

Atf İçin: Kırbaş, U., Sözen, E. ve Genç, Z. (2023). Sıcak Asfalt Karışımlarında Filler Olarak Kullanılan Farklı Kireçlerin Kaplama Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1043-1054.

To Cite: Kırbaş, U., Sözen, E. & Genç, Z. (2023). Investigation of the Effects of Lime Usage as Filler in Asphalt Mixture on Performance. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1043-1054.

Sıcak Asfalt Karışımlarında Filler Olarak Kullanılan Farklı Kireçlerin Kaplama Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Ufuk KIRBAŞ^{1*}, Eray SÖZEN², Zafer GENÇ²

Öne Çıkanlar:

- Üstyapı performansına farklı sönmüş kireçlerin etkileri

Anahtar Kelimeler:

- Kireç
- Sıcak Asfalt Karışımı
- Stabilitate

ÖZET:

Çalışmada, sıcak karışım asfaltlarda filler yerine üç farklı menşei kirecin belirli oranlarda karışımda kullanımının etkileri araştırılmıştır. Samsun ili Kavak ilçesinde bulunan ocaklardan üretilen üç farklı sönmüş toz kirecin, sıcak asfalt karışımlarında farklı oranlarda filler olarak kullanılması durumunda karışımın performans değişimleri incelenmiştir. Çalışmada sıcak karışım asfalt numuneleri, kireçsiz numunelerin yanında karışım içerisindeki filler miktarı %0.5, %1, %1.5, %2 oranlarında azaltılarak yerine aynı miktarda temin edilen üç farklı menşei kireç ilave edilerek hazırlanmıştır. Ardından, su hasarının sıcak karışım asfaltın performansına etkilerini karşılaştırmak ve araştırmak için aynı numune grubu tekrar üretilerek AASHTO T 283 standardına göre koşullandırılmıştır. Marshall stabilite ve akma değerlerine göre her iki grup numunenin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde her iki durumda da CaO ve MgO toplamının Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTS) önerilen %90 eşliğinden büyük olmasının ve SO₃'ün KTS'de önerilen %2 eşliğinden küçük olmasının üstyapı performansını artırır şekilde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Investigation of the Effects of Lime Usage as Filler in Asphalt Mixture on Performance

Highlights:

- Effects of different limes on pavement performance

Keywords:

- Lime
- Hot Mix Asphalt
- Stability

ABSTRACT:

This study investigated the effects of using lime of three different origins in the mixture in specific proportions instead of fillers in hot mix asphalts. The performance changes of the mixture were investigated when three different hydrated powdered limes produced from the quarries in the Kavak district of Samsun were used as fillers to varying rates in the hot asphalt mixtures. In the study, hot mix asphalt samples were prepared by reducing the amount of filler in the mixture by 0.5%, 1%, 1.5%, and 2%, as well as lime-free samples, by adding lime of three different origins, which were supplied in the same amount. Then, the same sample group was reproduced and conditioned according to the AASHTO T 283 standard to compare and investigate the effects of water damage on the performance of the hot mix asphalt. The results of both groups of samples were compared according to Marshall stability and flow values. In the analyses made, it has been determined that the sum of CaO and MgO is greater than the 90% threshold recommended in the Highways Technical Specification (HTS), and the SO₃ is less than the 2% threshold recommended in the HTS are effective in increasing the pavement performance in both cases.

¹ Ufuk KIRBAŞ ([Orcid ID: 0000-0002-2389-425X](https://orcid.org/0000-0002-2389-425X)), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Böl., Kurupelit kampüsü, Samsun, Türkiye

² Eray SÖZEN ([Orcid ID: 0000-0002-3614-1097](https://orcid.org/0000-0002-3614-1097)), Zafer GENÇ ([Orcid ID: 0000-0002-3590-9105](https://orcid.org/0000-0002-3590-9105)), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kurupelit kampüsü, Samsun, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ufuk KIRBAŞ, e-mail: ufuk.kirbas@omu.edu.tr

GİRİŞ

Esnek üstyapılar, yol kullanıcıları için gerekli olan sürüş konforu ve güvenliğini sağlayan, trafik yükleri, iklim vb. sebeplerden meydana gelen gerilmelere karşı yeterli dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanan çok katmanlı ulaştırma yapılarıdır. Esnek üstyapılarda asfalt tabakasının performans ve stabilitesi kullanılan malzeme ile doğrudan ilişkilidir. Esnek üstyapılarda kullanılacak olan malzemelerin özelliklerinin bilinmesi üstyapının hizmet ömrü açısından oldukça önemlidir (Tunç, 2004). Sönmüş kireç, asfalt karışımlarında soyulma önleyici katkı maddesi olarak uzun bir kullanım geçmişine sahiptir. Uygun kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı çeşitli bozulma türlerini önlemede ve istenen şekilde etkili olduğu ve ayrıca bazı avantajlara sahip olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda, sıcak asfalt karışımlarında farklı sıcaklıklarda farklı oranlarda sönmüş kireç eklenmesinin dinamik modülü %17-65 oranında arttırılabildiği tespit edilmiştir (Rasouli ve ark., 2018).

