

Araştırma Makalesi/Research Article

Pirinanın bitüm modifikasyonunda kullanımının araştırılması

Gülşah ÖZ KICI¹, Mehmet SALTAN²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Bitümlü sıcak karışım
Pirina
Bitüm modifikasyonu
Superpave
Sürdürülebilirlik

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 08.07.2019

Kabul Tarihi: 22.03.2020

Özet: Artan nüfus ve araç kullanımı yüksek performanslı yollara duyulan ihtiyacı artırmıştır. Bu sebeple yaygın olarak kullanılan bitümlü sıcak karışımların (BSK) temel bileşenlerinden olan bitümün performans özelliklerinde ve karışım içerisindeki davranışında iyileştirme amacıyla bitüm modifikasyonu yapılmaktadır. Bu çalışmada; zeytinyağı üretimi aşamasında ortaya çıkan pirina (zeytin posası) atığının bitüm modifikasyonunda kullanımı araştırılmıştır. Pirina ağırlıkça 5 farklı yüzdesel oranda bitüm ile karıştırılarak modifiye edilmiştir. Pirina ile modifiye edilen bitüm penetrasyon deneyi, yumuşama noktası deneyi, duktilite deneyi, elastik geri dönme deneyi ve özgül ağırlık deneylerine tabi tutulmuş ve performans değerleri modifiye edilmemiş bitüm ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca pirina ile modifiye edilen bitüm kullanılarak Superpave karışım tasarımı yöntemine göre karışımlar hazırlanmıştır. Elde edilen karışımlara indirekt çekme dayanımı testi uygulanmış ve indirekt çekme dayanımı oranı (TSR) hesaplanmıştır. Pirina modifiyeli karışımların nem hassasiyetine karşı performanslarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, modifiye bitümün penetrasyon değerleri azaldığı ve yumuşama noktası değerlerinin arttığı görülmüştür.

Atıf için/To Cite:

Kıcı GÖ. Saltan M. Pirinanın bitüm modifikasyonunda kullanımının araştırılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(1), 1-9, 2020.

Investigation of using pomace in bitumen modification

Keywords

Hot mix asphalt
Pomace
Bitumen modification
Superpave
Sustainability

Article history:

Received: 08.07.2019

Accepted: 22.03.2020

Abstract: Growing urban populations and vehicle using increased the need for high-performance roads. For this reason, bitumen modification, which is one of the main components of commonly used bituminous hot mixtures (BSK), is made to improve performance properties and behavior of the bitumen. In this study; the use of pomace (olive oil waste), which emerged during the production of olive oil, in bitumen modification was investigated. Bitumen was modified by mixing pomace in 5 different percentages by weight. To 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 performance analysis of this mix. Indirect tensile strength test was applied to the obtained mixtures and the indirect tensile strength ratio (TSR) was calculated. It has been determined that the performance of the modified mixtures of pirina against moisture sensitivity is increased. In addition it was observed that the penetration values of the modified bitumen decreased and the softening point values increased.

1. Giriş

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 [1].

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. 2000'li yılların başı

itibariyle %10'un altında olan BSK kaplamalar 2018 yılında %36'ya kadar yükselmiştir [2].

Bitüm, yol kaplamalarında agrega ile birlikte kullanılan önemli bir malzemedir [3]. Hem termoplastik hem de viskoelastik özellik göstermektedir. Termoplastik yapıları dolayısıyla iklimsel koşullara bağlı olarak farklı sıcaklıklarda farklı davranış göstermektedir. Viskoelastik davranışları gereği farklı yüklenme hızlarına olan tepkileri de farklıdır. BSK karışımların performansını anlamak ancak onu oluşturan en önemli öge olan bitümü anlamak ile başlar.

Bitümlü bağlayıcının performans değerlerinin artırılması amacıyla bitüm modifikasyonu için çok farklı modifikasyon malzemeleri kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan modifikasyon malzemesi polimer kaynaklı, SBS (Styrene Butadiene Styrene) ve SBR (Styrene Butadiene Rubber)'dir [4].

