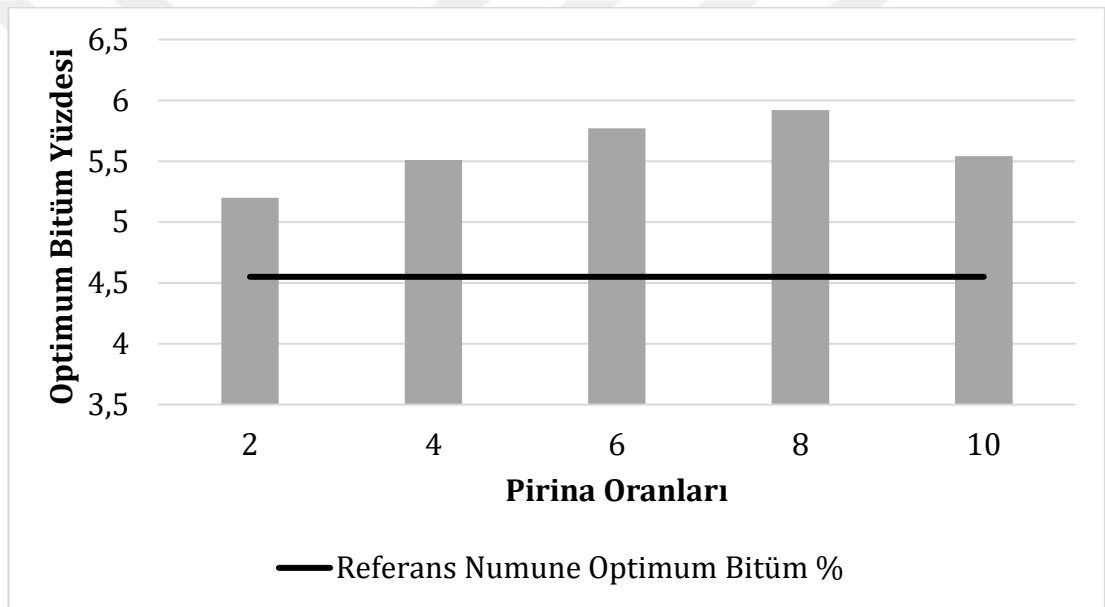
Şekil 5.8. %8 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği



Şekil 5.9. %10 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği

Modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcı için belirlenen optimum bitümlü bağlayıcı oranı %4.55'dir.

Pirina ile ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarda modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcının optimum bağlayıcı değerleri Şekil 5.10'da karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre belirli oranlarda pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının optimum bitüm oranları, modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcıya göre yüksektir. Bitümlü bağlayıcı oranının artması maliyeti de artıracığından atık malzeme olarak değerlendirilen pirinanın maliyet analizi detaylı şekilde incelenmelidir.



Şekil 5.10. Optimum bitüm oranlarının karşılaştırılması

5.3. Nem Hassasiyeti Deney Sonuçları

Optimum bitümlü bağlayıcı oranlarına göre her pirina yüzdesi için 2'şer adet olmak üzere hazırlanan numunelere nem hassasiyeti deneyi için AASHTO T-283 standardına göre İndirekt Çekme Dayanımı Testi (IDT) uygulanmıştır. Modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan şahit numuneler de dahil olmak üzere toplam $2 \times 6 = 12$ adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Superpave yoğurmalı kompaktör ile boşluk oranı %5 olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Tüm numuneler laboratuvar ortamında 24 saat süre ile bekletilmiş bu süre sonunda

her numunenin 3 ayrı noktasından kumpas yardımı ile yüksekliği ölçölüp kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler önceden hazırlanmış 40 °C'lik etüvde 72 saat süreyle bekletilmiştir. Sürenin sonunda etüvden çıkarılan numunelerin kuru ağırlıkları tartılıp kaydedilmiş ve numuneler 25 °C'ye kadar ortam sıcaklığında soğutulmuştur. Soğutma işlemleri tamamlanan numunelerin her modifikasyon oranı için 1'er adedi şartlandırma prosesi için ayrılmış, geriye kalan numuneler ise İndirekt Çekme Mukavemeti Testine tabii tutulmuş ve elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir.

