

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her daim zaman ayıran tez aşamasında tez konumu öneren yaptığım çalışmalar boyunca benden yardımını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Erol İSKENDER'e teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca gerek lisans gerekse lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Şeref ORUÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecimde gerekli ölçümlerin yapılabilmesi adına yardım ve desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Gökhan HEKİMOĞLU'na teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, beni kızları gibi gören sevgi dolu teyzelerim Hatice PAŞAHAFIZOĞLU ve Nesli PAŞAHAFIZOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her anımda yanımda bulunan, aldığım her kararda arkamda duran, zorluklarla karşılaştığımda beni cesaretlendirip ümitlendiren, desteklerini hep yanımda hissettiğim, beni bugün olduğum kişi yapan, hayatımın en önemli parçası olan canım aileme, başta babam Metin ŞİRİN ve annem Emine ŞİRİN olmak üzere kardeşlerim İrem ve Ercan ŞİRİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Nurgül ŞİRİN
Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘‘Modifiye Asfalt Karışımların Termal İletkenliklerinin Değerlendirilmesi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Erol İSKENDER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/10/2021

Nurgül ŞİRİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VVIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Konunun Özgeçmişi	2
1.4. Karayolu	10
1.4.1. Karayolu Altyapısı.....	10
1.4.2. Karayolu Üstyapısı	10
1.4.2.1. Rijit Üstyapı.....	11
1.4.2.2. Esnek Üstyapı	11
1.4.2.3. Yarı Rijit Üstyapı	12
1.5. Yol Üstyapısında Kullanılan Malzemeler	12
1.5.1. Bitüm	12
1.5.1.1. Bitümün Reolojik Yapısı	14
1.5.1.2. Bitümün Sıcaklığa Duyarlılığı.....	14
1.5.1.3. Viskozitenin Bitümün Performans Özelliklerine Etkisi	15
1.5.2. Agregalar	15
1.5.2.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri	16
1.5.2.1.1. Agregaların Elde Ediliş Şekline Göre Sınıflandırılması.....	16
1.5.2.1.2. Agregaların Dane Boyutuna Göre Sınıflandırılması	16
1.5.2.1.3. Agregaların Gradasyona Göre Sınıflandırılması	17

1.5.2.2.	İdeal Agregat Standartları.....	17
1.5.2.3.	Agregaların Termal Özellikleri	18
1.5.2.4.	Agregaların Mekanik Özellikleri.....	19
1.5.3.	Katkı Maddeleri.....	20
1.5.4.	Modifikasyon Yöntemleri.....	22
1.5.4.1.	Bitümün Modifikasyonu.....	22
1.5.4.2.	Karışımın Modifikasyonu.....	23
1.6.	Esnek Üst Yapılarda Sıcaklığın Etkisi	23
1.6.1.	Düşük Sıcaklıklarda Asfaltın Davranışı	24
1.6.2.	Orta Sıcaklıklarda Asfaltın Davranışı.....	24
1.6.3.	Yüksek Sıcaklıklarda Asfaltın Davranışı	24
1.7.	Taş Mastik Asfalt.....	25
1.8.	Kar ve Buzlanma İle Mücadelede Kullanılan Yöntemler	26
1.8.1.	Kimyasal Yöntemler.....	26
1.8.2.	Fiziksel Yöntemler	26
1.8.3.	Termal Yöntemler.....	27
1.8.3.1.	Elektriksel İletkenlik Özelliği Olan Asfalt Kaplamalar	27
1.8.3.2.	Elektrikli Isıtma Kabloları	29
1.8.3.3.	Akışkan Isıtma Yöntemi.....	30
1.8.3.4.	Kızılötesi Isı Yayan Isıtma	31
1.9.	Asfalt Enerji Üretim Sistemleri	31
1.10.	Asfalt Karışımlarda Termal İletkenlik.....	33
1.10.1.	Isı Transferi	33
1.10.2.	Fourier Kanunu.....	34
1.10.3.	Termal İletkenlik Katsayısı Ölçüm Yöntemleri	36
1.10.3.1.	Sürekli Durumlarda Termal İletkenlik Ölçüm Yöntemleri	36
1.10.3.1.1.	Muhafazalı Sıcak Levha Yöntemi	36
1.10.3.1.2.	Silindir Yöntemi	37
1.10.3.1.3.	Sıcak Kutu Yöntemi	37
1.10.3.1.4.	Eksenel Akış Yöntemi	38
1.10.3.2.	Geçişli durumlarda Termal İletkenlik Ölçüm Yöntemleri	38
1.10.3.2.1.	Sıcak Tel Yöntemi.....	38

1.10.3.2.2.	DSC (Differential Scanning Calorimetry) ile Ölçüm Yöntemi	39
1.10.4.	Termal İletkenliğin Asfaltın Mekanik Özelliklerine Etkisi	39
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	40
2.1.	Giriş	40
2.2.	Çalışmada Kullanılan Malzemeler	41
2.2.1.	Bitümlü Bağlayıcı ve Özellikleri	41
2.2.2.	Agrega Özellikleri	41
2.2.3.	Katkı Maddeleri	47
2.2.3.1.	Kauçuk ve Özellikleri	48
2.2.3.2.	Selülozik Elyaf ve Özellikleri	49
2.2.3.3.	SBS (Stiren-Butadien-Stiren) ve Özellikleri	50
2.2.3.4.	SIS (Styrene Isoprene Styrene) ve Özellikleri	52
2.2.3.5.	Elvaloy (EL) ve Özellikleri	53
2.2.3.6.	SEBS (Stiren-Etilen-Butilen-Stiren) ve Özellikleri	54
2.2.3.7.	Poliiolefin Elastomer ve Özellikleri	55
2.2.3.8.	Nanokil ve Özellikleri	56
2.3.	Marshall Metodu ile Asfalt Numunelerinin Üretilmesi	57
2.4.	Metod	61
2.4.1.	Asfalt Numunelerinin Termal İletkenliklerinin Belirlenmesi	61
3.	BULGULAR VE İRDELEME	64
3.1.	Termal İletkenlik Katsayısı Testine Ait Bulgular ve İrdeleme	64
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
5.	KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

MODİFİYE ASFALT KARIŞIMLARIN TERMAL İLETKENLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nurgül ŞİRİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Erol İSKENDER
2021,80 Sayfa

Bu tez çalışmasında asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayılarının; gradasyon, eklenen katkı maddesi cinsi ve kullanılan agrega türüne göre değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak bazalt agregası kullanılarak geleneksel asfalt betonu ve Taş Mastik Asfalt olmak üzere 6 farklı gradasyonlara sahip numuneler üretilmiştir. Ardından hem bazalt hem de kireç taşı agregaları kullanılarak; kauçuk, selülozik elyaf, SBS (Stiren-Butadien-Stiren), SIS (Styrene Isoprene Styrene), Elvaloy (EL), SEBS (Stiren-Etilen-Butilen-Stiren), poliolefin elastomer ve nanokil modifiye asfalt karışımlar ve katkısız (kontrol) karışımlar her agrega türü için ayrı ayrı üretilmiştir. Agrega karışımlarında kaba agrega oranının artmasıyla termal iletkenlik katsayısının azaldığı görülmüştür. Karışımlara katılan katkı maddelerinin karışımın termal iletkenlik katsayısını düşürdüğü en fazla düşüşün selülozik elyaf ve kauçukla modifiye edilmiş numunelerde ortaya çıktığı görülmüştür. Bazalt agregası ile hazırlanan numunelerin termal iletkenlik özelliklerinin kireç taşı agregası kullanılarak hazırlanan agregalara göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termal iletkenlik, Kauçuk, Selülozik Elyaf, SBS, SIS, Elvaloy, SEBS, Poliolfen Elastomer, Nanokil, Taş Mastik Asfalt

Master Thesis

SUMMARY

EVALUATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITIES OF MODIFIED ASPHALT
MIXTURE

Nurgül ŞİRİN

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Department
Advisor: Assoc. Dr. Erol İSKENDER
2021,80 Page

In this thesis study, the thermal conductivity coefficients of asphalt mixtures; gradation, the type of additive added and the changes according to the type of aggregate used were examined. For this purpose, firstly, samples with 6 different gradations were produced using basalt aggregate as densely graded aggregate and Stone Mastic Asphalt. Then, using both basalt and limestone aggregates; for each type of aggregate, including rubber, cellulosic fiber, SBS (Styrene-Butadiene-Styrene), SIS (Styrene Isoprene Styrene), Elvaloy (EL), SEBS (Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene), polyolefin elastomer and nanoclay and control sample Different kinds of asphalt samples were produced. It was observed that the coefficient of thermal conductivity decreased with the increase of coarse aggregate ratio in aggregate mixtures. It was observed that the additives added to the mixtures decreased the thermal conductivity coefficient of the mixture, and the highest decrease occurred in the samples modified with cellulosic fiber and rubber. It was concluded that the thermal conductivity properties of the samples prepared with basalt aggregate were better than the aggregates prepared using limestone aggregate.

Keywords: Thermal conductivity, Rubber, Cellulosic Fiber, SBS, SIS, Elvaloy, SEBS, Polyolefin Elastomer, Nanoclay, Stone Mastic Asphalt

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Termal iletkenliğin kaba agrega içeriğine bağlı değişimi	3
Şekil 2. Yaşlanmanın asfalt numunesinin termal iletkenliğine etkisi.....	5
Şekil 3. Bitüm üretiminin basitleştirilmiş şeması.....	13
Şekil 4. Asfalt karışımlarının tipik granülometri eğrisi.....	17
Şekil 5. Asfaltın sıcaklığa göre yük altındaki değişimi	24
Şekil 6. TMA karışımının genel yapısı.....	25
Şekil 7. Geleneksel asfalt betonu ile iletken asfalt betonu arasındaki.....	27
Şekil 8. Snowfree sistemi enkesiti.....	28
Şekil 9. O'Hare Uluslararası Havaalanında gerçekleştirilen.....	29
Şekil 10. Ankara protokol yolu üzerindeki elektrikli ısıtma kablosu.....	29
Şekil 11. Elektrikli ısıtma elemanlarının yerleşimi	30
Şekil 12. Toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma sistemi	31
Şekil 13. Asfalt bir yolun termal görüntüsü	32
Şekil 14. Asfalt yol üzerindeki ısı dengesi	33
Şekil 15. Sıcaklığın değişimine bağlı olarak ısı geçişi	35
Şekil 16. Isı iletim katsayısı ölçülen parçada ısı akışı	36
Şekil 17. Muhafazalı sıcak levha yöntemi.....	37
Şekil 18. Sıcak tel yöntemi.....	38
Şekil 19. Deneysel akış diyagramı	40
Şekil 20. TMA aşınma tabakası Tip-1 agrega gradasyon eğrisi.....	45
Şekil 21. TMA aşınma tabakası Tip-2 agrega gradasyon eğrisi.....	46
Şekil 22. Geleneksel asfalt betonu Tip-1 agrega gradasyon eğrisi.....	46
Şekil 23. Geleneksel asfalt betonu Tip-2 agrega gradasyon eğrisi.....	47
Şekil 24. Geleneksel asfalt betonu Tip-3 agrega gradasyon eğrisi.....	47
Şekil 25. Çalışmada kullanılan katkı maddeleri	48
Şekil 26. Kauçuk katkı maddesi	49
Şekil 27. Selülozik Elyaf	50
Şekil 28. SBS katkı maddeleri (a) Kraton D1192 ESM, (b) Europrene SOL T 6302.....	52

Şekil 29. SIS katkı maddesi	53
Şekil 30. Elvaloy	54
Şekil 31. SBES Elastomeri	55
Şekil 32. Poliolefin Elastomer	56
Şekil 33. Nanokil	57
Şekil 34. Agregaların gradasyona göre hazırlanması	59
Şekil 35. Gradasyona göre hazırlanıp sınıflandırılan agregalar	59
Şekil 36. Hazırlanan agregaların etüve yerleştirilmesi	60
Şekil 37. Gradasyona göre hazırlanan agregaya bitümün ilave edilmesi	60
Şekil 38. (a) Malzemelerin karıştırılması, (b) oluşturulan karışımın kaplara yerleştirilmesi	61
Şekil 39. Decagon KD2 Pro Thermal Properties Analyzer	62
Şekil 40. Numunelerin termal iletkenliğinin ölçülmesi	63
Şekil 41. Termal iletkenlik katsayısının agrega oranına bağlı olarak değişimi	66
Şekil 42. Termal İletkenlik katsayısının agrega gradasyonuna bağlı değişimi	67
Şekil 43. Bazalt agregası ile oluşturulan numunelerin termal iletkenlik katsayısının kullanılan katkı maddesi cinsine göre değişimi	68
Şekil 44. Kireç taşı agregası ile oluşturulan numunelerin termal iletkenlik katsayısının kullanılan katkı maddesi cinsine göre değişimi	69
Şekil 45. Termal iletkenlik katsayısının kullanılan agrega cinsine göre değişimi	70

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Esnek üstyapı tabakaları	11
Tablo 2. Yarı rijit üstyapı tabakaları	12
Tablo 3. Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılması	21
Tablo 4. Bitümlü bağlayıcı özellikleri	41
Tablo 5. Bazalt agregasının kimyasal özellikleri	41
Tablo 6. Bazalt agregasının fiziksel özellikleri	42
Tablo 7. Kireç taşı agregası fiziksel özellikleri	43
Tablo 8. TMA aşınma tabakası TİP-1 agrega gradasyonu ve şartname limitleri	43
Tablo 9. TMA aşınma tabakası Tip-2 agrega gradasyonu ve şartname limitleri	44
Tablo 10. Geleneksel asfalt betonu Tip-1 gradasyonu ve şartname limitleri	44
Tablo 11. Geleneksel asfalt betonu Tip-2 agrega gradasyonu ve şartname limitleri	44
Tablo 12. Geleneksel asfalt betonu Tip-3 agrega gradasyonu ve şartname limitleri	45
Tablo 13. Selülozik Elyafın Özellikleri	50
Tablo 14. SBS katkı maddesi ve Özellikleri (KRATON D1192 ESM)	51
Tablo 15. SBS katkı maddesi ve Özellikleri (Europrene® SOL T 6302)	51
Tablo 16. SIS (stiren isopren stiren) ve Özellikleri	52
Tablo 17. Elvaloy ve Özellikleri	53
Tablo 18. SEBS ve Özellikleri	54
Tablo 19. Poliolefin Elastomer ve Özellikleri	55
Tablo 20. Nanokil ve Özellikleri	56
Tablo 21. Optimum bitüm içeriği değerleri (%)	58
Tablo 22. Bazalt agregası kullanılarak farklı gradasyonlarda hazırlanan asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK)	64
Tablo 23. Bazalt agregası kullanılarak geleneksel asfalt betonu Tip-1'e göre oluşturulan modifiye asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK)	65
Tablo 24. Kireç taşı agregası kullanılarak geleneksel asfalt betonu Tip-1'e göre oluşturulan modifiye asfalt karışımların termal iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK)	65

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	: Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
ASTM	: Amerika Test ve Malzeme Kurumu
DSC	: Differential Scanning Calorimetry
EL	: Elvaloy
İAB	: İletken Asfalt Betonu
k	: Isı iletim katsayısı
K	: Kelvin
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KIA	: Kentsel Isı Adası
KTŞ	: Karayolu Teknik Şartnamesi
m	: Metre
MPa	: Mega Pascal
Pa	: Pascal
Pa.s	: Pascal-Saniye
SBS	: Stiren-bütadien-stiren
SEBS	: Stiren-etilen-bütülen-stiren
SIS	: Styrene Isoprene Styrene
TMA	: Taş mastik asfalt
TPD	: Taş Parlatma Değeri
W	: Watt

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Asfalt karışımlar, agrega, bitüm ve katkı maddelerinden oluşan heterojen karışımlardır. Karışımı oluşturan bileşenlerden bitümün viskoelastik yapısından dolayı asfalt kaplamalar sıcaklık değişimlerinden önemli derecede etkilenmektedirler.

Yaz günlerinde, asfalt kaplamanın yüzeyi 60°C sıcaklığa kadar ısınabilmektedir (Chen vd., 2009). Kış aylarında ise oluşan sert hava koşullarından dolayı özellikle ülkemizin doğu bölgesinde sıklıkla kar ve buzlanma görülmektedir. Asfalt kaplamalarda oluşan kar ve buzlanma seyahat konforunu etkilemekte ve güvenlik açısından önemli tehditler oluşturmaktadır. Kar ve buzlanmanın sebep olduğu olumsuzlukları önlemek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler geleneksel ve termal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Geleneksel yöntemler (küreme, tuzlama, kimyasal madde uygulamaları vb.) zamanla kaplamaya zarar vermekte ve ekonomik sıkıntılara neden olmaktadır. Son dönemlerde bu olumsuzlukları gidermek amacıyla termal yöntemler (iletken asfalt betonu kullanımı, elektrikli ısıtma kabloları kullanımı, akışkan ısıtma yöntemi, kızılötesi ısı yayan ısıtma) kullanılmaktadır. Yaz ve kış aylarında aşırı sıcaklık değişiklikleri olduğunda, sıcaklık kaplama yüzeyinden alt 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 azaltabilmekte ve ciddi olumsuzluklar yaratabilmektedir. Asfalt kaplamaların mekanik fonksiyonları büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bu sebeple, asfalt karışımlarının ısı iletkenliğinin doğru tahmini, kaplama tasarımı için son derece önemlidir.

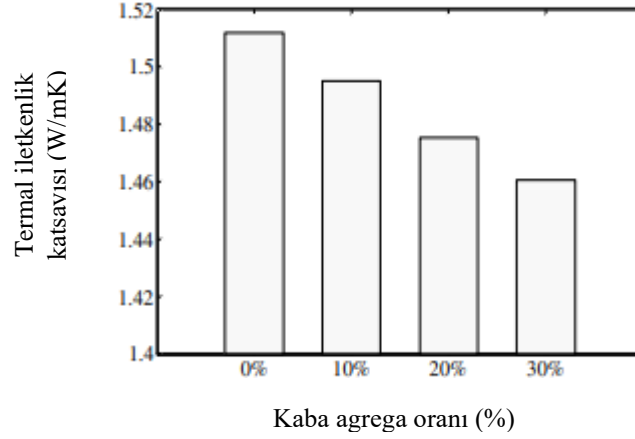
Isı transfer miktarı kullanılan materyallerin termal iletkenlikleri ile ilgilidir. Termal iletkenlik, bir maddenin ısı iletme kabiliyetini gösterir ve 1°C sıcaklık farkında malzemenin birim kalınlığından geçen birim alan ısı akışı olarak tanımlanır (Özışık,1979).

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, asfalt karışımlarının termal iletkenliklerinin agrega gradasyonu, 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 geleneksel asfalt betonu (Tip-1, Tip-2 ve Tip-3) aşınma tabakası tasarımları yapılmıştır. Kauçuk, selülozik elyaf, stiren bütadiyen stiren (SBS), stiren isopren stiren (SIS), elvaloy, stiren etilen butilen stiren (SEBS), poliolefin elastomer ve nanokil gibi modifiyer türleri kullanılarak asfalt karışım numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan asfalt karışımlarının, termal iletkenlik katsayıları ölçülmek suretiyle termal iletkenlikleri değerlendirilmiştir.

1.3. Konunun Özgeçmişi

Asfalt betonunun termal iletkenliğini hesaplamak amacıyla sonlu elemanlar modeli geliştirilmiş ve sabit ısı transfer işlemi uygulanmıştır. Deneylerde kullanılacak asfalt betonunu kullanılan agrega boyutuna göre rastgele oluşturulmuş ve üç fazlı mikro yapısının modelleri çıkarılmıştır. Hesaplama maliyetlerini azaltarak farklı uzunluk ölçeklerindeki farklı büyüklükteki kümelerin etkisini değerlendirmek için çok ölçekli bir simülasyon kullanılmıştır. Simülasyonu yaratmak için ABAQUS programı kullanılmış, programa aktarılan rastgele agrega mikro yapıları yaratmak için de MATLAB kodları geliştirilmiştir. Literatürdeki granitin ısıl iletkenliği nedeniyle, modeli basitleştirmek için tüm agregalar granit olarak seçilmiştir (Hahn ve Özışık, 2012). Deney verileri ile simülasyon sonuçları birbirilerine yakın çıkmıştır. Program ile elde edilen sonuçlar diğer analitik modellerden tahmin edilen sonuçlardan çok daha yüksek doğruluk göstermiştir. Termal iletkenliğin, hava boşluklarının ve kaba agrega oranının artması ile termal iletkenliğin azaldığı görülmüştür (Chen vd., 2015).



Şekil 1. Termal iletkenliğin kaba agrega içeriğine bağlı değişimi

Bitümlü karışımların ısı iletkenliğini incelemek amacıyla yapılan çalışmada bitümlü klorit ve bazalt agregaları kullanılarak farklı derecelerde dört karışım oluşturulmuştur. Test sonuçlarına göre, bitümün, agregalar arasında diğer bağlayıcı türleri gibi termal köprü oluşturduğu görülmüştür. Bitümlü karışımların termal iletkenliğinin, agreganın mineral yapısına ve hava boşluğu miktarına bağlı olduğu anlaşılmıştır. Termal iletkenliğin agrega gradasyonundan nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla maksimum boyutu 10-20 mm'ye kadar ve dolgu maddesi miktarı %7.5 -%33.5 arasında farklı gradasyon dağılımları kullanılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde ısı iletkenliğin agrega boyutundan çok az etkilendiği görülmüştür (Côté vd., 2013).

Asfalt karışımın ısı özellikleri üzerine iletken dolgu boyutunun ve tipinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, ısı iletkenlik, ısı difüzyon, iletken dolgular kullanılarak asfalt karışımının özgül ısısı ve kaplamada tek boyutlu simülasyon (1d) kullanılarak iletkenlik performansı gibi ısı fonksiyonların geliştirilmesine odaklanmıştır. İletken asfalt betonu örneklerinin üretilmesinde bazalt esaslı agrega, bağlayıcı olarak 25°C'de 61 penetrasyon dereceli bitüm ve iletken katkı maddesi olarak doğranmış karbon lifi, öğütülmüş karbon lifi pul grafit tozu sentetik grafit tozu, kullanılmıştır. Pul grafit tozu ve sentetik grafit tozu bitümlü bağlayıcı hacminin %5, 10, 15, 20 ve 25; doğranmış karbon lifi bitümlü bağlayıcı hacminin %1 ve 2; öğütülmüş karbon lifi ise bitümlü bağlayıcı hacminin %2, 4, 6, 8, 10 oranında kullanılmıştır. Deney sonuçları, karbon lifleri ve grafitin asfalt karışımların termal iletkenliğini arttırdığı fakat belirli bir miktarı aşıldığında, iyileşmenin azaldığını göstermiştir. Toz katkı maddelerinden sentetik grafit tozunun termal iletkenliğinin pul grafit tozu karışımından biraz yüksek termal iletkenliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Lifli dolgular

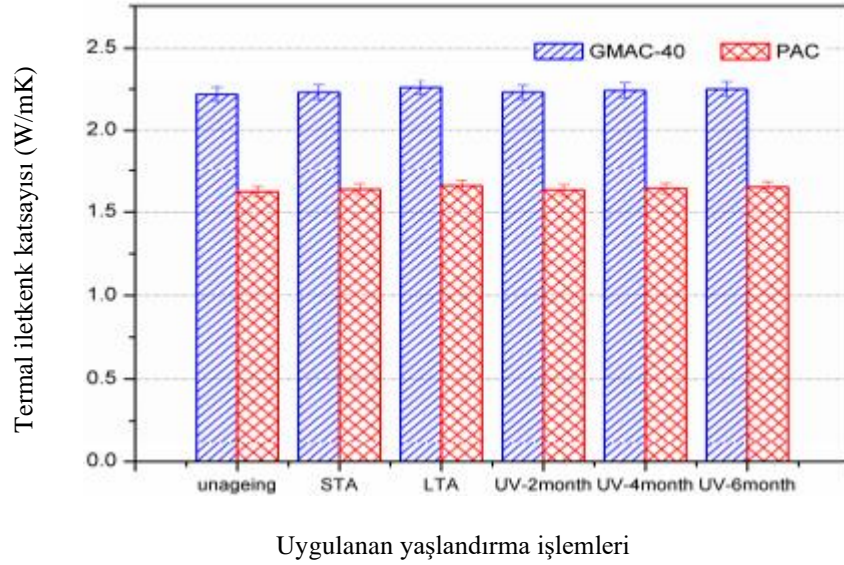
da ögütülmüş karbon lifi karışımların termal iletkenliğinin doğranmış karbon lifi karışımlardan daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Karbon lifi ile hazırlanan karışımlar grafit tozundan çok daha iyi sonuç vermiştir. En yüksek termal iletkenliği sağlamayı başaran uygun miktarda iletken katkı maddesi içeren karışımlar G20, SG10, CF1 ve MF6 olmuştur. Bu sonuçlar çok miktarda iletken malzeme içeren bitümlü bağlayıcının reolojik fonksiyonlarında ve asfalt karışımların hacimsel fonksiyonlarında değişikliklere neden olması ile açıklanmıştır (Vo vd., 2015).

