



## Asfalt karışımların termal iletkenliklerinin değerlendirilmesi Evaluation of the thermal conductivities of asphalt mixtures

Nurgül Şirin<sup>1</sup> , Erol İskender<sup>2,\*</sup> , Atakan Aksoy<sup>3</sup> , Mustafa Taha Aslan<sup>4</sup> ,  
Cansu İskender<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61830, Trabzon, Türkiye

<sup>3,4</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

<sup>5</sup> Avrasya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61010, Trabzon, Türkiye

### Öz

Makalede asfalt karışımların termal iletkenlikleri agrega cinsi, agrega gradasyonu, maksimum agrega boyutu, karışım türü ve yaygın kullanılan asfalt katkı maddelerine bağlı olarak araştırılmıştır. Bazalt ve kireç taşı agregası kullanılarak 19 mm ve 12.5 mm maksimum boyutlu agregalarla farklı gradasyonlarda yoğun gradasyonlu ve kesikli gradasyonlu karışım tasarımları yapılmıştır. Bazalt ve kireç taşı agregaları kullanılarak kontrol (K) bitümlü karışımlara ilave olarak kauçuk (R), selülozik elyaf (SE), Stiren-Bütadien-Stiren (SBS), Styrene Isoprene Styrene (SIS), Elvaloy (E), Stiren-Etilen-Butilen-Stiren (SEBS), poliolefin elastomer (PE) ve nanokil (NC) modifiye asfalt karışımlar üretilmiştir. Karışımların termal iletkenliklerinin agrega gradasyonundan önemli ölçüde etkilendiği, ince agrega oranının artmasının karışımın termal iletkenliğini artırdığı, yoğun gradasyonlu karışımların termal iletkenliğinin taş mastik asfaltlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Maksimum agrega boyutunun etkisi oluşturulan gradasyonlarda açık olarak anlaşılamamıştır. Kullanılan katkı maddelerinin tamamı termal iletkenliği azaltmış, en yüksek azalma SE ve R modifiye karışımlarda görülmüştür. Bazalt agregası yerine kireç taşı agregası kullanılan karışımların termal iletkenlikleri azalmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Termal iletkenlik, Selüloz elyaf, Polimer, Kauçuk, Nanokil, Agrega gradasyonu, Agrega türü, Maksimum agrega boyutu

### 1 Giriş

Asfalt karışımlar, agrega, bitüm ve katkı maddelerinden oluşan, sıkıştırıldıklarında içerisinde bir miktar hava boşluğu kalan heterojen karışımlardır. Karışımı oluşturan bileşenlerden bitümün viskoelastik ve aynı zamanda termoplastik doğasından dolayı asfalt kaplamaların mekanik özellikleri sıcaklık değişimlerinden önemli derecede etkilenmektedir. Asfalt betonunun termal özelliklerinin asfalt kaplama yapısındaki sıcaklık dağılımı üzerinde ve dolayısıyla kaplama ömrü üzerinde önemli etkisi vardır [1].

Kaplama yüzey sıcaklığı çevre ve güvenlik sorunlarıyla ilgili bir konudur. Asfalt kaplamaların yüzeyi yaz aylarında

### Abstract

In the article, thermal conductivity of asphalt mixtures was investigated depending on aggregate type, aggregate gradation, maximum aggregate size, mixture type and commonly used asphalt additives. By using basalt and limestone aggregates, dense graded and gap graded asphalt mixture designs were made with 19 mm and 12.5 mm maximum sized aggregates in different gradations. In addition to control (K) bituminous mixtures using basalt and limestone aggregates, rubber (R), cellulosic fiber (SE), Styrene-Butadiene-Styrene (SBS), Styrene Isoprene Styrene (SIS), Elvaloy (E), Styrene-Ethylene- Butylene-Styrene (SEBS), polyolefin elastomer (PE) and nanoclay (NC) modified asphalt mixtures were produced. It was observed that the thermal conductivity of the mixtures was significantly affected by the aggregate gradation, the increase in the fine aggregate ratio increased the thermal conductivity of the mixture, and the thermal conductivity of the dense graded mixtures was higher than the stone mastic asphalts. The effect of maximum aggregate size was not clearly understood in the gradations created. All of the additives used decreased the thermal conductivity, and the highest decrease was observed in SE and R modified mixtures. The thermal conductivity of the mixtures using limestone aggregate instead of basalt aggregate decreased.

**Keywords:** Thermal conductivity, Cellulose fiber, Polymer, Rubber, Nanoclay, Aggregate gradation, Aggregate type, Maximum aggregate size

70 °C' ye kadar ısınabilir ve bu da kentsel ısı adası etkisine neden olur. Kaplama, ısıyı depolar ve onu çevreleyen ortama geri yayar, bu da düşük hava kalitesi sorunlarına ve binaları soğutmak için ek enerji kullanımına yol açar [2]. Öte yandan, kış aylarında, kaplama yüzeyi donma sıcaklığının altına düştüğünde buzlu yollar kritik bir güvenlik sorunudur.

Ortamin günlük sıcaklık değişimi ve asfalt kaplama tabakasının derinliği boyunca buna karşılık gelen sıcaklık gradyanı, soğuk iklimde üst yapı çatlamasının ana kaynaklarından biri olan termal gerilmeye neden olur [3].