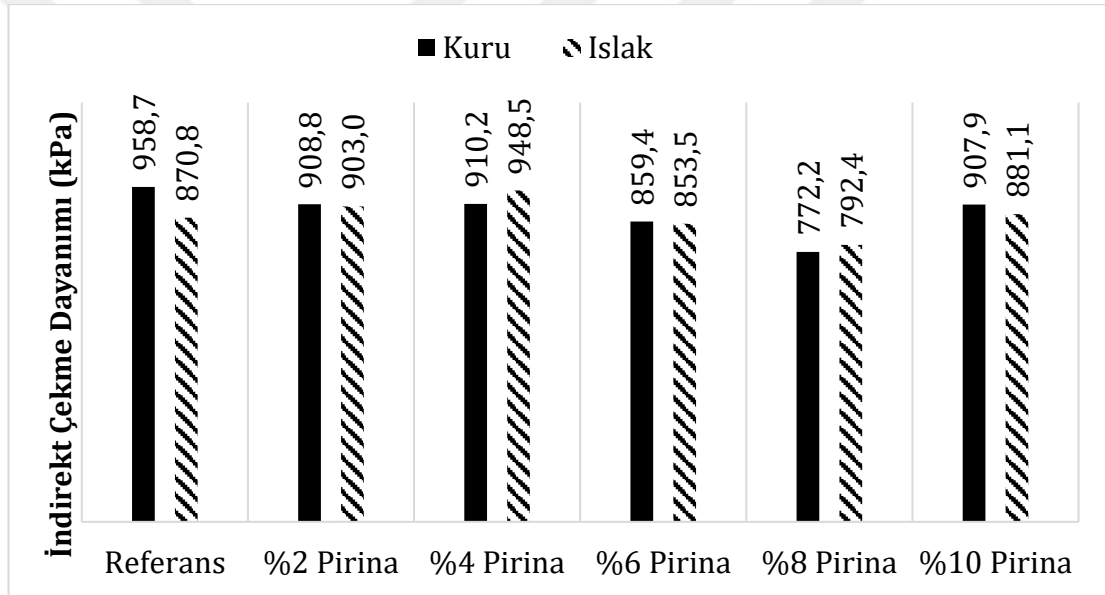
Şartlandırılacak numuneler 25 °C'deki su banyosuna yerleştirilmiş ve 24 saat boyunca su banyosunda tutulmuştur. Süre sonunda su banyosundan çıkarılan numuneler vakit kaybedilmeksizin üzerini en az 2.5 cm su geçecek şekilde su dolu bir kaba konulmuş ve doğunluk oranı %55-80 aralığında kalacak şekilde vakumlanmıştır. Vakumlama işleminden sonra numunelerin sudaki ağırlıkları ve yüzey kuru suya doğun ağırlıkları ölçölmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra her bir numunenin yüzeyi hava almayacak şekilde su geçirmez film yardımıyla sarılmış -18 °C'lik kabine 16 saat süre ile koyulmuştur. Bu süre sonunda kabinde çıkarılan numuneler 60 °C'deki su banyosunda 24 saat süreyle bekletilmiştir. Bu işlem bitiminde numuneler 25 °C'deki su banyosunda 2 saat süre ile bekletilmiştir.

2 saat sonunda su banyosundan çıkarılan numuneler İndirekt Çekme Mukavemeti Testine tabii tutulmuş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Sonuçlar elde edildikten sonra İndirekt Çekme Dayanımı Oranları (TSR) hesaplanmıştır. Numunelerin tamamı için hesaplanan şartlandırılmamış (IDT_{kuru}) ve şartlandırılmış (IDT_{islak}) değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Nem hassasiyeti deney sonuçları