İletken taş mastik asfaltın termal özelliklerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, buzlanma karşıtı elektriksel iletken taş mastik asfalt üretmek için sadece karbon fiber, sadece grafit tozu ve hem karbon fiber hem de grafit tozu kullanarak numuneler hazırlanmıştır. Elektriksel iletken taş mastik asfaltın dirençleri iki farklı sıcaklıkta ölçülmüş ve sıcaklığın elektriksel iletkenlik üzerindeki etkisi değerlendirilerek, sıcaklıktaki düşüşün elektriksel iletken taş mastik asfaltın elektriksel iletkenliğini arttırdığı ortaya çıkmıştır. Hem tek fazlı hem de iki fazlı numuneler için özdirenç verileri analiz edildikten sonra, tek fazlı numunelerin ısı üretim verimliliği, iletken malzeme dozajında optimalden biraz daha yüksek olarak araştırılmıştır. Isı üretimi verimliliği, donma sıcaklığının altında aktif kızılötesi temografi (IRT) ile ölçülmüştür. IRT analizi sonuçlarına göre, karbon fiber ile hazırlanan tek fazlı elektriksel iletken taş mastik asfaltın buz eritmek veya oluşumunu önlemek için yeterli ısı üretebildiği tespit edilmiştir (Arabzadeh vd., 2018).

İletken yol üzerinde oransal kırılma boyutunun incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İletken asfalt betonunda kullanılan malzemelerin dağılımı düzensiz olarak görünse de kendine ait belirli bir fraktala sahiptir. İletken yolların iletkenlik özelliklerinin belirlenmesinde fraktal boyutlar önemli bir etkiye sahiptir. Bu sebeple asfalt betonunun dağılım özelliklerini incelemek amacıyla MATLAB programında fraktal teori kullanılarak iletken yol üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Grafit içeriği hacimce % 4 -% 14 olduğunda fraktal boyut 1.22-1.89 olarak ölçülmüştür. Fraktal boyut ile direnç değişimi arasındaki ilişki karşılaştırıldığında fraktal boyut ve özdirenç grafit içeriği ile paralel olarak değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. (Liu vd.,2016).

Donma-çözülme ve yaşlanmanın iletken asfalt betonun (CAC) termal özellikleri ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Asfalt malzemenin donma-çözülme döngüleri ve yaşlanması, asfalt kaplamanın dayanıklılığını

etkileyebilecek kritik faktörler olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmada, iletken asfalt betonun mekanik özellikleri ve termal özellikleri üzerindeki donma-çözülme ve yaşlanmanın etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kontrol asfalt beton örnekleri (PAC), grafit eklenerek oluşturulan numuneler (GMAC-40) ile aynı agrega gradasyonu ile hazırlanmıştır. Standart kısa dönem yaşlandırma (STA) testi malzemelerin üstyapıya yerleştirmesine kadar geçen sürede meydana gelen yaşlanmayı temsil etmektedir. Uzun dönem yaşlandırma (LTA) ve ultraviyole (UV) yaşlandırma testleri ise sırasıyla, malzemelerin 5 yıllık ve ömür boyu hizmet yaşlanmasını temsil etmektedir. UV yaşlandırma testinin ardından numunelerin termal özellikleri 2, 4 ve 6 aylık sürelerle incelenmiştir. Asfalt betonun termal özellikleri termal iletkenlik analiz cihazı ile incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, donma-çözülme etkisinin CAC örneklerinin hacim genişlemesine ve mukavemet bozulmasına yol açacağını göstermiştir. Donma-çözülme testi sırasında, CAC'nin termal iletkenliği ve özgül ısısı azalırken, termal difüzyivite artmıştır. Yaşlanma süreci iletken asfalt betonun nem direncini, düşük sıcaklık ve yorulma özelliklerini bozmasına rağmen, orijinal ve yaşlı numuneler arasında termal iletkenlik, termal difüzyivite ve özgül ısıda anlamlı bir fark olmamıştır. Yaşlanmanın asfalt numunesinin termal iletkenliğine etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Kontrol asfalt betonu ile karşılaştırıldığında, grafitin dahil edilmesi iletken asfalt betonun yaşlanma karşılığı özelliklerini geliştirmiştir (Pan vd., 2017).



Şekil 2. Yaşlanmanın asfalt numunesinin termal iletkenliğine etkisi

Dolaylı gerilme deformasyonu altında iletken asfalt betonun kendi kendini iyileştirmesinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Dolaylı gerilme deformasyonu altında direnç ve deformasyon değişikliklerini inceleyerek, numunenin tahrip edilmesi sırasında çıkış özdirenç değişikliklerinin üç farklı aşaması gözlemlenmiştir. İlk yükleme aşamalarında, karışım parçacıkları arasındaki temas sıkılaşmıştır, çünkü yükleme altındaki numune daha iletken bir yol oluşturur ve direnç önemli ölçüde azalmıştır. İkinci aşamada, asfalt betonu düzgün bir şekilde deforme olmuş, asfalt betonunun iç kısmındaki küçük değişiklikler de dirençteki küçük değişikliklere karşılık gelmiştir. Son aşamada, asfalt betondaki çatlakların gelişimi nedeniyle, numuneler tahrip olmuş ve iletken yollar da ciddi şekilde hasar görmüş ve bu da direnci önemli ölçüde arttırmıştır. İletken asfalt betonu, uygulanan yüklemenin neden olduğu deformasyona karşı iyi bir kendi kendini kontrol etme yeteneğine de sahiptir. Dirençteki değişikliklere karşılık gelen birim deformasyon, grafit içeriği daha düşük olduğunda daha büyüktür. BT (Bilgisayarlı Tomografi)tanımlaması, özdirençteki değişikliklerin, yorulma arızası nedeniyle iç kısımdaki malzeme değişikliklerinden kaynaklandığını doğrulamıştır. Dirençteki azalma veya artış, malzemenin iç gözenekliliğinde bir azalma veya artışın sonucu olmuştur (Liu vd., 2015).

Karbon dolgu maddelerinin iletken asfalt betonunun özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Asfalt malzemelerinin elektriksel ve yol özellikleri, grafit ve karbon fiber gibi farklı iletken malzemeler kullanılarak değiştirilmiştir. Malzeme özellik değişiklikleri DMA (dinamik makine analizi) testi, tekerlek izi rutting testi, Marshall stabilite testi, bölme testi ve elektriksel özellik karakterize testi kullanılarak incelenmiştir. Grafit içeriği %30'dan az olduğunda, düşük sıcaklıkta asfalt bağlayıcıların depolama modülünde ve kayıp modülünde düşüş göstermiştir. Grafit içeriği %40'a eşit olduğunda modül maksimum değerlere ulaşmıştır. Ek grafit, asfalt bağlayıcıların depolama modülünü ve kayıp modülünü azaltmıştır. Asfalt karışımına ağırlık olarak %40 grafit ve %0.3 karbon fiber eklenmesiyle, asfalt karışımının direnci 835 'e düşmüştür, Marshall stabilitesi %4, bölünme mukavemeti %18 ve dinamik stabilite %78 artmıştır. Bununla birlikte, aşırı karbon fiber veya çok az karbon fiber, kaldırım mukavemetini arttırmamıştır. Dolaylı gerilme testinde, kompozitlerin özdirenç evrimi süreçlerinin dört periyodu olduğu bulunmuştur: tersinir algılama periyodu, denge periyodu, sürekli artan periyot ve keskin bir şekilde artan periyot. Bu dört dönem, malzemenin farklı içyapılarına karşılık gelmiş ve bu da iletken asfalt

karışımında hasar ve çatlakların kendi kendini iyileştirmesinin mümkün olduğunu göstermiştir (Liu vd, 2014).

İletken lifler ve dolgu maddeleri içeren asfalt betonun elektriksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada asfalt betonun mekanik özelliklerinden ödün vermeden elektriksel olarak iletken asfalt betonu tasarlamak amaçlanmıştır. Elektriksel olarak iletken katkı maddelerinin (çelik elyaf ve grafit) asfalt betonun laboratuvar tarafından ölçülen elektriksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için çeşitli testler yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, fiberin tek fiber çekme testinden çatlak boyunca köprü kurma potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için kritik çelik fiber uzunluğunun 9,6 mm olduğunu göstermiştir. Hem çelik elyaf hem de grafit, yeterince düşük dirençli iletken asfalt beton üretilebilmiştir, ancak çelik elyaf, asfalt betonun iletkenliğini arttırmak için grafitten çok daha etkili olmuştur. Çelik elyaf ve grafit kombinasyonu, asfalt betonun direncini daha geniş bir aralıkta hassas bir şekilde tutabilmiştir. Ayrıca, optimize edilmiş miktarda çelik elyaf içeren asfalt beton, düz betona kıyasla Marshall Stabilitesinde, rutting direncinde, dolaylı gerilme mukavemetinde ve düşük sıcaklık çatlama direncinde önemli bir gelişmeye neden olmuştur. Grafit ilavesi, bozulmuş Stabilite ve düşük sıcaklık performansı ile kalıcı deformasyon direncini arttırmıştır. Çelik elyaf ve grafit içeren asfalt beton, çelik elyaf takviye ve sertleştirme etkisini zayıflatmış, ancak yine de düz betona kıyasla mekanik performansta önemli bir iyileşmeye sahip olmuştur (Wang vd., 2016).

İletken asfalt betonun piezoresistivite etkisi ve mekanizması üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, uygulanan gerilme veya deformasyonun iletken asfalt betonun direnci üzerinde büyük bir etkiye sahip olabileceğini ve bu etkinin de piezoresistivite etkisi olarak adlandırıldığını göstermiştir. Piezoresistivite etkisi, asfalt betonun mikro yapı değişimini yansıtır. Piezoresistivite etkisini yorumlamak için bir seri sarılmış model oluşturulmuştur. İç yapıdaki elektronik taşıyıcıların sayısı, iletken asfalt betonunun elektriksel özelliklerini etkilemekte ve bu sayı farklı yükleme koşullarında değişmektedir. Bu nedenle iletken asfalt betonunun piezoresistivite etkisi elektronik olarak analiz edilebilir taşıyıcıların sayısı ve öz direnç ile elektronik taşıyıcıların sayısı arasındaki ilişki ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır (Liu ve Wu, 2009).

Çimento hamuru ve karbonlu malzemelerle modifiye edilmiş taş mastik asfaltın elektriksel ve termal özelliklerinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada

buzlanmayı önlemek amacıyla karbon fiber (CF) ve grafit tozuyla ile modifiye edilmiş elektriksel olarak iletken taş mastik asfalt ve elektriksel olarak iletken çimento hamuru üretilmiştir. Optimum CF içeriği tespit edilmiş ve bu çalışmanın bir başka yeni özelliği olan belirli CF içeriğinde sıcaklığa bağlı hacim öz direnç değişimi incelenmiştir. Isı üretimi verimliliği, optimum değere eşit veya daha büyük birkaç farklı CF içeriği ile Kızılötesi termografi (IRT) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, daha yüksek iletkenliğe sahip iletken çimento hamurunun, bir sıcaklık değişimine maruz kaldığında kararlı elektriksel davranış sergilerken, iletken taş mastik asfaltın öz direnci sıcaklık düştükçe düşmüştür. Ayrıca, bu çalışma hem iletken taş mastik asfaltın hem de iletken çimento hamurunun, iletken malzemelerin uygun dozaj oranları ile değiştirildiğinde tatmin edici bir ısı seviyesi üretebileceği sonucuna varılmıştır (Arabzadeh vd., 2019).

Çukurların onarımı için termal taş mastik asfaltın özelliklerinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada stiren-bütadien stiren (SBS) varlığında ve yokluğunda asfalt ve silisyum-karbür (SiC) tozu ile üretilen termal asfalt harcı (ThAM) değerlendirilmiştir. Optimum SBS ve SiC oranları, Viskozite, süneklik ve sıcaklık stabilitesinin optimizasyonu ve dengesi ile belirlenmiştir. SBS ve SiC optimum içeriğinin sırasıyla %5 ve %10 olduğu sonucuna varılmıştır. Hem termal asfalt (ThA) hem de geleneksel asfalt (tra) için ısı emme oranları test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Demir tozu ile karıştırılmış veya karıştırılmamış iki tip termal asfalt beton (ThAC) hazırlanmış, ThAC performansı sistematik olarak değerlendirilmiştir. Dinamik stabilite 5872 kez / mm'ye ulaşırken, düşük sıcaklıkta bükülme sertliği modülü 5505 MPa olmuştur, bu da hem tekerlek izi direncinin hem de çatlama direncinin olumlu bir şekilde etkilendiğini göstermiştir. ThAC termal iletkenliği TrA karışımının dört katı daha yüksek (19.642 W/(mK)) çıkmıştır (Li vd., 2018).

İletken asfalt güneş kolektöründe buz ve kar eritme işleminin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Asfalt kaplamaların kar eritme sistemi için genel tasarım gereksinimlerini tahmin etmek için sayısal bir simülasyon yöntemi kullanılmış ve önceki simülasyondan elde edilen tasarım parametreleri kullanılarak bir tür deneysel asfalt kar eritme sistemi inşa edilmiştir. Asfalt betonun ısı iletkenliğini arttırmak için grafit tozları kullanılmıştır. Termal iletken asfalt betonun (AC) kar eritme performansı ve asfalt kaplama sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, asfalt güneş kolektörünün (ASC) bize kar eritme için daha iyi bir alternatif yöntem sağladığını

göstermiştir. Daha yüksek sıvı sıcaklığı, kar eritme sisteminin performansını artırmanın olumlu bir yolu olmuştur. Bununla birlikte, enerji israfını azaltmak için çok yüksek bir sıvı sıcaklığı tutmanın gereksiz olduğu anlaşılmıştır. Asfalt plakalardaki homojen olmayan sıcaklıklar fark edilir derecede olmuştur. Ayrıca, ısı iletimi ve kar eritme performansı CAC kullanılarak artırılabilir olduğu sonucuna varılmıştır (Chen vd., 2011).

Elektriksel olarak iletken gözenekli asfalt betonun indüksiyonla ısıtılmasının incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada iki tür katkı maddesi kullanılmıştır. Bunlar çelik fiber ve çelik yünüdür. Bu çalışma sonucunda asfalt betonunu elektriksel olarak iletken hale getirmek için, küçük çaplı uzun çelik yünün, daha büyük çaplı kısa çelik elyaflardan daha iyi olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, kısa uzunlukta ve büyük çaplı çelik liflerin, uzun uzunlukta ve küçük çaplı çelik yünden daha iyi mukavemet sağlama kabiliyetine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çelik yünü içeren iletken gözenekli asfalt betonun indüksiyonlu ısıtma ile kolayca ısıtılabilceği kanıtlanmıştır. Son olarak, % 10 (bitüm hacmine göre) çelik yünü tip 000, optimal bir iletkenlik, iyi bir indüksiyonlu ısıtma oranı ve kabul edilebilir bir dolaylı gerilme mukavemeti elde etmek için gözenekli asfalt betonunda optimal içerik olarak önerilmiştir. İndüksiyonla ısıtma sırasında sıcaklığın artmasıyla asfalt betonun otojen iyileştirme kapasitesinin artması beklenmiştir (Liu vd., 2010).

Karbon bazlı dolgu maddeleri içeren asfalt kompozitlerin elektriksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, sekiz grafit ve karbon siyahı içeren toz tipi karbon bazlı katkı maddelerinin asfalt kompozitler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mastik testi sonuçları, asfalt mistiklerinin elektriksel iletkenliğinin büyük ölçüde parçacık şeklinden etkilendiğini ve pul tipi grafitin iletkenlik kazandırmada etkili olduğunu göstermiştir. Mastik test sonuçlarına göre iki pul tipi grafit seçilmiş ve asfalt beton numunelerine eklenmiştir. Sonuçlar, asfalt betonunun hacmine göre % 2-3 oranında dolgu boyutunda pul grafit eklenerek yeterince yüksek bir elektriksel iletkenlik elde edilebileceğini göstermiştir. Ek olarak, pul grafit eklemek, asfalt betonunun dolaylı çekme dayanımını % 40'a varan oranlarda iyileştirmiştir. Çalışmanın bulguları, asfaltik kompozitlerin çok işlevli uygulamaları için karbon bazlı toz tipi iletken katkı maddelerinin kullanımında temel arka planlar sağlamıştır (Rew vd., 2017).

İletken lifler ve dolgu maddeleri içeren asfalt harcının elektriksel iletkenlik özelliklerinin incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elyaf içeriğinin,

kum-bitüm oranının ve dolgu maddelerinin ve liflerin kombinasyonunun asfalt harcının direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sızıntı eşiğinin, elektriksel olarak iletken liflerin eklenmesiyle, dolgu maddelerinin eklenmesinden daha erken gerçekleştiği bulunmuştur. Sızıntı eşiğinin kum-bitüm oranı ve liflerin hacminden etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca, iletken dolgu maddelerinin, iletken liflerin ve dolgu maddelerinin bir karışımının numune içine eklenmesi durumunda, maksimum iletkenliğe ulaşıldığında, eklenen iletken dolgu maddesinin hacminden bağımsız olarak sabit kaldığı görülmüştür. Nano BT taraması rekonstrüksiyonları, karışımın içine bağlanan lifleri görselleştirmek için kullanılmıştır. Son olarak, araştırmayı doğrulamak için üç farklı örnek indüksiyonla ısıtılmış ve sıcaklık değişimleri ölçülmüştür (García vd., 2009).

1.4. Karayolu

Karayolları, doğal zemini istenen kota getirmek ve motorlu araçların belirli bir hızda, güvenli bir rota boyunca rahat manevralar yapabilmesi için oluşturulan yapılar olarak tanımlanabilir. Karayolları önceden belirlenmiş geometrik standartlara göre tasarlanmaktadır. Karayolu yapıları farklı birtakım fonksiyonları sebebiyle altyapı ve üstyapı olmak üzere iki bölümde incelenir (Eker, 2019).

1.4.1. Karayolu Altyapısı

Karayolu altyapısı, yolun yapılan toprak işleri sonunda daha önceden saptanan kot, koordinat ve enkesitleri ile projesine uygun şekle getirilmiş kısmıdır. Karayolu altyapısı yolun esas taşıyıcı kısmını oluşturur, görevi üstyapının iletmediği yükleri daha geniş bir alana yaymaktır. Karayolu altyapısı içinde kazı, dolgu gibi toprak işlerini ve menfez istinat duvarı gibi sanat yapılarını kaplar (Yayla,2002).

1.4.2. Karayolu Üstyapısı

Karayolu üstyapısı, yolun trafik yüklerini taban yüzeyine dağıtarak taşıyan alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan kısmıdır. Alt temel tabakasının görevi temel

tabakasından gelen yükleri tabana aktarmaktır, don olaylarına karşı kaplamanın bozulmasını önler (Yayla,2002). Temel tabakası alt temel ile kaplama arasındaki katmandır, amacı kaplamadan gelen basıncı düşürmek ve esneklik ağılamaktır. Kaplama tabakası trafiğin doğrudan temas ettiği tabakadır. En yaygın olan türü asfalt kaplamadır.

Üstyapılar kaplama tabakasinda kullanılacak olan malzemelerin özelliklerine, türlerine ve yapım yöntemlerine göre Rijit Üstyapı (Beton yol), Yarı Rijit Üstyapı, Esnek Üstyapı (Asfalt yol) ve olmak üzere üç kısımda incelenirler.

1.4.2.1. Rijit Üstyapı

Portlant çimentosundan yapılan yüksek eğilme mukavemetli beton plakanın yüklerin büyük bir kısmını taşıdığı ve geriye kalan kısmı zemine dağıtan üstyapı şeklindedir. Üstyapı tabanının dayanımına bağlı şekilde altına temel tabakası yapılabilir veya yapılamayabilir (Orhan,2012).

1.4.2.2. Esnek Üstyapı

Bitümlü kaplama tabakaları ile geliştirilen üstyapı şekillerine ise Esnek Üstyapı denir. Esnek üstyapı yükün çoğunun üst yapıyı oluşturan asfalt bağlayıcı bir katman tarafından taşındığı ve geri kalanının temele aktarıldığı bir üstyapı türüdür. Stabilesi agrega kenetlenmesine, tane sürtünmesine dolayısıyla kohezyona bağlıdır. Esnek üstyapı aşınma tabakası, temel tabakası ve alttemel tabakalarından meydana gelir (Orhan,2012). Tablo 1’de esnek üstyapının tabakaları görülmektedir.

Tablo 1. Esnek üstyapı tabakaları (Orhan,2012).

KAPLAMA TABAKASI
TEMEL
ALT TEMEL
ÜSTYAPI TABANI

1.4.2.3. Yarı Rijit Üstyapı

Yarı Rijit üstyapı bitümlü kaplamada bir veya birden fazla hidrolik bağlayıcılık özelliği olan tabaka içeren ve yükleri geniş bir yüzeye yayıp tabana aktaran bir üstyapı şeklindedir (Orhan,2012). Tablo 2’de yarı rijit üstyapının tabakaları görülmektedir.

Tablo 2. Yarı rijit üstyapı tabakaları (Orhan,2012).

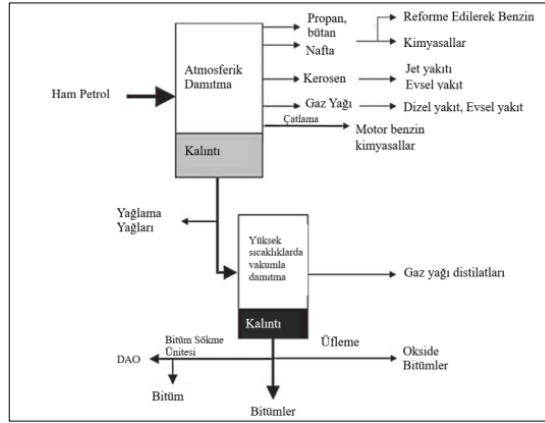
KAPLAMA TABAKASI
TEMEL
ALT TEMEL
TABAN

1.5. Yol Üstyapısında Kullanılan Malzemeler

1.5.1. Bitüm

Bitüm; Petrol rafinerilerinde ham petrolün damıtılmasıyla oluşan, karbondisülfid (C_2S) içerisinde bütünüyle çözünebilen, hidrokarbonlardan oluşmuş, likit yarı katı ve katı halde bulunan yapışkan ve su geçirimsiz organik kökenli bir maddedir (Tunç,2007;Yüknü vd.,2020). Tipik bir asfalt kaplama karışımı % 4 ile % 7 arası bitüm içeriğine sahiptir (KTŞ,2013). Bitümlü bağlayıcılar bitkisel kökenli kömürden elde edilen katranlar ve hayvansal kökenli petrolerden elde edilen asfaltlardır (Tunç,2007). Bitümler doğal ve yapay bitümler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Doğal bitümler göl ve kaya asfaltları olarak iki kategoride incelenir. Doğal bitümler yeryüzüne ham olarak çıkan petrolün içerisinde bulunan uçucu maddelerden ayrılmasıyla kullanılabilir hale getirilen bitümlerdir. Yapay bitümler ise ham petrolün petrol rafinelerinde damıtılmasıyla oluşturulan bitümlerdir (Yüknü vd., 2020). Şekil 3’te bitüm üretiminin basitleştirilmiş şeması gösterilmektedir.