Söndürülmüş ve öğütülmüş kireç katkısı muhtelif şekillerde esnek üstyapıların karışım harcına katılan ve fillerden farklı olarak kimyasal olarak aktif olan bir maddedir. Aynı zamanda kireç asfalt elementinin polar molekülleriyle reaksiyon oluşturarak soyulma türü bozulmaların önlenmesinde etkili bir çözüm olmaktadır. Asfaltten molekülleri sönmüş kireçle girdikleri reaksiyon neticesinde suda çözünmeyen ve su ile temas kurmayan tuz kristalleri oluştururlar (Petersen ve ark., 1987; Yalçın, 2014). Yapılan çalışmalardan sıcak asfalt karışım içerisinde sönmüş kireç partiküllerinin dağılması ile karışımın rijitliğinin arttırılabildiği anlaşılmaktadır (Rasouli ve ark., 2018). Sönmüş kireç karışım içerisinde bitüm ve agrega arasındaki bağların güçlenmesine yardımcı olarak su etkilerine maruz kalınan bir ortamda dahi bu özelliğini korumaktadır. Kireç kimyasal ifadeyle güçlü bir alkali malzeme olmakla birlikte asidik ya da bazik bir ortamda nütürleştirme sağlamaya yardımcı olmaktadır. Reaksiyon sırasında kirecin bünyesinde bulunan kalsiyum agreganın yüzeyinde bulunan hidrojen, sodyum ve potasyum molekülleri ile yer değiştirme eğilimindedir. Reaksiyon sonucunda oluşan bu kalsiyum yönünden zengin olan ortam organik kökenli asidik moleküllerle tepkime oluşturarak rutubetli ortamlara karşı diğer bir deyişle yalıtılmış yüzeylerin oluşmasına vesile olurlar. Yapılan bazı çalışmalarda sıcak asfalt karışımına %1-2 oranında sönmüş kireç ilavesinin, karışımının dayanıklılığını %25-50 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Şengül, 2006; Crandall and Finke, 1961).

Üstyapılardaki iki temel geri döndürülemez bozulma türü yorulma çatlama ve kalıcı deformasyondur. Esnek üstyapılarda maruz kalınan tekrarlanan trafik yükleri ve sıcaklık dalgalanmaları kendini bir seri halinde çatlama şeklinde gösterir. Yorulma direnci üzerine yapılan çalışmalarda sönmüş kireçli asfalt karışımlarının yorulma direncinin %77'sinde performans iyileşmesi sağlandığı bilinmektedir (Şengül, 2006). Kireç katkısı asfalt karışımlarında mineral dolgu görevi görür ve asfalt bağlayıcıyı sertleştirir. Ayrıca kirecin düşük sıcaklıklarda kırılma büyümesine karşı direnci nem stabilitesini ve dayanıklılığı arttırdığına dair tespitler literatürde yer almaktadır (Rasouli ve ark., 2018). Öte yandan araştırmacılar tarafından, agrega-asfalt bağıni geliştirerek asfaltı nem etkilerine karşı daha az hassas hale getirdiği ve tekerlek izi direncini arttırdığı vurgulanmaktadır (Ogundipe, 2016; EuLA, 2010). Tekerlek izi veya kalıcı deformasyonların azaltılabilmesi için agrega ve bağlayıcı özelliklerinin bilinmesinin yanı sıra karışımın özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Kalıcı deformasyonlar yalın haliyle genellikle Marshall oranı yaklaşımı ile sayısal olarak ifade edilebilmektedirler (Turan, 2012; Gupta and Bellary, 2018).

Asfalt kaplamaların performansını nem ve sıcaklık oldukça etkilemektedir. Üstyapılarda görülen nem hasarı etkilerinin asfalt betonuna giren suyun sıyrılma etkisi ile ortaya çıktığı ve asfalt bağlayıcı ile agrega arasındaki kuvveti yok ettiği varsayılmaktadır. Bu durum üstyapıda bozulmalara neden olmaktadır (Ogundipe, 2016). Bunu önlemek için sönmüş kireç katkılı karışım kullanılması, fiziko-

kimyasal bağı arttırarak bitüm ve yüzey gerilimini azaltır ve asfalt kaplamanın performansını iyileştirmede yardımcı olmaktadır (Mohan and Obaid, 2014). Sürekli nem koşullarına ve yoğun trafik yüküne maruz kalan bitümlü sıcak karışımlar (BSK) genellikle bu nedenlerden dolayı hızlı bozulmaktadırlar. Asfalt karışımlarında sönmüş kireç kullanımı, nem hasarını önlemek ve azaltmak için oldukça etkili bir yöntemdir. Söndürülmüş kireç içeren karışımlar üzerinde yapılan araştırmalarda, geleneksel karışıma oranla %20 ila %25'e kadar daha fazla dayanım elde edilebildiği ispatlanmıştır (Kavussi and Bakhtiari, 2014; Iwański and Mazurek, 2013). BSK kaplamalarda filler yerine kireç katkısı kullanılan ve sonuç değer üzerindeki kazanım oranları incelenen bazı çalışmalar Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Sıcak asfalt performansını sönmüş kireç ilavesi açısından değerlendiren bazı çalışmalar

Yazar	Kullandığı Kireç Oranı (%)	Performans Göstergesi	Ortalama Performans Artışı (%)
Kavussi vd., 2014	0-1-1.5-2	Stabilite, indirekt çekme dayanımı, Nem hasarı ve yüksek sıcaklık	66
Yalçın, 2014	2	Nem hasarı, indirekt çekme rijitlik modülü, tekerlek izi, indirekt çekme yorulma	87
Turan, 2012	2-4	Polimer modifiye bitüm katkısı (SBS) ve Marshall Oranı	14
Şengül, 2006	2-4-6	Nem hasarı, Marshall oranı, tekerlek izi	48
Rasouli vd., 2018	1-1.5-2	Dört noktalı eğilme yorulma	35
Ogundipe, 2016	10	Marshall stabilite ve akma	5
Mohan vd., 2014	0-0.5-1-1.5-2-2.5	İndirekt çekme, Marshall stabilite, çekme mukavemeti	30
Gupta vd., 2018	1-2	İndirekt çekme ve çekme mukavemeti	10
Bouron vd., 2021	0-0.5-1.5	Uzun dönem karşılaştırma, İndirekt çekme ve çekme mukavemeti	42
Wei vd., 2022	0-2.5	Farklı iklim senaryolarında yorulma ömrü	13

Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere, literatürde çok sayıda çalışmada kirecin kaplama performansını arttırdığı bilgisi yer almaktadır. Bunun yanında, farklı kireçlerin performans üzerindeki etkilerinin karşılaştırıldığı çalışmaların literatürde eksikliği açıkça görülmektedir. Çalışmada, bu eksikliğe katkı sağlamak amacıyla, sıcak asfalt karışımlarına filler malzemesi azaltılarak yerine aynı oranda (%0.5, %1, %1.5, %2) üç farklı kökene sahip kireç katılması hedeflenmiştir. Bu yöntemle üretilen sıcak asfalt karışımları su hasarlarını betimleyen şekilde koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numuneler üretilmiştir. Üretilen ve koşullandırılan numunelere ASTM D6927-15 standardına göre performans testleri uygulanmış ve Marshall oranı (stabilite/akma) değeri üzerinden sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışmada, farklı kireç katkısı türlerinin performans üzerindeki etkisinin daha net anlaşılması için performansının en yüksek olması beklenen aşınma tabakası tasarımı dikkate alınarak deneysel karşılaştırmalar yapılmıştır. Üretilen numunelerde agrega gradasyonu olarak Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) detaylıca açıklanan Tip 1 sınır değerleri kabul edilmiştir.

