

## Pirina Katkısının Bitümlü Kaplamaların Nem Direncine Etkisi

Tacettin GEÇKİL<sup>1</sup>, Ceren Beyza İNCE<sup>\*1</sup>, Semih İSSİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya, Türkiye

(Alınış / Received: 20.01.2021, Kabul / Accepted: 07.09.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2021)

### Anahtar Kelimeler

Bitüm,  
Pirina,  
Modifiye Karışım,  
Marshall Stabilesi,  
Nem Direnci.

**Özet:** Bu çalışmada, pirina katkısının yol kaplamalarının nem direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, saf B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüme ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında pirina ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Bitümlü bağlayıcıların karakteristik özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve dönel viskozimetre (RV) testleri ile belirlenmiştir. Daha sonra, karışım tasarımı için agrega ve saf bitüm kullanılarak Marshall yöntemine göre karışımın optimum bitüm içeriği (OBİ) belirlenmiştir. Bu OBİ oranı sabit tutularak saf ve modifiye bitümler ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan saf ve pirina katkılı karışım numuneleri Marshall stabilesi, kalıcı Marshall stabilesi (RMS) ve endirekt çekme mukavemeti (ITS) deneylerine maruz bırakılmıştır. Bitümlerin test sonuçlarına göre pirina katkısı ile modifiye bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana geldiği ve bitüm sınıfının B 100/150 olarak değiştiği görülmüştür. Karışım sonuçlarına göre, özellikle %15 pirina katkısının karışımların Marshall stabilesi, RMS ve endirekt çekme mukavemeti oranı (ITSR) değerlerinin artış göstermesi sebebiyle yol kaplamalarının nem direncini arttırdığı görülmüştür.

## The Effect of Pirina Additive on Moisture Resistance of Bituminous Pavements

### Keywords

Bitumen,  
Pirina,  
Modified Mixture,  
Marshall Stability,  
Moisture Resistance.

**Abstract:** In this study, the effect of pirina additive on the moisture resistance of road pavements was investigated. For this purpose, modified bitumen was obtained by adding 5, 10, 15 and 20% pirina by weight to pure B 160/220 penetration class bitumen. Characteristic properties of bituminous binders were determined by penetration, softening point, ductility and rotational viscometry (RV) tests. Then, the optimum bitumen content (OBC) of the mixture was determined according to Marshall method by using aggregate and pure bitumen for the mixture design. By keeping this OBC rate constant, samples of hot mixes were prepared with pure and modified bitumens. The prepared pure and pirina additive mixture samples were subjected to Marshall stability, retained Marshall stability (RMS) and indirect tensile strength (ITS) tests. According to the test results of the bitumens, it was observed that the consistency of modified binders was hardened with the addition of pirina and the bitumen class changed to B 100/150. According to the results of the mixture, it was observed that especially 15% pirina additive increased the moisture resistance of road pavements due to the increase in Marshall stability, RMS and indirect tensile strength ratio (ITSR) of the mixtures.

### 1. Giriş

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), ağırlıkça %93-95 oranındaki agreganın yine ağırlıkça %5-7 oranındaki bitüm ile belirli bir sıcaklıkta karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Sıcak karışım içerisinde fazla miktarda bulunan agrega; karışımın stabilesini ve içsel sürtünme direncini sağlarken, bitüm ise agrega

tanelerini birbirine bağlayarak ağır trafik yüklerine maruz kalan kaplamanın ayrışmasını önlemektedir [1,2,3].

BSK kaplamalarda, hizmet ömrü içerisinde trafik yükü ve şiddeti, sıcaklık ve yağış gibi çevresel faktörlerden kaynaklanan birçok bozulma meydana gelmektedir. Kalıcı deformasyon, düşük sıcaklık çatlağı ve yorulma

\*İlgili yazar: c.beyzaince@gmail.com

çatlakları gibi bozulmalar ağır trafik yükleri, yetersiz sıkışma, bitümün kıvamı ve sıcaklığa duyarlılığı, fazla yük tekrarı ve kaplama tabakalarının yetersiz kalınlığı sebebiyle meydana gelmektedir [3,4]. Bu bozulmaların dışında BSK kaplamalarda su veya nem sebebiyle bitüm-agrega arasındaki adezyon bağının zayıflaması, kohezyon kaybı ve bitümün özelliklerinin değişmesi sonucunda sudan kaynaklı bozulmalar da sıklıkla meydana gelmektedir [4]. Bu sebeple kaplamanın performansı, kohezyon ve adezyon ile doğrudan ilgilidir. Nem sebebiyle bitüm ile agrega arasındaki bağın zayıflaması adezyon kabından kaynaklanmaktadır. Kohezyon kaybı ise asfalt betonunun yumuşamasından meydana gelmektedir. Kısacası BSK kaplamalarda nem hasarı deformasyonları adezyon ve kohezyon kaybından kaynaklanmaktadır [5]. Yol kaplamalarında suyun varlığı, bitüm ile agrega arasındaki adezyon bağını zayıflatır ve bitümün yapısını değiştirerek kohezyonunu olumsuz etkiler. Bitüm ile agrega arasındaki adezyonun zayıflaması ve bitümün yapısındaki değişim, sıcak karışımın karakteristik özelliklerini değiştirerek kaplamanın bozulmasına yol açmaktadır [4]. Günümüzde BSK kaplamalarda nemden kaynaklanan hasarları en aza indirmek amacıyla başta hidrate kireç olmak üzere, çeşitli soyulma önleyici katkıları, polimerler ve uçucu kül katkıları kullanılmaktadır [4,6]. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde BSK'ya kireç eklenmesiyle agrega ve bitüm arasındaki yapışma kuvvetinin ve yorulma dayanımının arttığı, tekerlek izi oluşumunun ise azaldığı görülmüştür. [6-8]. Ayrıca, yol kaplamalarının nem direnci üzerinde birçok polimerin de iyileştirici bir etki gösterdiği belirlenmiştir [9-13].

Bu çalışmada ise, tarımsal bir atık olan ve çevresel kirliliğe sebebiyet veren pirina'nın yol kaplamalarının nem direncine etkisi araştırılmıştır.