Bitüm modifikasyonu için SBS veya SBR gibi modifikasyon malzemelerinin yanında nano-SiO₂, TiO₂, CaCO₃, Fe₃O₄, ZnO ve nano-killer gibi modifikasyon malzemeleri de kullanılmaktadır. Nano malzemelerle yapılan bitüm modifikasyonu sonucunda bitümün yaşlanma direnci artmıştır. Reolojik ve termal özelliklerinde de iyileşme gözlenmiştir [5].

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 [6]. 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 ([7],[8]).

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 [9]. 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 [10]. Bu bakımdan Türkiye gibi ciddi miktarlarda pirina atığı üreten ve petrol bakımından fakir olan ülkelerde bitüm modifikasyon malzemesi olarak pirina kullanımının araştırılması faydalı olacaktır.

Atık malzemelerin ve çeşitli materyallerin yol inşaatında kullanılması konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Piroliz edilmiş atık araç lastiklerinden elde edilen atık yağ ve karbon siyahını kullanarak bitüm modifikasyonu yapılmıştır. Marshall tasarım yöntemi ile yapılan karışım deneyi sonucunda, modifiye edilen bitüm ile yapılacak kaplamanın plastik deformasyona karşı olan direncinin daha fazla olacağı sonucuna varılmıştır [11].

Çoğul duvarlı karbon nanotüp, çinko oksit nano tozu ve %50 oranında silika ile modifiye edilmiş karbon nanotüpleri kullanarak, bitüm modifikasyonu yapılmıştır [12]. Superpave karışım tasarımına göre performans testine tabii tutulmuştur. nanotüp ile modifiye edilmiş bitümlerin tekerlek izi ve yorulma çatlaklarına karşı dayanımı artırdığı gözlenmiştir. Yapılan fayda/maliyet analizleri ile çoğul duvarlı karbon nanotüp dışındaki tüm nano modifiyeli bitümlerin maliyetinin azaldığı saptanmıştır.

Bitüm modifikasyonu amacıyla çörekotu küspesi kullanılmıştır [13]. Elde edilen bu modifiye bitümün reolojik özellikleri incelenmiştir. 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.

Fındık kabuğu atıklarının kimyasal aktivasyon yöntemi ile elde edilen aktif karbon ve bitkisel atıkların hidrolizi ile elde edilmiş furan reçinesinin bitüm modifikasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır [14]. Elde edilen modifiye bitüme, ince film halinde ısıtma, dinamik kayma reometresi ve dönel viskozimetre deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, modifiye edilmiş bitümlerin sertlik derecesinin arttığı ve sıcaklık hassasiyetlerinin düştüğü gözlenirken, reolojik özelliklerinin geliştiği gösterilmiştir.

Belirli oranlarda nano-Bentonit, nano-CaCO₃, nano-organosilan olmak üzere 3 çeşit nano malzeme ile bitüm modifikasyonu yapılmıştır [15]. Elde edilen modifiye

bitümlerde nano malzemelerin dağılımını kontrol etmek amacıyla fluoresan mikroskopiden yararlanılmıştır. Modifiye bitümle hazırlanan karışımlara Marshall stabilite ve akma deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçları değerlendirildiğinde her 3 tip nano modifikasyon malzemesinin de İndirekt Çekme Dayanımı Oranı (TSR) değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Atık lastik ve cam lifi ile modifiye edilen bitümün performans özelliklerini değerlendirmiştir [16]. Elde edilen modifiye bitümler kullanılarak Marshall karışım tasarımı yöntemiyle numuneler oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlar incelendiğinde Marshall stabilitelerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Modifiye edilen bitümün ise şartname koşullarını sağladığı görülmüştür.

Demir çelik sanayi atığı olan ferrokrom cürufunun BSK'larda agrega olarak kullanımını araştırmıştır [17]. SBS ile modifiye edilen bitüm ve ferrokrom cürufu kullanılarak oluşturulan karışım numunelere Marshall stabilite ve akma, indirekt çekme dayanımı, indirekt çekme modülü ve sünme rijitliği testleri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlara göre kaba agrega olarak ferrokrom cürufu kullanımının tüm deneysel çalışmalar için diğer kullanımlarından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

BSK'lar bitüm ve agrega karışımı olmak üzere iki ana bileşenden oluşurlar. Bu çalışmada, Superpave karışım tasarımına bağlı bir gradasyon seçilmiştir. Bitüm olarak, Isparta Belediyesi Asfalt Şantiyesinden tedarik edilmiş AC 50-70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Bitüme ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

| Tablo 1. Bitüm 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 |

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. Pirina içeriğinde; zeytin çekirdeği, zeytinyağı, su ve posa içermektedir. Düşük protein içeriğine sahip olmakla beraber kuru madde oranı %75 civarındadır [10]. Kullanılan kurutulmuş pirina; kahverengi-siyah renge sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Kurutulmuş pirina

2.1. Bitüm modifikasyonu

Bitüm modifikasyonunda kullanılan 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 1).