Şekil 3. Bitüm üretiminin basitleştirilmiş şeması (Yüknü vd., 2020)

Bitümlü bağlayıcıların özelliklerini belirlemek amacıyla bazı deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler geleneksel deneyler ve superpave deneyleri olmak üzere iki grupta verilebilir.

- Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Geleneksel Deneyler

1-Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426): Bu deney bitümlü bağlayıcıların sertlik ve kıvamlılığını tespit etmek amacıyla yapılmaktadır.

2-Düktilite Deneyi (TS EN 12589): Bu deney bitümlü bağlayıcının düşük sıcaklıkta kohezyodan dolayı oluşan dayanımını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

3-Trikloretilende Çözünürlük Deneyi (TS EN 12592): Bu deney bitümlü bağlayıcının organik çözücüler ile çözünürlüğünü belirlemek amacıyla gerçekleştirilir.

4-Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427): Bu deney bitümlü bağlayıcıların sıcaklığa karşı duyarlılığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

5-Parlama Noktası Deneyi(T EN ISO 2592): Bu deney bitümü bağlayıcıların parlama noktaları belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir.

6-Özgül Ağırlık Deneyi (TS EN 15326+A1): Bu deney bitümlü bağlayıcının belirli sıcaklıktaki özgül ağırlığı ve yoğunluğunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir.

7-Frass Kırılma Noktası Deneyi (TS EN 12593): Bu deney bitümün düşük sıcaklıklardaki kırılma noktasını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir.

8-İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TS EN 12607-2): Bu deney bitümlerin agrega ile karıştırılmasıyla oluşan yaşlanmayı belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

- Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Superpave Deneyleri

1-Dönel Viskozimetre Deneyi: Bu deney asfaltın akış özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

2-Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TS EN 12607-1): Bu deneyin amacı bitümde oluşan uçucu madde kaybını belirlemek ve sıcaklık ve havanın bitümün fiziksel özelliklerindeki etkisini belirlemektir.

3-Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi (AASHTO R 28): Bu deney asfalt kaplamasının hizmet sırasında karşılaşılabilecek yaşlanma etkilerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

4-Dinamik Kayma Reometresi Deneyi (TS EN 14770): Bu deney bitümün sıcaklık ve yük etkisinde yorulma ve oluklanmaya karşı gösterdikleri direnci belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

5-Kiriş Eğme Reometresi Deneyi (TS EN 14771): Bu deney bitümün düşük sıcaklıklardaki davranışını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

1.5.1.1. Bitümün Reolojik Yapısı

Bitüm reolojik yapısı gereği sıcaklık değişimlerinden önemli derecede etkilenmektedir. Bir maddeye uygulanan yük ve yükün uygulanma zamanını dikkate alarak maddenin şekil değişikliğini inceleyen bilim dalına reoloji denilmektedir. Bitümün reolojisini belirleyen unsurları, belirli bir sıcaklıkta malzemedeki hâkim hidrokarbon moleküllerinin kimyasal bileşimi ve fiziksel yapısı oluşturmaktadır. Reoloji biliminin temel konularından biri de viskozitedir. Viskozite, bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Bitüm viskoelastik bir malzeme olduğundan dolayı sıcaklık değişimlerinden etkilenir (Kizirgil, 2013; Sybilski, 1994).

1.5.1.2. Bitümün Sıcaklığa Duyarlılığı

Bitümler ısıya karşı duyarlı olduklarından dolayı akışkanlığı değişebilmektedir. Genel olarak bitümün ısıya karşı duyarlılığının fazla olmaması beklenir. Bundan dolayı bitümün yüksek sıcaklıkta yeterince katı olması düşük sıcaklıklarda ise çok fazla gevrek olmaması gerekmektedir. Eğer bu durum sağlanamazsa kaplamalarda yüksek sıcaklıkta deformasyon, düşük sıcaklıklarda ise çatlama gibi bozulmalar görülebilir. Bu özellikten dolayı kaplamalarda tekerlek izi ve düşük ısı çatlakları görülebilmektedir (Kizirgil, 2013; Tunç, 2004).

Bitümlü bağlayıcının sıcaklıktan etkilenme derecesi penetrasyon ve yumuşama noktası değerine bağlı olup penetrasyon indeksi ile belirlenir. Sıcaklıktan çok etkilenen bitümlerin penetrasyon indeksi -3 civarında olup, sıcaklıktan az etkilenen oksitlenmiş bitümlerin penetrasyon indeksi +7 civarında bir aralıktadır (Whiteoak, 2004).

1.5.1.3. Viskozitenin Bitümün Performans Özelliklerine Etkisi

Viskozite, bitümün sınıflandırılmasında temel olarak kullanılan bir ölçüttür. Viskozite sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Bundan dolayı bitüm kullanıldığı sıcak karışımların önemli özelliklerini etkilemektedir. Değişen hava sıcaklıklarında bitümün viskozitesi değişmekte ve bu değişim kaplamada tekerlek izi, çatlak ve yorulma gibi bozulmalara neden olmaktadır (Kizirgil,2013).

Kaplama sıcaklığı -25°C ile 0°C arasında olduğu zaman karışımın viskozitesi oldukça yüksek bir değer alır. Bu sıcaklık aralığında ısının düşük olmasından dolayı kaplamada düşük sıcaklık çatlakları oluşabilmektedir. Kaplama sıcaklığı 10°C ile 40°C arasında olduğu zaman karışımın viskozitesi azalır ve karışım yumuşamaya başlar. Bu sıcaklık aralığında karışımda trafik yükü etkisiyle yorulma oluşabilmektedir. Kaplama sıcaklığı 40°C'nin üzerine çıktığında ise karışımın viskozitesi daha da azalmakta ve kaplamada tekerlek izi oluşumu görülebilmektedir (Balta, 2004).

Ülkemizde yol yapımında kullanılacak bitüm çeşidinin seçiminde bölgenin ortalama sıcaklık değişimi dikkate alınmaktadır. Ayrıca gece-gündüz ve mevsimsel sıcaklık farklarının yüksek olduğu bölgelerde yapılan çalışmalarda polimer bitüm tercih edilmektedir. Sıcak hava koşullarının hâkim olduğu bir iklimde yol yapımında kullanılan sıcak asfalt karışımlarında yüksek viskoziteye sahip bitüm, soğuk hava koşullarının etkili olduğu iklimler için düşük viskoziteye sahip bitüm kullanılmaktadır (Kaşak vd, 2004).

1.5.2. Agregata

Agregata; yapılarda kullanılan, doğal, yapay ve geri kazanılmış türleri bulunabilen taneli malzemelerdir. Agregalar yol yapımında ana malzemelerden biri olup bitümlü kaplamaların ağırlıkça % 90-95'i hacimce ise %80-85'ini oluşturur. (KTŞ,2013; Eren,2008). Agregaların

kullanım oranının bu denli fazla olması asfalt kaplamasının performansında büyük etkiye sahip olduklarını gösterir.

1.5.2.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri

1.5.2.1.1. Agregaların Elde Ediliş Şekline Göre Sınıflandırılması

Doğal agregalar; nehir, göl ve taş ocakları gibi doğal oluşum yerlerinden elde edilen kırılmış ya da kırılmamış halde bulunabilen malzemelerdir. Bu agregalar orijinine göre tortul kayalar, magmatik kayalar ve metamorfik kayalar olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Doğal agregaların parçalanmasıyla oluşan kum ve çakıl da doğal agrega olarak kullanılmaktadır (İlcalı vd., 2001).

Yapay agregalar ise sanayi ürünü agregalardır bunlar yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu gibi malzemelerdir.

Geri kazanılmış agregalar önceden başka bir yapıda kullanılmış ve işlenmiş malzemelerdir. Agreganın özellikleri yol hizmet kalitesi açısından son derece önemlidir.

1.5.2.1.2. Agregaların Dane Boyutuna Göre Sınıflandırılması

Kaba Agregası: Agregası karışımında kırılmış ve elenmiş olarak bulunan taş, çakıl veya bu ikisinin karışımından oluşan 4 No'lu (4.75 mm) elek üzerinde kalan kısım olarak adlandırılır. Kaba agregalar bozulmamış, temiz ve pürüzlü olmalıdır, yumuşak ve dayanıklı olmayan maddeler içermemelidir (Serin vd., 2011).

Kaba agregalar karışımın omurgasını oluşturur ve karışımın viskozitesinde önemli etkilere sahiptir. %55 kaba agrega oranına sahip kaplamaların %25 kaba agrega oranına sahip kaplamalardan daha az deformasyona uğradığı belirlenmiştir (Oruç, 1997).

İnce Agregası: Agregası karışımında kırılmış ve elenmiş olarak bulunan taş, çakıl veya bu ikisinin karışımından oluşan 4 No'lu (4.75 mm) elekten geçip 200 No'lu (0.075 mm) elek üzerinde kalan kısım olarak adlandırılır. İnce agrega, karışımındaki boşlukları doldurarak daha yoğun bir karışım oluşmasını sağlar (Oruç, 1997).

Mineral filler: Agregası karışımının 200 No'lu (0.075 mm) elekten geçen kısmı olarak adlandırılır. Filler malzemeler bitümlü karışımlarda bulunan ince agrega oranını artırarak

karışımı daha yoğun hale getirmek ve yüksek sıcaklıklarda oluşan deformasyona karşı dayanım sağlamak amacıyla kullanılır. Filler genellikle bitümlü karışım içinde %3 ile %9 oranları arasında kullanılır (Eren, 2008).

1.5.2.1.3. Agregaların Gradasyona Göre Sınıflandırılması

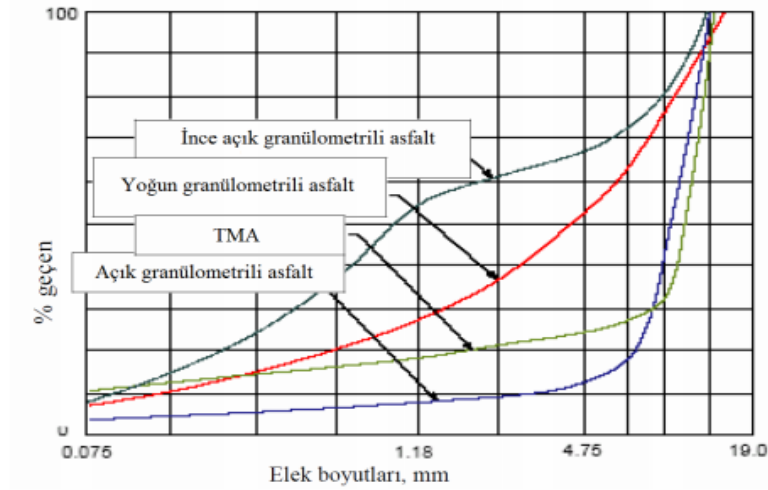
Yoğun Gradasyonlu Agreg: Her agreg grubundan yeterli miktarda bulunan agreg karışımıdır. Karışımlarda düşük boşluk oranına sahip olduğu için yüksek stabilite sağlar.

Açık Gradasyonlu Agreg: İnce agreg ve mineral filler içermeyen ya da çok az içeren agreg karışımlarıdır. Karışımlarda yüksek boşluk oranına neden olurlar.

Tek boyutlu Agreg: Agregaların birçoğunun yaklaşık olarak aynı boyutta olduğu agreg karışımlarıdır.

Kesikli Gradasyonlu Agreg: İçerisinde ara boyutta agreg bulunmayan ya da çok az bulunan agreg karışımlarıdır.

Asfalt karışımlarının tipik granülometri eğrisi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Asfalt karışımlarının tipik granülometri eğrisi (Temren,2009)

1.5.2.2. İdeal Agreg Standartları

Dane Şekli: Dane şekli asfalt karışımların performansını etkileyen önemli bir

faktördür. Köşeli agregalar temas noktası sayısının fazla olmasından dolayı iyi kenetlenme özelliği gösterirler. Bu özelliklerinden dolayı köşeli agregalar yuvarlak daneli agregalara göre avantaj sağlamaktadır. Kaba agregaların kırılması ve köşeli hale getirilmesi kaplamayı tekerlek izi oluşumuna karşı dirençli yapmaktadır (Ilıcalı vd.,2001).

Danelerin Yüzey Yapısı: Danelerin yüzey yapısı cilalanmış, az pürüzlü, pürüzlü ve çok pürüzlü olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Danelerin yüzey yapısı karışımların yük taşıma özelliğini etkilemektedir. Pürüzlü agregaların kayma gerilmesine karşı gösterdiği direncin büyük olması sebebiyle tercih edilmekte cilalı agregaların kullanılması uygun olmamaktadır (Orhan, 2012).

Dona Karşı Dayanıklılık: Agregaların dona dayanıklılığı kullanım amacına uygun olması istenmektedir. Doğal agrega olan kum ve çakıllar doğada uğradıkları aşınmalardan dolayı az miktarda dona duyarlı daneler içermektedirler (Çağlayan vd, 1999).

Soyulmaya Karşı Dayanım: Agregaların bitüm ile kaplanmasının ardından su etkisi ile soyulma gerçekleşebilir. Bu durumun olmaması istenmektedir. Soyulma dayanımı düşük olan agregaların katkı maddesi ile birlikte kullanımı bu olumsuzluğu giderebilmektedir (Orhan, 2012).

1.5.2.3. Agregaların Termal Özellikleri

Asfalt karışımlarının büyük bir kısmı agregalardan oluşmaktadır bundan dolayı karışımlarda kullanılan agreganın türü ve boşluk oranı, karışımın termal özellikleri bakımından önemli bir yere sahiptir. Doğal agregaların termal iletkenlikleri 3.62 W/mK 'e kadar çıkabilmektedir (Bostancı, 2020). Doğal agregaların mekanik özelliklerinin sıcaklık artışlarında fazla değişmemesi istenmektedir. Agregaların yüksek sıcaklıklarda termal açıdan kararlı olması, kütle kaybına uğramaması ve dayanım kaybının ihmal edilebilir derecede olması tercih edilir. Agregaların büyük bir çoğunluğu 500°C'ye kadar sıcaklık karşısında kararlılığını korumaktadırlar (Demez, 2017). Hafif agregaların ısıl iletkenlikleri yapılarında bulunan hava boşlukları nedeniyle normal agregalara göre daha düşüktür (Taşdemir, 2003).

Agregalar iki tür endotermik dönüşüm geçirmektedirler. Bunlardan ilki 573°C'de gerçekleşen kuvarsın kristal yapısında oluşan dönüşümlerdi α - β dönüşümü). Bu dönüşümlerden ikincisi ise 600°C'de gerçekleşen kireç ve karbondioksitin, kalsiyum

karbonatı parçalaması ile gerçekleşen dönüşümdür. Agregalarda gerçekleşen bu değişimler ile malzemenin ısııl özellikleri değişebilmektedir. Agregaların ısııl özelliklerini etkileyen diğer bir faktör ise kristal yapılarıdır, agregaların kristal yapıya sahip olması ısııl iletkenlikleri amorf ve vitröz yapılı olanlara nazaran daha yüksek olmasına neden olmaktadır (Demez, 2017).

Asfalt karışımlarında kullanılan agregaların özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli deneyler yapılmaktadır. Bu deneylerden bazıları agregaların sıcaklık ve zaman parametrelerine karşı gösterdikleri davranışları belirlemek amacıyla Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenmiş ve standartlaştırılmıştır. Bu deneyler; Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini (TS EN 1367-1), Magnezyum sülfat deneyi (TS EN 1367-2), Sonnenbrand bazalt için kaynatma deneyi (TS EN 1367-3), Kuruma çekmesi deneyi (TS EN 1367-4), Isıl şok direncinin tayini (TS EN 1367-5), Tuzun bulunduğu ortamda donma ve çözölme deneyi (TS EN 1367-6), Hafif agregaların donma ve çözölme etkisine karşı direncin tayini (TS EN 1637-7) olarak sayılabilir (Vuruşan, 2019).

1.5.2.4. Agregaların Mekanik Özellikleri

Asfalt karışımlarında kullanılan agregaların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Tane Boyutu Deneyi (TS ISO 3310-1): Agregaların boyut dağılımını saptamak amacıyla yapılmaktadır.

Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyi (TS EN 1097-6): Agregaların yoğunluğu ve su emme oranını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

Aşınma Deneyi (TS EN 1097-2): Agregaların parçalanmaya karşı gösterdikleri direncini belirlemektir.

Soyulma Deneyi (TS EN 12697-11): Deneyin amacı agregaların soyulmaya karşı gösterdikleri direnci belirlemektir.

Cilalama Deneyi (TS EN 1097-8): Deneyin amacı agregaların TPD (Taş Parlatma Değeri) belirlemektir.

Donma- Çözünme Deneyi (TS EN 1367-1): Deneyin amacı agregaların donma- çözünme döngüsüne maruz kalmaları durumunda gösterdikleri davranışı tayin etmektir.

Yassılık İndeksi Deneyi (TS EN 933-3): Deneyin amacı agregaların yassılık indeksini tayin etmektir.

1.5.3. Katkı Maddeleri

Esnek Üstyapılarda kullanılan malzemeler genellikle beklentiyi karşılarsa da, zamanla meydana gelen dingil yükü artışı ve değişen iklim koşulları nedeniyle kaplamalarda bozulmalar oluşabilmektedir. Bitümlü bağlayıcı ve karışımlarının dayanımlarının artırılması ve davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır (Orhan, 2012).

Asfalt modifikasyonunun önem kazanmasında etkili olan faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir (İlçalı vd.,2001):

1. Ham petrol ve bitümün fiyatlarında artma tehlikesinin oluşması
2. Yapım aşamasında meydana gelen yüksek maliyetler sebebiyle ince kaplamalar inşa edilmesi, bu durum sonucunda kaplamanın hizmet ömrünün azalması
3. Trafik dilgil yüklerinde artışların meydana gelmesi
4. İhtiyaç duyulan onarım işlerinin maddi sıkıntılar ve kaynak yetersizliği sebebiyle zamanında yapılamaması
5. Kaplama yüzeyinde meydana gelen yakıt dökülmelerinin dayanımı düşürmesi
6. Bazı endüstriyel atıkların çevreyi korumak ve ekonomik sıkıntıları gidermek amacıyla bitüm katkı maddesi olarak kullanılmasının istenmesi
7. İnşaat sektöründeki gelişmelerin katkı kullanımını geliştirecek düzeye ulaşması

Asfalt modifikasyonunda kullanılacak katkı maddelerinin aşağıdaki özellikleri karşılanması istenir (İlçalı vd.,2001):

1. Kolay elde edilebilmelidirler.
2. Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmemelidirler.
3. Asfaltla homojen olarak karışabilmelidirler.
4. Ekonomik olmalıdırlar.
5. Yüksek sıcaklıklarda çok fazla olmamak şartıyla asfaltın viskozitesini arttırmalıdırlar.
6. Düşük sıcaklıklarda asfaltın çok kırılğan ve sert olmamasını sağlamalıdırlar.

Modifikasyonda kullanılan katkıların gruplandırılması ve asfalt çimentosunun kıvamına olan genel etkisi Tablo 3'te gösterilmiştir

Tablo 3. Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılması (İlcalı vd.,2001)

BİTÜM KATKI MADDELERİNİN GENEL SINIFLANDIRILMASI			
Tip	Özellikler	Asfalt çimentosunun kıvamına genel bilisi	
1.Filller	<ul style="list-style-type: none"> • Mineral Filler(Taştozu, Kireç,Portlant çimentosu,Uçucu kil) • Karbon siyahı • Sülfür 	Sertleştirme	
2.Extender	<ul style="list-style-type: none"> • Sülfür • Ligrin(Odun Özü) 	Sertleştirme	
3.Kauçuk	POLİMER	-	
4.Plastik		<ul style="list-style-type: none"> • Doğal Kauçuk • SBR • SBS • Dönüştürülmüş kauçuk 	Sertleştirme
5.Bileşim		-	
6.Fiber	<ul style="list-style-type: none"> • Polietilen • Ploipropilen • Bil-viri-lasetat,EVA • Polviril klorid,PVC 	Sertleştirme	
7.Oksidan	<ul style="list-style-type: none"> • 3 ve 4'deki polimerlerin karışımı 	-	
8.Antioksidan	<ul style="list-style-type: none"> • Doğal(Asbets,Taş yünü) • Yapay(Polipropilen, Polyester, Fiberglas) 	Sertleştirme	
9.Hidrokarbon	<ul style="list-style-type: none"> • Marganez tuzu 	Sertleştirme	
10.Soyulma Önleyici	<ul style="list-style-type: none"> • Kurşun karışımları • Karbon • Kalsiyum tuzu 	Yumuşatma	
	<ul style="list-style-type: none"> • Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları • Sertleştirme ve doğal asfaltlar 	Yumuşama veya sertleştirme	
	<ul style="list-style-type: none"> • Aminler • Kireç 	Yumuşama	

1.5.4. Modifikasyon Yöntemleri

Katkı maddeleri bitüme katılıp ‘Modifiye Bitüm’ olarak kullanılacağı gibi aynı zamanda asfalt plentine doğrudan katılarak ‘Modifiye Karışım’ olarak da kullanılabilir. Bitümün modifiye edilmesinde ek ekipmanlar gerektirmesi, modifiye bitümün depolanması ve taşınması gibi sorunlar meydana gelmektedir. Karışımın modifiye edilmesinde ise ek ekipmanlar gerekmemekte, taşıma ve depolama gibi sorunlar yaşanmamaktadır. Fakat karışımdan modifiye bitüm çekilemediği için özelliklerinin belirlenmesi mümkün olamamaktadır (İlçalı vd., 2001).

1.5.4.1. Bitümün Modifikasyonu

Modifiye bitüm, bitüm içerisine kimyasal katkı maddelerinin eklenmesiyle birlikte bitümün fizyolojik özelliklerinin değişmesi sonucunda oluşmaktadır. Bitüme eklenecek uygun modifiye türünün seçimi bitümün kullanılacağı bölgenin iklim koşulları, trafik yoğunluğu, geliştirilmesi gereken özellikler dikkate alınarak yapılmaktadır (Orhan,2012). Kullanılan katkı maddelerinin türü ve miktarının etkileri bitüm türlerine göre farklılık gösterdiğinden bu faktörler belirlenirken dikkatli davranılmalıdır (Çubuk,2007).

- Kauçuk İlavesi Yoluyla Bitümün Modifikasyonu

Kauçuk bazlı katkı maddeleri (doğal kauçuk,bitik kauçuk,düzensiz SBK vb.) viskoziteyi arttırmak amacıyla bitüm ile birlikte kullanılmaktadır. Çoğunlukla atık lastiklerden elde edilen bu katkıları vulkanize (çapraz-bağlı) halde yüksek sıcaklıklarda karıştırılarak eklenmektedirler (Whiteoak,2004).

- Termoplastik Polimerlerin İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Termoplastik polimerler ısıtıldığında yumuşayan soğuduğunda ise sertleşen malzemelerdir. Etilen vinil asetat (EVA), Polietilen, polistren gibi türleri olan termoplastik polimerler bitüm ile karıştırıldığında sıcaklık etkisiyle birleşerek karışımın viskozitesini arttırıcı etki göstermektedir. Termoplastik polimerler bitümün elastitesinde belirgin bir etkiye sahip olmamakla beraber sıcaklığın atmasıyla ayrışıp sıcaklığın düşmesiyle birlikte karışımda kaba bir dağılıma neden olmaktadır (Whiteoak,2004).

- Termoplastik Kauçukların (Elastomerlerin) İlavesi ile Bitümün Modifikasyonu

Termoplastik Elastomerler (SBS,SEBS,SIS) moleküllerinin üç boyutlu bir ağa çapraz biçimde bağlanmalarından dolayı mukavemet ve elastiklik özelliği kazanmışlardır. Polistren uç-blokları polimere mukavemet kazandırırken orta-blok da esneklik sağlamaktadır. 100°C ve üstü sıcaklıklarda malzeme yumuşamakta ve kolayca işlenebilmektedir. Sıcaklığın düşmesi ile birlikte malzeme tekrar birleşmekte ve önemli özellikler geri kazanılmaktadır (Whiteoak,2004).