Kireç yol zemin inşaatlarında ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanda kullanılmaktadır. Yüzey alanı sönmüş kirecin en önemli özelliğidir. Yüzey alanı kireçlerin aktivite tayini açısından en güvenilir ölçülerden birisidir. Kirecin m^2/g cinsinden ölçülen alanı ne kadar büyükse aktivitesi de o kadar fazla olmaktadır. Yüzey alanı büyük olan kirecin çökme hızı, plastisite, emme kapasitesi vb. fiziksel özellikleri oldukça iyidir. (Kılıç ve Anıl, 2006).

Sıcak karışım asfaltın aşınma tabakası için fillerin literatürde yer alan çalışmaların ışığında ve KTŞ'nin soyulma önleyici olarak kullanılması durumunda tavsiye ettiği aralıkları dikkate alarak seçilen %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında azaltılması ve aynı oranda Samsun ili Kavak ilçesinde

üretilmiş olan üç ayrı marka (A, K, D) kirecin eklenmesiyle ayrı ayrı numuneler hazırlanmıştır. Böylece azaltılan oranda eklenen kireç katkıları arasında oluşacak performans farklarının ve geleneksel sıcak karışım asfalta kireç katkısının etkileri incelenmiştir.

Agrega

Çalışmada kullanılan agrega, Samsun ili Kavak ilçesinden temin edilmiştir. TİP-1 aşınma tabakası için kullanılan agreganın gradasyonu Çizelge 2’de yer almaktadır. Sıcak asfalt karışımı için kullanılacak olan agrega üzerinde Los Angeles aşınma deneyi, tane yoğunluğu ve su emme tayini deneyleri yapılmıştır. Agreganın elek analizi TS EN 1097/1367/933’e göre yapılmıştır. Karışımda kullanılan agreganın özellikleri ve özellikleri belirlemede kullanılan standartlar Çizelge 3’de özetlenmiştir.

Çizelge 2. Sıcak asfalt karışımında kullanılan agreganın gradasyon değerleri

Elek Boyu Mm (in, No)	Karışım Yüzde Geçen	KTŞ TİP-1 Aşınma Tabakası Limitleri
19 (3/4")	100	100
12.5 (1/2")	94	88-100
9.5 (3/8")	81	72-90
6.0 (1/4")	-	-
4.75 (No.4)	47	42-52
2.00 (No.10)	30	25-35
0.425 (No.40)	15	10-20
0.180 (No.80)	10.5	7-14
0.075 (No.200)	5.5	3-8

Çizelge 3. Sıcak asfalt karışımında kullanılan agreganın özellikleri

Agrega Özellikleri	Kullanılan Standart	Değer	KTŞ Aşınma Tabakası Limitleri
Yassılık İndeksi	EN 933-3	FI ₁₅	FI ₂₀ (≤20)
Parçalanma Kırılma Direnci	EN 1907-2	LA ₂₄	LA ₂₇ (≤27)
Donma/Çözünme Direnci	EN 1367-2	MS ₁₈	MS ₁₈
Su Emme Oranı (Kaba)	EN 1097-6	%0.33	WA ₂₄ (≤2.0)
Su Emme Oranı (İnce)	EN 1097-6	%0.44	WA ₂₄ (≤2.0)
Görünür Tane Yoğunluğu (Kaba) (t/m ³)	EN 1097-6	2.720	-
Görünür Tane Yoğunluğu (İnce) (t/m ³)	EN 1097-6	2.695	-
Görünür Tane Yoğunluğu (Filler) (t/m ³)	EN 1097-6	2.726	-

Bitüm

Çalışmada kullanılan bitüm Samsun Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü Bitüm Depo Şefliği’nden temin edilmiştir. Kullanılan bitümün kıvamlılığı 50/70 penetrasyondur. Laboratuvar ortamında kullanılacak bitümün özelliklerinin tayini için TS’ye göre özgül ağırlık tayini, penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır. Kullanılan bitüm bağlayıcının özellikleri Çizelge 4’de görülmektedir.

Çizelge 4. Bitüm bağlayıcının (50/70 penetrasyonlu) özellikleri

Deney	Sınır	Standart	Birim	Değer	KTŞ Limitleri
Özgül Ağırlık		TS EN 1536+A1	g/cm ³	1.0222	-
Yumuşama Noktası		TS EN 1427	°C	49.5	43-51
Penetrasyon		TS EN 1426	0.1 mm	53	50-70
Parlama Noktası	En az	TS EN ISO 2592	°C	230	230

Sönmüş Kireç

Uygun fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle özellikle asfalt kaplamaların aşınma tabakasında oluşan bozulmaları geciktirmesi ve performansı olumlu yönde arttırması için sıcak asfalt karışımına eklenecek olan kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5’de yer almaktadır.