Pirina, tarımsal bir ürün olan zeytinden, zeytinyağı üretimi aşamasının sonunda oluşan bir yan üründür. Yapısı itibarıyla selülozik olan pirina çekirdek, kabuk ve posadan meydana gelmektedir [14,15]. Ülkemizde, yıllık olarak yaklaşık 1.350.000 ton zeytinyağı üretimi yapılmakta olup bu üretimden yaklaşık %35-45 kadar pirina elde edilmektedir. Belirlenen oranlara göre hesaplamalar yapıldığında yıllık takriben 472.500-540.000 ton pirina elde edilmektedir. Elde edilen pirina'nın çok az bir kısmı kışın hayvan yeminin zor bulunması sebebiyle kullanılsa da, büyük çoğunluğu değerlendirilmemekte ve atık olarak çevreye zarar vermektedir [14-16].

**Tablo 1.** Saf B 160/220 bitümün fiziksel özellikleri

Deney	Standart	Limit	Sonuç
Penetrasyon (0.1mm)	ASTM D5	160-220	163
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	35-43	41,6
Düktilite (cm)	ASTM D113	min. 100	>100
Parlama noktası (°C)	ASTM D92	min. 230	244
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM D70	1,0-1,1	1,038
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-	-0,27
Kütle kaybı	ASTM D2872	maks. 1,0	0,47

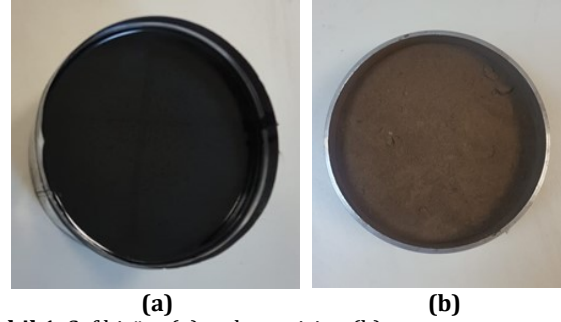
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde pirina katkısının çoğunlukla kimya, gıda ve ziraat mühendisleri tarafından araştırıldığı görülmüştür [17-19]. Karayolu mühendisliğinde yapılan yegâne çalışmada ise bu malzemenin yanmış hali bitüm modifikasyonunda kullanılmış ve yanmış pirinanın bitümün sertleşmesinde etkili olduğu ve sıcak karışımların nem direnci üzerinde olumlu bir etki gösterdiği görülmüştür [20].

Bu çalışmada, ham pirina katkısının yol kaplamalarının nem direncine olan etkisi, Marshall stabilitesi, kalıcı Marshall stabilitesi (RMS) ve endirekt çekme dayanımı (ITS) deneyleri yardımı ile belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada modifikasyon için saf B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüm (Şekil 1a) ve katkı olarak ham pirina (Şekil 1b) kullanılmıştır.

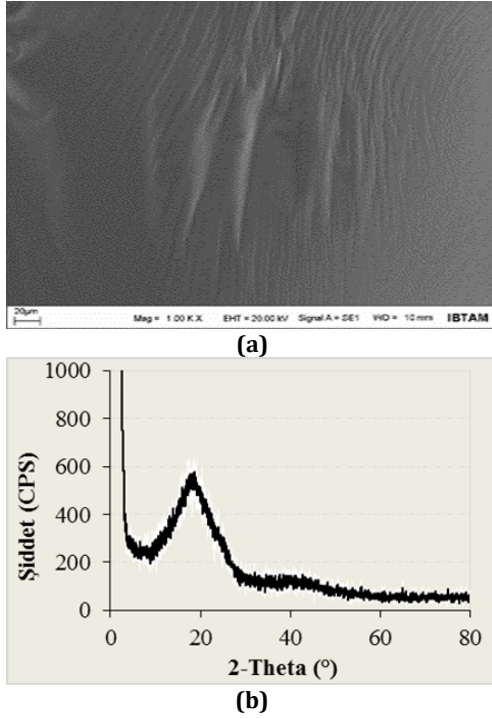


**Şekil 1.** Saf bitüm (a) ve ham pirina (b)

Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü asfalt plantinden alınan saf bitümün fiziksel özellikleri Tablo 1'de, SEM görüntüsü ve XRD deseni Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2a'da incelendiğinde, saf bitümün tek fazlı ve homojen bir yapıda olduğu, yüzeysel yapısında hafif büzülmeler olduğu görülmektedir. Şekil 2b'de XRD deseni incelendiğinde ise,  $2\theta \cong 20^\circ$  civarında kristalin yapının olduğu,  $2\theta \cong 40^\circ$  civarında ise kısmen küçük bir amorf yapının mevcut olup, malzemenin genel olarak makromoleküler iki yapıdan oluştuğu ve klasik karakteristik bitüm özellikleri taşıdığı görülmektedir.

Modifikasyonda katkı olarak kullanılan ham pirina, Kahramanmaraş zeytin fabrikasından temin edilmiş ve genel özellikleri Tablo 2'de, SEM görüntüsü ve XRD deseni ise Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Saf bitümün SEM görüntüsü (a) ve XRD deseni (b)

Tablo 2. Pirina'nın genel özellikleri

Özellik	Sonuç
Form	Ultra ince amorf toz
Koku	Kokusuz
Çözünürlük (suda)	Çözünmez/Hafifçe çözünür
Çözünürlük (organik çözücü)	Çözünmez/Az çözünür
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,9

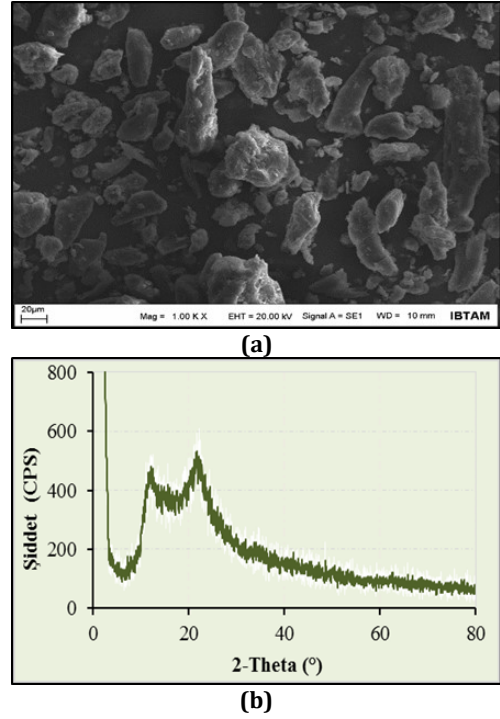
Şekil 3a'da, ham pirina'nın SEM görüntüsü incelendiğinde, genel olarak yapının homojen ve farklı tane boyutlarından oluştuğu ayrıca gözenekli bir yapıya sahip olmadığı görülmektedir. Şekil 3b'de pirina katkısının XRD deseni incelendiğinde ise malzemenin yarı kristalin, kristalin ve amorf olmak üzere üç farklı makromoleküler yapıdan oluştuğu görülmektedir.