Yaz ve kış aylarında aşırı sıcaklık değişiklikleri olabilmektedir. Yüksek hava sıcaklıklarında, sıcaklık

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: : eiskender@ktu.edu.tr (E. İskender)

Geliş / Received: 28.12.2021 Kabul / Accepted: 07.02.2021 Yayınlanma / Published: 15.04.2022

doi: 10.28948/ngumuh.1049283

kaplama yüzeyinden alt tabakalara doğru, düşük sıcaklıklarda da alt tabakalardan üst tabakalara doğru iletilmektedir. Üst tabakalarla alt tabakalar arasındaki sıcaklık farkları çok büyük olduğunda farklı genleşme miktarlarından kaynaklanan ek gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler termal çatlamalara yol açarak kaplamanın ömrünü azaltabilmektedir [4].

Kaplamanın maksimum sıcaklığını düşürmek ve karlanma - buzlanmanın sebep olduğu olumsuzlukları önlemek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Karlanma ve buzlanma ile mücadelede küreme, tuzlama, kimyasal madde uygulamaları vb. geleneksel yöntemlerin zamanla kaplamaya zarar verme potansiyeli ve aynı zamanda ekonomik olmamaları son yıllarda iletken asfalt betonu ve elektrikli ısıtma kabloları kullanımı, akışkan ısıtma yöntemi, kızılötesi ısıtma yöntemleri gibi termal yöntemleri ön plana çıkarmıştır [5].

Kaplama sıcaklığını düzenlemenin çevre dostu ve ekonomik yollarından biri de kaplama malzemelerinin termal özelliklerini kontrol etmektir [6]. Literatürde, sıkıştırılmış asfalt kaplamaların termal iletkenliğinin karışım tasarımına göre 0.75-1.73 W/mK aralığında değiştiği ve termal iletkenliğin kaplamaların sıcaklık dağılımını değiştirebileceği belirtilmiştir [7].

Asfalt kaplamanın termal iletkenlik ve ısı kapasitesinin artmasıyla günlük maksimum kaplama yüzeyi sıcaklığının düştüğü ve günlük minimum sıcaklığın arttığı bu nedenle hem olumlu (günlük maksimum sıcaklığı düşürür) hem de olumsuz (günlük minimum sıcaklığı artırır) etkisi olduğu ifade edilmiştir [1].

Kireçtaşı, kuvarsit (yüksek iletken), bakır lifi, bakır çürufu ve Lytag (az iletken, yakıt külü agregası) kullanılarak üretilmiş asfalt karışımların termal özellikleri araştırılmış, kireçtaşı agregasının tamamının kuvarsit ile değiştirilmesinin karışımın ısı iletkenliğini ve ısı kapasitesini sırasıyla %104 ve %122 artırdığı görülmüştür. Üstelik kuvarsitin asfalt karışımın maksimum yüzey sıcaklığını 4 °C'ye kadar düşürdüğü ve tekerlek izini azalttığı sonucuna varılmıştır [8].

Öte yandan, soğuk iklimli bölgelerde hafif agregalarla üretilen düşük ısı iletkenlikli asfalt kaplamaların don penetrasyon derinliğinin azalacağı ifade edilmektedir [9].

Bitümlü karışımların ısı iletkenliğini incelemek amacıyla yapılan bir araştırmada klorit ve bazalt agregaları

kullanılarak farklı gradasyonlar üzerinde çalışılmıştır. Bitümlü karışımların termal iletkenliğinin, agreganın mineral yapısına ve hava boşluğu miktarına bağlı olduğu, termal iletkenliğin agrega boyutundan çok az etkilendiği ve bitümlü bağlayıcının agregalar arasında termal köprü oluşturduğu görülmüştür [10].

Literatürde genel olarak iletkenlik artırıcı özelliği bulunan katkı maddeleriyle üretilen asfalt karışımların termal iletkenlikleri araştırılmıştır [8, 10-15]. Fakat literatürde, genel performans artırıcı katkı maddelerinin iletkenlik özelliklerini değerlendiren çalışmaların eksikliği göze çarpmaktadır. Bu çalışmanın amacı, asfalt karışımların termal iletkenliklerinin agrega gradasyonu, maksimum agrega boyutu, asfalt katkı maddesi türü ve agrega türüne bağlı olarak değerlendirilmesidir. Bu amaçla; kireç taşı ve bazalt agregaları kullanılarak, Taş Mastik Asfalt (Tip-1A ve Tip-2) ve asfalt betonu (Tip-1, Tip-2 ve Tip-3) aşınma tabakası tasarımları yapılmıştır. Kauçuk (R), selülozik elyaf (SE), stiren bütadiyen stiren (SBS), stiren isopren stiren (SIS), elvaloy (E), stiren etilen butilen stiren (SEBS), poliolefin elastomer (PE) ve nanokil (NC) modifiyer türleri kullanılarak asfalt karışımlar üretilmiştir. Hazırlanan asfalt karışımların, termal iletkenlik katsayıları ölçülmek suretiyle termal iletkenlikleri değerlendirilmiştir.