Çizelge 5. A, K ve D marka kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Analiz Değerleri	A Marka (%)	K Marka (%)	D Marka (%)
Kimyasal	Ca(OH) ₂	≥ 84	≥ 80	≥ 82
	Toplam CaO + MgO	≥ 87	≥ 85	≥ 95
	MgO	1-3	≤ 2	≤ 1
	SO ₃	≤ 0.90	≤ 2	≤ 1
Fiziksel	200 no'lu (Elek üstü)	≤ 0.3	≤ 2	≤ 2
	90 no'lu (Elek üstü)	≤ 1.3	≤ 4	≤ 6
	Birim Hacim Kütlesi (kg/dm ³)	≤ 0.53	≤ 0.6	≤ 0.6

Marshall Tasarımı ve Koşullandırma

Çalışmada gradasyonu belirli bir agregaya konulacak bitümün optimum miktarının belirlenmesinde Marshall tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca Marshall, farklı karışım tasarımlarının ve koşullandırma etkilerinin (su hasarı vb.) göreceli olarak değerlendirilmesinde de kullanılabilir (ASTM, 2006).

Literatürdeki çok sayıda çalışmada kirecin karışıma etkisini belirlemek için sonuçların daha belirgin hale gelmesi adına bazalt kökenli agregaya kullandığı bilinmektedir. Bununla beraber ülkemizde çok sayıda bölgede (Örneğin Orta Karadeniz bölgesi) bazalt kökenli agregayı temin ederek yol üstü yapısı imalatı yapmak ekonomiklikten çok uzaktır. Bölgenin genel jeolojik yapısı sıklıkla agregaya ocağı olarak kireç taşı ocaklarında üretim yapmayı zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde herhangi bir bölgede üretilen agreganın zorunlu ekonomik nedenlerle kireç taşı kökenli agregaya olarak kullanılması durumunda sönmüş kirecin karışım performansına etkisini belirlemek, uygulamada görev alan mühendisler karar verme noktasında bir ışık tutacağı öngörülerek çalışmada kireç taşı kökenli agregaya kullanılmıştır.

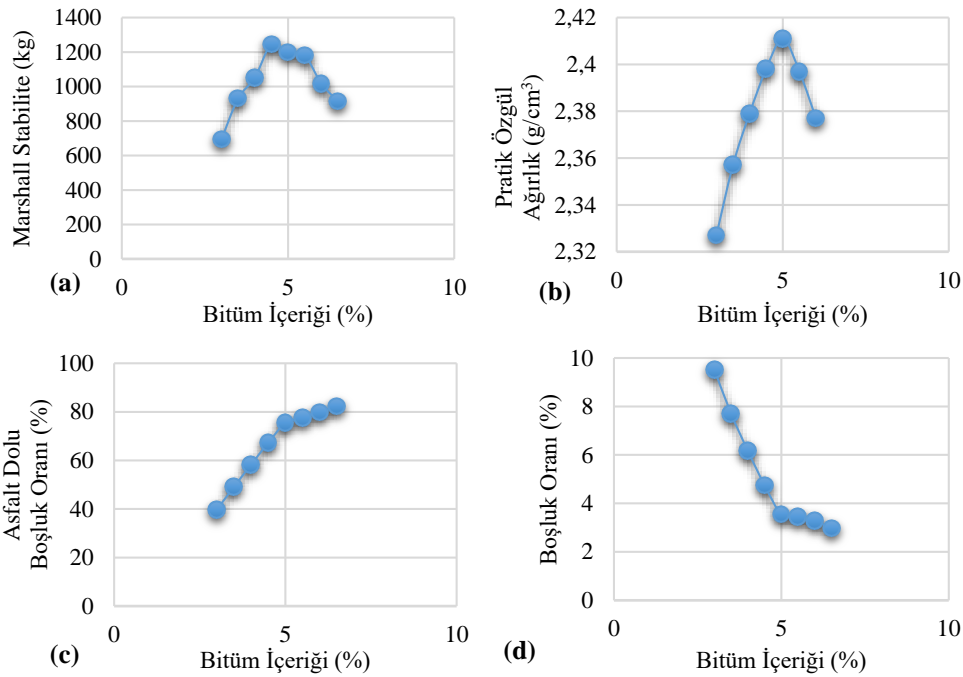
DeneySEL çalışmalara KTŞ'de aşınma tabakası için önerilen Tip 1 agregaya gradasyonuna uygun kireç kökenli agreganın ihtiyaç duyduğu optimum bitüm muhtevası belirlenerek başlanmıştır (ASTM, 2006). Agregaya karışımına yüze %3, %3.5, %4, %4.5, %5, %5.5, %6, %6.5 şeklinde oranlarında bitüm katmak suretiyle her bir bitüm yüzdesi için 3'er adet olmak üzere toplamda 24 adet briket üretilmiştir. Akabinde numunelerin standardın tavsiye ettiği şekilde boşluk oranları, stabilite ve akma değerleri okunmuştur. DeneySEL çalışmayı yansıtan görseller Şekil 1'de sunulmaktadır.

Farklı bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelerin Şekil 2'de verilen grafikleri çizildikten sonra maksimum stabilite değerini veren bitüm yüzdesi, maksimum birim hacim ağırlığı veren bitüm yüzdesi, bitüm ile dolu agregaya boşluğunun %65-75 olduğu bitüm yüzdesi ve %4 boşluk yüzdesini sağlayan bitüm yüzdesi değerlerinin ortalaması alınarak sıcak asfalt karışımında kullanılacak olan optimum bitüm oranı belirlenmiştir (Umar ve Açar, 1991). Farklı bitüm yüzdelerinde yapılan bu hesaplamalar ile sıcak asfalt karışımı için optimum bitüm oranı yüzde 4.8 olarak bulunmuştur.

Marshall stabilitesi ile optimum bitüm oranının elde edilmesinin ardından koşullandırma için optimum bitüm oranı kullanılarak 3 adet kireç katkısız ve %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında her bir marka (A, K, D) kireç için üçer adet olmak üzere 24 adet briket daha üretilmiştir. Çizelge 6'da kireçsiz, kireçli koşullandırılmamış ve koşullandırılmış tüm numunelerin ortalama tartım, yoğunluk ve boşluk değerleri yer almaktadır.