BSK tasarımı için kullanılan agrega, Karayolları 8. Bölge Müdürlüğüne ait Malatya'daki bir malzeme ocağından temin edilmiştir. Kırmataş kalker agregasının fiziksel özellikleri Tablo 3'de, gradasyonu ise Tablo 4'de verilmiştir.

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Modifiye Bitümlerin Hazırlanması

Çalışmada ilk olarak, modifiye bağlayıcılar elde etmek için saf bitümlü bağlayıcı 150 °C sıcaklıkta ısıtıldı. Daha sonra bitüme ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında pirina eklenerek, 1000 rpm hızında 60 dakika boyunca aynı sıcaklıkta karıştırma işlemi yapıldı ve modifiye bitümler hazırlandı. Elde edilen bitümlerin fiziksel karakteristikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleriyle; yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özellikleri ise RV deneyi ile belirlenmiştir.



Şekil 3. Ham pirinanın SEM görüntüsü (a) ve XRD deseni (b)

Çalışmada, saf (katkısız) ve pirina katkılı bitümler sırasıyla B, B+%5P, B+%10P, B+%15P ve B+%20P olarak kodlanmıştır.

Saf ve pirina modifiyeli bitümlerin fiziksel özellikleri ASTM D5, ASTM D36 ve ASTM D113 standartlarına göre sırasıyla penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite deneyleri belirlenerek elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir. Ayrıca, bütün bağlayıcılar Brookfield Dönel Viskozimetre (RV) deneyine tabi tutularak ASTM D 4402 standardına göre yüksek sıcaklıklardaki akışkanlık özellikleri belirlenmiştir. Deney sonucunda elde edilen viskozite değerleri yardımı ile bağlayıcıların viskozite-sıcaklık grafiği (Şekil 4) çizilerek karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları tespit edilmiştir. İlave olarak, bağlayıcıların plentteki karıştırma ve yoldaki sıkıştırma sıcaklıkları belirlenerek tüm sonuçlar aynı tabloda verilmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde, %15 pirina oranına kadar modifiye bitümlerin penetrasyon ve düktilite değerlerinde azalma, yumuşama noktası değerlerinde ise artış meydana geldiği, bu oranı takiben penetrasyon ve düktilite değerleri artmış, yumuşama noktası değerleri ise azalma göstermiştir. Bu sonuçlar, bitümlerin kıvamı üzerinde pirina katkısının önemli bir etkiye sahip olduğunu ve kıvamdaki bu sertleşmenin sonucu olarak bitümlerin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının da saf bitüme kıyasla artış gösterdiği görülmüştür. Bu orandan sonra bitümün sertleşmesinde meydana gelen azalmanın, pirinanın özgül ağırlığının bitümün özgül ağırlığından fazla olması sebebiyle yüksek sıcaklık etkisiyle bitüm içerisinde bir kısmının çökmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Tablo 3.** Agreganın fiziksel özellikleri

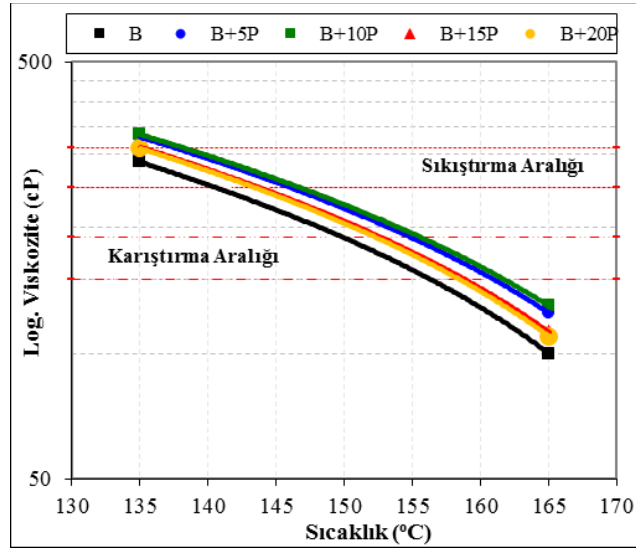
Deney	Standart	Limit	Sonuç
Kaba agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C127	-	2,70
Kaba agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C127	-	2,67
Kaba agrega su emme yüzdesi	ASTM C127	maks.2	0,47
İnce agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C128	-	2,75
İnce agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C128	-	2,63
İnce agrega su emme yüzdesi	ASTM C128	maks.2	1,66
Filler zahiri özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM D 854	-	2,85
Aşınma kaybı, Los Angeles (%)	ASTM C131	maks.30	27
Donma kaybı (%)	ASTM C88	maks.10	2
Yassı ve uzun daneler (%)	ASTM D4791	maks.10	5

**Tablo 4.** Agregada gradasyonu

Elek Açıklığı (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Geçen (%)	100	94	84	58	35	22	16	12	8	5

**Tablo 5.** Saf ve modifiye bitümlerin fiziksel özellikleri

Deney	Bağlayıcı türü				
	B	B+%5P	B+%10P	B+%15P	B+%20P
Penetrasyon	163	152	142	120	130
Yumuşama noktası	41,6	44,3	45,7	46,3	45,4
Düktilite	125	120	111	107	109
Karıştırma aralığı	149,9-156,0	154,5-160,8	156,0-160,8	152,9-159,2	152,9-159,2
Sıkıştırma aralığı	131,6-141,2	137,0-145,5	138,4-146,9	135,6-144,0	135,6-144,0
Karıştırma sıcaklığı	153	158	158,4	156,1	156,1
Sıkıştırma sıcaklığı	136,4	141,3	142,7	139,8	139,8

**Şekil 4.** Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık grafiği

### 2.2.2. Modifiye Karışımların Hazırlanması

Pirina katkısının BSK'ların nem direncine olan etkisini belirlemek amacıyla, saf ve katkıli bitümler kullanılarak Marshall tasarım yöntemi ile ASTM D1559 standardına göre karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle, agrega ve saf bitüm kullanılarak katkısız sıcak karışımlar için optimum bitüm içeriği (OBİ) tespit edilmiştir. Bu içerik baz alınarak saf ve katkıli bitümler ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Her bir karışım numunesi için 1100 gr agrega alınmış ve bitümler kendi karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında işlenmiştir. Numuneler 457 mm yükseklikten serbest düşürülen sıkıştırma tokmağı ile her bir yüzüne 75, toplamda 150 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır.