## 2 Materyal ve metod

### 2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan asfalt çimentosu Tüpraş Kırıkkale tesislerinden temin edilmiştir. Kullanılan asfalt bağlayıcının temel mühendislik özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Bitümlü bağlayıcı özellikleri

	Yöntem	Değer	Şartname Limitleri
Özgül ağırlık (25°C)	ASTM-70	1.025	
Yumuşama noktası (°C)	TS EN 1427	52	46-54
Parlama noktası (°C)	TS EN ISO 2592	240	En az 230
Penetrasyon (25°C)	TS EN 1426	63	50-70
Düktilite (25°C)	TS EN D-113	100+	

**Tablo 2.** Bazalt ve kireçtaşı agregalarının temel fiziksel özellikleri

Malzeme Özelliği	Dency Standardı	Bazalt Agregası	Kireç Taşı Agregası
Filler zahiri özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )		2.821	2.793
İnce agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C128	2.656	2.638
İnce agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )		2.754	2.711
İnce agrega su emme (%)	TS EN 1097- 6	0.81	1.10
Kaba agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C127	2.684	2.647
Kaba agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C127	2.744	2.699
Kaba agrega parçalanma direnci (Los Angeles kayıp) (%)	TS EN 1097-2	12	26.7
Kaba agrega yassılık indeksi (%)	BS 812	14	9.71
Kaba agrega su emme (%)	TS EN 1097-6	0.81	1.03
Kaba agrega donma kaybı (NaSO <sub>4</sub> ile kayıp) (%)	ASTM C-88	0.92	1.45

**Tablo 3.** Çalışmada kullanılan agrega gradasyonları

Elek boyutu (mm)	TMA Tip-1A kaba	TMA Tip-1A ince	TMA Tip-2	Yoğun gradasyon Tip-1	Yoğun gradasyon Tip-2	Yoğun gradasyon Tip-3
19.0	100	100	-	100	-	-
12.5	98	92	100	96	100	100
9.5	55	70	95	81	90	95
4.75	30	35	35	47	63	29
2.0	22	28	25	30	45	27
0.425	14	20	17	15	22	23
0.18	12	15	13	10	12	15
0.075	9	11	10	5	6	9
İnce agrega oranı (%)	21	24	25	42	57	19
Kaba agrega oranı (%)	70	65	65	53	37	71

Araştırmada bazalt ve kireç taşı olmak üzere iki farklı agrega türü kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri **Tablo 2**'de sunulmuştur.

Karayolları Teknik Şartnamesine [16] göre Taş Mastik Asfalt (Tip-1 A ve Tip-2) ve yoğun gradasyonlu asfalt betonu (Tip-1, Tip-2 ve Tip-3) aşınma tabakası gradasyonları seçilmiştir. Seçilen agrega gradasyonları **Tablo 3**'te verilmiştir.

Asfalt karışım üretiminde kontrol bitüm (K) ve modifiye bitümler kullanılmıştır. Kauçuk (R), selülozik elyaf (SE), (Kraton D1192 ESM) (SBS – K), stiren bütadiyen stiren (Europrene SOL T 6302) (SBS – E), stiren isopren stiren (SIS), elvaloy (E), stiren etilen butilen stiren (SEBS), poliolefin elastomer (PE) ve nanokil (NC) olmak üzere dokuz farklı modifiyer kullanılmıştır. Kullanılan modifiyerlerden bir görüntü **Şekil 1**'de gösterilmiştir. Kauçuk katkısı hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda performansının iyi olması ve ısısını uzun süre muhafaza

edebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir [17]. Bu çalışmada %15 oranında kullanılan kauçuk partikül boyutları 0.6 mm ile 2.5 mm arasındadır. Selülozik elyaf çatlama direncini artırma, karışımda bulunan bitümün süzülmesini engelleme ve mekanik stabiliteyi artırma gibi avantajlara sahiptir [18]. Selülozik elyafın ısı dayanımı 250 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Selülozik elyaflar yüksek ısı dayanımına sahip olup ısı yalıtımı sağlamak amacıyla kullanılabilirler. Selülozik elyafın ısı iletkenliği büyük oranda malzemenin yoğunluğuna bağlıdır [19]. Bu çalışmada toplam agrega ağırlığına göre %0.3 oranında Viatop Premium marka selülozik elyaf kullanılmıştır.

SBS katkısı sadece karışımın değil aynı zamanda bitümlü bağlayıcının da davranışlarını iyileştiren bir katkı maddesidir. SBS katkı maddesi tekerlek izi, soyulma, ondülasyon ve düşük sıcaklık çatlakları gibi bozulmaların önlenmesi için kullanılabilir.



**Şekil 1.** Çalışmada kullanılan katkı maddeleri

SBS bitüme katıldığında hacmi 10 kat artarak üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Karışımın yüksek sıcaklıkta kıvama artarken düşük sıcaklıkta kırılabilirliği azalır [20]. Bitümlü bağlayıcıdaki SBS oranının artmasıyla bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığı azalmaktadır [21]. Bu çalışmada SBS katkı maddeleri literatürde önerilen %5 oranında kullanılmıştır.

SIS katkısı büyük hacimli termoplastik bir elastomerdır. SIS katkısı eklendiği karışımlarda viskoziteyi artırır ve tekerlek izi oluşumu üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Karışımında SIS içeriği arttıkça bağlayıcının çatlama direnci de artmaktadır [22]. Bu çalışmada SIS 1126 katkı maddesi bitümün ağırlıkça %5'i oranında kullanılmıştır.

E katkısı karışım ve asfalt bağlayıcının modifikasyonunda kullanılan elastomerik terpolimerdir. Elvaloy modifikasyonu bitümün viskozitesini ve yumuşama noktasını artırırken düktilitesini ve penetrasyonunu azaltır. Asfalt karışımların tekerlek izi ve su hasarı direncini artırır. Bu polimer yüksek erime noktasına sahip olup eklendiği malzemelere termal dayanım sağlamaktadır [23]. Bu çalışmada %5 oranında DuPont, Elvaloy RET kullanılmıştır.