Şekil 1. Marshall stabilite deney aleti (a) ve briketler (b)



Şekil 2. Marshall stabilite (a), pratik özgül ağırlık (b), asfaltla dolu boşluk oranı (c) ve boşluk oranı-bitüm ilişkisi (d)

Çizelge 6. Kireçsiz, koşullandırılmamış ve koşullandırılmış numunelerin ortalama tartım, yoğunluk ve boşluk değerleri

Numune Türü	D_p (gr/cm ³)	D_t (gr/cm ³)	V_h (%)	VMA (%)	V_f (%)
Kireçsiz	2.419	2.507	3.51	14.01	74.9
A	2.417	2.507	3.59	14.08	74.5
A*	2.425	2.507	3.28	13.80	76.2
K	2.409	2.507	3.91	14.36	72.8
K*	2.410	2.507	3.88	14.33	72.9
D	2.391	2.507	4.63	15.00	69.2
D*	2.414	2.507	3.69	14.16	74.0

* Koşullandırılmış numune

Karışımların performansına su hasarının etkisinin belirlenmesi amacıyla AASHTO T 283 standardında açıklandığı şekliyle üç farklı menşeli kireç ile hazırlanan karışımlar su hasarını betimlediği varsayılan koşullamaya tabi tutulmuştur. Literatürdeki çalışmalarda su hasarı verilen numunelerin arasındaki farkları daha açık görebilmek amacıyla koşullandırma sonrasında numunelere performans açısından daha zayıf oldukları dolaylı çekme testi uygulandığı bilinmektedir. Bununla

beraber, bu çalışmada yol üstü yapısı kaplama tabakaları gibi plak tabakaların daha çok maruz kaldığı basınca karşı performans değişimleri değerlendirilerek analizlerde göreceli olarak farkların daha az olduğu ama birçok bozulma türünün mekanizmasını temsil edebilen parametreler tercih edilmiştir. Karışımda filler yerine dört farklı oranda kireç ilavesi ile oluşturulan koşullandırılmamış ve su hasarını belirlemek için koşullandırılmış numuneler Marshall stabilite cihazında kırılarak stabilite ve akma değerleri okunmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada üretilen numunelerin yapısal dayanımları Marshall stabilite ve akma testi aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bilindiği üzere, Marshall stabilitesi değerinin bitümlü malzemelerin burulma, yer değiştirme, tekerlek izi ve kayma gerilmelerine karşı mekanik direncini betimleyebildiği varsayılmaktadır (Tunç, 2004). Stabilite esas olarak iç sürtünme ve kohezyondan elde edilmektedir. Bu ifadede iç sürtünme, agregaların birbirine kenetlenme ve sürtünme direncini temsil etmektedir. Kohezyon ise bağlayıcı olarak kullanılan bitümün yapış(tır)ma kuvvetini ifade etmektedir. Çalışmada dikkate alınan farklı kireç katkılarının teorik olarak gradasyonda agregalar arasında kenetlenmeyi arttırıcı etki sağlaması beklendiğinden dolayı başarımlı değerlendirilmede Marshall stabilite deneyinin belirleyici bir analiz olduğu açıktır.

Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucu elde edilen sonuçlar koşullandırılmamış durum için Çizelge 7’de ve koşullandırılmış durum için Çizelge 8’de gösterilmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde kireç katkılı tüm numunelerde kireç oranı arttıkça akma miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere kireç katkısı ile sıkışan karışımın agrega kenetlenmesinde artış meydana gelmektedir. A ve D kireç katkılarında kireç oranının artışı ile stabilite ve akma değerlerinde çok önemli değişimler olmamaktadır. Fakat koşullandırılmamış durumda K kireci için stabilite ve akma değeri kireç oranı arttıkça daha da düştüğünden dolayı karışıma olumlu katkısının bulunmadığı görülmektedir. Kireç katkılı ve katkısız numunelerin stabilite değerleri karşılaştırıldığında K kirecinde tüm kireç oranlarında kireçsiz numuneye göre stabilite ve akma değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Öte yandan, D kireç katkılı briketlerde kireç oranı arttıkça Marshall stabilite değerinin arttığı ve plastik akma direncinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Çizelge 7. Koşullandırılmamış A, K ve D kireçli ve kireçsiz numunelerin ortalama stabilite ve akma değerleri

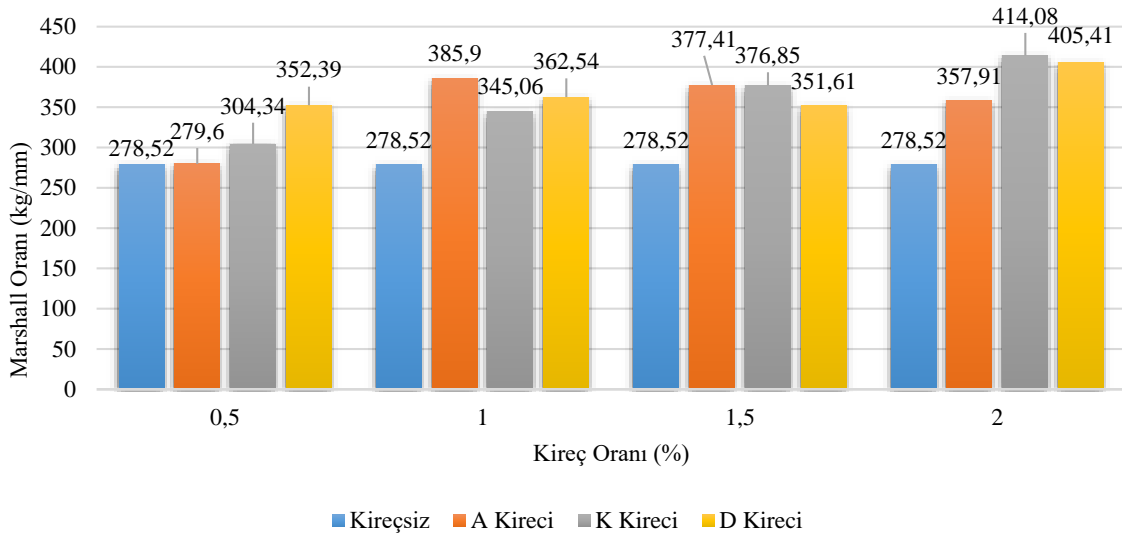
Kireç Oranı (%)	A Kireci		K Kireci		D Kireci	
	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
Kireçsiz	1245	4.47	1245	4.47	1245	4.47
0.5	1247	4.46	1193	3.92	1251	3.55
1	1204	3.12	1118	3.24	1258	3.47
1.5	1253	3.32	1172	3.11	1308	3.72
2	1199	3.35	1176	2.84	1350	3.33