1.5.4.2. Karışımın Modifikasyonu

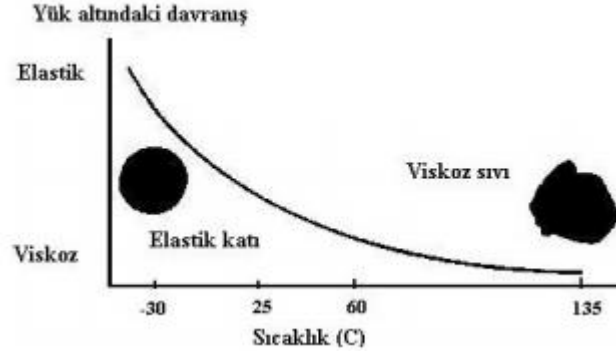
Karışım modifikasyonu yönteminde özel bir karıştırma yöntemine gerek yoktur, katkı maddeleri karışım aşamasında basit bir aletle veya elle asfalt plenti mikserine ilave edilir ve işlem tamamlanır. Standart karışım sıcaklıklarının 5-10°C arttırılmasıyla bitümle oluşabilecek uyumsuzluk problemi giderilir. Bu yöntem, bekleme süresinin olmaması, özel bir tesise ihtiyaç duyulmaması, kalifiye elaman gerektirmemesi, ucuz ve pratik olması gibi avantajlara sahiptir (İskender,2008).

Katkıların erimemiş kısımları karışımın sıkıştırılmasıyla agregalar arasındaki boşluğa yerleşerek donatı etkisi yaparken yarı erimiş kısımlar ise agregalar arasındaki boşluğu bloke ederek yük iletimini iyileştirirler (İskender,2008).

1.6. Esnek Üst Yapılarda Sıcaklığın Etkisi

Üstyapıların performansı çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Üstyapıların performansı mevsimlere göre değişiklik göstermekte, bu değişimin temel nedeni sıcaklık ve nem farklılığı olarak görülmektedir. Bir üstyapının elastisite modülleri mevsimlerin değişmesinden etkilenmekte ve bu etkilerin sonucunda üstyapı yapısal kapasitesini değiştirmektedir. Bu nedenlerden dolayı karayolu üstyapılarının projelendirilmesinde sıcaklık ve nem gibi faktörler göz önüne alınmalıdır. Esnek üstyapılar kaplama yüzeyinin renginin siyah olmasından dolayı güneş ışığını yansıtamamakta ve absorbe etmektedir (Avcı, 2009).

Asfalt viskoelastik bir malzeme olduğundan sıcaklık değişimlerinden önemli derecede etkilenmektedir. Asfaltın sıcaklığa göre yük altındaki değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Asfaltın sıcaklığa göre yük altındaki değişimi (Dinç, 1999)

1.6.1. Düşük Sıcaklıklarda Asfaltın Davranışı

Asfalt çimentosu, düşük sıcaklıklarda veya hızlı hareketin olduğu trafik yükleri altında elastik yani katı bir davranış göstermektedir. Asfalt çimentosunun bu davranış şekli aşırı yüklenme durumlarında kırılma veya çatlama yol açabilmektedir. Asfalt kaplamalarda soğuk hava koşullarında düşük ısı nedeniyle gerilmeler oluşmakta ve bu gerilmeler zamanla ısı çatlaklarına neden olmaktadır (Dinç, 1999).

1.6.2. Orta Sıcaklıklarda Asfaltın Davranışı

Asfalt çimentosu orta sıcaklıklarda hem kıvamlı sıvı hem de elastik katı bir davranış göstermektedirler. Asfaltın sıcaklığı arttığında asfalt çimentosu, agrega yüzeyini bitümlerle kaplanabilen, karıştırılabilen ve sıkıştırılabilen hale gelmesini sağlayan kayganlaştırıcı gibi davranır. Asfaltın sıcaklığı düşürüldüğünde ise agregaların bir arada sabit kalmasını sağlayan bir özellik taşır. Sonuç olarak orta sıcaklıkta asfalt hem elastik hem de viskoz davranışı sergiler (Dinç, 1999).

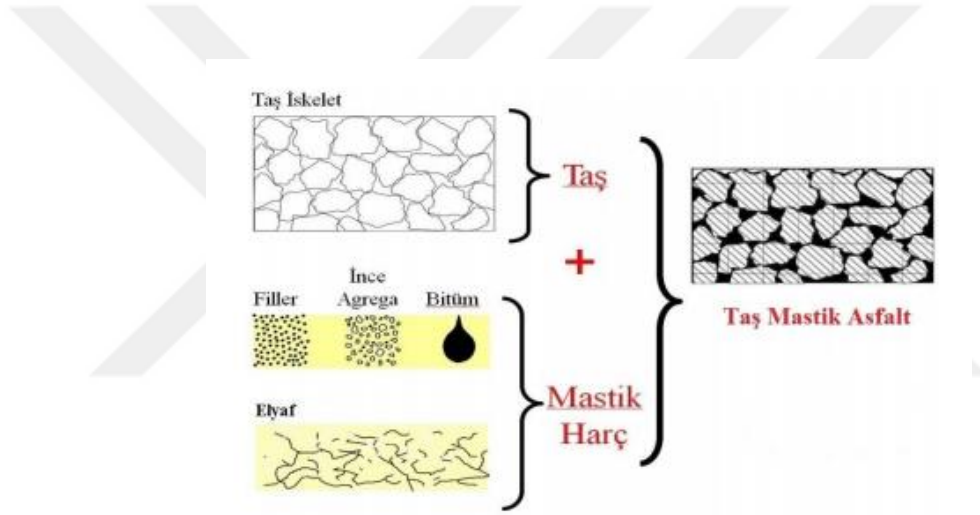
1.6.3. Yüksek Sıcaklıklarda Asfaltın Davranışı

Asfalt çimentosu yüksek sıcaklıklarda, sürekli değişmeyen yükler altında kıvamlı sıvı bir davranış gösterir. Asfaltların ısıtıldığında akmaya başlaması ardından eski hallerine dönememesi onların plastik olarak tanımlanmasına neden olmaktadır. Sürekli ve

değişmeyen tekerlek yükleri altında sıcak karışım asfalt kaplamaları tekerlek izi kısımlarına akmaktadır bu nedenle sıcak hava koşullarında üstyapılarda tekerlek izinin oluşması agrega özelliklerinden etkilenmektedir (Dinç, 1999).

1.7. Taş Mastik Asfalt

Taş Mastik Asfalt (TMA); bitümlü sıcak karışım türü olup iskeleti meydana getiren kaba agrega, boşlukları dolduran ince agrega, filler, fiber ve bitümlü bağlayıcılardan oluşur (KTŞ, 2013). TMA karışımının genel yapısı Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. TMA karışımının genel yapısı (Şanlıer, 2018)

Havaalanı kaplamaları, yüksek trafikli yollar veya köprü döşemelerinde kullanılan Taş Mastik Asfaltın dayanım, yüksek kaliteli yüzey özelliği, çatlak ve deformasyonlara karşı gösterdiği performans gibi avantajları bulunmaktadır. Bu karışımlar ilk defa 1968 yılında Alman mühendis Dr. Zichner ve yüklenici bir firma ile geliştirilmiştir. 1974 yılına kadar sadece Almanya'da kullanılan bu karışımlar İsveç'te kullanılmasının ardından diğer ülkelere yayılmıştır. Türkiye'de ise 1997 yılında KGM tarafından ilk TMA şartnamesi yayınlanmıştır (Yardım ve Arslan, 2013).

1.8. Kar ve Buzlanma ile Mücadelede Kullanılan Yöntemler

Kış aylarında oluşan sert hava koşullarından dolayı özellikle ülkemizin doğu bölgesinde sıklıkla kar ve buzlanma görülmektedir. Asfalt kaplamalarda oluşan kar ve buzlanma seyahat konforunu etkilemekte ve güvenlik açısından önemli tehditler oluşturmaktadır. Kar ve buzlanmanın sebep olduğu olumsuzlukları önlemek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

1.8.1. Kimyasal Yöntemler

Kar ve buzlanma ile mücadelede ülkemizde en çok tercih edilen metotlardan biri kimyasal madde uygulanmasıdır. Bu kimyasallardan CaCl_2 ve MgCl_2 -29°C 'ye kadar uygulanabilmekte ve tuzu iyonlarına ayrıştırarak erime işlemini yerine getirmektedirler. Kar ve buzu eritmekte hızlı ve etkili olmalarına rağmen kaplamada kalıntı bırakarak kaplamaya zarar verebilmektedir. Diğer bir kimyasal madde olan CMA ise yağıştan önce kullanılmasıyla buzun kaplamaya yapışmasını önlemektedir fakat çok düşük sıcaklıklarda etkili olmamakla beraber kaya tuzuna göre oldukça pahalıdır. Kar ve buzlanma ile mücadelede en çok tercih edilen kimyasal olan NaCl ise -10°C 'ye kadar kullanılabilir. NaCl havadan ve kaplamadan ısı alarak eritme işlemini gerçekleştirir uzun sürede iyi bir etkiye sahiptir (Kuloğlu ve Kök, 2005).

1.8.2. Fiziksel Yöntemler

Buzlanma ile mücadelede kullanılan diğer bir yöntem ise kaplama üzerindeki karı ve buzu yoldan kaldırmak için makine ve ekipmanlar kullanmaktır. Kullanılacak makine ve ekipmanlar karın kalınlığına ve bırakılıp kaldırılacağı yere göre belirlenir. Kar kalınlığının 5 cm ve 20 cm arasında olduğu zamanlarda yol kaplaması düz bıçaklı kaplamalarla temizlenir. Kar kalınlığının 20 cm ve 50 cm aralığında olduğu zaman ilk olarak "V" bıçaklı kamyonlar ile kapalı alanlar açılır ve ardından düz bıçaklı kamyonlar ile son temizleme işlemi gerçekleştirilir. Kar kalınlığının 1 m'yi geçmesiyle "V" bıçaklı ve daha güçlü kamyonlarla küreme işlemi yapılır (Ağar ve Kutluhan, 2005).

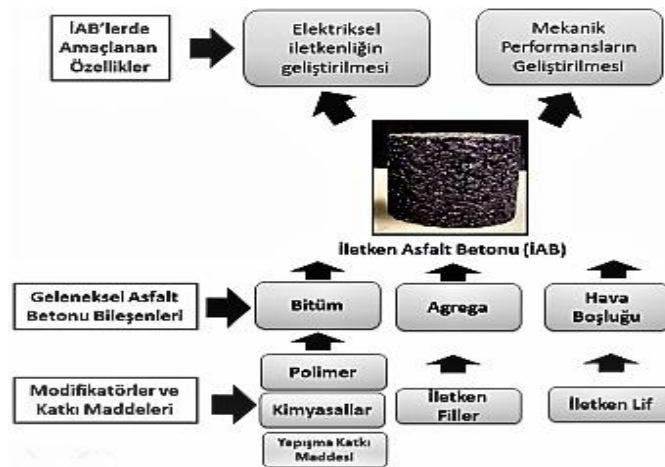
1.8.3. Termal Yöntemler

Karayolları ve havalimanlarında kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler zamanla kaplamaya zarar vermekte ve ekonomik sıkıntılara neden olmaktadır. Bundan dolayı kar ve buzlanma ile mücadelede yeni yöntemler geliştirilmiştir.

1.8.3.1. Elektriksel İletkenlik Özelliği Olan Asfalt Kaplamalar

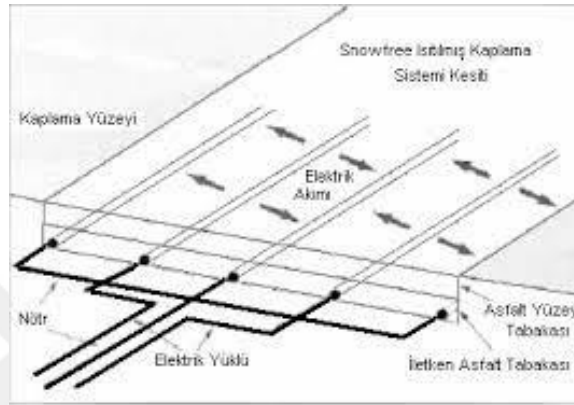
İletken asfalt betonu (İAB), standart asfalt karışımına belirli katkı maddeleri eklenerek elektriksel iletkenliğin artırılması böylece kaplamaya uygulanan elektriğin ısı enerjisine dönüşerek kar ve buzun eritmesi amacıyla tasarlanmıştır (Ahmedzade vd., 2007). Geleneksel asfalt karışımları yüksek özdirenç gösterdikleri için yalıtkan davranış göstermektedirler. Bundan dolayı asfalt karışımlarını iletken hale getirmek amacıyla elektriksel iletkenlik özelliği olan katkı maddeleri eklenmektedir.

Bu katkı maddeleri toz şeklinde, grafit, karbon siyahı ve alüminyum çapakları; lif şeklinde, karbon fiber (CF), çelik fiber, çelik yünü, karbon nanofiber; son olarak çelik cürufu şeklinde boyutlarına göre sınıflandırılabilir (Düzağaç, 2019). Bu iletken katkı maddelerinin eklenmesiyle iletkenlik özelliği kazanan İAB'ye akım verilmesi ile birlikte kar ve buz eritmek için gerekli ısı sağlanır. Şekil 7'de geleneksel asfalt betonu ile iletken asfalt betonu arasındaki farklar görülmektedir.



Şekil 7. Geleneksel asfalt betonu ile iletken asfalt betonu arasındaki farklar (Gürer, 2014)

Snowfree (elektrik iletkenli asfalt kaplama sistemi) geliştirilirken normal agregaya yerine %25 grafit kullanılarak elektrikselsel iletkenlik özelliği bulunan kaplama tabakası elde edilmiştir. Yapılan uygulamada kaplama sıcaklığı -3.9°C 'ye indiğinde sistem devreye girmiş ve kaplamaya 500 watt/m^2 'lik bir güç girişı verilmiş böylece kaplama sıcaklığı 2.5 saatte 1°C 'ye çıkmıştır (Derwin vd., 2003). Şekil 8'de Snowfree Sistemi Enkesiti görölmektedir.



Şekil 8. Snowfree sistemi enkesiti (Derwin vd., 2003)

Snowfree sistemi 1994 yılında O'Hare Uluslararası Havaalanında $21.3 \times 29.6 \text{ m}^2$ 'lik bir alana 4.9 m aralıklarda 7 adet iletken kablo konularak denenmiştir. Kaplama tabakasına 120 voltluk elektrik verilmiş ve kaplama üzerindeki karın eridiği görölmüştür. Bu sistemin denediği 3.5 yıl boyunca sıcaklık 4 kış mevsiminde -12°C 'ye düşmüş ve 3 yaz mevsiminde ise 37.8°C 'ye kadar çıkmıştır. Bu süre boyunca kaplama tabakası çeşitli gerilmelerle karşı karşıya gelmiş ve sürecin sonunda herhangi bir elektrik kaçağına denk gelinmemiş, Snowfree sistemi kullanılan kısım ile diğer kısımlar arasında farklı çatlaklar görölmemiştir (Derwin vd., 2003). Şekil 9'da O'Hare Uluslararası Havaalanında gerçekleştirilen uygulama örneği görölmektedir.



Şekil 9. O'Hare Uluslararası Havaalanında gerçekleştirilen uygulama örneği (Derwin vd., 2003)

1.8.3.2. Elektrikli Isıtma Kabloları

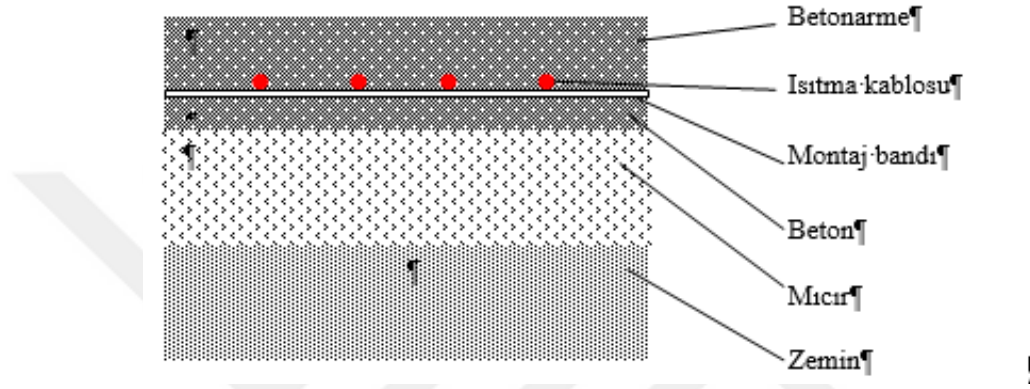
Elektrikli ısıtma yönteminin amacı kaplama üzerinde oluşan kar ve buzlanmayı kaplama altına yerleştirilen kablolarla elektrik enerjisi verilmesiyle eritmektir. Bu sistemde kablolarla elektrik enerjisi verilip enerjinin nötr kablolar boyunca akması sağlanır, akım asfalt direnci sayesinde ısı enerjisine dönüşür ve böylece kar ve buzlanma engellenir (Kılıç,2015).

Bu yöntemin ülkemizdeki örneği Şekil 10'da görüldüğü üzere Ankara Esenboğa Havalimanı yolu üzerindeki protokol yoludur.



Şekil 10. Ankara protokol yolu üzerindeki elektrikli ısıtma kablosu uygulaması (URL-1,2020)

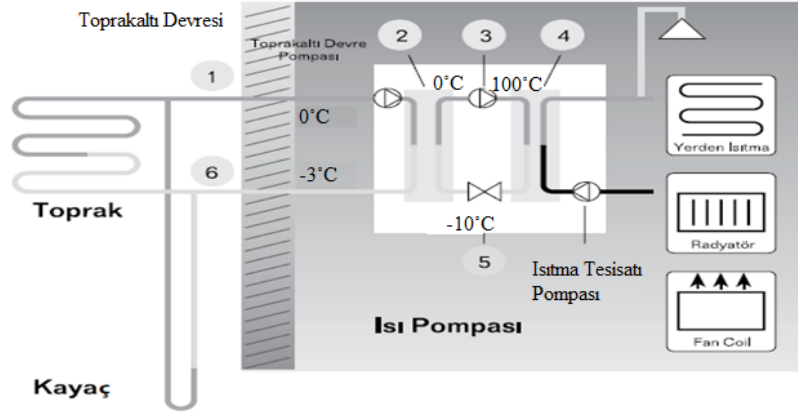
Bu sistem yapım aşamasında kullanılan özel kablolar, özel dolgu malzemeleri, drenajda kullanılan mıcır, montaj bandı ve özel beton döküm sistemi sebebiyle maliyeti yüksek bir sistemdir. Sistemde kullanılacak elektrik enerjisi ihtiyacı da kaplama uzunluğuna göre değişmekte olup işletme maliyetini oldukça arttırmaktadır (Kılıç,2015). Elektrikli ısıtma elemanlarının yerleşimi Şekil 11’de gösterilmektedir.



Şekil 11. Elektrikli ısıtma elemanlarının yerleşimi (Balbay ve Esen, 2007)

1.8.3.3. Akışkan Isıtma Yöntemi

Akışkan ısıtma yöntemi pasif jeotermal sistem ve aktif jeotermal sistem olarak ikiye ayrılır. Pasif jeotermal sistemde ısı boruları dışarıdan herhangi bir güce ihtiyaç duymaksızın çalışır. Bu sistemde yapım aşamasında içi amonyak sıvısı ve freon gazlarıyla doldurulan ısı borusu toprağa yerleştirilir. Isı borusu içindeki madde toprağın ısınması ile hareket eder ve yoğunlaşarak ısı verir böylece kar ve buzlanma önlenmiş olur. Bu yöntemde kullanılan ısıtma boruları kullanım şartlarına göre çeşitli boyutlarda ve sıcaklık aralığına göre üretilebilir. Boru boyutları ve derinliği arttığında oluşabilecek ısı kaybına önlem alınmalıdır (Balbay ve Esen, 2007). Toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma sistemi Şekil 12 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 12. Toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma sistemi (URL-2, 2021)

Aktif jeotermal sistemde akışkanın farklı bir sistem ile ısıtılarak pompa yardımıyla dolaşımı sağlanır böylece kaplama ısınarak buzlanma önlenir. Bu sistemde akışkan olarak antifriz karışımı (etilen, propilen glikol ve su) tercih edilir, borular ise korozyona uğramadıklarından dolayı yüksek yoğunluklu polietilen plastik ile üretilmiştir (Balbay ve Esen, 2007).

1.8.3.4. Kızılötesi Isı Yayan Isıtma

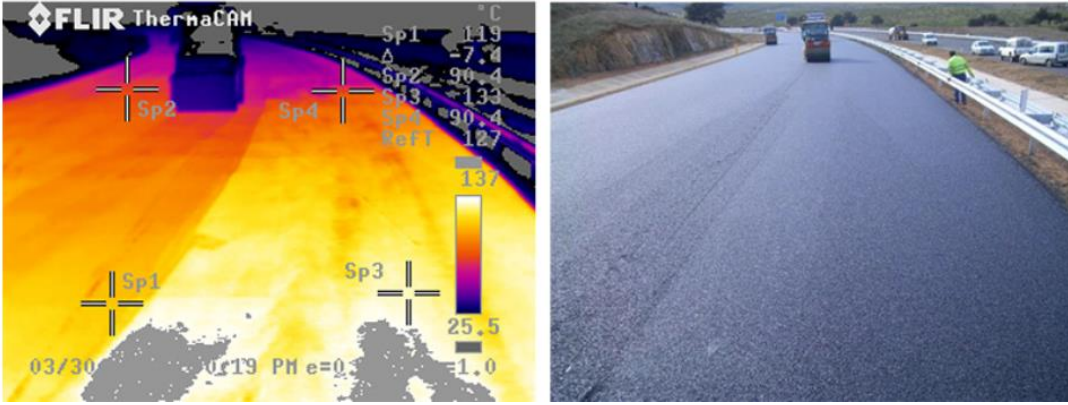
Kızılötesi ısıtma sistemi konforlu bir ısıtma sistemi olup, ısının ışık yardımıyla taşınmasıyla birlikte kaplamalarda oluşan buzlanmayı ve yol kenarında biriken karı eriterek engellemeyi amaçlamaktadır. Bu sistemde kızılötesi ışıkların tercih edilme nedeni ısıyı normal ışıklara göre daha iyi taşıyabilmesidir. Bu sistem tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar elemanların düzenlenmesi ve ısıtma kapasitesinin belirlenmesidir. Ardından kızılötesi ışığın yoğunluğu tespit edilir ve lambadan çıkan radyasyon ısıtılması gereken alana enerji kaybı minimum olacak şekilde yansıtılır. Bu sistemin en büyük avantajı ısıtılacak bölgeyi diğer sistemlere göre daha hızlı ısıtmasıdır (Balbay ve Esen, 2007).

1.9. Asfalt Enerji Üretim Sistemleri

Bir yüzeyin üzerine düşen ışığı yansıtma gücü albedo etkisi olarak tanımlanır. Güneşten gelen radyasyon dünya atmosferine çarptığında %35'i uzaya geri yansıtılmakta yeryüzü

öğeleri ise kalan enerjinin bir kısmını tutmaktadır (Url-3, 2021; Vurarak, 2019).

Günümüzde gereksinimlerden dolayı karayolu ağı genişlemekte ve asfalt yollar giderek artmaktadır. Yeni yapılmış bir asfalt yolun albedo değerinin 0.05, eski bir asfalt yolun albedo değerinin ise 0.1 ile 0.15 arasında olduğu belirlenmiştir. Eski asfalt yolun ışığı daha fazla yansıtmasının sebebi kullanımdan dolayı renginin açılması olarak görülmektedir. Şekil 13'te gösterildiği üzere asfalt kaplamalar ısıyı tutarak şehirlerdeki hızlı kentleşme ile artan bina ve yok olan bitki örtüsünden kaynaklanan kentsel ısı adası (KIA) oluşumunda büyük etkiye sahip olmaktadır. Bu etkinin azaltılması amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiş asfalt kaplamaların termal özellikleri değiştirilerek asfaltın ısınması azaltılmaya çalışılmıştır (Url-3, 2021; Vurarak, 2019).