SEBS katkısı önemli bir termoplastik elastomer olup SBS'nin basit hidrojenasyonu ile elde edilir. Yapısındaki çift bağ sayesinde SBS'den daha rijit bir yapıya sahiptir böylece ısı ve hava koşullarına karşı dayanıklılık sağlar [24]. Bu çalışmada %5 oranında SEBS elastomeri KRATON G1652 E kullanılmıştır.

PE, karbon zincirlerinin birleşmesinden oluşan ve polimerlerin bir sınıfı olan termoplastik elastomerdır. Katkı maddesi olarak kullanıldığında bitümün penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite özelliklerini geliştirdiği saptanmıştır [25]. Bu çalışmada %5 oranında Lucolast 7010 Lucobit poliolefin elastomeri kullanılmıştır.

NC, asfalt bağlayıcıların modifikasyonunda kullanılan ucuz ve ham maddesi doğal olarak bulunan sürdürülebilir özellikli katkı malzemesidir. NC, kullanıldığı asfalt kaplamalara dayanıklılık sağlar ayrıca mekanik ve fonksiyonel özelliklerini stabilize eder [26]. NC katkısı bu çalışmada %5 oranında kullanılmıştır.

## 2.2 Asfalt karışımının tasarımı

Taş mastik asfalt (TMA) ve yoğun gradasyonlu asfalt betonu (GAB) karışım tasarımları ASTM 1559 standardına göre, Marshall yöntemiyle yapılmıştır. Asfalt karışım tasarımı kontrol bitüm ve bazalt agregası ile yapılmıştır. Hem yoğun gradasyon hem de kesikli gradasyon seçenekleri için optimum bitüm içerikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Optimum bitüm içeriği üzerinde polimer tipi, agrega gradasyonundan daha düşük etki oluşturduğundan yalnızca gradasyonlar için karışım tasarımları yapılmıştır. Bulunan optimum bitüm içerikleri kireçtaşı agregası ve modifiye bitümler için de kullanılmıştır. Agrega gradasyonlarına göre belirlenen bitüm içerikleri **Tablo 4**'te gösterilmiştir.

## 2.3 Asfalt karışımların termal iletkenliklerinin belirlenmesi

Asfalt numunelerinin termal iletkenlik katsayısının ölçümünde **Şekil 2**'de gösterilen termal özellik analiz cihazı (Decagon KD2 Pro Thermal Properties Analyzer)

kullanılmıştır. KD2 Pro cihazı taşınabilir bir termal özellik analizörüdür.

**Tablo 4.** Optimum bitüm içeriği değerleri

Karışım türü	Optimum bitüm içeriği (%)
TMA Tip-1A Kaba	6.43
TMA Tip-1A İnce	6.68
TMA Tip-2	7.16
GAB Tip-1	5.1
GAB Tip-2	5.65
GAB Tip-3	6.23

Bu cihaz termal iletkenliği, termal direnci, özgül ısıyı (ısı kapasitesi) ve ısı yayılmayı ASTM D5334-08 ve IEEE 442-1981 standartlarına uygun olarak ölçen üç adet sensöre sahip olup ısıtılmalı iğne teknolojisi ile birlikte kalibrasyon gerektirmeden ölçüm yapabilmektedir. Menü odaklı olan bu cihazın iki elemanı bulunmaktadır. İlk elemanı kontrol modülüdür, bu modül 16 bit mikro denetleyici ve üç kontrol devresinden oluşmaktadır. Diğer eleman ise ısıtma elemanı ve termistörden oluşan, ölçümün yapılacağı maddenin cinsine bağlı olarak değişebilen cihaz iğnesidir. Bu çalışmada TR-1 kodlu cihaz iğnesi kullanılmıştır. TR-1 iğnesi 24 mm çapında, 10 cm uzunluğunda paslanmaz çelikten üretilmiştir. Bu iğne -50°C ila 150°C arasında ölçüm yapabilmekte ayrıca 0.1 W/mK ila 4 W/mK arasındaki termal iletkenlik katsayısını ölçebilmektedir. Gerçekleştirilen her ölçüm toplam 90 saniye sürmektedir. Ölçümün ilk 30 saniyesinde cihaz iğnesinin sıcaklığı ölçüm yapılacak numunenin sıcaklığına eşitleninceye kadar ısınır, sonraki 30 saniye boyunca cihaz iğnesi numuneye sıcaklık uygular son 30 saniyede ise cihaz iğnesi numuneye ısı uygulamayı sonlandırarak soğuma işleminin bitmesini bekler. Cihaz iğnesi sıcaklık değerlerini ölçüm boyunca okuyarak verileri kontrol modülüne iletir, kontrol modülü **Denklemler (1)**'i kullanarak numunenin termal iletkenlik katsayısını hesaplar.

$$k = q(\ln t_2 - \ln t_1) / 4\pi(\Delta T_1 - \Delta T_2) \quad (1)$$

Burada q cihaz iğnesinin uyguladığı sabit ısı akısını,  $\Delta T_1$  ve  $\Delta T_2$  ise  $t_1$  ve  $t_2$  anlarındaki sıcaklık farkını belirtmektedir.