Çizelge 8’de yer alan koşullandırılmış kireçli ve kireçsiz numunelerin stabilite değerleri karşılaştırıldığında ise en yüksek stabilite değerini %1.5 oranında A kirecinde olduğunu görülmektedir. Benzer şekilde D kirecinin de %0.5 oranında sıcak karışıma eklenmesinin stabilizeyi arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca sıcak asfalt karışımına düşük oranlarda A kireci ilavesinin akma değerini düşürdüğü dolayısıyla içsel sürtünmeyi arttırdığı tespit edilmiştir. Koşullandırılmamış ve koşullandırılmış numunelerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma) değerleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’de görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4’e bakıldığında özellikle %0.5 oranında A kireci içeren numunelerin koşullandırma sonra Marshall oranında diğer yüzde oranındaki kireçli numunelere göre %52.1’lik bir artış ile basınç dayanımının yükselmesi bakımından en yüksek değeri vermiştir.

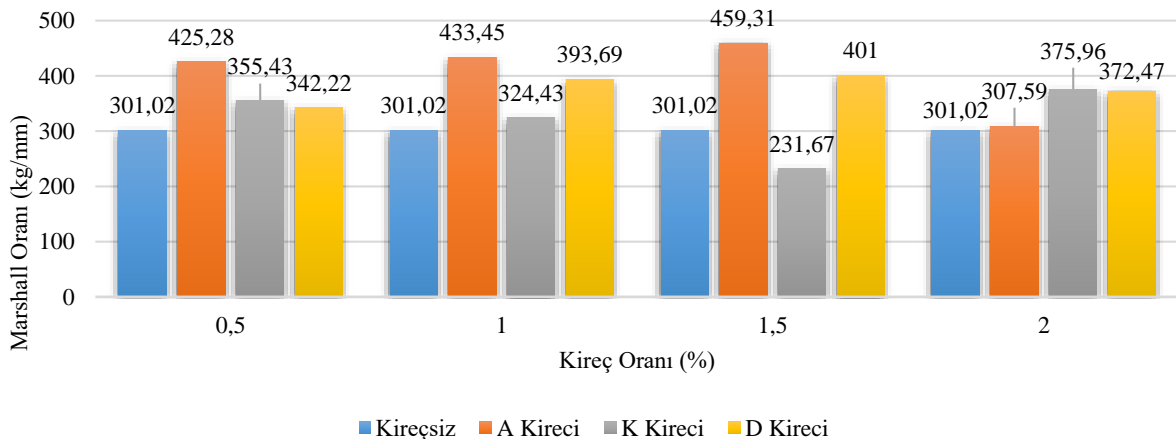
Çizelge 8. Koşullandırılmış A, K ve D kireçli ve kireçsiz numunelerin ortalama stabilite ve akma değerleri

Kireç Oranı (%)	A Kireci		K Kireci		D Kireci	
	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
Kireçsiz	1186	3.94	1186	3.94	1186	3.94
0.5	1127	2.65	1244	3.50	1297	3.79
1	1257	2.90	1142	3.52	1185	3.01
1.5	1332	2.90	1251	5.40	1207	3.01
2	1175	3.82	1267	3.37	1177	3.16

Akma değerlerin bakıldığında ise D kirecinin %1 ve %1.5 oranlarında yaklaşık %20-23 mertebesinde düşüş tespit edilmiştir. Buradan anlaşılacağı gibi D kirecinin filler yerine %1 ve %1.5 oranının da sıcak asfalt karışımına ilavesinin ardından koşullandırmaya maruz kalması D kirecinin Marshall oranını (stabilite/akma) Şekil 3 ve Şekil 4’de görüldüğü gibi arttırmıştır. Bu da basınca daha dayanıklı bir asfalt karışımı elde edildiğini göstermektedir. Buradan anlaşılacağı gibi sıcak asfalt karışımına düşük oranlarda A kirecinin ilave edilmesi koşullandırma sonrası performansı artırırken D kirecinde ise yüksek oranlarda ilave edilmesi ile asfalt performansının arttığı tespit edilmiştir.

**Şekil 3.** Koşullandırılmamış Numunelerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma)

Son olarak %1.5 oranında K kireci ilavesinin koşullandırma sonrası Marshall oranı bakımından %38.5’lik düşüşü diğer marka ve kireç oranlarına göre en yüksek basınç dayanımı kaybını gösterdiği yine Şekil 3 ve Şekil 4’den anlaşılmaktadır.