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 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 1. Yakma işleminden sonra (solda) ve öğütme işleminden sonra (sağda) pirina

2.1. Uygulanan bitüm performans deneyleri

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 metotları 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. Bu çalışmada, kıvam deneyleri olarak yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427, ASTM D36) ve penetrasyon deneyi (TS EN 1426, ASTM D5) kullanılmıştır. Ayrıca düktilite (TS EN 12589) ve elastik geri dönme (TS EN 13398) deneyleri de bitümün yorulma dayanımı belirleme açısından uygulanmıştır. Ayrıca özgül ağırlık deneyi de, (TS 1087) karışımdaki bitümün ağırlıkça yüzdesini bulabilmek için kullanılan deneyler arasındadır.

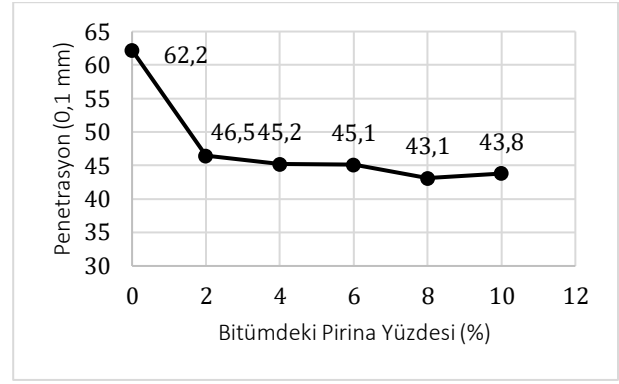
Hazırlanan pirina modifiyeli bitümün karışım performansını ölçmek amacıyla, Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) karışım tasarımı yöntemi kullanılmıştır. ABD Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) tarafından geliştirilen bu yöntem sayesinde karışımların arazideki davranışını da dikkate alınmaktadır.

Arazide asfalt tabakaları silindri 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.

Kütlece %2, %4, %6, %8 ve %10 pirina içeren modifiye bitümle Superpave yöntemi karışımlar hazırlanmış ve hedef yağurulma sayısı (125) ve hedef hava boşluğu oranına (%4) kadar sıkıştırılarak optimum bitüm oranları hesaplanmıştır. Bulunan optimum bitüm oranları modifiye edilmemiş bitümle hazırlanan karışımın optimum bitüm oranı ile karşılaştırılmıştır. Optimum bitüm oranlarına göre karışımlar hazırlanmış ve hazırlanan numunelere Superpave yöntemine göre nem hassasiyeti değerlendirilmiştir. 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. Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış numunelerin çekme dayanımları belirlenmiş ve Çekme Dayanımı Oranları (TSR) belirlenmiştir.

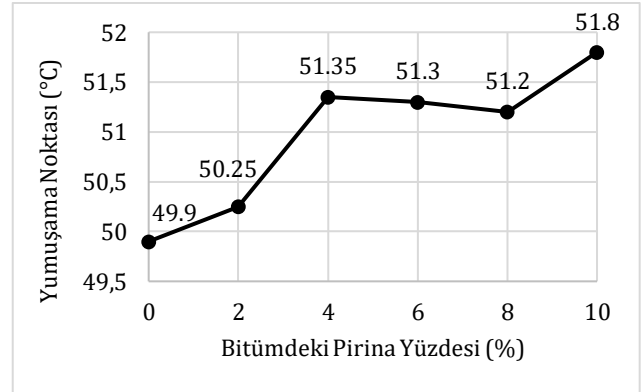
3. Bulgular

50-70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında pirina ile modifiye edilip penetrasyon deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 2’te verilmiştir.