Termal iletkenlik katsayısının ölçümünün gerçekleştirilmesi amacıyla asfalt karışım örnekleri uygun bir kaba konulmuş ardından cihaz iğnesi numunenin içerisine yerleştirilmiştir. Ölçümler gerçekleşirken numune kabının ve cihaz iğnesinin sabit ve titreşimsiz bir ortamda bulunmasına önem gösterilmiştir. Her numune için iki ayrı noktadan ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Oluşturulan asfalt karışımların termal iletkenlik katsayısının ölçümü **Şekil 3**'te gösterilmiştir.





Şekil 2. Termal özellik analiz cihazı [27].



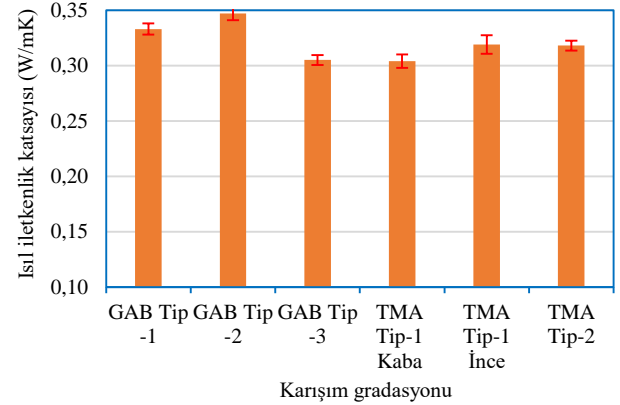
Şekil 3. Asfalt karışım örneklerinin termal iletkenliğinin ölçülmesi

### 3 Bulgular ve tartışma

Farklı gradasyonlarda bazalt ve kireçtaşı agregaları ile üretilen kontrol ve modifiye karışımların termal iletkenlik katsayıları ikişer örnek üzerinde ikişer tekrar ile ölçülmüş, sonuçların ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Kireç taşı ve bazalt agregaları kullanılarak, Taş Mastik Asfalt (Tip-1A ve Tip-2) ve yoğun gradasyonlu asfalt betonu (Tip-1, Tip-2 ve Tip-3) aşınma tabakası tasarımları yapılmıştır. Asfalt karışım üretiminde kontrol bitüm (K) ile

kauçuk (R), selülozik elyaf (SE), (Kraton D1192 ESM) (SBS – K), stiren bütadiyen stiren (Europrene SOL T 6302) (SBS – E), stiren isopren stiren (SIS), elvaloy (E), stiren etilen butilen stiren (SEBS), poliolefin elastomer (PE) ve nanokil (NC) modifiye bitümler kullanılmıştır.

Şekil 4'te kontrol bitüm ve bazalt agregası kullanılarak hazırlanan geleneksel asfalt betonu ve taş mastik asfalt karışımların termal iletkenlik katsayıları karşılaştırılmıştır. Tablo 5'te de karışımların maksimum agrega boyutları, kaba agrega, ince agrega ve filler oranlarının değişimi ile iletkenlik katsayılarının değişimi özetlenmiştir.



Şekil 4. Karışım türüne bağlı olarak termal iletkenlik katsayılarının değişimi

Maksimum agrega boyutu 19 mm olan karışımlarda yoğun gradasyonlu karışımın termal iletkenlik katsayısı (k) taş mastik asfalt karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Maksimum agrega boyutu aynı olan karışımlar içerisinde (TMA Tip-1A kaba ve TMA Tip-1A ince) ince agrega oranı fazla olan karışımların k değerleri daha yüksek belirlenmiştir. Aynı eğilim GAB karışımlarda da görülmüştür. Maksimum agrega boyutu 12.5 mm olan karışımlardan, ince agrega oranı %57 olan GAB Tip-2'nin k katsayısı ince agrega oranı %19 olan GAB Tip-3 karışımların k katsayısından daha yüksek çıkmıştır. Kesikli gradasyonlar ve yoğun gradasyonlarda hazırlanan karışımlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde, maksimum agrega boyutunun 19 mm'den 12.5 mm'ye düşürülmesinin termal iletkenlik katsayısı üzerindeki etkisi net olarak görülemez.

Tablo 5. Maksimum agrega boyutu ve fraksiyon oranlarına göre ısı iletkenlik katsayıları

Elek boyutu (mm)	TMA Tip-1A kaba	TMA Tip-1A ince	TMA Tip-2	GAB Tip-1	GAB Tip-2	GAB Tip-3
Maksimum agrega boyutu (mm)	19.0	19.0	12.5	19.0	12.5	12.5
Kaba agrega oranı (%)	70	65	65	53	37	71
İnce agrega oranı (%)	21	24	25	42	57	19
Filler oranı (%)	9	11	10	5	6	9
Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)	0.304	0.319	0.318	0.333	0.347	0.305

Sıkıştırılmış asfalt kaplamaların termal iletkenlikleri 0.75-1.73 W/mK aralığında değişmektedir [7]. Bu çalışmada gevşek asfalt karışımların termal iletkenlikleri değerlendirilmiş, k değerlerinin 0.3 W/mK değerinden başladığı görülmüştür. Termal iletkenliğin, hava boşluğu oranının artması ile azaldığı ifade edilmektedir. Kaba agreganın artması, agregalar arası boşluğu dolduracak yeterli miktarda ince agreganın, filler-bitüm bulunmadığı durumda boşluk oranının artmasından dolayı termal iletkenliği azaltması beklenir. Agregaların, bitümün ve hava boşluklarının ortalama ısıl iletkenlik katsayıları literatürde sırasıyla 0.75, 2.855 ve 0.025 W/mK olarak verilmektedir. Hava boşluğu oranının artması, boşlukların düşük ısıl iletkenliklerinden dolayı, asfalt karışımın ısıl iletkenliğini düşürmektedir [28].