**Şekil 4.** Koşullandırılmış Numunelerin Marshall Oranı (Stabilite/Akma)

Tüm %2 kireçli numunelerde koşullandırma öncesi ve sonrası Marshall oranlarına bakıldığında A kireci için %16.36, K kireci için %10.14 ve D kireci için %8.84'lük performans kaybı görülmektedir. Ayrıca kirecsiz, koşullandırılmamış ve koşullandırılmış kireçli numunelerin Marshall oranları Şekil 3 ve Şekil 4'de karşılaştırıldığında sıcak asfalt karışımına sönmüş toz kireç ilavesinin asfalt karışımının basınç dayanımını ve performansını ortalama % 4 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan sıcak asfalt karışımlar üzerinde her kireç katkısının aynı fiziksel performans etkilerini ortaya çıkarmadığı açıkça görülmektedir. Kirecsiz ve artan oranlarda kireç katkıları değişimi sırasıyla Marshall oranı değerleri incelendiğinde A kireci kullanımında kireç katkısı ile koşullandırılmamış durumda tüm kireç katkı oranlarında ortalama performans artışı %25.7 olurken, koşullandırılmış durumda ise bu oran %45.9'a yükselmektedir. K kireci kullanımında bu değişim koşullandırılmamış durumda %29.3 olurken, koşullandırılmış durumda %15.6 olmaktadır. D kireci kullanımında ise kireç katkısı ile performans artışı koşullandırılmamış durumda %32.1 olurken koşullandırılmış durumda %35.5 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değişimler Çizelge 9'da görülmektedir. Çizelge 9 incelendiğinde A kirecinin koşullandırılmış durumda performansı daha başarılı olarak arttırdığı, K kirecinin ise koşullandırılmamış durumda performansı daha başarılı olarak arttırdığı görülmektedir. Buna karşın D kirecinin ise koşullandırılmış ve koşullandırılmamış her iki durumda benzer etkileri ortaya çıkardığı görülmektedir.

Çizelge 9. Kireç katkısı artışı (%0.5 - %2 aralığında) ile Marshall oranı performans artışları

	Koşullandırılmamış durum	Koşullandırılmış durum
A Kireci	% 25.7	% 45.9
K Kireci	% 29.3	% 15.6
D Kireci	% 32.1	% 35.5

Bununla beraber deneyimlerden kireç markalarının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bu değişimler üzerinde etkili olabileceği anlaşılmaktadır. Buna istinaden kullanılan kireçlerin fiziksel ve kimyasal yapısını dikkate alarak sonuçlar irdelenmiştir. Su hasarını betimler şeklinde koşullandırılmış durumda kullanılan kirecin kimyasal özelliklerden minimum $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oranının yüksek oluşunun ve maksimum SO_3 oranının düşük oluşunun performansı artırır şekilde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan kirecin fiziksel özelliklerinden 200 no'lu, ve 90 no'lu elek üstü malzeme oranının az olmasının ve birim hacim kütesinin göreceli olarak küçük olmasının koşullandırılmış durumda üstyapı performansını artırır yönde etki ettiği görülmektedir. Yapılan analizlerde her iki durumda da CaO ve MgO toplamının Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) önerilen %90 eşiğinden büyük olmasının ve SO_3 'ün KTŞ'de önerilen %2 eşiğinden küçük olmasının üstyapı performansını artırır şekilde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma literatürde daha önceden yer alan çalışmalar ile karşılıklı olarak da değerlendirilmiştir. Kavussi ve Bakhtiari (2014) tek bir kireç katkısı ile yaptıkları çalışmalarında %1, %1.5 ve %2 kireç oranlarını değerlendirdikleri ve Marshall oranı değişimine göre kireç katkısı ile ortalama %22 performans artışı sağlandığı anlaşılmaktadır. Yalçın (2014) çalışmasında %2 oranında yine tek bir kireç katkısı ile yaptığı değerlendirmede, muhtelif modifiye bitüm kıyaslamaları yaptığında Marshall oranında %16 civarında performans artışları olduğunu kayda geçirmiştir. Turan (2012) çalışmasında modifiyesiz ve SBS modifiyeli bitümleri kullanarak %2 ve %4 oranlarında tek bir kireç katkısı ile Marshall oranı değişimlerini değerlendirmiştir. 100 ve 150 mm çaplı standart numunelerde değişim dikkate alındığında %4 kireç katkısı ve SBS modifiyeli bitüm kullanımında ortalama % 25 oranında iyileştirmenin sağlandığı saptanmıştır. Yapılan bu çalışma ile örtüşmesi açısından Marshall oranı parametresi açısından kıyaslama yapıldığında kireç katkısının literatürde yer alan çalışmalara benzer oranlarda iyileştirme sağladığı diğer bir deyişle Marshall oranı parametresinin literatür ile örtüştüğü