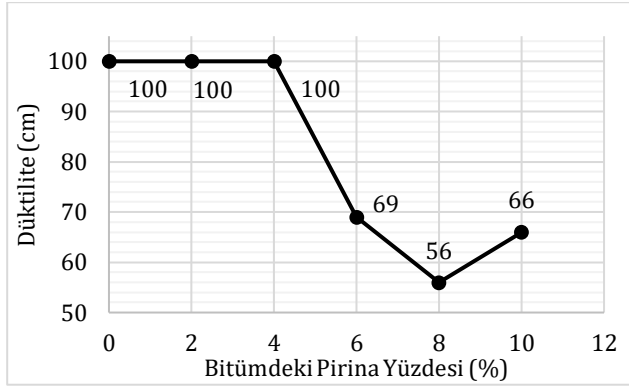
Şekil 2. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin penetrasyon değerleri

Pirina modifikasyonu ile elde edilen modifiye bitümün daha önce 50-70 olan penetrasyon sınıfının değiştiği gözlenmiştir. Böylece pirina modifikasyonu ile istenilen penetrasyon değerine sahip olmayan bitümün istenen penetrasyon değerine getirilebileceği gösterilmiştir. Modifiye edilmiş bitümlerin yumuşama noktası deney sonuçları incelendiğinde, pirina modifikasyonu ile bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası değeri arttığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir. Yumuşama noktası, bitümlü bağlayıcıların kullanılabileceği bölgeler hakkında bilgi vermektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde pirina ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcının sıcak iklim bölgelerinde kullanılabileceği görülmüştür.



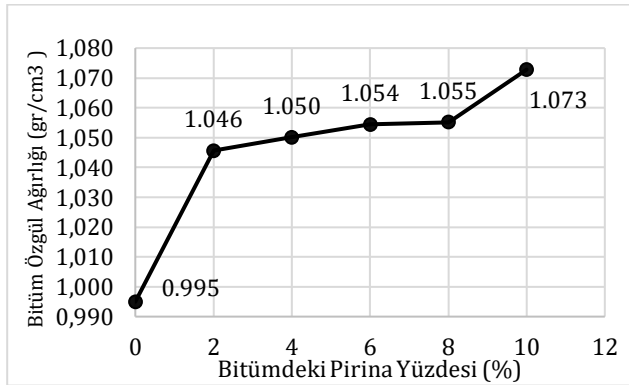
Şekil 3. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin yumuşama noktaları

Düktilite deneyleri göz önüne alındığında bitüm içindeki pirina miktarı arttıkça düktilite değerinde düşüş olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4’te verilmiştir. Şartname sınır değeri dikkate alındığında ağırlıkça %2 ve %4 oranlarında pirina ile modifiye edilmiş bitümlerin kullanıma uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 4. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin düktilite sonuçları

Hazırlanan modifiye bitümlerin özgül ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Buna göre modifiye bitümde bulunan pirina oranı arttıkça özgül ağırlıkların arttığı gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen özgül ağırlık değerleri Şekil 5'da verilmiştir.

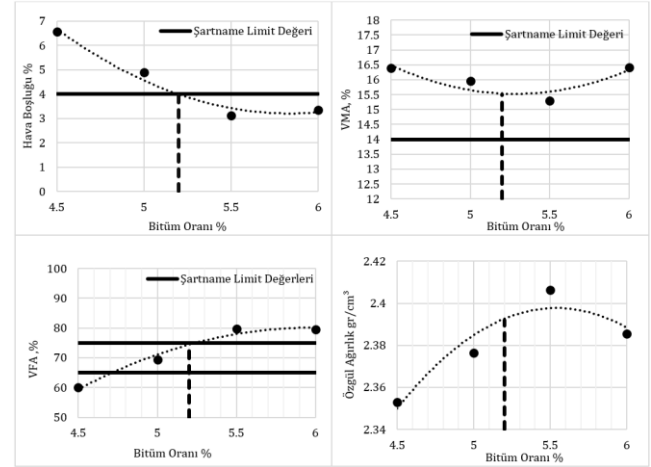


Şekil 5. Modifiye edilmiş ve edilmemiş bitüm özgül ağırlıkları

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.