Şekil 13. Asfalt bir yolun termal görüntüsü (URL-4, 2021)

Asfalt güneş ısısının depolanmasında kullanabilen, geri dönüştürülebilir, ekonomik ve düşük karbon ayak izine sahip bir maddedir. Sıcak asfalt kaplamalar güneş ışığını yaklaşık %80-95 oranında soğuk asfalt kaplama ise güneş ışığını yaklaşık %50 oranında absorbe ederler. Asfalt yollardan enerji üreten sistemlerin kullanılmasıyla hem enerji üretilmekte hem de asfaltın çok ısınması engellenmektedir (Şevik, 2016).

Asfalt güneş kolektörleri yenilebilir enerji kaynağı kullanarak ısı enerjisi üretebilmekte ve asfaltın ısısının azaltılmasıyla oluşabilen olumsuzlukları önleyebilmektedir. Bu kolektörler güneş battıktan uzun süre sonra bile absorbe ettiği ısıyı koruyabilmektedirler. Asfalt kolektörler geleneksel çatı tipi güneş kolektörleri ile aynı mantıkta çalışmakta absorbe ettiği enerjiyi akışkana aktararak ısı enerjisine dönüştürmektedir (Şevik, 2016).

Bu sistem elde ettiği ısı enerjisini depolayarak mahal veya sera ısıtılmakta ayrıca kar ve buz oluşumunu engellemektedir. Asfalt güneş kolektörleri sürdürülebilir enerji sistemi olmakta; kentsel ısı adası oluşumunu önlemek, asfaltın ömrünü uzatmak, kış aylarında oluşabilecek olumsuzlukları engellemek ve enerji tasarrufu sağlamak gibi katkılar sağlamaktadır (Şevik, 2016).

1.10. Asfalt Karışımlarda Termal İletkenlik

1.10.1. Isı Transferi

Termodinamiğin birinci yasası olan enerjinin korunumu yasası enerjinin yoktan var ve vardan yok olamayacağını gösterir. Termodinamik bilimi ısı ve enerjinin formlarını incelerken, ısı transferi bilimi ise sistem içindeki ısı geçişini inceler. Sıcaklık farkının bulunduğu bir sistemde ısı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket eder bu olaya ısı iletimi denilmektedir. Isı iletimi kondüksiyonla (iletimle), konveksiyonla (taşımaya) ve radyasyonla (ışınım) ısı iletimi olmak üzere üç şekilde gerçekleşebilir. Asfalt bir yolda meydana gelen ısı iletimi ve ısı dengesi Şekil 14’te gösterilmektedir.



Şekil 14. Asfalt yol üzerindeki ısı dengesi (Şevik, 2016)

Kondüksiyonla ısı iletimi maddeyi meydana getiren moleküllerin buldukları konumda titreşim hareketi yaparak birbirleri ile çarpışması sonucunda oluşan enerji

alışverişidir. Yüksek sıcaklığa sahip atomlar kinetik enerjileri (titreşim hızları) yüksek olduğundan düşük sıcaklıktaki (titreşim hızları düşük) atomlarla çarpıştıklarında bu atomların titreşim hızını artırır bundan dolayı kendi enerjilerinde düşüş meydana gelir. Isı iletimi bu çarpışmalar sonucunda oluşan kütledeki tüm atom hızları (sıcaklıkları) eşit oluncaya kadar devam eder (Meral, 2005). Kondüksiyonla ısı iletimi moleküllerin titreşimi sayesinde gerçekleştiğinden dolayı en fazla katılarda ardından sıvılarda gerçekleşir. Gazlarda moleküller arası boşluk daha fazla olduğundan kondüksiyonla ısı iletimi ihmal edilecek düzeydedir (Dilmaç, 2006).

Konveksiyonla ısı iletimi moleküllerin uzak mesafeli hareketleri nedeniyle oluşur. Çoğunlukla sıvı ve gazlarda görülürken katılarda meydana gelmez. Konveksiyonla ısı iletimi akışkanın hacmine bağlıdır gözenek çapı 4 mm'den küçük olursa ısı iletimi gerçekleşmez. Isınan havanın genişip hafiflemesi yukarıya çıkmasına neden olur böylece sıcak hava ile soğuk hava yer değiştirir (Bakış, 2011).

Radyasyonla ısı iletimi birbirine dik iki düzlemde ilerleyen elektrik ve manyetik alanlar ile fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalarla gerçekleşir (Bakış, 2011).

İletilen ısının büyüklüğü sıcaklık farkına yüzeye, zamana ve ortamın fiziksel özelliklerine bağlıdır. Isı iletimi büyüklüğü zamana göre değişmekte olup bu değişimlere göre sabit ve değişken rejim olmak üzere ikiye ayrılır. Sabit rejim ısı iletiminde sıcaklığın zamanla sabit kalması hali olarak tanımlanır bu rejimde herhangi iki çeşit zaman aralığında iletilen ısı miktarı aynı değerdedir. Değişken rejim ise ısı iletiminde sıcaklığın zamanla değişmesi hali olarak tanımlanır bu rejimde herhangi iki zaman aralığında iletilen ısı miktarı değişkenlik göstermektedir (Üçüncü,2015; Bakış 2011).

Isı iletiminin diğer bölgelere oranla daha fazla olduğu kısımlar ısı köprüsü olarak adlandırılmaktadır. Isı köprüleri sistemi oluşturan malzemelerin ısı iletkenliğinin yüksek olması, farklı ısı iletimine sahip malzeme kullanılması veya sistemin geometrisinden kaynaklanabilir (Bakış, 2011).

1.10.2. Fourier Kanunu

İletim ile ısı geçişi Fourier kanunu ile belirlenir. Bu kanuna göre herhangi bir yönde geçen ısı miktarı o yündeki sıcaklık değişim miktarı dT/dx ve ısı geçiş yönüne dik olan alan ile orantılıdır (Sözbir,2014).

Fourier kanununun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (1)$$

Q_x = x yönünde ve bu yöne dik A alanı üzerinden geçen ısı miktarı (W)

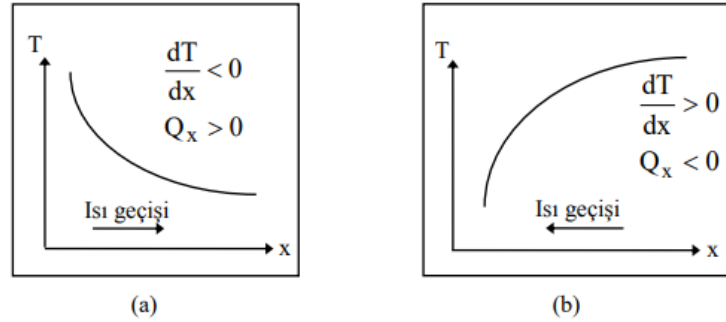
k = Isı iletim katsayısı (W/mK)

A= Isı akımına dik yüzey alanı (m²)

T=Sıcaklık (°C)

X= Kalınlık (m)

Bu denklemdeki (-) işareti ısının geçiş yönünü belirler, eğer sıcaklık Şekil 15'te görüldüğü üzere azalıyorsa dT/dx negatif olup ısı geçişi pozitif x yönünde olmalıdır eğer sıcaklık Şekil 15'te görüldüğü üzere artmış ve dT/dx pozitifse ısı akışı negatif x yönünde olmalıdır (Sözber, 2014).

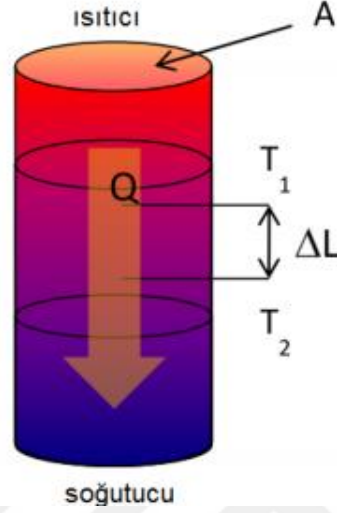


Şekil 15. Sıcaklığın değişimine bağlı olarak ısı geçişi (Sözber, 2014)

Isıl iletkenliğin belirlenmesinde Şekil 15'te görüldüğü üzere ısı akışı ve sıcaklık farkı ölçümü kullanılır. Isı iletim katsayısının bulunmasında Fourier kanunundan yararlanılarak termal iletkenlik aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Sözber,2014)

$$k=q \Delta L/ \Delta T \quad (2)$$

Burada q , A kesitinden geçen ısı akışı (Q/A); ΔT , sıcaklık farkı (T_1-T_2) ve ΔL , levhanın kalınlığıdır (Sözbir, 2014). Isı iletim katsayısı ölçülen bir parçada ısı akışı Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Isı iletim katsayısı ölçülen parçada ısı akışı (Sözbir,2014)

1.10.3. Termal İletkenlik Katsayısı Ölçüm Yöntemleri

Termal iletkenlik katsayısının ölçüm yöntemleri sürekli ve geçişli durum yöntemleri olarak iki şekilde incelenebilir. Sürekli durumda ölçüm yöntemlerinde numuneye ısı sabit sıcaklığa gelinceye kadar uygulanmakta, Geçişli durum yöntemlerinde ise numuneye ısı periyodik olarak verilmekte ve numunenin sıcaklık değişimleri ölçülmektedir (Mathis ve Chandler, 2004).

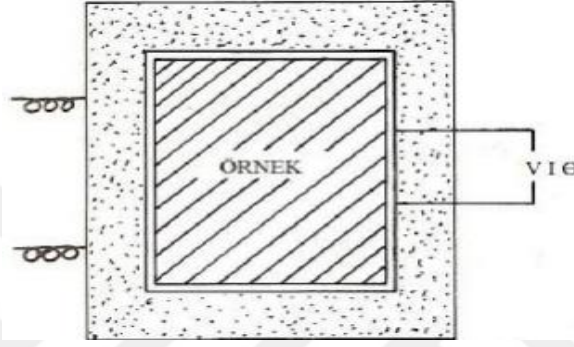
1.10.3.1. Sürekli Durumlarda Termal İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

1.10.3.1.1. Muhafazalı Sıcak Levha Yöntemi

Bu yöntem ASTM C-177 standartlarına uygun olarak yapılmakta ve termal iletkenliğin ölçümünde en yaygın yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem dilim

biçimindeki numunelere daha uygun olup, dengeli eş yönlü ısı akış tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Bu tekniğin kullanılması ölçüm süresini uzatmaktadır.

Bu yöntemde Şekil 17’de görüldüğü üzere numune, ısı alıcı ve ısı kaynağı ısı muhafaza levhaları ile birlikte birbirleriyle temas halinde olacak şekilde yerleştirilir ve ısı muhafazası ısıtılır. Bu yöntem sisteme giren tüm ısının numune tarafından iletildiğini kabul edilerek ısı giriş miktarının belirlenmesi ile birlikte termal iletkenlik katsayısını hesaplanır (İnce, 2008).



Şekil 17. Muhafazalı sıcak levha yöntemi (İnce, 2008)

1.10.3.1.2. Silindir Yöntemi

Bu yöntem sonsuz silindir yöntemi ve sonlu silindir yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Sonsuz silindir yönteminde numune bir silindir içerisine konular ve ısıtma kaynağı ile ısı veriler termal iletkenlik katsayısı ölçülür. Bu yöntemde numunenin konulduğu silindir sonsuz uzunlukta kabul edilir. Sonlu silindir yönteminde ise ısı akışında oluşabilecek hataları en aza indirmek amacıyla uç muhafaza ısıtıcıları konularak gerçekleştirilir (İnce, 2008).

1.10.3.1.3. Sıcak Kutu Yöntemi

Bu yöntem toplam ısı transfer katsayısını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu yöntemde numune sıcak ve soğuk bölmeler arasında yerleştirilerek ve ısı çiftleri kullanılarak hava sıcaklıklarının ölçümü yapılır. Ardından hava ve numune arasındaki sıcaklık farkı istenen değere getirilerek gerekli ölçümler yapılır ve toplam ısı transfer katsayısı hesaplanır (Yeşilata vd., 2007).

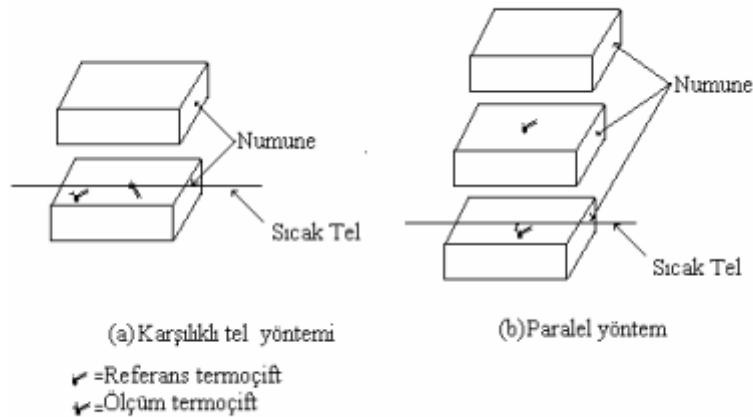
1.10.3.1.4. Eksenel Akış Yöntemi

Eksenel akış yöntemi en yüksek doğruluk oranında sonuç veren ve 100 K sıcaklık altında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem düşük sıcaklıklarda minimum ısı kaybı sağlamakta ve termal iletkenlik katsayısı 1 W/mK'den daha büyük olan numunelerde uygulanmaktadır. Bu yöntemin en belirgin özelliği radyal kayıpların azaltılmasında önemli bir yere sahip olmasıdır (Eithun, 2012; Cezairlian vd., 1984). Eksenel akış yönteminde kullanılan silindirler iki uca yerleştirilerek ölçüm gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen ölçümde yüklem mekanik olarak yapılırsa temas yükünün ölçülmesinde ayarları yapılmış yük hücresi kullanılır (Chakravarti ve Madhusudana, 2014).

1.10.3.2. Geçişli Durumlarda Termal İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

1.10.3.2.1. Sıcak Tel Yöntemi

Bu yöntemde sıcaklık artışları belirli periyotlarda ölçülerek gerçekleştirilir. Bu yöntem Şekil 18'de görüldüğü üzere şeffaf platin telin iki numune arasına konulmasının ardından sıcaklık artışı ve giriş gücü parametreleri kullanılarak ısıl iletkenlik katsayısı bulunmaktadır (Mathis ve Chandler, 2004).



Şekil 18. Sıcak tel yöntemi (Khanna vd., 1998)

1.10.3.2.2. DSC (Differential Scanning Calorimetry) ile Ölçüm Yöntemi

DSC ile ölçüm yöntemi geniş termal iletkenlik değerlerine sahip katı (polimerik ve camsı) malzemelerde kullanılan hızlı ve hassas bir yöntemdir. Bu sistem numunenin yerleştirildiği numune hücresi, sensör, referans hücresi, ve ısıtıcıdan oluşmaktadır (Mathis ve Chandler, 2004; Torres-Gomez ve Yanez- Nieto, 1988).

1.10.4. Termal İletkenliğin Asfaltın Mekanik Özelliklerine Etkisi

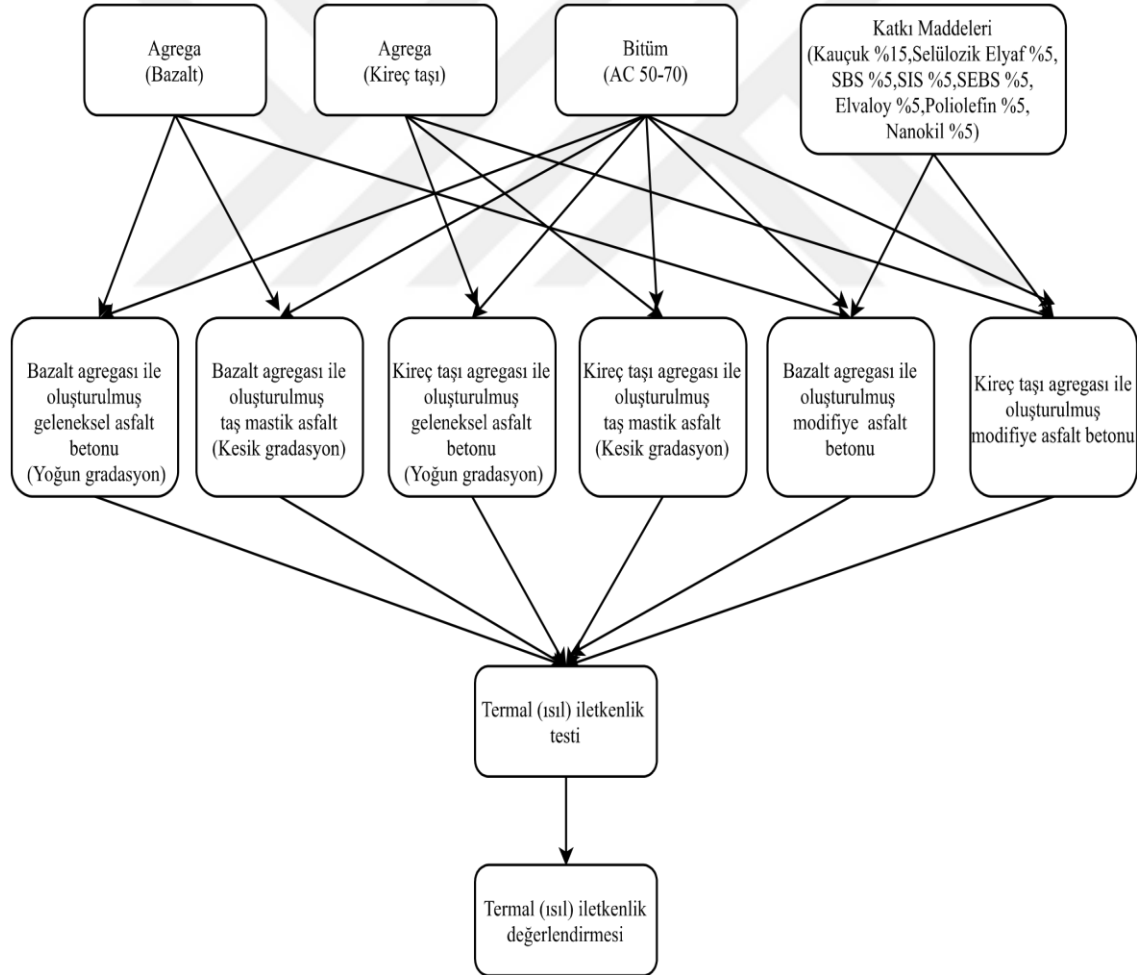
Asfalt kaplamaların mekanik özellikleri yolun performansının belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Yol yüzeyinde meydana gelen çukurların onarımı için termal taş mastik asfaltın özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada dört farklı termal iletkenlik değeri ile çalışılmış, 48 saatlik donma-çözülme döngülerinin ardından ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonucunda termal iletkenliğin artmasıyla Marshall stabilitesinin ve yarmada çekme mukavemetinin arttığı termal iletken numunelerin yüksek nemli alanlarda bile su direncini karşıladığı gözlemlenmiştir. Termal iletken asfaltın yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi dayanımını karşıladığı, düşük sıcaklıklarda da çatlama direncinin standartları karşıladığı sonucuna varılmıştır (Li vd., 2019).

Asfalt betonunun ısıl özelliklerinin kaplamanın yüzey sıcaklığına etkilerinin incelendiği bir diğer çalışmada asfalt karışımına grafit tozu ekleyerek termal iletkenlik kontrol numunesine göre %43 arttırılmıştır. Yapılan ölçümlerde termal iletkenliğin artmasıyla dolaylı çekme mukavemetinin kontrol numunesine oranla %40 arttığı gözlemlenmiştir (Shi vd., 2015).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu bölümde asfalt karışımlarının termal iletkenliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılan bitüm, agrega ve katkı maddelerinin özelliklerini belirlemede kullanılan deneyler; malzeme özellikleri ve karışım tasarımına ait bilgiler sunulmuştur. Yapılan çalışmanın deneysel akış diyagramı Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Deneysel akış diyagramı

2.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

2.2.1. Bitümlü Bağlayıcı ve Özellikleri

Bu çalışmada Tüpraş Kırıkkale tesislerinden temin edilen 50-70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitümün özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Bitümlü bağlayıcı özellikleri

Test	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),0.1 mm	TS EN 1426	63	50-70
Düktilite (25°C)	TS EN D-113	100+	

2.2.2. Agregada Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan iki farklı agregadan bazalt agregası Trabzon ili, Zigana bölgesinde bulunan bazalt taş ocağından temin edilmiştir. Kullanılan bazalt agregasının boyutlarına göre kimyasal özellikleri Tablo 5'te fiziksel özellikleri ise Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. Bazalt agregasının kimyasal özellikleri

Bileşim (%)	Formül	Numune 1	Numune 2
Silisyum dioksit	SiO ₂	57.28	59.41
Alüminyum oksit	Al ₂ O ₃	13.58	13.44
Demir oksit	Fe ₂ O ₃	6.75	6.72
Kalsiyum oksit	CaO	5.25	4.49
Magnezyum oksit	MgO	3.41	3.75
Sülfür trioksit	SO ₃	0.00	0.00
Sodyum oksit	Na ₂ O	1.95	1.68
Potasyum oksit	K ₂ O	1.78	2.63
Klor	Cl	0.0216	0.026
Kalsiyum karbonat+Magnezyum karbonat	CaCO ₃ +MgCO ₃	5.30	2.80
Isıtma kaybı		4.68	3.01

Tablo 6. Bazalt agregasının fiziksel özellikleri

Deney/Özellik	Deney	Deney standardı	Şartname limitleri
Filler Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.821		
İnce Agregada Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.656	ASTM C 128	
İnce Agregada Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.754		
İnce Agregada Plastisite İndeksi	Plastik değil	TS 1900-1	N.P.
İnce Agregada Organik Madde (%)		TS EN 1744-1	Negatif
İnce Agregada Su Emme (%)	0.81	TS EN 1097-6	≤ 20
Kaba Agregada Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.684	ASTM C 127	
Kaba Agregada Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.777	ASTM C 127	≤ 25
Kaba Agregada Parçalanma Direnci (Los Angeles) % Kayıp	12	TS EN 1097-2	
Kaba Agregada Yassılık İndeksi (%)	14	AASHTO T 96	
Kaba Agregada Soyulma Mukavemeti	35-40	BS812	≤ 25
Katkısız (%)		TS EN 12697-	≥ 60
Kaba Agregada Cilalanma Değeri (%)		11	
Kaba Agregada Su Emme (%)	0.81	Kısım 403 Ek-A	≥ 50
Kaba Agregada Donma Kaybı (NaSO ₄ ile kayıp)(%)	0.92	TS EN 1097-8	≤ 2.0
Kaba Agregada Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler (%)		TS EN 1097-6	≤ 8
		ASTM C 88	
			0
		ASTM C 142	

Bu çalışmada kullanılan kireç taşı agregası Gümüşhane ili, Merkez Akçakale bölgesinde bulunan Kalker taş ocağından temin edilmiştir. Kullanılan kireç taşı agregasının fiziksel özellikleri Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Kireç taşı agregası fiziksel özellikleri

Deney/Özellik	Deney Sonucu	Deney standardı	Şartname limitleri
Görünen Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.75-2.76	TS EN 1097-6	
DKY Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.71-2.72	TS EN 1097-6	
Kuru Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.68-2.69	TS EN 1097-6	
Parçalanma Direnci (Los Angeles % Kayıp	26.7	TS EN 1097-2	
Yassılık İndeksi (%)	9.71	BS 812-1	≤ 25
Soyulma Mukavemeti	60-65	AASHTO T 283	≥ 60
Katkısız (%)			
Soyulma Mukavemeti	80-85	AASHTO T 283	≥ 60
Katkılı (0.003) (%)			
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO ₄) (%)	2.4	TS EN 1367-2	
Su Emme (%)	0.90	TS EN 1097-6	≤ 2.0
(CaCO ₃ +MgCO ₃) Tayini Deneyi	96.5		

Karayolları Teknik Şartnamesinin (KTŞ,2013) öngördüğü kriterlerde Taş Mastik Asfalt (Tip-1 A ve Tip-2) ve yoğun gradasyonlu asfalt betonu (Tip-1, Tip-2 ve Tip-3) aşınma tabakası tasarımları yapılmıştır. Belirlenen agrega gradasyonları şartname limitleri arasında yer almaktadır. Oluşturulan agrega karışım gradasyonları Tablo 8-Tablo 12’de, gradasyon eğrileri ise Şekil 20-Şekil 24’te gösterilmiştir.