Literatürde yer alan bir çalışmada, ince agreganın artmasıyla, ince agregaların termal iletkenliğinin kaba agregalara göre daha yüksek olması ve ince agregaların karışımı daha homojen hale getirmesinden dolayı termal iletkenlikte az da olsa artış meydana geldiği gözlemlenmiştir [29]. Hava boşluğunun asfalt karışımların termal iletkenliği üzerine olan etkisinin incelendiği bir diğer çalışmada da hava boşluğu içeriğinin artmasının asfalt karışımların ısıl iletkenliğini düşürdüğü belirlenmiştir [30]. Bu çalışmada bulunan sonuçlar bu anlamda literatürle uyumlu görülmektedir.

Şekil 5'te bazalt agregası ve kireçtaşı agregası ile üretilen kontrol ve modifiye GAB Tip-1 asfalt karışımların termal iletkenlik katsayıları verilmiştir. Şekil 5'ten görüldüğü üzere, bazalt agregası kullanılarak oluşturulan karışımların termal iletkenlik katsayıları kireç taşı agregası kullanılarak oluşturulan karışımlara göre daha yüksektir.

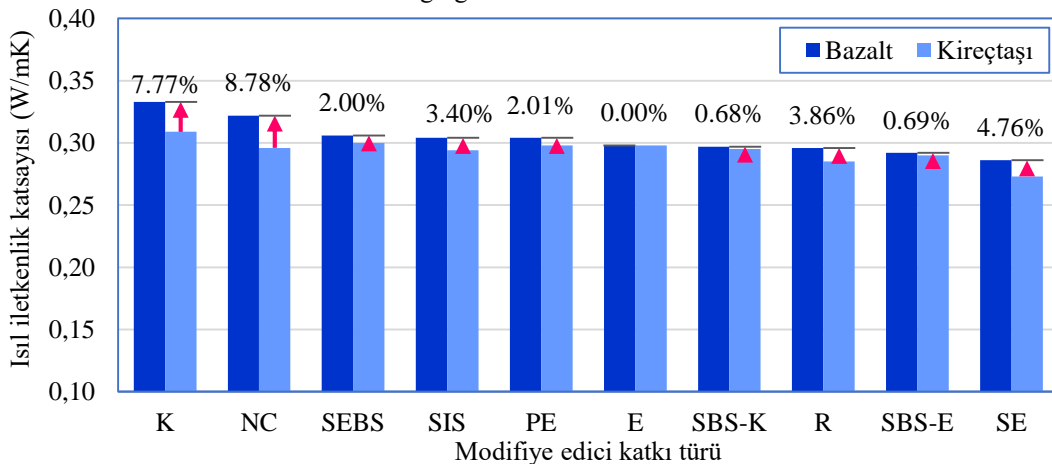
Agrega türü asfalt kaplamaların termal iletkenliğini önemli derecede etkilemektedir [31]. Kireçtaşı ve bazalt agregalarının termal iletkenlik katsayıları literatürde sırasıyla 1.75 W/mK ve 2.3 W/mK olarak ölçülmüştür [32]. Bazalt agregalarının yüksek ısıl iletkenlikleri, kireç taşı agregaları ile hazırlanan asfalt karışımlara göre, asfalt karışımın iletkenliğini de artırır.

Asfalt karışımlara polimer, nanokil veya kauçuk gibi katkı maddeleri eklenmesi asfalt karışımın termal iletkenliğini azaltmaktadır. Bu azalma hem bazalt agregası

hem de kireçtaşı agregası için açık olarak görülebilmektedir. Her iki agreganın türünde de en düşük termal iletkenlik katsayısı, bazalt agregası kullanılarak oluşturulan modifiye asfalt karışımlarında 0.286 W/mK; kireç taşı agregası kullanılarak oluşturulan modifiye asfalt karışımlarında 0.273 W/mK olmak üzere selülozik elyaf modifiyeli karışımlarda görülmüştür. Bunun nedeninin selülozik elyafın asfalt karışımındaki fazla bitümü absorbe edebilme böylelikle agregalar etrafında daha kalın bitüm filmi oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Polimerler düzenli kristal yapılardan ve rastgele amorf yapılardan oluşmaktadır [33]. Amorf yapıların baskın olması polimerlerin titreşim hareketini azaltmakta bu durum düşük ısıl iletkenliğe neden olmaktadır [34]. Polimerler zincirlerinde meydana gelen atom hareketleri nedeniyle ısıyı iyi absorbe edebilmektedirler. Polimerler fazla miktarda ısı absorpsiyonu yapabilmelerinden dolayı ısıyı iyi iletmemekte bunun sonucunda eklendiği karışımın termal iletkenliğini düşürmektedir [35]. Bu nedenle polimerler, karışımların termal iletkenliğini düşürmektedirler.

Polipropilen nano kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, nanokil varlığının nanokompozit malzemelerin termal kararlılığını arttırdığını fakat diğer termal özellikler üzerinde etkisinin oldukça küçük olduğu tespit edilmiştir [36]. Bu duruma paralel olarak bazalt agregalı karışımlarda kontrol numunesine en yakın k değerlerini NC modifiye asfalt karışımlar göstermiştir. Kireç taşı agregası kullanılarak oluşturulan karışımlarda ise kontrol numunesine en yakın değeri SEBS modifiye bitümlü karışım vermiştir.