Çalışmada, saf ve katkıli bitümler ile hazırlanmış olan BSK numuneleri sırasıyla B, B+%5P, B+%10P, B+%15P ve B+%20P olarak kodlanmıştır.

## 3. Deneysel Yöntem

### 3.1. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

BSK'ların plastik akmaya karşı gösterdiği direnç ASTM D1559 standardına göre Marshall stabilite ve akma deneyi ile tespit edilmektedir. Deneyde, hazırlanmış olan karışım numuneleri ağırlıkları ve yükseklikleri alınarak 60±1 °C sıcaklığa sahip su banyosunda (Şekil 5a) ortalama 35 dakika bekletildikten sonra çıkarılarak Marshall stabilite cihazına (Şekil 5b) yerleştirilir. Daha sonra numuneler 50±2 mm/dakika

yüklemeye maruz bırakılarak kırıldıkları andaki stabilite ve akma değerleri tespit edilir. Stabilite değeri, kaplamaların deformasyonlara karşı koyabildiği en yüksek yük değerini ifade ederken; akma değeri ise bu yük değerine ulaşıldığında oluşan deformasyonu ifade etmektedir.

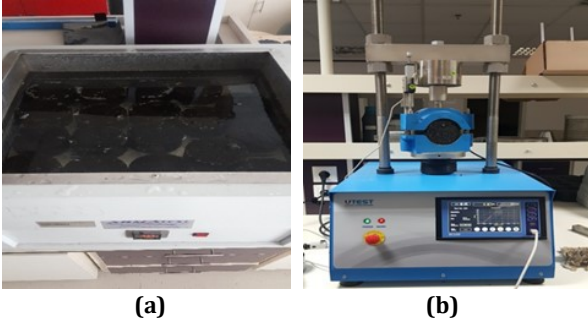
Deneyde, standart kabul edilen 63,5 mm'den farklı yüksekliklere sahip olan numuneler için denklem (1) bağıntısı kullanılarak, numunelerin düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplanır [13].

$$c = 5.24e^{(-0.0258h)} \quad (1)$$

Denklem 1'de yer alan c; düzeltme katsayısını, h ise numune yüksekliğini ifade etmektedir [13].

Marshall stabilite ve akma deneyi sonucunda, stabilite ve akma değerleri kullanılarak sıcak karışımların sertliklerinin ve deformasyonlara karşı dirençlerinin bir ölçüsü olarak kabul gören Marshall oranı (MQ) değerleri de hesaplanarak karışımlar değerlendirilebilmektedir [3].

MQ değeri, karışım stabilitesinin akma değerine bölünmesiyle belirlenmektedir. Bu değer yüksek olması kaplamaların deformasyonlara karşı dirençli olduğunu ifade etmektedir [3].



**Şekil 5.** Numunelerin su banyosunda bekletilmesi (a) ve Marshall stabilite deney cihazı (b)

### 3.2. Kalıcı Marshall Stabilitesi (RMS)

RMS deneyi ile kaplamaların sudan kaynaklı nem hasarlarına karşı dayanımları belirlenebilmektedir. Bu amaçla numuneler  $60 \pm 1$  °C sıcaklığa sahip su banyosunda 24 saat bekletilerek Marshall stabilite cihazı ile yüklemeye maruz bırakılmaktadır. Elde edilen stabilite değeri numunenin normal stabilite değerine bölünmesiyle RMS değeri elde edilmektedir. Deney sonucunda, yüksek RMS değerine sahip olan sıcak karışım numunelerinin su veya nem hasarlarına karşı daha yüksek dirence sahip olduğu değerlendirilmektedir [13].

### 3.3. Endirekt Çekme Mukavemeti Deneyi (ITS)

ITS deneyi, ısı ve yüklere maruz kalan sıcak karışım yol kaplamalarının bünyesinde meydana gelen çekme

gerilmelerini karakterize etmektedir. Deney, AASHTO T245 standardına göre Marshall stabilite test cihazı kullanılarak yapılmaktadır. ITS deneyinde, silindirik numuneler dakikada 50mm'lik yüklemeye hızında çap düzlemi doğrultusunda düşey olarak yüklemeye maruz bırakılarak kırılması sağlanır. Deney sonucunda, sıcak karışım kaplamalarda meydana gelen bu kırılmalar ile kaplamaların yapısı arasında bir ilişki kurulabilmektedir. Ayrıca, kaplamaların sahip olduğu kohezyon kuvveti ve orta sıcaklıklardaki kalıcı deformasyon direncinin başlıca parametreleri olan sertlik ve durabilitesi de değerlendirilebilmektedir. Karışım numunelerinin ITS değeri denklem (2) yardımı ile hesaplanabilmektedir [13].

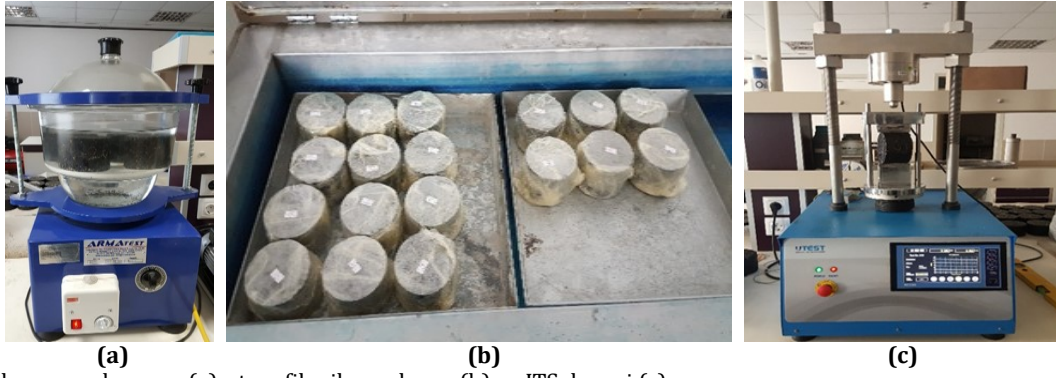
$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi t d} \quad (2)$$

Denklem 2'de,  $P_{max}$ ; numuneye uygulanmış maksimum yükü, t; numune kalınlığını, d ise numune çapını ifade etmektedir. Karışım numunelerinin ITS değerleri, sıcak karışımın kohezyon yeteneğine bağlı olarak değişmekte ve bu da büyük oranda bitümün özelliklerinden kaynaklanmaktadır [13,21].