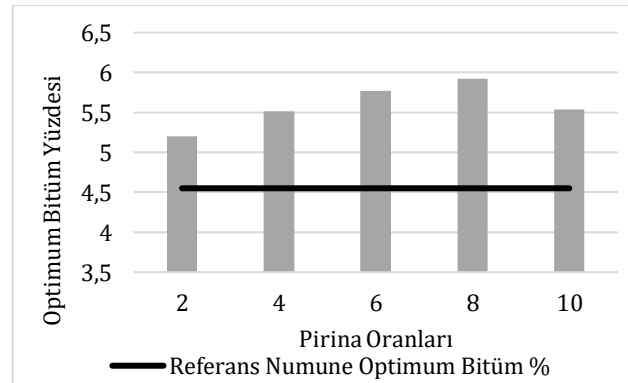
Elde edilen sonuçlar ile hava boşluğu, mineral agregalar arası boşluk oranı (VMA), bitümlü dolu boşluk oranı (VFA) ve özgül ağırlık grafikleri çizilmiştir. Çizilen hava boşluğu grafiğinden %4 hava boşluğuna tekabül eden bitümlü bağlayıcı oranı belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bitümlü bağlayıcı oranının VMA grafiğinden minimum %14 değerini aşıp aşmadığı 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 bitümlü bağlayıcı için %5.2 (Şekil 7), %4 pirina için %5.51 (Şekil Ek A1), %6 pirina için %5.77 (Şekil Ek A2), %8 pirina için %5.92 (Şekil Ek A3) ve %10 pirina için %5.54 (Şekil Ek A4) olarak belirlenmiştir.



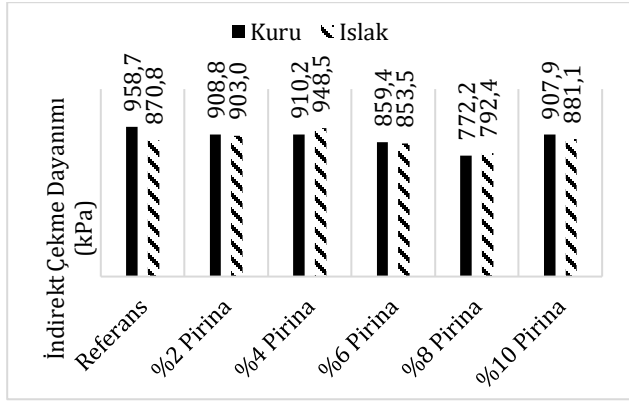
Şekil 7. %2 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği

Pirina ile ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarda modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcının optimum bağlayıcı değerleri Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre belirli oranlarda pirina ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının optimum bitüm oranları, modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcıya göre yüksektir.



Şekil 8. Optimum bitüm oranlarının karşılaştırılması

Modifiye edilmiş bitümler ile bulunan optimum bitüm oranlarında karışımlar hazırlanmış ve nem hassasiyet değerlerini ölçmek amacı ile şartlandırılmışlardır. Hem şartlandırılmış, hem de şartlandırılmamış numuneler indirekt çekme dayanımı testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 9'de verilmiştir.



Şekil 9. IDTKuru ve IDTıslak değerleri

Şartlandırılmamış numunelerin çekme dayanım değerleri (IDTKuru) ve şartlandırılmış numunelerin çekme dayanım değerleri (IDTıslak) karşılaştırılarak, Çekme Dayanımı Oranları (TSR) bulunmuştur. Bulunan TSR değerleri Şekil 10'de verilmiştir.



Şekil 10. TSR değerlerindeki değişim

Modifiye edilen bitümlü bağlayıcıların TSR oranının modifiye edilmemiş bitümlü bağlayıcının TSR oranına göre artış gösterdiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre pirina modifikasyonu ile elde edilen bitümlü karışımın nem karşısındaki performansı modifiye edilmemiş bitümlü hazırlanan karışıma göre yüksektir.

4. Sonuç

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 kullanılabilirliği 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 iklime sahip bölgeler için daha uygun olduğu söylenebilir.

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

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 kullanılabilirliğini göstermiştir.

Atık malzeme problemi ve atık yönetimi günümüzün en önemli problemlerindedir. Atık malzeme olarak görülen pirina, bu çalışmada bitüm modifikasyonunda kullanılabilirliği 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.