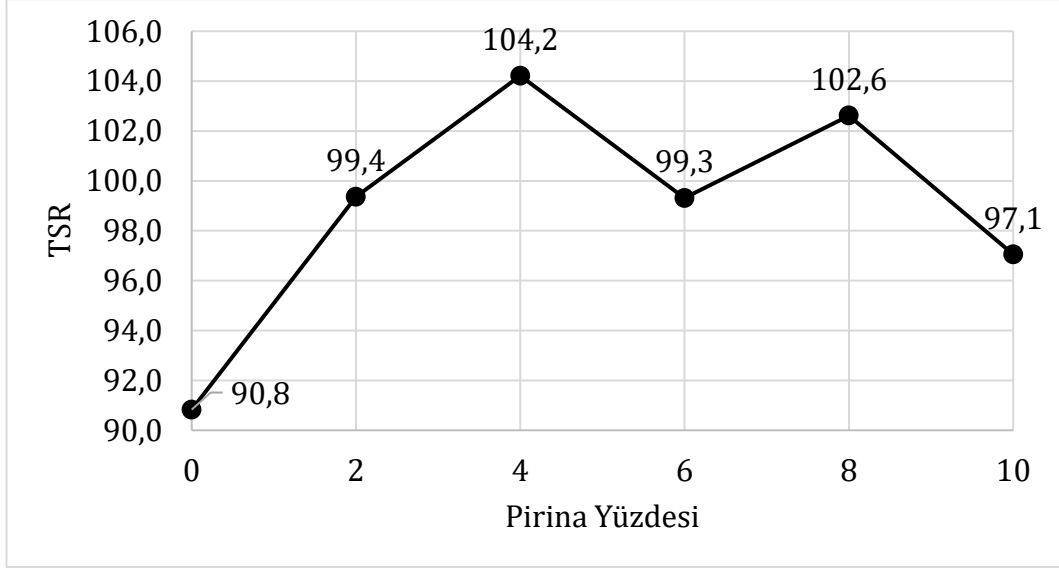
Numune	İndirekt Kuru (kN)	Kuru İnd. Çekme Muk.	İndirekt Islak (kN)	Islak İnd. Çekme Muk.	TSR (%)
Referans	10.14	958.7	9.21	870.8	90.8
2%	9.85	908.8	9.74	903.0	99.4
4%	9.96	910.2	10.33	948.5	104.2
6%	9.36	859.4	9.34	853.5	99.3
8%	8.41	772.2	8.63	792.4	102.6
10%	9.84	907.9	9.55	881.1	97.1

Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış numunler için indirekt çekme dayanımından elde edilen sonuçlar Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. IDT_{kuru} ve $IDT_{ıslak}$ değerleri

Hesaplanan TSR oranları şartname limiti olan %80 oranına göre kıyaslanmıştır. Çalışmada elde edilen tüm TSR oranlarının şartname değerini sağladığı görülmüştür. Ayrıca ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında pirina ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcıların TSR oranının modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcının TSR oranına göre artış gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.12). Sonuçlar göstermiştir ki pirina modifikasyonu ile elde edilen bitümlü karışımın nem karşısındaki performansı modifiye edilmemiş bitümle hazırlanan karışıma göre yüksektir.



Şekil 5.12. TSR değerlerindeki değişim

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, zeytinyağı üretimi sonunda ortaya çıkan atık zeytin posasının (pirina) bitüm modifikasyonunda kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla kütlece %2, %4, %6, %8 ve %10 pirina ile bitüm modifiye edilmiş, ardından bitüm ve karışım deneyleri yapılmıştır.

Pirina öncelikle yakılmış ve 200 nolu elekten elenmiştir. 200 nolu elek altına geçen malzeme 5 farklı oranda bitümle karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi 160 °C'de 4000 devir/dk hızla çalışan yüksek devirli karıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen modifiye bitümlere penetrasyon, duktilite, elastik geri dönme, yumuşama noktası tayini ve özgül ağırlık deneyleri olmak üzere 5 farklı bitüm deneyi uygulanmıştır.

Penetrasyon değerlerine bakıldığında, modifiye edilmiş bitümün penetrasyon değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar göstermektedir ki bitümün pirina ile modifiye edilmesi onun kıvamını artırmaktadır. Kıvam, bağlayıcı ile agrega karışımının birbirine yapışma yeteneğini gösteren bir değerdir. Bağlayıcının hangi iklim şartlarında kullanılacağı hakkında bilgi verir. Buna göre pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının sıcak iklim bölgelerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca modifiye edilmemiş bitümün pirina ile modifikasyonu sonucunda penetrasyon sınıfının değiştiği gözlenmiştir. Pirina modifikasyonu sayesinde penetrasyon sınıfı yüksek olduğu için kullanılmayan bitümün penetrasyon sınıfının düşürülüp daha uygun hale getirildiği söylenebilir.

Yumuşama noktası değerleri incelendiğinde, modifikasyonda kullanılan pirina oranı arttıkça yumuşama noktası değerlerinin yükseldiği gözlenmiştir. Yumuşama noktası değeri, penetrasyon gibi bağlayıcının hangi iklim şartlarında kullanılması gerektiğini gösteren bir değerdir. Bu bakımdan, pirina ile modifiye edilmiş bitümlerin sıcak iklimlere sahip bölgeler için daha uygun olduğu söylenebilir.