### 3.4. Nem Hasarı Direnci Deneyi

Nem hassasiyeti, BSK kaplamaların su ile temas etmesinden sonra bünyesinde oluşan nem sebebiyle oluşabilecek hasara karşı göstermiş olduğu direnci ifade edilmektedir. Kaplamadaki su veya nemin varlığı, bitüm ile agrega arasındaki bağı zayıflatır ve kaplamada bozulmalara sebep olur. Sıcak karışım kaplamalarda nem hassasiyeti AASHTO T283 standardı ile belirlenmektedir. Standartta göre sıcak karışım numuneleri "koşullandırılmamış" ve "koşullandırılmış" olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilir. Koşullandırılmamış numuneler 2 saat boyunca 25°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Koşullandırılmış numuneler ise numunelerin hava boşlukları %60-80 su ile dolacak şekilde vakum işlemine (Şekil 6a) maruz bırakılır. Bunun ardından numuneler streç film ile sarılarak (Şekil 6b) 16 saat boyunca -18°C sıcaklıktaki dondurucuda bekletilir ve süre bitiminde bu numuneler 24 saat boyunca 60°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Süre bitiminde banyodan alınan numuneler 2 saat boyunca 25°C sıcaklıktaki banyosunda bekletilir. Bu işlemlerden sonra koşullandırılmamış ( $ITS_{kuru}$ ) ve koşullandırılmış ( $ITS_{yaş}$ ) numuneler Marshall cihazı kullanılarak indirekt çekme direnci (ITS) testine (Şekil 6c) tabi tutulur. Deney sonucunda karışım numunelerinin indirekt çekme direnci oranı (ITSR) değerleri denklem (3) yardımı ile hesaplanır. BSK numunelerinin sudan kaynaklı nem hasarlarına karşı dirençleri bakımından ITSR değerlerinin %80'den daha fazla olması istenmektedir [4,13].

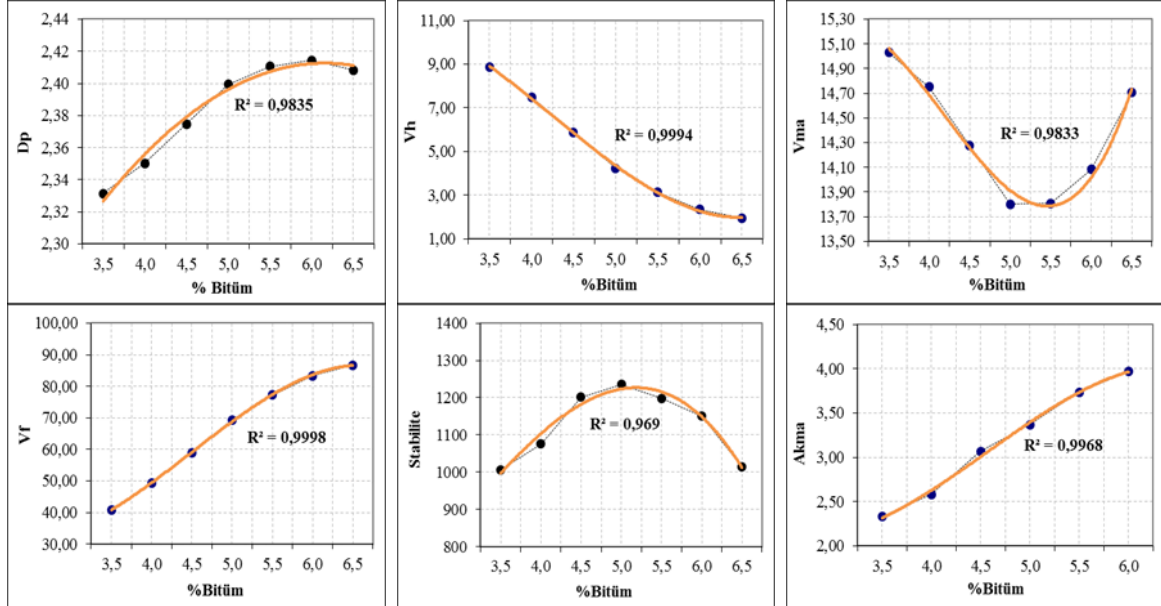
$$ITSR = \frac{ITS_{yaş}}{ITS_{kuru}} \times 100 \quad (3)$$



Şekil 6. Vakum uygulanması (a), streç film ile sarılması (b) ve ITS deneyi (c)

Tablo 6. OBİ için hazırlanan numunelerin hacimsel ve mekanik özellikleri

Bitüm %	Dp (gr/cm <sup>3</sup> )	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)
3,5	2,331	8,8	15,03	40,92	1006	2,33
4	2,350	7,4	14,75	49,26	1076	2,58
4,5	2,375	5,8	14,28	58,91	1201	3,07
5	2,399	4,2	13,80	69,30	1236	3,37
5,5	2,411	3,1	13,81	77,28	1199	3,73
6	2,414	2,3	14,08	83,39	1151	3,97
6,5	2,408	1,9	14,70	86,74	1235	3,32



Şekil 7. OBİ oranının belirlenmesinde kullanılan grafikler

## 4. Bulgular

### 4.1. Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Karışım tasarımı için saf B 160/220 bitümü ve 1100 gr agrega kullanarak sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu amaçla, agrega miktarı sabit tutularak agreganın ağırlıkça %3,5- %4 - %4,5 - %5 - %5,5 - %6 - %6,5 oranlarında bitüm ilave edilerek her bir yüzde için üç karışım numunesi hazırlanmıştır. Her bir numunenin ağırlığı ve yüksekliği tespit edildikten sonra, hacim özgül ağırlığı (Dp), boşluk oranı (Vh), agregalar arası boşluk oranı (VMA) ve bitümle dolu boşluk oranı (Vf) gibi hacimsel özellikleri belirlenmiştir. Ardından tüm numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir.