Tablo 8. TMA aşınma tabakası TİP-1 agrega gradasyonu ve şartname limitleri

Elek boyutu		Şartname limitleri		TMA Tip-1A kaba, agrega gradasyonu (% geçen) ve agrega oranları	TMA Tip-1A ince, agrega gradasyonu (% geçen) ve agrega oranları
Inch	mm	Alt limit	Üst limit		
3/4	19.0	100	100	100	100
1/2	12.5	90	100	98	Kaba agrega, % 70
3/8	9.5	50	75	55	70
No. 4	4.75	25	40	30	35
No. 10	2.00	20	30	22	İnce agrega, % 21
No. 40	0.425	12	22	14	20
No. 80	0.18	9	17	12	15
No. 200	0.075	8	12	9	Filler, % 9
					11 Filler, % 11

Tablo 9.TMA aşınma tabakası Tip-2 agrega gradasyonu ve şartname limitleri

Elek boyutu		Şartname limitleri		TMA Tip-2, agrega gradasyonu (% geçen) ve agrega oranları	
Inch	mm	Alt limit	Üst limit		
3/4	19.0	-	-	-	
1/2	12.5	100	100	100	Kaba agrega, %65
3/8	9.5	90	100	95	
No. 4	4.75	25	45	35	
No. 10	2.00	20	30	25	İnce agrega, %25
No. 40	0.425	12	22	17	
No. 80	0.18	9	17	13	
No. 200	0.075	8	12	10	Filler, %10

Tablo 10. Geleneksel asfalt betonu Tip-1 gradasyonu ve şartname limitleri

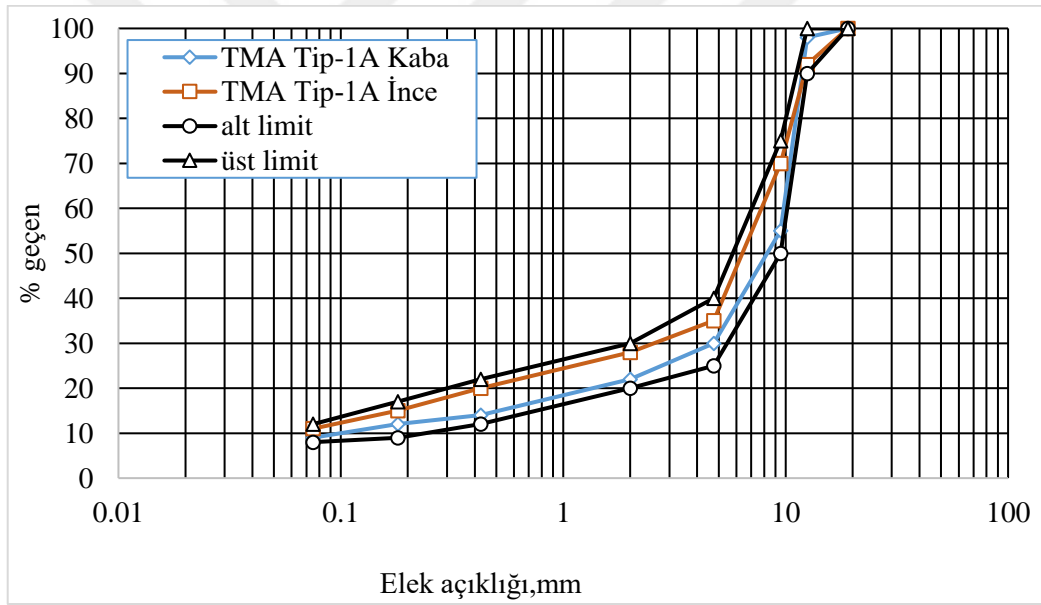
Elek boyutu		Şartname limitleri		TMA Tip-2, agrega gradasyonu (% geçen) ve agrega oranları	
Inch	mm	Alt limit	Üst limit		
3/4	19.0	100	100	100	
1/2	12.5	88	100	96	Kaba agrega, %53
3/8	9.5	72	90	81	
No. 4	4.75	42	52	47	
No. 10	2.00	25	35	30	İnce agrega, %42
No. 40	0.425	10	20	15	
No. 80	0.18	7	14	10	
No. 200	0.075	3	8	5	Filler, %5

Tablo 11. Geleneksel asfalt betonu Tip-2 agrega gradasyonu ve şartname limitleri

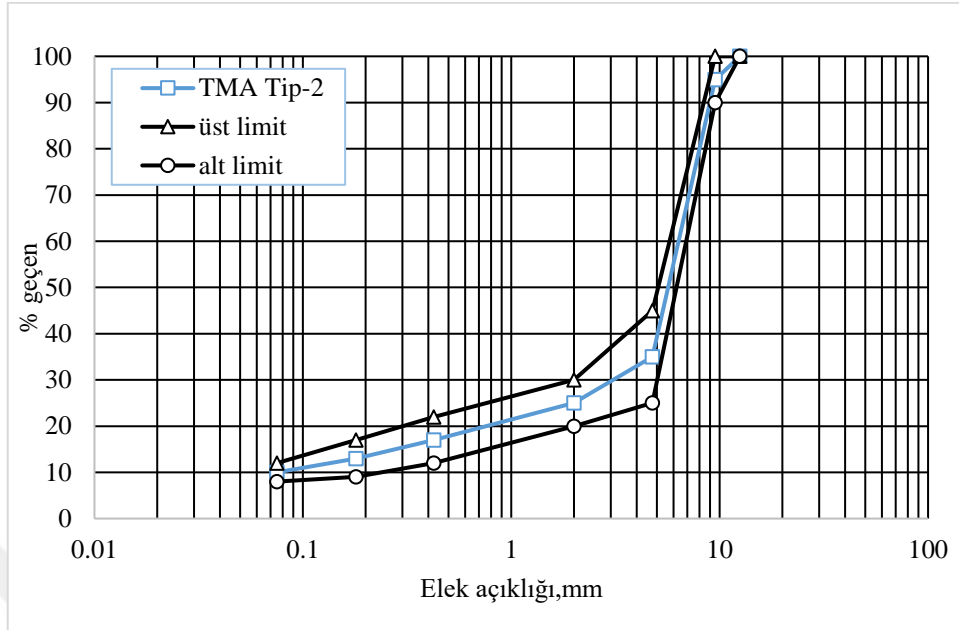
Elek boyutu		Şartname limitleri		TMA Tip-2, agrega gradasyonu (% geçen) ve agrega oranları	
Inch	mm	Alt limit	Üst limit		
3/4	19.0				
1/2	12.5	100	100	100	Kaba agrega, %37
3/8	9.5	80	100	90	
No. 4	4.75	55	72	63	
No. 10	2.00	36	53	45	İnce agrega, %57
No. 40	0.425	16	28	22	
No. 80	0.18	8	16	12	
No. 200	0.075	4	8	6	Filler, %6

Tablo 12. Geleneksel asfalt betonu Tip-3 agrega gradasyonu ve şartname limitleri

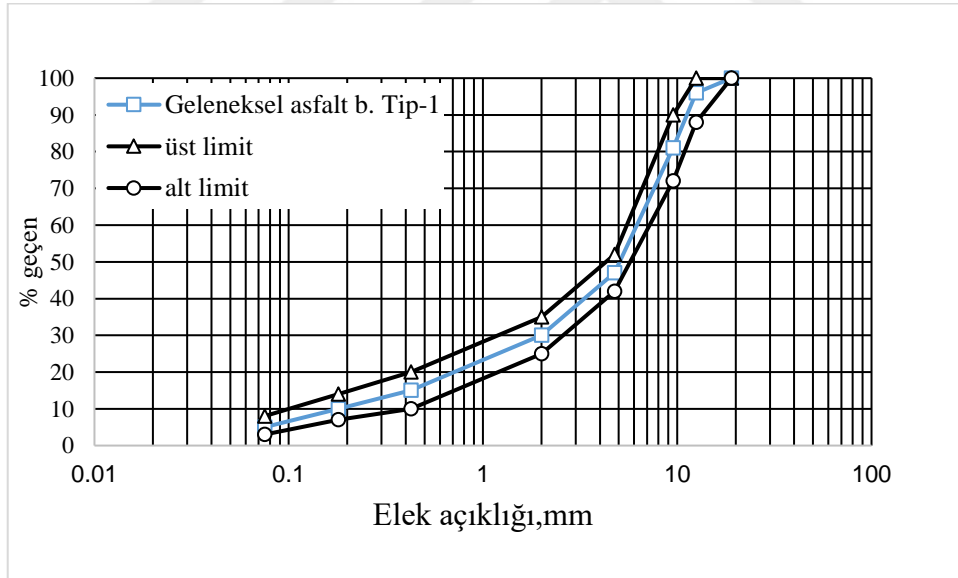
Elek boyutu		Şartname limitleri		TMA Tip-2, agrega gradasyonu (% geçen) ve agrega oranları	
Inch	mm	Alt limit	Üst limit		
3/4	19.0	-	-	-	
1/2	12.5	100	100	100	Kaba agrega, %71
3/8	9.5	90	100	95	
No. 4	4.75	25	33	29	
No. 10	2.00	23	31	27	İnce agrega, %19
No. 40	0.425	20	27	23	
No. 80	0.18	12	18	15	
No. 200	0.075	7	11	9	
					Filler, %10



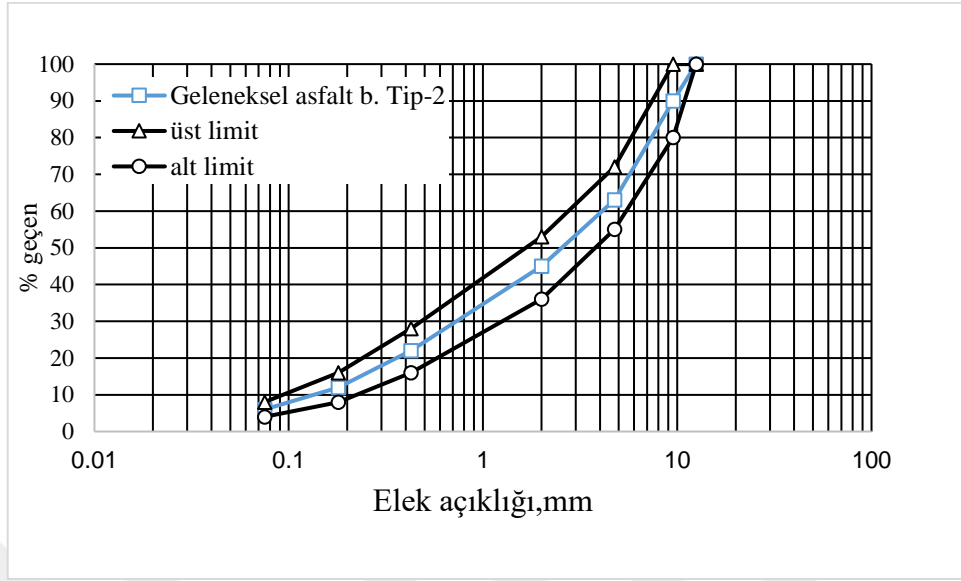
Şekil 20. TMA aşınma tabakası Tip-1 agrega gradasyon eğrisi



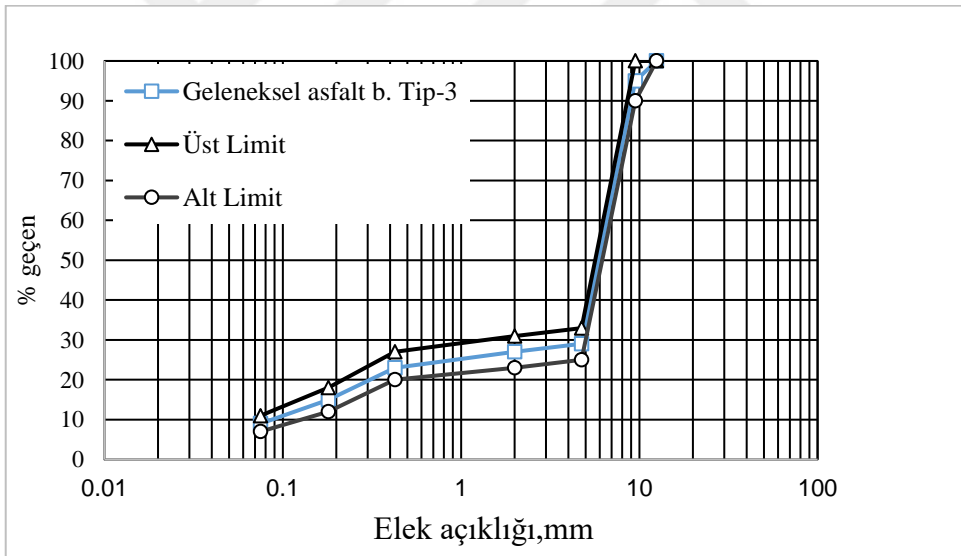
Şekil 21. TMA aşınma tabakası Tip-2 agrega gradasyon eğrisi



Şekil 22. Geleneksel asfalt betonu Tip-1 agrega gradasyon eğrisi



Şekil 23. Geleneksel asfalt betonu Tip-2 agrega gradasyon eğrisi



Şekil 24. Geleneksel asfalt betonu Tip-3 agrega gradasyon eğrisi

2.2.3. Katkı Maddeleri

Bu çalışmada katkı maddesi olarak Şekil 25'te gösterilen, kauçuk, selülozik elyaf, SBS (Stiren-Butadien-Stiren), SIS (Styrene Isoprene Styrene), elvaloy (EL), SEBS (Stiren-Etilen-Butilen-Stiren), poliolefin elastomer ve nanokil olmak üzere 9 farklı katkı maddesi kullanılmıştır.



Şekil 25. Çalışmada kullanılan katkı maddeleri

2.2.3.1. Kauçuk ve Özellikleri

Kauçuk; lateks veya öğütülerek geri dönüştürülmüş atık lastiklerden üretilen, yol kaplamalarında gürültüyü azaltmak ve kaplama performansını arttırmak gibi avantaj sağlayabilen bir katkı maddesidir (KTŞ, 2013).

Kauçuk katkı malzemesi hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda performansının iyi olması ve ısısını uzun süre muhafaza edebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Sağlık, 2011). Kauçuk katkısı eklendiği malzemenin ısıl iletkenliğini düşürücü bir etkiye sahiptir. Kullanım oranının artmasıyla ısı yalıtım özelliğinin de arttığı bilinmektedir (Arguhan, 2016). Bu çalışmada %15 oranında kullanılan kauçuk 0.6 mm ile 2.5 mm arasındadır. Karışımda kullanılan kauçuk katkısı Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. Kauçuk katkı maddesi

2.2.3.2. Selülozik Elyaf ve Özellikleri

Selülozik elyaf çatlama direncini artırma, karışımda bulunan bitümün süzülmesini engelleme ve mekanik stabiliteyi artırma gibi avantajlara sahiptir (İzol, 2020). Selülozik elyaf tiplerinden viatop selülozik elyaf, taş mastik asfaltlarda bitüm miktarının fazla olması nedeniyle en çok tercih edilen elyaf türüdür. Bu elyafın özelliği etrafının özel bir yöntem kullanılarak bitüm ile kaplanmış olmasıdır. Liflerin etrafını kaplayan bitüm neme karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır (Arslan, 2014).

Selülozik elyafın ısı dayanımı 250°C 'ye kadar çıkabilmektedir. Selülozik elyaflar yüksek ısı dayanıma sahip olup ısı yalıtımı sağlamak amacıyla kullanılabilirler. Yapılan bir çalışmada selülozik elyafın ısı iletkenliğinin büyük oranda malzemenin yoğunluğuna bağlı olduğu ortaya konmuştur (Brzyski vd., 2019). Bu çalışmada %5 oranında Viatop Premium marka selülozik elyaf kullanılmıştır. Kullanılan selülozik elyaf Şekil 27'de selülozik elyafın özellikleri Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. Selülozik Elyafın Özellikleri

Özellik	Değer
Selüloz İçeriği (%)	66.7
Bitüm İçeriği (%)	33.3
Parlama Sıcaklığı (°C)	~ 500
Yoğunluk (gr/lt)	480-530
Ortalama Partikül Kalınlığı (mm)	4 ±1
Ortalama Partikül Boyutu (mm)	2-8



Şekil 27. Selülozik Elyaf

2.2.3.3. SBS (Stiren-Butadien-Stiren) ve Özellikleri

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 problemlerin önlenmesini sağlamaktadır. SBS bitüme katıldığı anda hacmi 10 kat artarak üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Karışımın yüksek sıcaklıkta kıvamı artarken düşük sıcaklıkta kırılabilirliği azalır (Kara ve Vong, 2009).

Yapılan çalışmalarda bitümlü bağlayıcıya eklenen SBS miktarının artmasıyla bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığının azaldığı görülmektedir (Ahmedzade ve Yılmaz, 2007). Başka bir çalışmada ise karışıma eklenen SBS oranının artmasıyla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında ayrıca sıcaklık dayanımında da artış meydana geldiği gözlemlenmiştir (Yılmaz ve Kök, 2008). Bu çalışmada ise %5 oranında SBS elastomeri

KRATON D1192 ESM ve Europrene SOL T 6302 kullanılmıştır. Kullanılan SBS katkı maddeleri Şekil 28’de katkıların özellikleri Tablo 14 ve Tablo 15’te gösterilmiştir

Tablo 14. SBS katkı maddesi ve Özellikleri (KRATON D1192 ESM)

Özellik	Değer
Moleküler Yapı	Lineer
Moleküler Ağırlık (kg/mol)	138-162
Polistiren içeriği, %	28.5-32.5
Vinil içeriği, %	≥ 35
Triblok içeriği	≥ 90
Uçucu Madde %	≤ 0.3
Antioksidan İçeriği, %	≥ 0.16
Özgül Ağırlık, (gr/cm ³)	0.94
Erime Akış Hızı, 200°C/kg, g/10 dk)	<1
Kopma Uzaması, %	1000
Çekme Mukavemeti, Mpa	33

Tablo 15. SBS katkı maddesi ve Özellikleri (Europrene® SOL T 6302)

Özellik	Değer
Brookfield Viskozitesi (Pa.s)	4,0
Özgül Ağırlık, (gr/cm ³)	0.94
Erime Akış Hızı, 190°C/kg, g/10 dk)	<1
Kopma Uzaması, %	750
Çekme Mukavemeti, Mpa	20



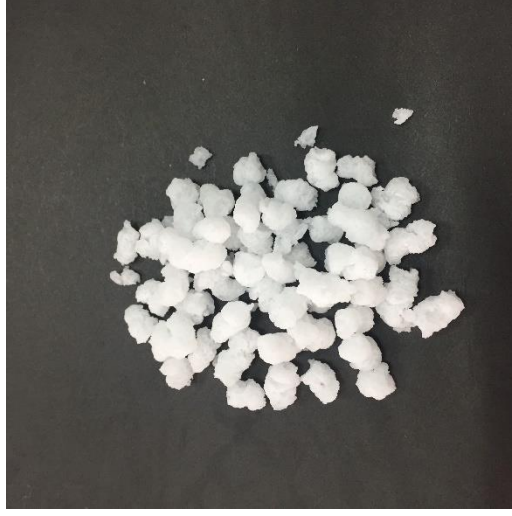
Şekil 28. SBS katkı maddeleri (a) Kraton D1192 ESM, (b) Europrene SOL T 6302

2.2.3.4. SIS (stiren isopren stiren) ve Özellikleri

SIS katkısı büyük hacimli termoplastik bir elastomerdir. SIS katkısı eklendiği karışımlarda viskoziteyi artırır ve tekerlek izi oluşumu üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Bir karışımda SIS içeriği ne kadar yüksekse bağlayıcının çatlama direnci de o kadar iyidir (Mazumder vd, 2020). SIS katkısı ortalama 100°C’de polimerlere özgü olan cam geçiş sıcaklığına ulaşarak viskoz özellik kazanır. Bu çalışmada %5 oranında SIS 1126 katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan SIS katkı maddesi Şekil 29’da SIS katkısının özellikleri Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. SIS (stiren isopren stiren) ve Özellikleri

Özellik	Değer
Moleküler Yapı	Lineer
Stiren içeriği,%	16
Diblok içeriği	50
Çözelti Viskozitesi	-
Antioksidan İçeriği, %	0.5-1
Erime Akış Hızı, 200°C/kg, g/10 dk)	7.17
Kopma Uzaması, %	≥ 1000
Çekme Mukavemeti, Mpa	≥ 4



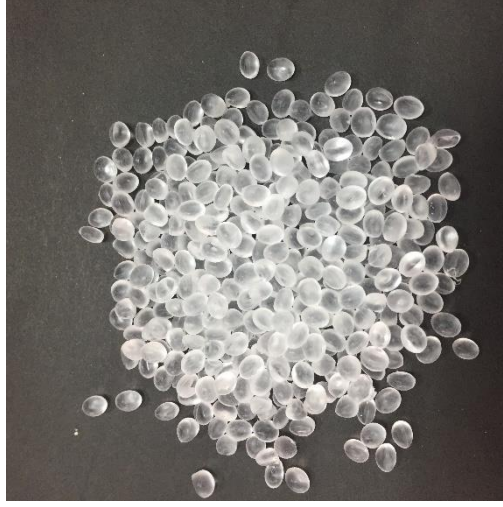
Şekil 29. SIS katkı maddesi

2.2.3.5. Elvaloy (EL) ve Özellikleri

Elvaloy katkısı karışım ve asfalt bağlayıcının modifikasyonunda kullanılan elastomerik terpolimerdir. Elvaloy katkısı eklendiği karışımlarda tekerlek izi ve yorulma çatlakları gibi bozulmaları azaltır ve sıcaklık hassasiyetine sahiptir. Bu polimer yüksek erime noktasına sahip olup eklendiği malzemelere termal dayanım sağlamaktadır. Bu çalışmada %5 oranında DuPont, Elvaloy RET kullanılmıştır. Kullanılan Elvaloy katkı maddesi Şekil 30'da, elvaloy katkısının özellikleri Tablo 17'de gösterilmiştir

Tablo 17. Elvaloy ve Özellikleri

Özellik	Değer
Moleküler Yapı	Lineer
Yoğunluk (g/cm ³)	0.95
Fiziksel Form	Pelet
Erime Akış Hızı, 200°C/kg, g/10 dk)	12
Erime Noktası (°C)	80
Maksimum İşlem Sıcaklığı (°C)	220



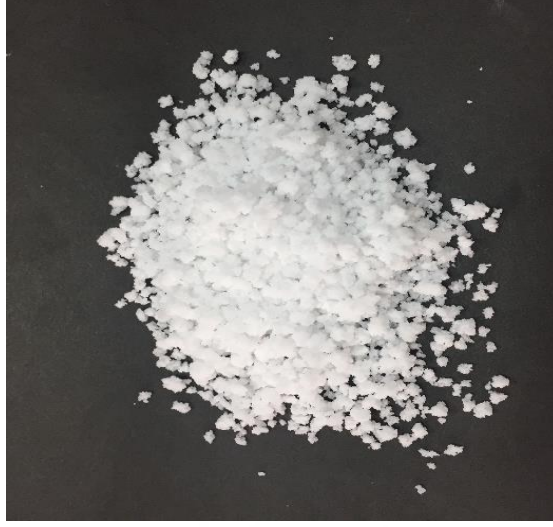
Şekil 30. Elvaloy

2.2.3.6. SEBS (Stiren-Etilen-Butilen-Stiren) ve Özellikleri

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 (Yılmaz vd, 2013). Yapılan bir çalışmada bitüm modifikasyonunda kullanılan SEBS'nin SBS'ye göre daha fazla termal dayanım sağladığı sonucuna varılmıştır (Polacco vd., 2006). Bu çalışmada %5 oranında SEBS elastomeri KRATON G1652 E kullanılmıştır. Kullanılan SEBS katkı maddesi Şekil 31'de SEBS katkısının özellikleri Tablo 18'de gösterilmiştir.