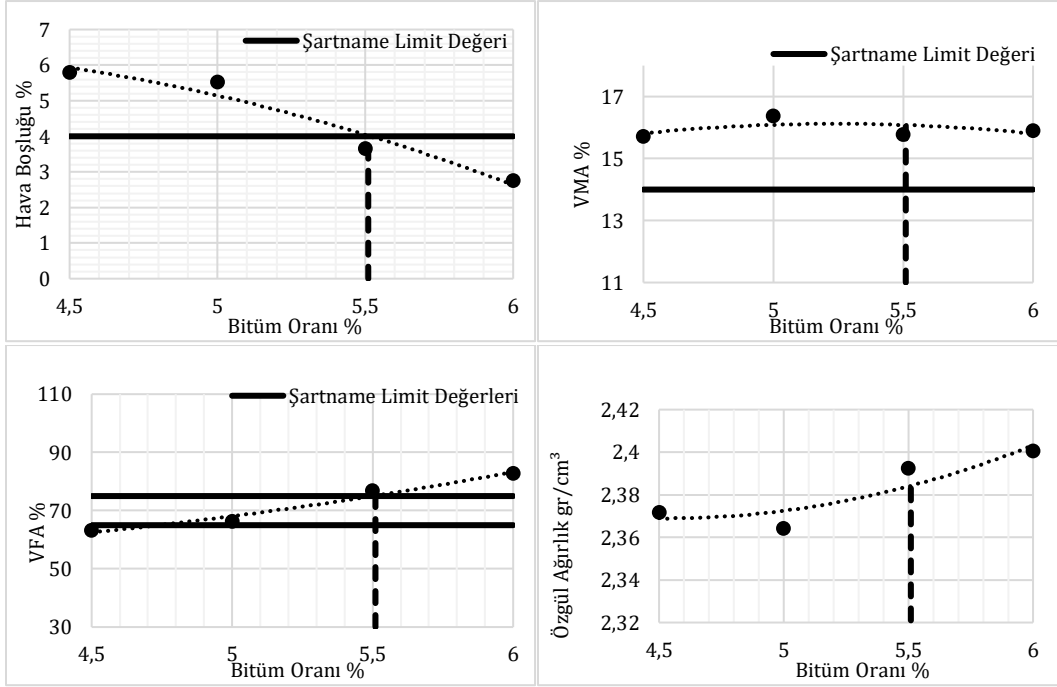
Kaynaklar

- [1] Huang, Y. H. *Pavement Analysis and Design*. Pearson Education Inc, Upper Saddle River, NJ., 785s, 2004.
- [2] Karayolları Genel Müdürlüğü. *2018 Trafik ve Ulaşım Bilgileri*, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri, 2019.
- [3] Arslan, D., Gürü, M., Çubuk, M. K. 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, 2012.
- [4] Ratajczak, M., Babiak, M., Bilski, M., Zieliński, K., Kosno, J. Innovative Methods of Bitumen Modification Used in Waterproofing. *International Journal of Engineering and Technology*, 10(4), 2018.
- [5] Fang, C., Yu, R., Liu, S., Li, Y. Nanomaterials applied in asphalt modification: a review. *Journal of Materials Science and Technology*, 29(7), 589-594, 2013.
- [6] Türk Yönetmeliği. *Atık Yönetimi Yönetmeliği*, Resmi Gazete No: 29314, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2015.
- [7] Terrel, R. L., Walter, J. L. Modified asphalt pavement materials-the european experience. *In Association of Asphalt Paving Technologists Proc* (Vol. 55), 1986.
- [8] Presti, D. L. Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 49, 863-881, 2013.
- [9] International Olive Council. <http://www.internationaloliveoil.org/> (Erişim Tarihi : 24.04.2019).
- [10] Filya, İ., Hanoğlu, H., Canbolat, Ö., Sucu E. Kurutulmuş Pirinanın Yem Değeri ve Kuzu Besisinde Kullanılma Olanakları Üzerinde Araştırmalar. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 1-12, 2006.
- [11] Taşcı, A. *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, 2010.
- [12] Karahançer, Ş. *Nano Modifiye Bitümlü Sıcak Karışımların Performansının Araştırılması*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 178s, Isparta, 2017.
- [13] Atasağun, N. *Piroliz Yöntemi Kullanılarak Sıvılaştırılmış Çörekotu Küspesi ile Modifiye Edilen Bitümlü Bağlayıcıların Reolojik Özellikleri*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Konya, 2009.
- [14] Bostancıoğlu, M. *Bitkisel Atıklardan Elde Edilen Kimyasal Ürünler ile Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi*. Kardeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s, Trabzon, 2012.
- [15] Raufi, H. *Bitümlü Bağlayıcı ve Asfalt Karışımların Nano Malzemelerle Modifikasyonu*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 176s, İzmir, 2018.
- [16] Yıldırım, Z. B., Karacasu, M., Okur, D. V. Atık Lastik ve Cam Lif ile Modifiye Edilmiş Bitümün Asfalt Betonuna Performansına Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 1019-1027, 2018.
- [17] Yılmaz, M., Kök, B. V. Ferrokrom cürufu kullanımının bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(3), 186-194, 2008.