Saf bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan karışım numunelerinin tespit edilmiş olan hacimsel ve mekanik özellikleri Tablo 6'da, bu özelliklerin bitümle değişim grafikleri ise Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 6 ve Şekil 7 yardımıyla, Dp'nin maksimum (%5,8) ve stabilitenin maksimum (%5,1), Vh'nin %4 (%5) ve Vf'nin %70 (%5) olduğu bitüm yüzdelerinin aritmetik ortalaması alınarak OBİ %5,2 olarak belirlenmiştir. Belirlenen OBİ'de üç adet kontrol numunesi hazırlanarak elde edilen sonuçların uygunluğu Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar ve şartname limitleri Tablo 7'de verilmiştir. Kontrol numune sonuçlarının KTŞ asfalt betonu aşınma tabakası için verilmiş olan sınır değerleri sağladığı görülmüştür.

**Tablo 7.** Kontrol numunesine ait sonuçlar

Bağlayıcı türü	Dp (gr/cm <sup>3</sup> )	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)
B	2,408	4,06	14,71	72,37	1180	2,48
B+%5P	2,410	4,17	14,63	71,47	1210	2,62
B+%10P	2,415	4,20	14,46	70,92	1234	2,38
B+%15P	2,418	4,28	14,35	70,21	1287	2,23
B+%20P	2,421	4,31	14,24	69,76	1248	2,44
KTŞ	-	3-5	14-16	65-75	>900	2-4

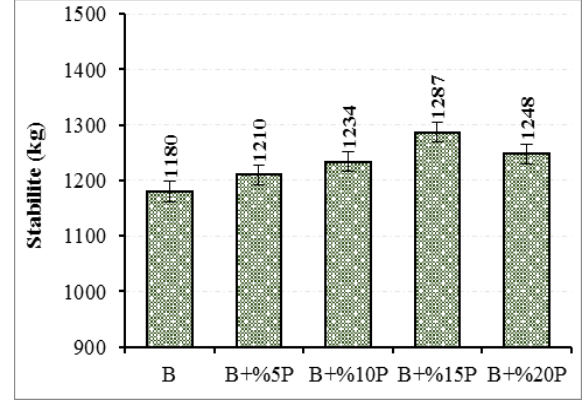
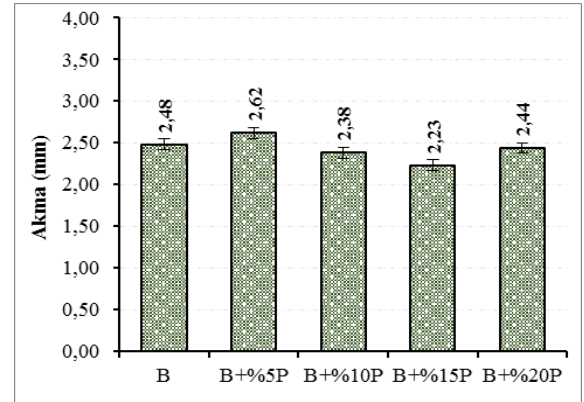
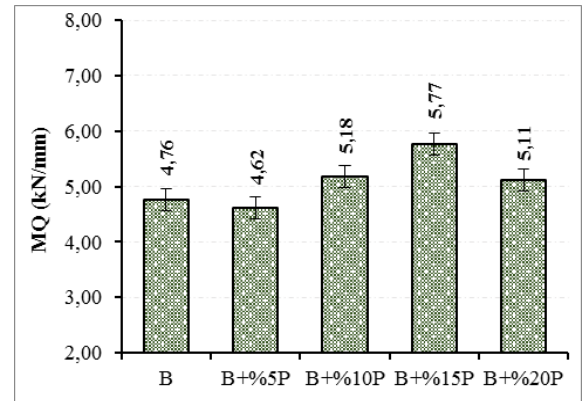
Çalışmada, tespit edilen OBI oranı (%5,2) esas alınarak saf bitüm ve pirina katkıli modifiye bitümler ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Pirina katkıli modifiye karışım numunelerinin saf karışım numuneleri ile kıyaslanabilmesi amacıyla bu OBI oranı sabit tutulmuştur. Hazırlanmış olan katkısız ve pirina katkıli sıcak karışım numunelerinden elde edilen Marshall stabilite değerleri Şekil 8’de, akma değerleri ise Şekil 9’da gösterilmiştir.

Şekil 8 dikkate alındığında, pirina katkısıyla karışımların stabilite değerlerinde saf numuneye kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %2,5; %4,6; %9,1 ve %5,8 artış şeklindedir. Pirina katkısıyla karışımların stabilite değerlerindeki bu artış, pirina katkıli kaplamaların kalıcı deformasyonlara karşı direncinin arttığını göstermektedir. Elde edilen sonuç değerlendirildiğinde, en yüksek stabilite değerine %15 pirina katkıli karışımında ulaşılmıştır, bu durumda kalıcı deformasyonlara karşı direnci en yüksek karışım numunesinin %15 pirina katkıli karışım olduğunu ifade etmek mümkündür.

Şekil 9 incelendiğinde, pirina katkıli karışım numunelerinin akma değerleri, katkısız (B) karışım numunesine kıyasla küçük miktarlarda değişiklik göstermiştir. Bu değişimler sırasıyla %5,6 artış, %4; %10 ve %1,7 azalma şeklindedir. Sıcak karışımların akma değeri, yol kaplamasının trafik yükleri altında plastik veya esnek davranışını simüle etmektedir. Pirina ilavesiyle akma değişimlerinin hemen hemen aynı seviyede kalması, BSK kaplamasının kırılma esnasındaki davranışında büyük bir değişiklik olmayacağı şeklinde değerlendirilmektedir.