Bitüm ve agreganın birbirine kenetlenmesinin göstergelerinden biri de düktilite değeridir. Elde edilen düktilite değerlerine göre modifikasyonda kullanılan pirina oranı arttıkça düktilite değerinin azaldığı gözlenmiştir. Düşük düktilite değerleri bitümlü bağlayıcının ısıya karşı olan duyarlılığının az olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada pirina ile farklı oranlarda modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıya şartnamede en az %60 olması beklenen ve bitümde oluşacak elastik deformasyonun göstergesi olan elastik geri dönme deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda elde edilen elastik geri dönme değerinin her pirina oranı için %60'ın üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Özgül ağırlık deney sonuçlarına bakıldığında pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının modifiye edilmemiş bağlayıcıya göre özgül ağırlık değerlerinin arttığı görülmüştür.

Pirina ile modifiye edilmiş bitümlere Superpave karışım tasarımı uygulanmış ve optimum bitüm oranları tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre pirina oranı yüksek olan karışımlarda optimum bitüm değerinin arttığı gözlenmiştir. Bitümlü bağlayıcı oranının artması maliyeti de artıracığından atık malzeme olarak değerlendirilen pirinanın maliyet analizi detaylı şekilde incelenmelidir.

Optimum bitüm oranına göre hazırlanan numunelere Superpave yöntemine göre nem hassasiyeti testi uygulanmıştır. Numuneler şartlandırılmış ve şartlandırılmamış olarak indirekt çekme dayanım testi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pirina ile modifiye edilmiş bitüm TSR değerinin, modifiye edilmemiş bitüm TSR değerinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu bakımdan pirina ile yapılan modifikasyonlar bitümün nem hassasiyetine direncini artırmaktadır. %4 pirina oranında nem hassasiyeti değeri en iyi sonucu vermiştir.

Pirina modifikasyonu ile elde edilen modifiye bitümlerin TSR değerlerinin artması ile bitümün performans özelliklerinin iyileştirildiğini göstermektedir.

Özellikle BSK'lı kaplamaların neme ve iklimsel etkilere (sürekli yağış vb.) uzun süre maruz kalmaması istenmektedir. Türkiye'de özellikle Karadeniz Bölgesinde uzun süreli ve şiddetli yağışların BSK'lı kaplamalarda bozulmalara sebebiyet verdiği bilinmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar ile nem hassasiyetinin yüksek oranda iyileştirilmesi, elde edilen pirina modifiyeli bitümlerin uzun süreli ve şiddetli yağış alan bölgelerde kullanılabileceğini göstermiştir.

Atık malzeme problemi ve atık yönetimi günümüzün en önemli problemlerindendir. Atık malzeme olarak görülen pirina, bu çalışmada bitüm modifikasyonunda kullanılabileceği görülmüştür. Bu sayede sürdürülebilirlik açısından pirinanın farklı bir kullanım alanı daha kazanabileceği gösterilmiştir. Gelecek çalışmalarda pirinanın bitümlü sıcak karışımlarda agrega karışımı içerisinde filler olarak kullanılabilirliği araştırılabilir. Ayrıca yapılacak olan çalışmalara maliyet analizleri de eklenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmedzade, P., Geçkil, T., Yılmaz, M. , 2007. Superpave sistemine göre uygulama bölgesine uygun bağlayıcı seçimi: Bingöl örneği. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 25(4), 338-348.
- Arslan, D., Gürü, M., Çubuk, M. K., 2012. Bitüm ve bitümlü karışımların performans özelliklerinin organik esaslı çinkofosfat bileşiği ile geliştirilmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27(2), 459-466.
- Atasağun, N., 2009. Piroliz yöntemi kullanılarak sıvılaştırılmış çörekotu küspesi ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcıların reolojik özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Konya.
- Bostancıoğlu, M., 2012. Bitkisel atıklardan elde edilen kimyasal ürünler ile bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesi. Kardeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s, Trabzon.
- Deniz, M. T., Lav, A. H., 2011. Asfaltlarda bitümle birlikte granüler sülfür kullanımının stabiliteye etkisi. İtüdergisi/d, 9(6). 138-148.
- Fang, C., Yu, R., Liu, S., Li, Y., 2013. Nanomaterials applied in asphalt modification: a review. Journal of Materials Science and Technology, 29(7), 589-594.
- Filya, İ., Hanoğlu, H., Canbolat, Ö., Sucu E., 2006. Kurutulmuş pirinanın yem değeri ve kuzu besisinde kullanılma olanakları üzerinde araştırmalar. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(1), 1-12.
- Huang, Y. H., 2004. Pavement Analysis and Design. Pearson Education Inc, Upper Saddle River, NJ.
- International Olive Council, 2019. Erişim Tarihi : 24.04.2019
<http://www.internationaloliveoil.org/>
- İnkaya, N., 2016. Atık plastiklerin karayolunda kullanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Isparta.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2019. 2018 Trafik ve Ulaşım Bilgileri, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri.
- Karahançer, Ş., 2017. Nano modifiye bitümlü sıcak karışımların performansının araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 178s, Isparta.
- Keskin, M., 1998. PTT kablo atıkları ile modifiye edilen asfaltların asfalt betonu üzerindeki etkileri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, İzmir.