söylenilmektedir. Bu çalışmanın literatüre kattığı yenilik, benzer coğrafyada temin edilen hammadde ile üretilmesine rağmen farklı deneysel karakteristiklere sahip kireçlerin, asfaltın basınç dayanımı üzerinde farklılıklara sebep olduğunu gerçeğini vurgulamaktır. Bu literatür karşılaştırmasında vurgulanan iyileştirme değerleri Marshall oranı parametresi açısından değerlendirilmiştir. Öte yandan Çizelge 1’de verilen başarımların değerleri tüm performans değişimlerini dikkate alarak belirlenen ortalama iyileştirmeleri yansıtmaktadır. Okuyucuların bu farkı dikkate alarak değerlendirme yapması anlamlı olacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada geleneksel sıcak asfalt karışımlarına Samsun ili Kavak ilçesinde üretilen ve fabrikalardan temin edilen üç farklı sönmüş toz kireç katkısının Marshall stabilitesine göre basınç yönünden performans değişimleri irdelenmiştir. Sıcak asfalt karışımları temsil eden numunelerin üretiminde kireç katkısız, A, K ve D kodları ile adlandırdığımız kireçlerin aynı oranlarda katılması ile oluşturulan iki grup briket hazırlanmıştır. Bir grup numuneye iklimi temsilen suyun üstyapıda oluşturduğu hasarı betimleyen AASHTO T283 standardına uygun koşullandırma uygulanmıştır. Bunun neticesinde geleneksel sıcak asfalt karışımını temsilen kireç katkısız numuneler, koşullandırılmamış kireç katkılı numuneler ve koşullandırılmış kireç katkılı numunelerin basınç dayanımını dikkate alan performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Koşullandırılmamış ve koşullandırılmış kireç katkılı ve kireç katkısız numunelerin Marshall oranı (stabilite/akma) yönünden değerlendirmeleri yapılmıştır. Değerlendirmelerde koşullandırılmamış kireç katkılı numunelerden %2 oranında K kireci içeren numunelerin sıcak asfalt karışımının performansını olumlu yönde artırdığı tespit edilmiştir. Öte yandan, üstyapılarda iklim etkilerini temsilen yapılan koşullandırılmış numunelerin Marshall oranlarına bakıldığında A kirecinin %0.5-1-1.5 oranlarında asfalt kaplama performansını olumlu yönde artırdığı gözlemlenmiştir. Buradan anlaşıldığı gibi koşullandırmanın kirecin karakteristiğine bağlı olarak farklı davranış sergilediği ve kireç türleri arasında Marshall oranında değişime neden olduğunu belirlenmiştir. %2 ve üzeri kireç katkılı numunelerde kireçsiz numunelere göre basınç dayanımında artış gözlemlenmesine rağmen bu artışların koşullandırma sonrası kazançtan kayıp olacak şekilde düştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Üstyapı performansının gözle görülür değerlendirmesi bakımından aşınma tabakasının mevcut durumu oldukça önemlidir. Aşınma tabakasında dış koşullar nedeniyle oluşan bozulmalar üstyapının ileri dönemlerdeki performansını etkilemektedir. Çalışmanın geneline bakıldığında sıcak asfalt karışımlarında filler yerine aynı oranda sönmüş toz kirecin ilavesinin asfaltın ilk yapım ve sonraki aşamaları için basınç dayanımı ve performansı olumlu yönde artırdığı gözlemlenirken kullanılan kirecin menşesinin bu performans değişimi üzerinde belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında kireç katkılı sıcak asfalt karışımlarında agrega türü değiştirilerek ve bitüm modifikasyonu yapılarak farklı çalışmaların yapılabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne PYO.MUH.1906.17.011 kodlu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar Ondokuz Mayıs Üniversitesi’ne teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- ASTM D6927-15. (2006). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures. Annual Book of ASTM Standards. USA.
- Bouron, S., Hammoum, F., Ruat, H., Metais, P., Lisueur, D. (2021). Improving the durability of asphalt mixtures with hydrated lime: Field results from highway A84, *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00551.
- Crandall, R.C. and Finke, F.L., (1961). *A Report On Hydrated Lime For Use In Experimental Hot-Mix Asphaltic Concrete*. USA:Department of Texas Highways Press.
- EuLA, (2010). *Hydrated Lime: A Proven Additive for Durable Asphalt Pavements*. European Lime Association. Report to the European Lime Association.
- Gençtürk, G. (2011). *Sönmüş kireç ile çimento ve Pr Plast kullanımının asfalt kaplamaların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Gupta, L. and Bellary, A. (2018). Comparative study on the behavior of bituminous concrete mix and warm mix asphalt prepared using lime and zycotherm as additive. *MaterialsToday: Proceedings*, 5, 2074-2081.
- Iwański, M. and Mazurek, G. (2013). Hydrated lime as the anti-aging bitumen agent. *Procedia Engineering*, 57, 424-432.
- Kavussi, A. and Bakhtiari, J. (2014). Application of different testing methods for evaluating effects of hydrated lime in bituminous mixes. *Procedia Engineering*, 77, 148-154.
- Kılıç, Ö., Anıl, M. (2006). Kireç Söndürme Şartlarının Söndürülmüş Kireç Kalitesine Etkisi. *Madencilik*, 45 (1), 15-22.
- Mohan, H. M. and Obaid, H. A. (2014). Laboratory Examination for the effect of adding hydrated lime on the moisture damage resistance of asphalt concrete mixtures. *Kufa Journal of Engineering*, 5(2), 1-12.
- Ogundipe, O. M. (2016). Marshall stability and flow of lime-modified asphalt concrete. *Transportation Research Procedia*, 14, 685-693.
- Petersen, J.C., Plancher, H. ve Harnsbergen, P.M., (1987). Lime Treatment of Asphalt to Reduce Age Hardening and Improve Flow Properties, *TRB Annual Meeting Proceedings*, 56, 632-653.
- Rasouli, A., Kavussi A., Qazizadeh, M. J. and Taghikhani, A. H. (2018). Evaluating the effect of laboratory aging on fatigue behavior of asphalt mixtures containing hydrated lime. *Construction and Building Materials*, 164, 655-662.
- Şengül, C.E. (2006). *Asfalt kaplamalarda tekerlek izinde oturma ve su hasarı problemlerinin azaltılması için sönmüş kireç kullanımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- TS EN 933-3. (2012). Agregaların deneyleri için deneyler – Bölüm 3: Tane şekli – Yassılık oluşturma. TK17: Maden Teknik Komitesi. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-4. (2009). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler – Bölüm 1: Tane şeklinin tayini – Şekil indisi. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-2. (2000). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar. Maden İhtisas Grubu. Türk Standartları Enstitüsü.

- TS EN 1097-6. (2002). Agregaların mekanik ve eksik özellikleri için deneyler bölüm 6: Taneleri ve su emme öğretim tayini. Maden İhtisas Grubu. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1367-2. (1999). Agregaların termal ve bozulma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum yolculuk deneyi. Maden İhtisas Grubu. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1426. (2008). Bitüm Bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1427. (2008). Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN ISO 2592. (2006). Petrol ürünleri-Parlama ve yanma noktası tayini-Cleveland açık kap metodu. Teknik Kurul. Türk Standartları Enstitüsü.
- Tunç, A. (2004). *Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı*. Ankara:Asil Yayın Dağıtım Limited Şirketi.
- Turan, M. A. (2012). *SBS ve sönmüş kireç katkılı sıcak asfalt karışımlarda tekerlek izi direncinin ve Marshall oranı yaklaşımı ile değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Umar, F. ve Açar, E., (1991). *Yol Üstyapısı*. İstanbul:İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Wei, Q., Ashaibi, A.A., Wang, Y., Albayati, A., (2022). Experimental study of temperature effect on the mechanical tensile fatigue of hydrated lime modified asphalt concrete and case application for the analysis of climatic effect on constructed pavement. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01622.
- Yalçın, E. (2014). *Filler olarak kireç kullanımının modifiye bitümlerle hazırlanan karışımların performansına etkisinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>