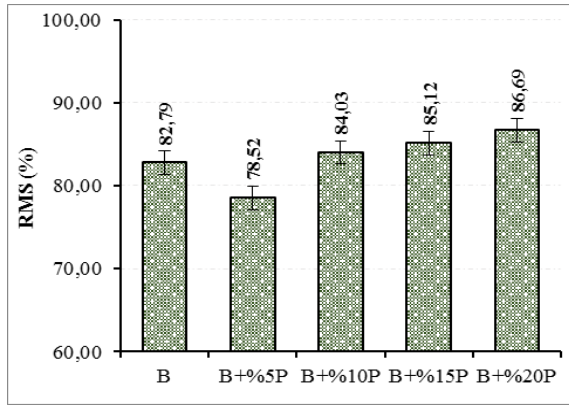
Çalışmada ayrıca tüm karışım numunelerinin sertliklerinin ve deformasyonlara karşı dirençlerinin tespiti için numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri yardımı ile MQ değerleri de hesaplanarak sonuçları Şekil 10’da gösterilmiştir.

Şekil 10 incelendiğinde, modifiye karışımların MQ değerleri, pirina katkı oranı artışı değişiklik göstermiştir. Meydana gelen bu değişimler saf karışıma kıyasla %3 azalma, %8,8; %21,2 ve %7,4 artış şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek artışın %15 pirina katkıli karışım numunelerinde görüldüğü ve bu sebeple kayma gerilmelerine karşı %15 pirina katkıli numunelerin en dirençli karışımlar olduğu ifade edilebilir.

**Şekil 8.** Karışım numunelerinin Marshall stabilite değerleri**Şekil 9.** Karışım numunelerinin akma değerleri**Şekil 10.** Karışım numunelerinin MQ değerleri

#### 4.2. Kalıcı Marshall Stabilite (RMS) Deneysel Sonuçları

Pirina'nın BSK'ların nem hasarı direncine olan etkilerini belirlemek amacıyla katkısız ve pirina katkıli karışım numunelerinin RMS değerleri tespit edilerek sonuçları Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Karışım numunelerinin RMS değerleri

Şekil 11 incelendiğinde, pirina artışı ile modifiye karışımların saf karışıma kıyasla RMS değerlerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %5 azalma, %1,5; %2,8 ve %4,7 artış şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek RMS değerinin %20 pirina katkılı karışımlarda elde edildiği ve dolayısıyla en yüksek nem hasarı direncinin %20 pirina katkılı karışımlarda olduğu söylenebilir. Pirina ilavesi ile RMS değerlerinin artması, pirina'nın agrega ile bitüm arasındaki bağlanma yeteneği üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu ve bu nedenle de kaplamanın nem direnci üzerinde artışa sebep olduğu ifade edilebilir.

#### 4.3. ITS ve Nem Hasarı Direnci Deney Sonuçları

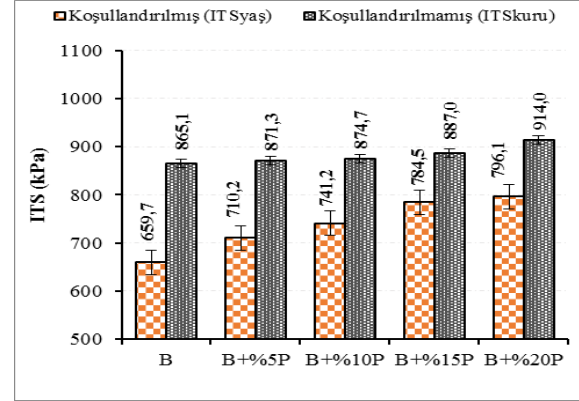
Pirina'nın BSK'nın nem direncine olan etkilerini belirlemek amacıyla, hazırlanmış olan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış katkısız ve pirina modifiyeli karışım numunelerine ITS deneyi uygulanmıştır. Belirlenen ITS değerleri Şekil 12'de, ITSR değerleri ise Şekil 13'de verilmiştir.

Şekil 12 incelendiğinde, pirina katkı oranının artışıyla koşullandırılmış ( $ITS_{\text{yaş}}$ ) karışım numunelerinin saf karışıma kıyasla çekme mukavemeti değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %20; %12,4; %19 ve %20,7 artış şeklindedir. Koşullandırılmamış ( $ITS_{\text{kuru}}$ ) karışım numunelerinin indirekt çekme mukavemet değerlerinde meydana gelen değişimler sırasıyla %14,2; %1,1; %2,5 ve %5,7 artış şeklindedir. Pirina katkı oranının artışıyla karışım numunelerinin  $ITS_{\text{yaş}}$  ve  $ITS_{\text{kuru}}$  değerlerinin artış göstermesi, trafik yüklerine maruz kalan BSK kaplamasının yük altında oluşan çekme gerilmelerine karşı direncinin arttığını göstermektedir.

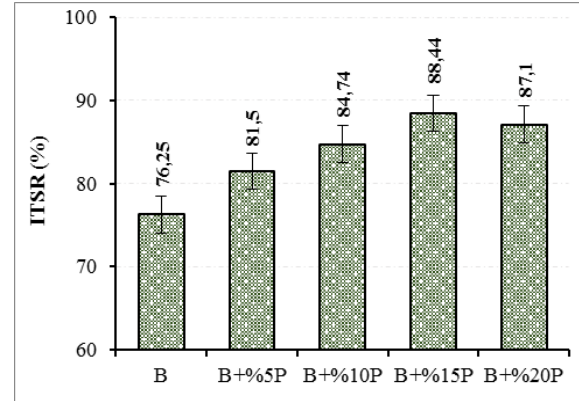
Şekil 13'de, karışım numunelerinin ITSR oranları incelendiğinde, pirina katkı oranının artışıyla indirekt çekme mukavemeti oranı değerlerinde saf karışıma kıyasla sırasıyla %5,1; %11,1; %16 ve %14,2 artış meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre, en yüksek ITSR değeri %15 pirina ilaveli karışımda görülmüştür. Pirina modifiyeli numunelerin, ITSR değerlerinin %80'den yüksek çıkması, bu karışımların nem direnci bakımından daha mukavemetli olduğunu

göstermektedir. Ayrıca, pirina ilave edilerek hazırlanan modifiye sıcak karışımların, su etkilerinden kaynaklanan bozulmalara karşı yüksek dirence sahip olacağını göstermektedir.