Tablo 18. SEBS ve Özellikleri

Özellik	Değer
Uçucu Madde %	0.6
Antioksidan İçeriği, %	0.03
Özgül Ağırlık, (gr/cm ³)	0.91
Erime Akış Hızı, 230°C/kg, g/10 dk)	6
Kopma Uzaması, %	500
Çekme Mukavemeti, Mpa	31



Şekil 31. SBES Elastomeri

2.2.3.7. Poliolefin Elastomer ve Özellikleri

Polyolefin elastomer karbon zincirlerinin birleşmesinden oluşan ve polimerlerin bir sınıfı olan termoplastik elastomerdır. Katkı maddesi olarak kullanıldığında bitümün penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite özelliklerini geliştirdiği saptanmıştır (Ertekin, 2003). Bu çalışmada %5 oranında Lucoplast 7010 Lucobit poliolefin elastomeri kullanılmıştır. Kullanılan poliolefin elastomer katkısı Şekil 32’de, poliolefin elastomer katkı maddesinin özellikleri Tablo 19’da gösterilmiştir.

Tablo 19. Poliolefin Elastomer ve Özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk (gr/cm^3)	0.97
Özgül Ağırlık, (gr/cm^3)	0.93
Elastisite Modülü (MPa)	62
Kopma Uzaması, %	750-850
Gevrekleşme Aralığı	≤ -30
Yumuşama Aralığı	80-100



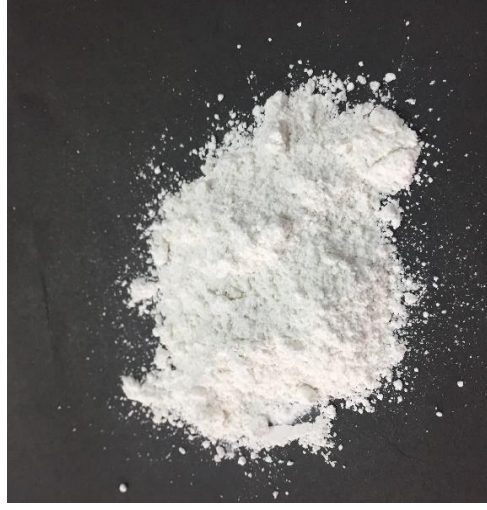
Şekil 32. Poliolefin Elastomer

2.2.3.8. Nanokil ve Özellikleri

Nanokiller asfalt bağlayıcıların modifikasyonunda kullanılan ucuz ve ham maddesi doğal olarak bulunan sürdürülebilir özellikli katkı malzemeleridir. Nanokiller, kullanıldığı asfalt kaplamalara dayanıklılık sağlar ayrıca mekanik ve fonksiyonel özelliklerini stabilize eder (Hossain vd., 2014). Bu çalışmada %5 oranında kullanılan nanokil Şekil 33'te, nanokilin anaoksit içerikleri Tablo 20'de gösterilmiştir.

Tablo 20. Nanokil ve Özellikleri

Oksit adı	İçerik (%)	Oksit adı	İçerik (%)
Al ₂ O ₃	8.394	Nb ₂ O ₅	0.005885
CaO	0.1531	NiO	0.01105
Cl	0.4869	P ₂ O ₅	0.008532
CuO	0.007995	Rb ₂ O	0.002243
Fe ₂ O ₃	0.5189	SO ₃	0.04875
GeO ₂	0.003939	SiO ₂	42.99
K ₂ O	0.1672	TiO ₂	0.04296
MgO	2.174	ZnO	0.007696
MnO	0.01927	ZrO ₂	0.004362
Na ₂ O	0.2342	Kızdırma kaybı	44.72



Şekil 33. Nanokil

2.3. Marshall Metodu ile Asfalt Numunelerinin Üretilmesi

Marshall metodu 1939 yılında Mississippi Devlet Karayolları Departmanında bitümlü malzemeler mühendisi Bruce Marshall tarafından formüle edilerek bilim dünyasına kazandırılmıştır. 1943 yılında Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği tarafından yapılan geniş araştırma çalışmaları neticesinde gradasyon ve trafik koşulları fonksiyonlarına dayandırılarak optimum bitüm miktarını belirlemek amacıyla kabul edilmiştir. Ardından, American Society for Testing and Materials (ASTM) tarafından standart haline getirilmiştir. Sıcak asfalt karışımlarının laboratuvarında tasarımlarının gerçekleşmesi amacıyla öngörülen Marshall metodu maksimum tane boyutu 25 mm veya daha az olan agregalar ile penetrasyon veya vizkoziteye göre sınıflandırılmış asfalt çimentosu içeren sıcak asfalt kaplamalara uygulanmaktadır (Uluçaylı ve Yavuz, 2002).

Marshall yöntemi belirli dezavantajlara sahip olmasına rağmen dünyada en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu derecede yaygın kullanılmasının nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kaya ve Topal, 2016).

- Uygulanan gerilmenin numunenin belirli bir kısmına değil tüm numuneye uygulanması.
- Minimum çaba harcayarak hızlı bir şekilde yapılabilir.
- Laboratuvarda üretilen numuneler küçük, hafif ve taşınabilir özelliktedir.

- Laboratuvarda üretilen numuneler gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir.

Çalışmada, Karayolları Teknik Şartnamesi baz alınarak taş mastik asfalt ve yoğun gradasyonlu asfalt betonu tasarımı yapılmıştır. Asfalt karışımlar için başlangıçta değişik bitüm oranlarına sahip 21 örnek ile karışım dizaynı yapılmış, her numune için optimum bitüm içerikleri belirlenmiştir. Her numune için belirlenen bitüm içerikleri Tablo 21’de gösterilmiştir.

Tablo 21. Optimum bitüm içeriği değerleri (%)

Deney numunesi	Optimum Bitüm İçeriği Değeri (%)
TMA Tip-1A Kaba	6.43
TMA Tip-1A İnce	6.68
TMA Tip-2	7.16
Geleneksel Asfalt Betonu Tip-1	5.10
Geleneksel Asfalt Betonu Tip-2	5.65
Geleneksel Asfalt Betonu Tip-3	6.23

Deney numunelerini hazırlarken ilk olarak temin edilen agregalar elenerek istenilen gradasyonlara göre sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işleminden sonra kullanılacak iri ve ince agregalar özenle yıkanarak içerisinde bulunabilecek zararlı maddelerden arındırılmıştır. Yıkanan malzemeler 105°C bulunan etüvlere yerleştirilip 24 saat süreyle bekletilerek kurutulmuş ve sabit ağırlığa ulaşması ile birlikte numune üretimi için uygun hale getirilmiştir.

Üretim için uygun hale getirilen agregaların şartname limitleri göz önüne alınarak kullanım oranları belirlenmiştir. Belirlenen gradasyonun kullanılabilir olarak kabul edilmesi için kaba, ince ve filler agreganın kullanım oranlarının şartname limitleri arasında kalması gerekmektedir. Şekil 34’te görüldüğü üzere agrega kullanım oranlarının belirlenmesinin ardından standart ASTM eleklerin üzerinde kalan agrega miktarı hesaplanarak hassas tartı yardımıyla tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 34. Agregaların gradasyona göre hazırlanması

Şekil 35’de gösterildiği gibi standart ASTM eleklerinden elenmiş agregalar her bir briket için belirlenen toplam 1150 gr agregaya karşımı elde edilecek şekilde önceden belirlenen agregaya eğrileri baz alınarak birleştirilmiştir.



Şekil 35. Gradasyona göre hazırlanıp sınıflandırılan agregalar

Yoğun gradasyonlu asfalt betonu (Tip-1, Tip-2, Tip-3) ve Taş Mastik Asfalt (Tip-1A ve Tip-2) şartname limitlerine uygun olarak hazırlanmış kaba, ince ve filler agregadan oluşan agregaya karışımları ile asfalt çimentosu (AC 50-70) Şekil 36’da görüldüğü üzere önceden 160°C’de ısıtılmış etüve yerleştirilmiştir. Karıştırma işlemine geçilmeden 30dk önce metal malzemeler (karıştırma kabı, spatula ve metal kürek) etüve konularak ısıtılması sağlanmıştır.



Şekil 36. Hazırlanan agregaların etüve yerleştirilmesi

Etüvde gerçekleştirilen ısıtma işleminin ardından istenilen ısıya ulaşan agrega karışımı karıştırma kabına konulmuştur. Agregaların karışma kabına alınmasının ardından Şekil 37’de görüldüğü üzere her tip agrega ve gradasyon için önceden belirlenen oranda bitüm agrega karışımına ilave edilmiştir. Hesaplanan optimum bitüm içeriklerinde gevşek (sıkıştırılmamış) asfalt karışımlar KTŞ 2013’e uygun olarak üretilmiş ve ısıl iletkenlik deneyine tabii tutulmuştur.



Şekil 37. Gradasyona göre hazırlanan agregaya bitümün ilave edilmesi

Karıştırma kabı bitümlü bağlayıcının da eklenmesinin ardından katkı maddelerinin de eklenmesi ile birlikte ısıtıcı üzerine alınmıştır. Malzemeler metal bir kürek yardımıyla homojen hale gelene kadar en fazla 2 dakika sürecek şekilde hızlıca karıştırılmıştır. Malzemelerin homojen hale gelmesinin ardından oluşturulan karışım kaplara yerleştirilmiştir. Şekil 38’de malzemelerin karıştırılması ve oluşturulan asfalt karışımlar görülmektedir.



Şekil 38. (a) Malzemelerin karıştırılması, (b) oluşturulan karışımın kaplara yerleştirilmesi

2.4. Metod

2.4.1. Asfalt Numunelerinin Termal İletkenliklerinin Belirlenmesi

Asfalt numunelerinin termal iletkenlik katsayısının ölçümünde Şekil 39’da gösterilen termal özellik analiz cihazı (Decagon KD2 Pro Thermal Properties Analyzer) kullanılmıştır. KD2 Pro cihazı taşınabilir bir termal özellik analizörüdür. 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 ısıtmalı iğne teknolojisi ile birlikte kalibrasyon gerektirmeden ölçüm yapabilmektedir.

Pille çalışan ve menü odaklı olan bu cihazının ilk elemanı kontrol modülüdür, bu modül 4 AA pil, 16 bit mikro denetleyici ve üç kontrol devresinden oluşmaktadır. Diğer bir

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 aşağıda verilen eşitlik 3 kullanılarak numunenin termal iletim katsayısını hesaplanır.

$$k = q(\ln t_2 - \ln t_1) / 4\pi(\Delta T_1 - \Delta T_2) \quad (3)$$

Burada q cihaz iğnesinin uyguladığı sabit ısı akısını ΔT_1 ve ΔT_2 ise t_1 ve t_2 anlarındaki sıcaklık farkını simgeler.



Şekil 39. Decagon KD2 Pro Thermal Properties Analyzer cihazı (URL-5, 2021)

Termal iletkenlik katsayısının ölçümünün gerçekleştirilmesi amacıyla asfalt karışım örnekleri uygun bir kaba konulmuş ardından cihaz iğnesi numunenin içerisine

yerleştirilmiştir. Ölçümler gerçekleştirirken 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 karışımlarının termal iletkenlik katsayısının ölçümü Şekil 40'ta gösterilmiştir.



Şekil 40. Numunelerin termal iletkenliğinin ölçülmesi

3.BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Termal İletkenlik Katsayısı Testine Ait Bulgular ve İrdeleme

Termal iletkenlik katsayısı testi, hazırlanan asfalt karışımlarının ısıyı iletme kabiliyetlerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Kireç taşı ve bazalt agregaları kullanılarak, Taş Mastik Asfalt (Tip-1A ve Tip-2) ve geleneksel asfalt betonu (Tip-1, Tip-2 ve Tip-3) aşınma tabakası tasarımları yapılmıştır. Kauçuk, selülozik elyaf, SBS, SIS, Elvaloy, SEBS, poliolefin elastomer, nanokil asfalt katkı maddeleri kullanılarak asfalt karışım numuneleri üretilmiştir. İki farklı agrega türünden farklı gradasyonlardan ve katkı maddelerinden oluşan numuneler termal iletkenlik katsayısının bulunması amacıyla termal iletkenlik testine tabii tutulmuştur. Her karışım türü için iki farklı noktadan ölçüm gerçekleştirilmiş ardından bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Bazalt agregası kullanılarak oluşturulan asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayısı değerleri Tablo 22’de sunulmuştur. Asfalt betonu Tip-1 gradasyonuna göre bazalt ve kireç taşı agregası kullanılarak hazırlanan numunelerin katkı maddesine göre değişen termal iletkenlik katsayısı değerleri sırasıyla Tablo 23 ve Tablo 24’te gösterilmiştir.

Tablo 22. Bazalt agregası kullanılarak farklı gradasyonlarda hazırlanan asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK)

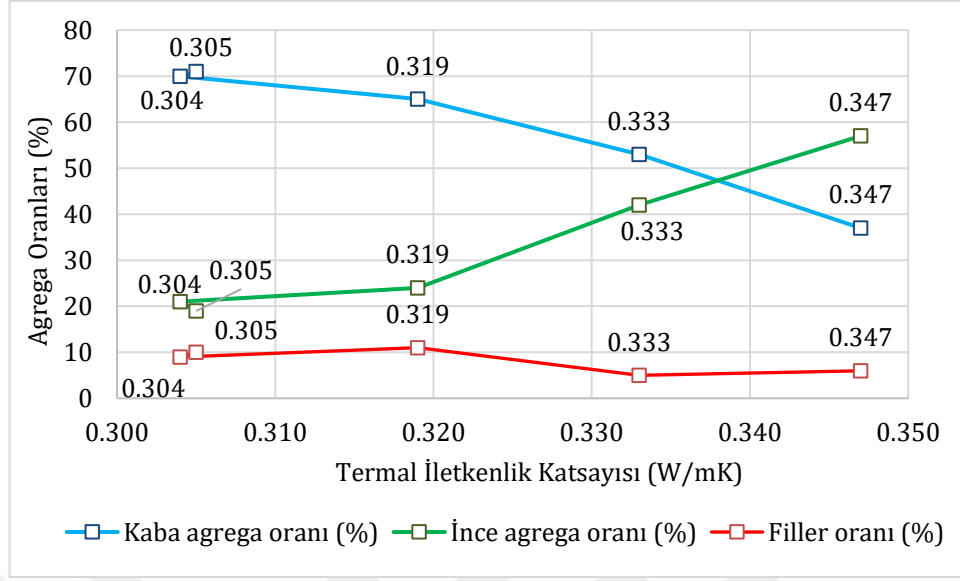
Numune	İlk ölçüm değeri (W/mK)	İkinci ölçüm değeri (W/mK)	Ortalama Ölçüm değeri (W/mK)
Geleneksel asfalt betonu Tip-1	0.323	0.343	0.333
Geleneksel asfalt betonu Tip-2	0.359	0.335	0.347
Geleneksel asfalt betonu Tip-3	0.314	0.296	0.305
TMA Tip-1 Kaba	0.316	0.292	0.304
TMA Tip-1 İnce	0.336	0.302	0.319
TMA Tip-2	0.327	0.309	0.318

Tablo 23. Bazalt agregası kullanılarak geleneksel asfalt betonu Tip-1'e göre oluşturulan modifiye asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK)

Kullanılan katkı maddesi	İlk ölçüm değeri (W/mK)	İkinci ölçüm değeri (W/mK)	Ortalama Ölçüm değeri (W/mK)
Kauçuk	0.298	0.294	0.296
Selülozik Elyaf	0.287	0.285	0.286
SBS (D 1192)	0.296	0.298	0.297
SIS	0.305	0.303	0.304
Elvaloy	0.295	0.301	0.298
SBS (Sol T 6302)	0.293	0.291	0.292
SEBS	0.305	0.307	0.306
Poliolefin	0.302	0.306	0.304
Nanokil	0.312	0.332	0.322
Kontrol	0.323	0.343	0.333

Tablo 24. Kireç taşı agregası kullanılarak geleneksel asfalt betonu Tip-1'e göre oluşturulan modifiye asfalt karışımların termal iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK)

Kullanılan katkı maddesi	İlk ölçüm değeri (W/mK)	İkinci ölçüm değeri (W/mK)	Ortalama Ölçüm değeri (W/mK)
Kauçuk	0.288	0.282	0.285
Selülozik Elyaf	0.270	0.276	0.273
SBS (D 1192)	0.291	0.299	0.295
SIS	0.296	0.292	0.294
Elvaloy	0.299	0.297	0.298
SBS (Sol T 6302)	0.289	0.291	0.290
SEBS	0.297	0.303	0.300
Poliolefin	0.292	0.304	0.298
Nanokil	0.293	0.299	0.296
Kontrol	0.303	0.315	0.309



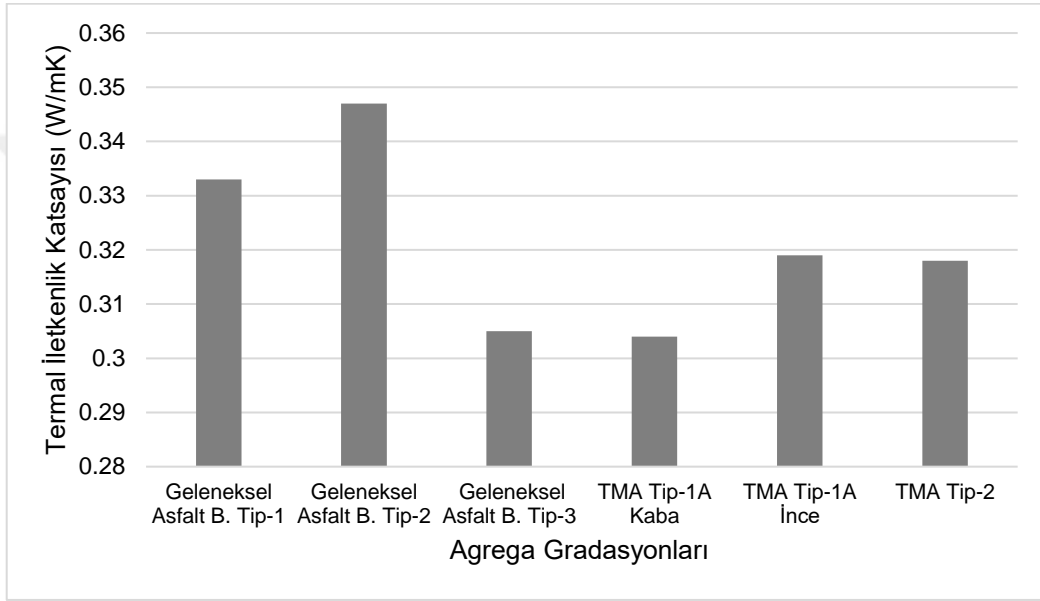
Şekil 41. Termal iletkenlik katsayısının agrega oranına bağılı olarak değişimi

Şekil 41 incelendiğinde kaba agrega oranının artmasıyla termal (ısı) iletkenlik katsayısında azalma meydana geldiği görülmüştür. %37 kaba agrega oranına sahip yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt karışımı termal iletkenlikte en yüksek değeri vermiştir. Bu numuneyi sırasıyla % 53 ve % 65 kaba agrega oranına sahip karışımlar takip etmiştir. Genel olarak yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt karışımları düşük kaba agrega oranına sahip olduklarından dolayı Taş Mastik Asfaltlara göre daha yüksek termal iletkenlik katsayısı değeri göstermiştir.

Şekil 41'de görüldüğü üzere ince agrega oranının artmasıyla termal iletkenlik katsayısında artış meydana gelmektedir. %57 ince agrega oranına sahip yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt karışımı en yüksek termal iletkenlik değerini vermiştir. Bu karışımı %49 ve %25 ince agrega oranına sahip karışımlar izlemiştir. İnce agregalar asfalt karışımlarında boşlukları doldurarak karışımın daha yoğun olmasını sağladığından karışımlarda fazla bulunması termal iletkenlik katsayısında artırıcı etki yaratmaktadır. Karışımlarda bulunan filler agregası oranındaki değişim termal iletkenlik katsayısıyla doğrusal orantılı değişim göstermemiştir.

Rastgele agrega mikro yapılı asfalt betonunun ısı iletkenliğinin incelendiği çalışmada termal iletkenliğin, hava boşluklarının çoğalması ile azaldığı kaba agrega oranının artmasıyla azaldığı gözlenmiştir (Chen vd., 2015). Bu gözleme paralel olarak, asfalt karışımlarda termal iletkenliğin kaba agrega oranının artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir.

Betonun ısı iletkenliğinin incelendiği bir çalışmada termal iletkenlikte ince agrega oranının artmasıyla az da olsa artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi ince agregaların termal iletkenliğinin kaba agregalara göre daha yüksek olması ve ince agregaların karışımı daha homojen hale getirmesi olarak grlmektedir (Kim vd.,2002). Bu gözleme paralel olarak asfalt karışımlarda ince agrega oranının artmasıyla termal iletkenliğin yükseldiği tespit edilmiştir.



şekil 42. Termal İletkenlik katsayısının agrega gradasyonuna bağlı değişimi

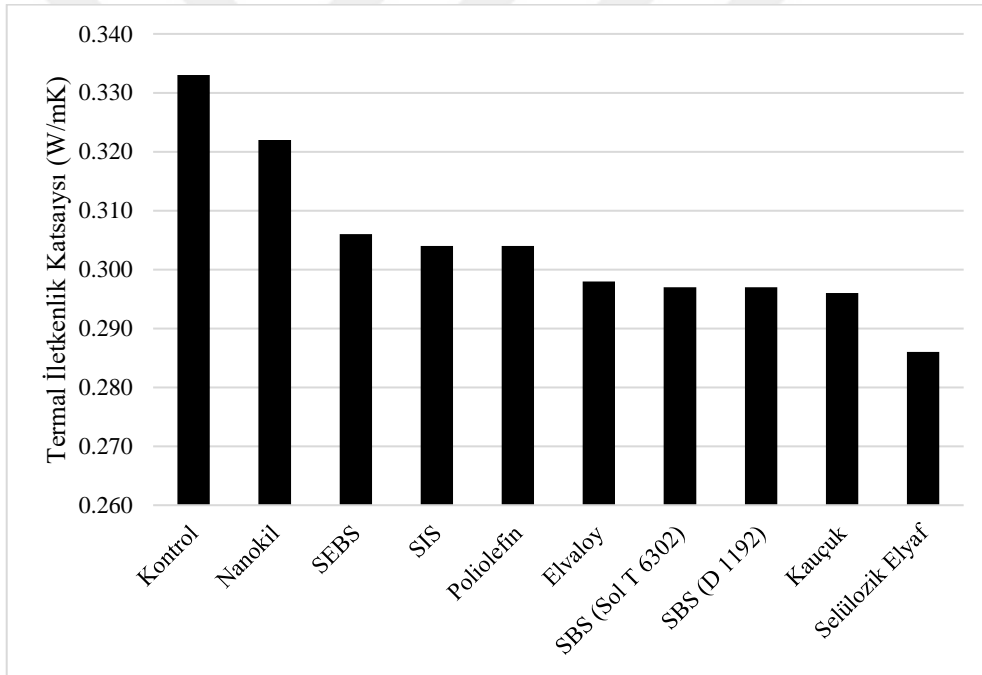
şekil 42’de görüldüğü üzere termal iletkenlik katsayısı yoğun gradasyonlu karışımlarda kesikli gradasyonlu karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Tüm karışım gruplarında en yüksek değeri geleneksel asfalt betonu Tip-2 numunesi vermiştir. Bu karışım grubunu sırasıyla geleneksel asfalt betonu Tip-1 ve TMA Tip-1A ince izlemiştir.

Asfalt karışımlarda hava boşluğu oranın, karışım sıcaklığına olan etkisi tam olarak belirlenmemiştir. Buna rağmen hava boşluğu oranı ısı transferini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Hava boşluğunun asfalt karışımların termal iletkenliği üzerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada hava boşluğu içeriğinin yüksek olduğu karışımların diğer karışımlara oranla daha düşük ısı iletkenliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Hassn vd.,2016).