Asfalt kaplamalar güneş ışığını iyi bir şekilde yansıtamadıklarından dolayı özellikle yaz aylarında fazlaca ısınmakta ve kentsel ısı adası oluşumunu hızlandırmaktadır. Kış aylarında ise düşük hava sıcaklıklarından ötürü kaplama yüzeyinde kar ve buzlanma meydana gelmektedir. Asfalt kaplamaların mekanik özellikleri de bu sıcaklık değişimlerine bağlı olarak değişmekte ve zamanla kaplamada bozulmalar oluşabilmektedir. Diğer yandan gevşek karışımların kamyonlar ile taşınması sırasında, yüzeyde kalan asfalt karışımının rüzgâr etkisiyle hızlı bir şekilde soğuması, karışımında termal segregasyonlara neden olmaktadır.



Şekil 5. Termal iletkenlik katsayısının kullanılan agreganın cinsine göre değişimi

Üstelik hızlı soğuyan karışımların sıkıştırılmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Isıl iletkenliği daha yüksek olan karışımların soğuma hızı daha yüksek olacaktır. Bu nedenle daha düşük termal iletkenliğin bu anlamda olumlu sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

#### 4 Sonuçlar

Çalışmada, bazalt ve kireçtaşı agregaları ile hazırlanan asfalt karışımların termal iletkenlikleri maksimum agrega boyutu, agrega gradasyonu ve modifiyer tipine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Nanokil, kauçuk ve değişik polimerlerden oluşan dokuz farklı modifiye karışım üretilmiş, gevşek karışımların termal iletkenlik katsayıları ölçülmek suretiyle değerlendirilmiştir.

Kaba agrega oranının azalması ve ince agrega oranlarının artmasıyla asfalt karışımların termal iletkenlik katsayılarının arttığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak karışımdaki kaba agrega oranının artmasıyla termal iletkenliği daha düşük olan boşluk oranının artmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Termal iletkenlik katsayısı agrega gradasyonundan önemli ölçüde etkilenmektedir. Yoğun gradasyonlu karışımların termal iletkenlikleri kesikli gradasyonlulara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun nedeni, yoğun gradasyonlu agregaların yüksek ince agrega, düşük kaba agrega içermesiyle daha yoğun bir karışım oluşması olarak düşünülmektedir.

SBS, SIS, E, SEBS, PE, R, SE ve NC katkıları ile modifiye edilen asfalt karışımlarının termal iletkenlikleri kontrol karışımlara göre daha düşük çıkmıştır.

Bazalt agregalarıyla üretilen asfalt karışımların termal iletkenlikleri kireç taşı ile üretilenlere göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak, karışımlardaki maksimum agrega boyutunun termal iletkenlik üzerindeki etkisi net olarak anlaşılammıştır. Bununla birlikte agrega gradasyonu termal iletkenlik üzerinde daha etkili bir parametre olarak ortaya çıkmıştır.

En düşük termal iletkenlik katsayıları selüloz elyaf katkıli karışımlarda görülmüştür. Selüloz elyafın bitümü emerek agregalar arasında daha kalın film oluşturması muhtemel neden olarak değerlendirilmektedir.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate): %19**

#### Kaynaklar

- [1] J. Gui, P. E. Phelan, K. E. Kaloush, J. S. Golden, Impact of pavement thermophysical properties on surface temperatures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(8), 683-690, 2007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)08991561\(2007\)19:8\(683\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)08991561(2007)19:8(683))
- [2] R. B. Mallick, S. Chen. Bhowmick, Harvesting energy from asphalt pavements and reducing the heat island effect. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2(3), 214-228, 2009. <https://doi.org/10.1080/19397030903121950>
- [3] X. Shi, Y. Rew, E. Ivers, Chang-Seon Shon, E. M. Stenger, P. Park, Effects of thermally modified asphalt

- concrete on pavement temperature. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(6), 669-681, 2017. <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1326234>
- [4] A. Demez, Pirofillit agrega kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı betonların yangın dayanımının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2017.
- [5] M. Chen, S. Wu, H. Wang, J. Zhang, Study of ice and snow melting process on conductive asphalt solar collector. *Solar Energy materials and Solar Cells*, 95(12), 3241-3250, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.07.013>.
- [6] X. Shi, Controlling thermal properties of asphalt concrete and its multifunctional applications. Dissertation. Master Thesis, A.M. University, Texas, 2014.
- [7] TM 5-852-6/AFM, 88-19. Arctic and subarctic construction calculation methods for determination of depths of freeze and thaw in soils, 1966.
- [8] A. R. Dawson, P. K. Dehdezi, M. R. Hall, J. Wang, R. Isola, Enhancing thermal properties of asphalt materials for heat storage and transfer applications. *Road Materials and Pavement Design*, 13(4), 784-803, 2012. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.735791>
- [9] A. Khan, D. Mrawira, Influence of selected mix design factors on the thermal behavior of lightweight aggregate asphalt mixes, *Journal of Testing and Evaluation* 36(6), 2008. <https://doi.org/10.1520/JTE101687>
- [10] J. Côté, V. Grosjean, Jean-Marie Konrad, Thermal conductivity of bitumen concrete. *Canadian of Civil Engineering*, 40(2), 172-180, 2013. <https://doi.org/10.1139/cjce-2012-0159>
- [11] M. R. Islam, R. A. Tarefder, Determining thermal properties of asphalt concrete using field data and laboratory testing. *Construction and Building Materials*, 67(B), 297-306, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.040>
- [12] X. Zhou, S. Wang, C. Zhou, Thermal conduction and insulation modification in asphalt-based composites. *Journal of Materials Science and Technology*, 28(3), 285-288, 2012. [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(12\)60055-3](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(12)60055-3)
- [13] P. Pan, S. Wu, Y. Xiao, P. Wang, X. Liu, Influence of graphite on the thermal characteristics and anti-ageing properties of asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 68, 220-226, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.069>
- [14] H. V. Vo, P. W. Park, W.J. Seo, J. S. Im, Effect of conductive filler size and type on thermal properties of asphalt mixtures. *Innovative Materials and Design for sustainable transportation infrastructure*, Fairbanks, Alaska. <https://doi.org/10.1061/9780784479278.001>
- [15] A. Arabzadeh, A. Sassani, H. Ceylan, S. Kim, K. Gopalakrishnan, P.C. Taylor, Comparison between cement paste and asphalt mastic modified by carbonaceous materials: electrical and thermal properties. *Construction and Building Materials*, 213,