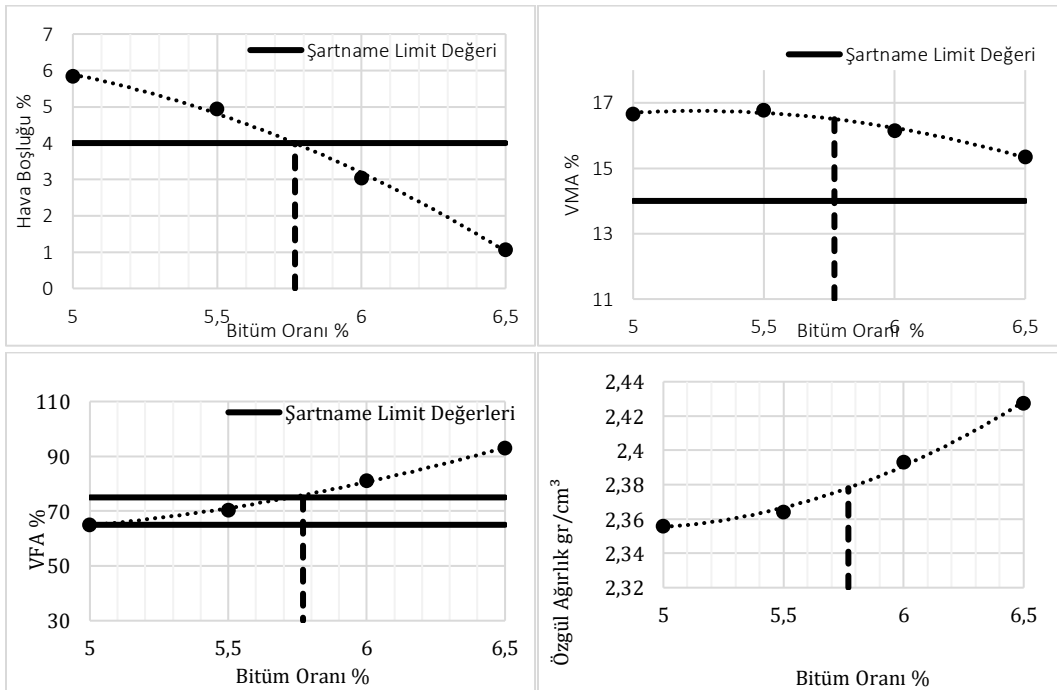
Ekler

Ek A. Optimum bağlayıcı içerikleri

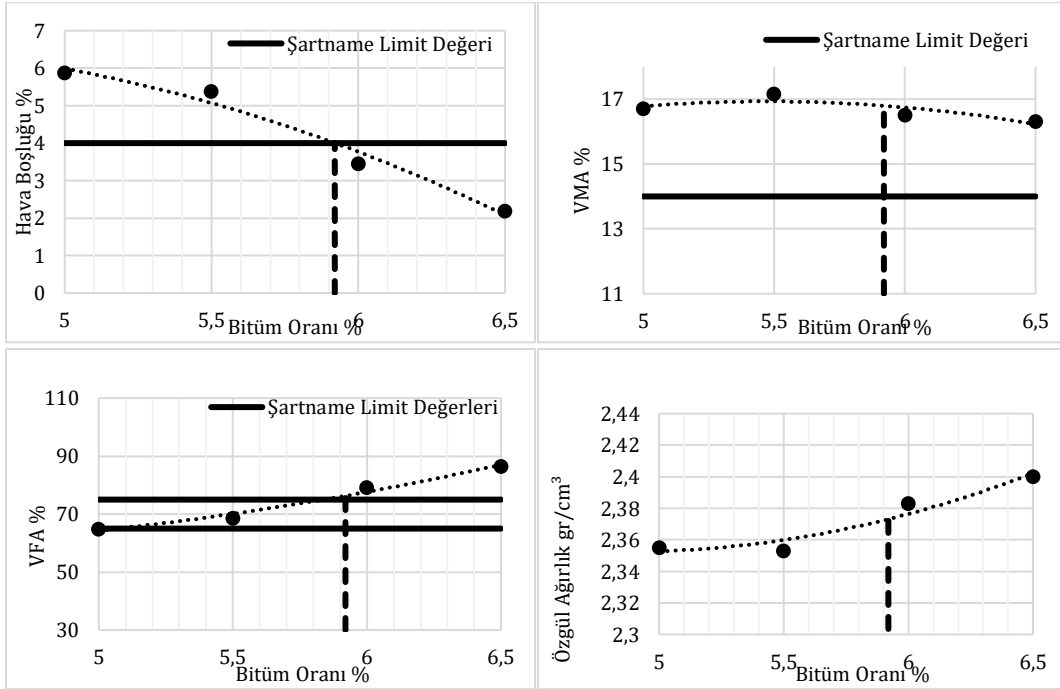
%4, %6, %8 ve %10 pirina oranları için optimum bağlayıcı içerikleri



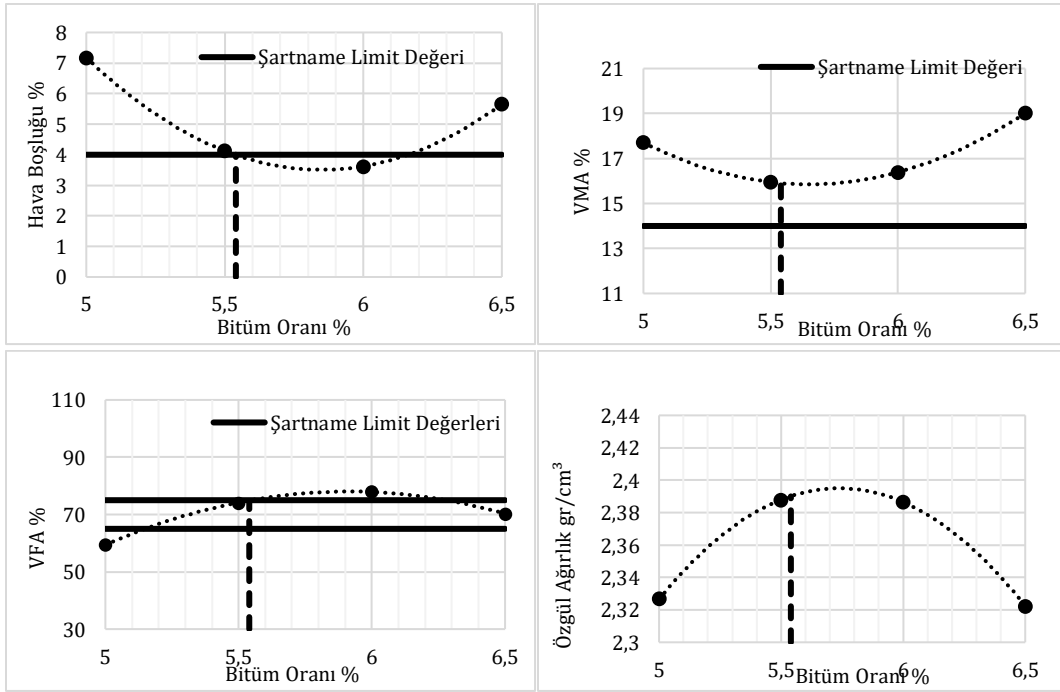
Şekil Ek A1. %4 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği



Şekil Ek A2. %6 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği



Şekil Ek A3. %8 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği



Şekil Ek A4. %10 Pirina için optimum bağlayıcı içeriği