- Lorasokkay, M. A., 2014. Piroliz yöntemi kullanılarak sıvılaştırılmış atık lastikle modifiye edilen bitümlü karışımların mühendislik özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 188s, Konya.
- Namlı, R., Kuloğlu, N., 2007. Superpave ve Marshall yöntemlerinin deneysel karşılaştırılması. Teknik Dergi, 18(87), 4103-4118.
- Nunes, M. A., Pawlowski, S., Costa, A. S., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P., Velizarov, S., 2019. Valorization of olive pomace by a green integrated approach applying sustainable extraction and membrane-assisted concentration. Science of The Total Environment, 652, 40-47.
- Orhan, F., 2001. Bitümlü karışımlar laboratuvar çalışmaları. KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Öksüz, B., 2011. Asfalt betonu kaplamalarda volkanik cüruf ve cam atıklarının filler olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Isparta.
- Pavement Interactive, 2019. Erişim Tarihi : 15.05.2019
<https://www.pavementinteractive.org/>
- Presti, D. L., 2013. Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. Construction and Building Materials, 49, 863-881.
- Raufi, H., 2018. Bitümlü bağlayıcı ve asfalt karışımların nano malzemelerle modifikasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 176s, İzmir.
- Sağlık, A., Güngör, A. G., 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. KGM, Ankara, Türkiye.
- Saltan, M., Uysal, F., 2018. Vermikülitin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliğinin Marshall Stabilite Deney Yöntemi ile Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1), 253-257.
- SHRP, A., 1994. Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes. Strategic Highway Research Program, National Research Council.
- Tabatabaei, S. A., Kiasat, A., Alkouhi, F. K., 2015. The effect of Styrene-Butadiene-Rubber (SBR) Polymer modifier on properties of bitumen. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering, 7(10), 785-788.

- Taşcı, A., 2010. Piroliz edilmiş atık araç lastiklerinden elde edilen atık yağ ve karbon siyahı ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının reolojik özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s, Konya.
- Terrel, R. L., Walter, J. L., 1986. Modified asphalt pavement materials-the european experience. In Association of Asphalt Paving Technologists Proc (Vol. 55).
- Torun, S., 2015. Bitümlü sıcak karışımlarda katkı maddesi olarak PR Plast S kullanımının araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 158s, Konya.
- Türk Yönetmeliği, 2015. Atık Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete No: 29314, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Ürgül Acar Y., 2016. Feldspat madeni yan ürününün karayolu esnek üstyapıları taban zemini stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 103s, Isparta.
- Yener, E., Yadollahi, M. M., 2013. The Effect of Olive Pomace on Asphalt Binder Properties. International Conference on Civil Engineering Architecture and Urban Sustainable Development, 18-19 December, Tebriz , İran
- Yıldırım, Z. B., Karacasu, M., Okur, D. V., 2018. Atık lastik ve cam lif ile modifiye edilmiş bitümün asfalt betonu performansına etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3), 1019-1027.
- Yılmaz, M., Kök, B. V., 2008. Ferrokrom cürufu kullanımının bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(3), 186-194.
- Ziari, H., Babagoli, R., Akbari, A., 2015. Investigation of fatigue and rutting performance of hot mix asphalt mixtures prepared by bentonite-modified bitumen. Road Materials and Pavement Design, 16(1), 101-118.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gülşah ÖZ KICI
Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1991
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gulsahozkici@gmail.com

Taranmış
Fotoğraf
(3.5cm x 3cm)

Eğitim Durumu

Lise : Isparta Anadolu Lisesi, 2009
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim

Isparta Uzman Yapı Denetim	2015-2017
Metamar Marble	2017-2018
Isparta Senir Belediyesi	2018-..... (halen)