RMS ve ITSR sonuçları birlikte ele alındığında, pirina ilavesinin yol kaplamalarının nem direncinde iyileştirici bir etki oluşturduğu, özellikle %15 pirina ilavesinin kaplamaların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırdığı ifade edilebilir.



Şekil 12. Karışım numunelerinin ITS değerleri



Şekil 13. Karışım numunelerinin ITSR değerleri

#### 5. Sonuçlar

Çalışmada, tarımsal bir atık olan pirinanın yol kaplamalarının nem direncine olan etkisi araştırılarak aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Saf ve pirina katkılı bağlayıcıların fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde, pirina katkısıyla bağlayıcıların sertliğinin arttığı ve bitüm sınıfının değiştiği (B 100/150) görülmüştür.
2. Marshall stabilite deney sonuçlarına göre, pirina katkısı ile karışımların stabilitesinin %9,1 kadar arttığı ve en yüksek stabilite değerinin %15 pirina katkılı karışımlardan elde edildiği görülmüştür.
3. MQ sonuçlarına göre, en yüksek MQ değeri %15 pirina katkılı karışımdan elde edilmiştir ve dolayısıyla pirina katkısı kaplamanın kayma gerilmelerine karşı direncinde iyileşme sağlamıştır.
4. RMS sonuçlarına göre, pirina ilavesiyle sıcak karışımların nem etkilerine karşı direncinde önemli artış olduğu, en yüksek direncin %20



pirina ilaveli karışımlardan elde edildiği görülmüştür.

5. ITSr sonuçlarına göre, en yüksek ITSr değerinin %15 pirina ilaveli karışımdan elde edildiği ve pirina ilavesinin sıcak karışımların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırarak yol kaplamalarının nem direncini önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, tarımsal bir atık olan pirina'nın modifikasyonda kullanılmasıyla yol kaplamalarının nem direncini arttırmada iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu ifade etmek mümkündür. Bu olumlu etkisi ile birlikte, pirina'nın yol kaplamalarında kullanılmasının ülkemiz ekonomisine bir katma değer sağlayacağı ve pirina'nın çevreye vermiş olduğu zararı ortadan kaldıracığı değerlendirilmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Biriminin **İÜ-BAP FYL 2016/118** numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

### Etik Beyanı

*Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.*

### Kaynakça

- [1] 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.
- [2] Geçkil, T., Önal, Y., İnce C.B. 2020. Atık Polietilen Tereftalat (PET) ile Modifiye Edilmiş Saf Bitümün Fiziksel, Morfolojik ve Isıl Özellikleri, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32(1):157-166.
- [3] Lav, A.H., Lav, M.A. 2004. Shell Bitüm El Kitabı, 3, İstanbul, 334s.
- [4] Kök, B.V. 2007. Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 131s, Elazığ.
- [5] Kandhal, P. S. 1994. Field and laboratory investigation of stripping in asphalt pavements: State of the art report, Transportation Research Record, 1454, 36-47.
- [6] Collins, R. 1988. Status report on the use of hydrated lime in asphaltic concrete mixtures in Georgia, Georgia DOT, Materials and Research.
- [7] Aschenbrenner, T., Far, N. 1994. Influence of compaction temperature and anti-stripping treatment on the results from the Hamburg Wheel-Tracking device. Final Report, Rpt CDOT-DTDR- 94-9, Colorado Department of Transportation.
- [8] Kim, O.X., Bell, C.A., Hicks, R.G. 1995. The effect of moisture on the performance of asphalt mixtures, ASTM STP-899.
- [9] Nciri, N., Kim, N., Cho, N. 2017. New insights into the effects of styrene-butadiene-styrene polymer modifier on the structure, properties, and performance of asphalt binder: The case of AP-5 asphalt and solvent deasphalting pitch, Materials Chemistry and Physics, 193, 477-495.
- [10] Kok, B.V., Yılmaz, M. 2009. The effects of using lime and styrene-butadiene-styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt, Construction and Building Materials, 23(5), 1999-2006.
- [11] Obaid, H.A. 2015. The effect of styrene-butadiene-styrene on moisture damage resistance of asphalt mixtures, Journal of University of Babylon, 23(2), 263-270.
- [12] Ezzat, E.N., Abed, E.H. 2020. The influence of using hybrid polymers, aggregate gradation and fillers on moisture sensitivity of asphaltic mixtures, Materials today: Proceedings, 20(4), 493-498.
- [13] Geçkil, T., Önal, Y., İnce C.B. 2021. Atık PET ile modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımların nem direnci, Politeknik dergisi. (<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1049314>)
- [14] Sansoucy, R. 1985. Olive by-products for animal feed. FAO Animal Production and Health Paper 43, Rome, Italy.
- [15] Filya, İ., Hanoğlu, H., Canbolat, Ö., Sucu, E. 2006. Kurutulmuş Pirinanın Yem Değeri ve Kuzu Besisinde Kullanılma Olanakları Üzerinde Araştırmalar 2. Kuzuların Besi Performansı Üzerine Etkileri, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(1), 13-23.
- [16] Ticaret Bakanlığı. 2019. 2018 yılı zeytin ve zeytinyağı raporu, <https://ticaret.gov.tr/data/5d41e59913b87639ac9e02e8/3acedb62acea083bd15a9f1dfa551bcc.pdf> (Erişim tarihi: 17.01.2021).
- [17] Hocaoğlu, S.M., Baştürk, İ., Aydoğan, C., Haksevenler, B.H.G. 2018. Türkiye'deki Zeytinyağı İşletmelerinin 3 Fazlıdan 2 Fazlı Üretime Geçiş Durumunda Pirina Tesislerinin Yeterliliğinin CBS Destekli Analizi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32(1), 43-58.

- [18] Özer, S. 2018. Pirina Yağının Fuzel Yağı ile Esterleştirilmesi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD), 4(2), 136-143.
- [19] Gök, O., Mesutoğlu, Ö.Ç. 2018. Adsorpsiyon Kolon Sisteminde Pirina Kullanılarak Ağır Metal Giderimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(60), 1000-1009.
- [20] Kıcı, G.Ö., Saltan, M. 2020. Pirinanın bitüm modifikasyonunda kullanımının araştırılması, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(1): 1-9.
- [21] Ahmedzade, P., Şengöz, B. 2009. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete, Journal of Hazardous Materials, 165(1-3), 300-305.