- 121-130, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.060>
- [16] Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2013.
- [17] A. Sağlık, KGM Kauçuk Asfalt Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma-Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şube Müdürlüğü, Türkiye, 2011.
- [18] E. Çelikten, Taş mastik asfalt yapımında mineral filler olarak mermer tozunun kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2020.
- [19] P. Vrzyski, P. Kosinski, A. Skoratko, W. Motacki, Thermal properties of cellulose fiber as insulation material in a loose state. AIP Conference Proceedings, 2133(1), 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5120136>
- [20] O. Özay ve E.A.Öztürk, Modifiye edilmiş poroz asfalt karışımların performansı. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 28(3), 577-586, 2013, Ankara, Türkiye.
- [21] P. Ahmedzade, M. Yılmaz, Stiren-Butadien-Stiren modifikasyonunun bitümlü bağlayıcıların ısı duyarlılığı, rijitlik ve yaşlanma özellikleri üzerindeki etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 232-238, 2009. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.06022>
- [22] M. Mazumder, S. J. Lee, M. S. Lee, Properties of Styrene-Isoprene-Styrene (SIS) modified asphalt binder. Proceedings of the 9th international conference on maintenance and rehabilitation of pavements, Lecture Notes in Civil Engineering, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48679-2\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48679-2_56)
- [23] T. Geçkil, Physical, Chemical, Microstructural and rheological properties of reactive terpolymer-modified bitumen. materials (Basel). 20;12(6), 921, 2019. <https://doi.org/10.3390/ma12060921>.
- [24] M. Yılmaz, B. V. Kök, N. Kuloğlu, T. Alataş, Elastomer türü polimerler ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların depolama stabiliteilerinin ve reolojik özelliklerinin incelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 15(1), 66-77, 2013.
- [25] S. B. Ertekin, Polyolefin Katkıların Asfaltların Kıvamı ve Yumuşama Noktasına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2003.
- [26] Z. Hossain, M. Zaman, T. Hawa, M.C. Saha, Evaluation of moisture susceptibility of nanoclay-modified asphalt binders through the surface science approach. Journal of Materials in Civil Engineering, 27(10), 2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.19435533.0001228](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.19435533.0001228)
- [27] ICT International, Armidale, NSW, 2350. <http://ictinternational.com/products/kd2-pro/decagon-kd2-pro/>, Accessed 27 December 2021.
- [28] J. Chen, H. Wang, L. Li, Conductivity of asphalt concrete with random aggregate microstructure. Journal of Materials in Civil Engineering, 27(12), 2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001313](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001313)
- [29] K. H. Kim, S. E. Jeon, J. K. Kim, S. Yang, An experimental study on thermal conductivity of concrete. Cement and Concrete Research, 33(3), 363-371, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00965-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00965-1).
- [30] A. Hassn, M. Aboufoul, Y. Wu, A. Dawson, A. Garcia, Effect of air voids content on thermal properties of asphalt mixtures. Construction and Building Materials, 115, 327-335, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.106>
- [31] D. Mrawira, J. Luca, Effect of aggregate type, gradation and compaction level on thermal properties of hot-mix asphalts. Canadian Journal Of Civil Engineering, 33(11), 1410-1417, 2011. <https://doi.org/10.1139/106-076>
- [32] H. M. Al-Baijat, The use of basalt aggregates in concrete mixes in Jordan. Jordan Journal of Civil Engineering, 2(1), 63-70, 2008.
- [33] S. N. Leung, Thermally conductive polymer composites and nanocomposites: processing-structure-property relationships. Composites Part B: Engineering, 150, 78-92, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.05.056>
- [34] C. Huang, X. Qian, R. Yang, Thermal conductivity of polymer nanocomposites. Materials Science and Engineering: R: Reports, 132, 1-22, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2018.06.002>
- [35] M. Saçak, Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi, Ankara, 2014.
- [36] F. Hussain, S. Roy, K. Narasimhan, K. Vengadassalam, H. Lu, E-Glass-Polypropylene Pultruded Nanocomposite: manufacture, characterization, thermal and mechanical properties. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 20(4),2007. <https://doi.org/10.1177/0892705707079604>