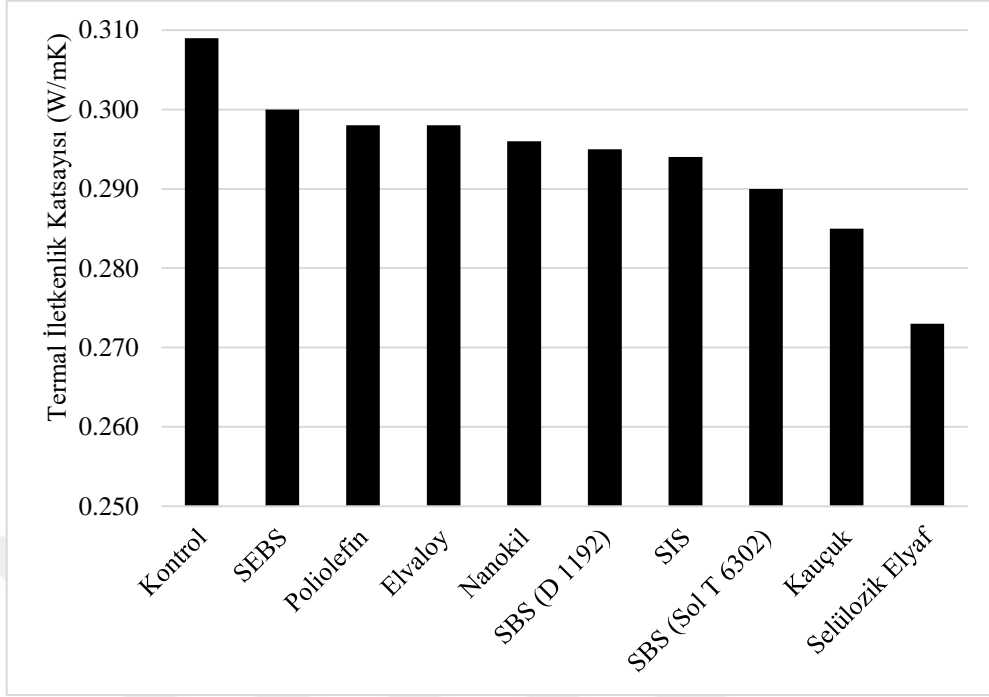
Gözenekli asfaltın ısıl özelliklerinin incelendiği bir çalışmada karışım gradasyonunun termal iletkenliği önemli derecede etkilediği hatta bu etkinin karışım bileşenleri ve malzeme

kökeni farklılığının yarattığı etkiden çok daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma yoğun gradasyonlu ve kesikli gradasyonlu karışımların boşluk oranlarında oluşan farklılığının neden olduğu düşünülmektedir (Zhao vd., 2020).

Yoğun gradasyonlu karışımlar düşük kaba agrega oranı ve yüksek ince agrega oranına sahip olduklarından dolayı daha yoğun bir asfalt karışımı oluşturduğu böylece taş mastik asfaltlara göre daha yüksek termal iletkenlik özelliği gösterdiği düşünülmektedir. Geleneksel asfalt betonu Tip-3 numunesi sahip olduğu düşük ince agrega oranı sebebiyle düşük termal iletkenlik katsayısı değeri göstermiştir. Taş mastik asfalt karışımlarından TMA Tip-1A kaba numunesi içeriğinde bulunan kaba agrega oranının daha fazla olması sebebiyle diğer TMA numunelerine oranla daha düşük termal iletkenlik katsayısı değeri göstermiştir.



Şekil 43. Bazalt agregası ile oluşturulan numunelerin termal iletkenlik katsayısının kullanılan katkı maddesi cinsine göre değişimi



Şekil 44. Kireç taşı agregası ile oluşturulan numunelerin termal iletkenlik katsayısının kullanılan katkı maddesi cinsine göre değişimi

Şekil 43 ve Şekil 44'te görüldüğü üzere asfalt karışımlara katkı maddelerin eklenmesiyle termal iletkenlik katsayısında bir düşüş meydana gelmiştir. Hem bazalt agregası hem de kireç taşı (kalker) agregası ile üretilen modifiye asfalt karışımlarına ait termal iletkenlik katsayısı sonuçları kontrol gruplarının altında kalmıştır.

Her iki agrega türünde de en düşük termal iletkenlik katsayısı değerleri, 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 ilavesiyle oluşturulan karışımlarda görülmüştür. Bunun sebebi selülozik elyafın asfalt karışımındaki fazla bitümü absorbe edebilme özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Selülozik elyaf katkılı asfalt karışımı her iki agrega türünde de kauçuk ile modifiye edilmiş karışım izlemektedir. Bunun nedeni kauçuğun asfalt karışımına katılım oranının diğer katkı maddelerine göre daha fazla olması ile açıklanabilmektedir.

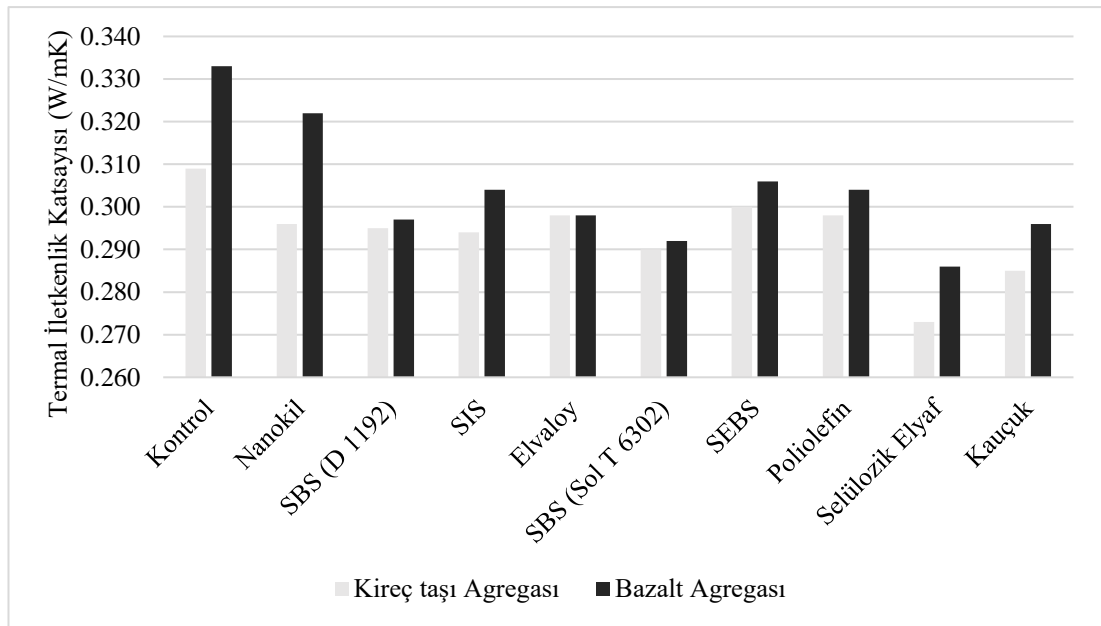
Polimerler düzenli kristal yapılardan ve rastgele amorf yapılardan oluşmaktadır (Leung, 2018). Amorf yapıların baskın olması polimerlerin titreşim hareketini azaltmakta bu durum düşük ısı iletkenliğe neden olmaktadır (Huang, 2018). Polimerler zincirlerinde meydana gelen atom hareketleri nedeniyle ısıyı iyi absorbe edebilmektedirler. Polimerler

fazla miktarda ısı absorpsiyonu yapabilmelerinden dolayı ısıyı iyi iletememekte bunun sonucunda eklendiği karışımın termal iletkenliğini düşürmektedir (Saçak, 2014). Bu çalışmada da karışıma eklenen katkı maddelerinin termal iletkenliği düşürücü etki gösterdiği ve modifiye asfalt karışımların termal iletkenlik katsayısı değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Polipropilen nanokompozitlerin termal ve mekanik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada nanokil varlığının nanokompozit malzemelerin termal kararlılığını arttırdığını fakat diğer termal özellikler üzerinde etkisinin oldukça küçük olduğunu tespit etmişlerdir (Hussain vd.,2007). Bu duruma paralel olarak kontrol numunesine en yakın değerleri bazalt agregası kullanılarak oluşturulan karışımlarda Şekil 43'te görüldüğü üzere Nanokil ile modifiye edilmiş asfalt karışımı vermiştir.

Kireç taşı agregası kullanılarak oluşturulan karışımlarda ise kontrol numunesine en yakın değeri Şekil 44'te görüldüğü üzere SEBS katkı maddesi ile modifiye edilmiş asfalt karışımı vermiştir.

Şekil 43 ve Şekil 44'te görüldüğü üzere iki farklı boyutta SBS katkı maddesi kullanılarak oluşturulan karışımların termal iletkenlik katsayılarında belirgin bir farklılık görülmemiştir.



Şekil 45. Termal iletkenlik katsayısının kullanılan agrega cinsine göre değişimi

Şekil 45'te görüldüğü üzere çoğu numune türlerinde bazalt agregası kullanarak oluşturulan karışımların termal iletkenlik katsayıları kireç taşı agregası kullanılarak oluşturulan karışımlara göre daha fazladır. Elvaloy ile modifiye edilmiş asfalt karışım hem kireç taşı hem de bazalt agregasında aynı termal iletkenlik katsayısı değeri göstermiştir.

Agrega tipi, gradasyonu ve sıkıştırma düzeyinin sıcak karışım asfaltların termal iletkenliği üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada agrega türünün asfalt kaplamaların termal iletkenliğini önemli derecede etkilediği sonucuna varılmıştır (Mrawia ve Luca, 2006).

Betonun termal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada kireç taşının termal iletkenliğini 2.29-2.78 W/mK aralığında, bazalt agregasının termal iletkenliğini ise 2.47 W/mK olarak tespit edilmiştir. (Kim vd., 2002). Bazalt agregasının termal ve mekanik özelliklerinin incelendiği bir araştırmada kireç taşı ve bazalt agregalarının termal iletkenlik katsayısı sırasıyla 1.75 W/mK ve 2.3 W/mK olarak ölçülmüştür (Baijat, 2008). Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatürle uyumlu görülmektedir. Termal iletkenlik katsayısı bazalt ve kireç taşı agregaları ile oluşturulan asfalt karışımlarında farklılık göstermiş; bazalt agregası ile oluşturulan asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayısı kireç taşı agregası ile oluşturulan asfalt karışımlara göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Asfalt karışımları, içerisinde bulunan bitümün viskoelastik yapısından dolayı sıcaklık değişimlerinden önemli derecede etkilenmektedir. 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. Bu nedenle asfalt karışımlarının termal iletkenlik düzeyleri asfalt kaplama performansı için önemli görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada asfalt karışımlarının termal iletkenlik katsayılarının; gradasyon, eklenen katkı maddesi cinsi ve kullanılan agregaya türüne göre değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak bazalt agregası kullanılarak yoğun gradasyonlu agrega ve Taş Mastik Asfalt olmak üzere 6 farklı gradasyona sahip numuneler üretilmiştir. Ardından hem bazalt hem de kireç taşı agregaları kullanılarak; kauçuk, selülozik elyaf, SBS (Stiren-Butadiyen-Stiren), SIS (Styrene Isopren Stiren), Elvaloy (EL), SEBS (Stiren-Etilen-Butilen-Stiren), poliolefin elastomer ve nanokil modifiye asfalt karışımlar üretilmiştir. Asfalt katkı maddelerinin eklenme oranları kauçuk için %15, polimerler için ise %5 olarak seçilmiştir. Asfalt karışımların termal iletkenlikleri termal özellik analiz cihazı ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Termal iletkenlik katsayısının belirlenmesi amacıyla yapılan deney sonuçlarına göre kaba agrega oranının artmasıyla birlikte karışımların termal iletkenlik katsayısının düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni olarak numunenin kaba agrega oranının artmasıyla karışımdaki boşluk miktarının arttığı bunun da termal iletkenliğin azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Karışımın ince agrega oranının artmasıyla termal iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ince agregaların karışımı daha homojen hale getirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Termal iletkenlik katsayısının agrega gradasyonundan önemli ölçüde etkilendiği sonucuna varılmıştır. Yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt betonunun termal iletkenlikleri taş mastik asfaltlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun nedeni, yoğun gradasyonlu agregaların yüksek ince agrega, düşük kaba agrega içermesiyle daha yoğun bir karışım oluşması olarak düşünülmektedir.

Kauçuk, selülozik elyaf, SBS (Stiren-Bütadiyen-Stiren), SIS (Stiren isopren Stiren), Elvaloy (EL), SEBS (Stiren-Etilen-Bütülen-Stiren), poliolefin elastomer ve nanokil katkıları ile modifiye edilen asfalt karışımlarının kontrol numunesinden daha düşük termal iletkenlik değeri gösterdiği tespit edilmiştir. Bu duruma polimerlerin atomik yapısı gereği sahip olduğu yüksek ısı absorbe etme yeteneği ve düşük termal iletkenlik özelliklerinin neden olduğu düşünülmektedir.

Kauçuk ve selülozik elyaf ile modifiye edilmiş karışımların termal iletkenliklerinin diğer numunelere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kauçuk katkılı asfalt karışımının termal iletkenlik değerinin daha düşük çıkmasının sebebi karışıma katılma oranının diğer katkı maddelerine göre daha fazla olduğu söylenebilir. Selülozik elyafın ise karışımdaki fazla bitümü absorbe etme özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan deneyler sonunda iki farklı agrega çeşidi kullanılarak üretilen 10 farklı numunede de bazalt agregası ile üretilen numunelerin termal iletkenlik katsayısının kireç taşı agregası kullanılarak üretilen numunelerden daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum kullanılan bazalt agregasının termal iletkenliğinin kireç taşı agregasına göre daha fazla olması ile açıklanabilmektedir.

Sonraki çalışmalarda termal iletkenlik ile asfalt kaplama performansı arasındaki ilişki araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Ağar, E., ve Kutluhan, S., 2005. Karayollarında Kış Bakımı - Kar ve Buz Kontrolü. TMMOB İstanbul Bülten. 76, 10-16.
- Ahmedzade, P., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M., 2007. Kar ve Buz ile Mücadele Etmek Amacıyla Geliştirilen Daha Etkili ve Ekonomik Yeni Yöntemler, 7. Ulaştırma Kongresi, Eylül, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 186- 195.
- Ahmedzade,P., ve Yılmaz M., 2007. Stiren-Butadien-Stiren Modifikasyonunun Bitümlü Bağlayıcılarda Isı Duyarlılığı, Rijitlik ve Yaşlanma Üzerindeki Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 3, 232-238.
- Arabzadeh, A., Ceylan H., Kim S., ve Sassani A., Gopalakrishnan K., Mina M., 2018. Electrically-Conductive Asphalt Mastic: Temperature Dependence and Heating Efficiency, Iowa State University, Ames, USA.
- Arabzadeh, A., Sassani A., Ceylan H., Kim S., Gopalakrishnan K., ve Taylor P.C., 2019. Comparison Between Cement Paste and Asphalt Mastic Modified by Carbonaceous Materials: Electrical and Thermal Properties,Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Iowa State University, USA.
- Argunhan, Z., 2017. Yapı Elemanlarında kullanılan Atık Lastiklerin ısı Performansının İncelenmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 8, 3, 621-630.
- Arslan, F., 2014. Taş Mastik Asfalt Karışımlarda İstanbul Çevresindeki Cebeci Dolomitli Kireçtaşı, Gölcük - Kumtaşı ve Karatepe-Bazaltlı Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avcı, A., 2009. Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Baijat, H.M. 2008. The Use of Basalt Aggregates in Concrete Mixes in Jordan, Jordan Journal of Civil Engineering, 2, 1, 63-70.
- Bakış, A., 2011. Teras Çatı Döşemelerinde Beton, Duvar, Yalıtım Malzemesi Isıl Yalıtım İletkenliklerinin Değişiminin Isı Köprüsü Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Balbay A. ve Esen M., 2007. Yollardaki Kar ve Buzu Önleyici Sistemler, Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 6, 1, 169-174.
- Balta, İ., 2004. Bitümlü Sıcak Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Duyarlılığı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bostancı, Levent.,2020. Atık Cam Tozu İçeren Alkali-Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Mekanik, Por Yapısı, Termal Yalıtkanlık ve Mikro Yapı Özellikleri, Beykent Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, Türkiye.

- Cezarlian, A., Maglic, K.D. and Peletsky V.E.,1984. Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods,1, Sirvey of Measurement Technique,New York,789s.
- Chen, J., Wang H., Asce A.M. ve Li, L., 2015. Determination of Effective Thermal Conductivity of Asphalt Concrete with Random Aggregate Micro Structure.,Journal of Materials in Civil Engineering, 27, 04015045.
- Chen, M., Wu S., Wang H. ve Zhang J., 2011. Study of Ice and Snow Melting Process on Conductive Asphalt Solar Collector, Wuhan University of Technology, Wuhan, China.
- Chen, M.Z., Wei W. ve Wu S.P., 2009. On Cold Materials of Pavement and High-Temperature Performance of Asphalt Concrete, Materials Science Forum, 620-622,38-379.
- Côté, J., Grosjean, V. ve Konrad, J.M., 2013. Thermal Conductivity of Bitumen Concrete, Canadian Journal of Civil Engineering, Canada.
- Çağlayan, M., Haberveren, S. ve İpekoğlu, B., Kurşun,İ, 1999.,Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş “İston”.2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu,Haziran, İstanbul, Bildiriler kitabı:69-79.
- Çubuk, M., 2007. Katkı Maddeleri ile Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Problemlerin Giderilmesi, Doktora Tezi,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demez, A.,2017. Pirofillit Agrega Kullanılarak Üretilen Yüksek Dayanımlı Betonların Yangın Dayanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Derwin, D., Booth, P., Zaleski, P., Marsey, W.,Flood Jr., W. ve 2003., Snowfree® Heated Pavement System to Eliminate Icy Runways, SAE Technical Paper, 02-2145
- Dilmaç, Ş., 2006. Binalarda Isı Yalıtımı, TMMOB Yapı Tasarım Kursu, İstanbul.
- Diñç, E., 1999. Superpave, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları 16. Bölge Müdürlüğü, Sivas.
- Düzağaç, S., 2019. Elektriksel İletken Taş Mastik Asphalt karışımlarda Gradasyonun İletkenlik Üzerine Olan Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Eithun, C.F., 2012. Development of a Thermal Conductivity Apparatus: Analysis and Design. Master of Science in Product Desingn and Manufacturing,Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering,76.
- Eker, 2019. A.N.,Bazalt ve Gabroların Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Batman.
- Eren, Ü., 2008. Asfaltitin Asphalt Betonunda Mineral Filler Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Ertekin, S.B., 2003. Polyolefin Katkıların Asfaltların Kıvamı ve Yumuşama Noktasına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Garcia, A., Schlangen E., Ven M., ve Liu Q., 2009. Electrical Conductivity of Asphalt Mortar Containing Conductive Fibers and Fillers, Delft University of Technology Stevinweg, The Netherlands.
- Gürer, C., 2014. Bitümlü Karışımlar İletken Asfalt Betonları, Yayınlanmamış Lisansüstü Ders Notları, Afyonkarahisar.
- Hahn, D. W., ve Özışık, M. N., 2012. Heat Conduction, 3rd Ed., Wiley, Hoboken, New Jersey.
- Hassn, A., Aboufoul, M., Wu, Y., Dawson, A. ve Garcia, A., 2016. Effect of Air Voids Content on Thermal Properties of Asphalt Mixtures, Construction and Building Materials 115,327-335.
- Hossain, Z., Zaman, M., Hawa, T. ve Saha, M.C., 2014. Evaluation of Moisture Susceptibility of Nanoclay-Modified Asphalt Binders Through the Surface Science Approach, Journal of Materials in Civil Engineering.
- Huang, C., Qian, X., ve Yang R., 2018. Thermal Conductivity of Polymer Nanocomposites, Materials Science & Engineering R.
- Hussain, F., Roy, S., Narasimhan, K., Vengadassalam, K., ve Lu, H., 2007. E-Glass–Polypropylene Pultruded Nanocomposite: Manufacture, Characterization, Thermal and Mechanical Properties, Journal of Thermoplastic Composite Materials.
- İlcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., ve Eren, K., 2001. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı, Asfalt ve Uygulamaları, İsfalt Bilimsel Yayınları No:1, İstanbul.
- İnce, R., 2008. Bazı Yağlı Tohumların Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- İskender, E., 2008. Koşullandırma Sistemlerinin Geleneksel ve Modifiye Asfalt Karışımlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- İzol, E., 2020. Taş Mastik Asfalt Yapımında Mineral Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Kara, S.K. ve Vong, W., 2009. Yeni Geliştirilmiş Bir SBS Tipi ile Polimer Modifiye Bitümde Performans Etkinliğinin Arttırılması, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 93-100.
- Kaşak, S., Orhan, F., Eribol, S., ve Güngör, A. G., 2004. Yeni Bitüm Standardı, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 405-413.
- Kaya, D. ve Topal, A., 2016. Marshall ve Superpave Tasarım Yöntemleri Arasındaki Farklılıkların İlık Karışım Asfaltlar Açısından İncelenmesi, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 12,2, 289-302.

- KGM, 2013. Karayolu Teknik Şartnaesi-2013, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Khanna, Y.P., Taylor, T.J., and Chomyn, G., 1988. A New Differential Scanning Calorimetry Based Approach For The Estimation of Thermal Conductivity of Polymer Solids and Melts, *Polymer Engineering and Science*, 28, 16,1033-1041.
- Kılıç, İ., Buzlanma Önleyici Otomatik Püskürtme Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara, 2015.
- Kim, K.H., Jeon, S.E., Kim, J.K. and Yang, S., 2002. An Experimental Study on Thermal Conductivity of Concrete, *Cement and Concrete Research* Volume 33 Issue 3, 363-371.
- Kizirgil, M.E., 2013. Stiren-Butadien-Stiren ve Uçucu Külün Birlikte Kullanılmasının Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kuloğlu, N ve Kök B., 2005. Karayollarında Kar Ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Tuzun Beton Asfalt Kaplamaya Etkisi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Elazığ, Türkiye.
- Leung, S.N., 2018. Thermally Conductive Polymer Composites and Nanocomposites: Processing-structure Property Relationships, *Composites Part B*.
- Li, J., Liu J., Zhang W., Liu G., ve Dai L., 2018. Investigation of Thermal Asphalt Mastic and Mixture to Repair Potholes, *Changsha University of Science & Technology, China*.
- Li, J., Liu. J., Zhang, W., Liu. G., and Dai. L., 2019. Investigation of Thermal Asphalt Mastic and Mixture to Repair Potholes, *Construction and Building Materials*, 201, 286-294.
- Liu, Q., Schlahgen E., Garcia A., ve Ven M., 2010. Induction Heating of Electrically Conductive Porous Asphalt concrete, *Delft University of Technology, The Netherlands*.
- Liu, X., Liu W., Wu S., and Wang C., 2014. Effect of Carbon Fillers on Electrical and Road Properties of Conductive Asphalt Materials, *a School of Civil Engineering, Central South University, Changsha, China*.
- Liu, X., Nie Z., Wu S., ve Wang C., 2015. Self-Monitoring Application of Conductive Asphalt Concrete Under Indirect Tensile Deformation, *a School of Civil Engineering, Central South University, Changsha, China*.
- Liu, X., ve Wu S., 2009. Research on The Conductive Asphalt Concrete's Piezoresistivity Effect and Its Mechanism, *a School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, China*.
- Liu, X., Wang, C., Deng Y ve Cao F., 2016. Computation of Fractal Dimension on Conductive Path of Conductive Asphalt concrete, *School of Civil Engineering, Central South University, Changsha, China*.
- Madhusudana, C.V., 2014. Thermal Contact Conductance, Chapter 5, *Springer International Publishing Switzerland*, 260p.

- Mathis, N., and Chanler, C., 2004. Direct Thermal Conductivity Measurement Technique, United States Patent, US 6,676,28.
- Mazumder, M., Lee S.J., Lee M.S., 2020. Properties of Styrene-Isoprene-Styrene (SIS) Modified Asphalt Binder, Lecture Notes in Civil Engineering.
- Meral, Z., 2005. İçerden Isı Yalıtım Uygulamalarında Isı Köprülerinin Sıcaklık Dağılımının Değişimi, Bitirme Ödevi, Trakya Üniversitesi, Çorlu.
- Mrawira, D., ve Luca, J., 2011. Effect of Aggregate Type, Gradation and Compaction Level on Thermal Properties of Hot-mix Asphalts, Canadian Journal Of Civil Engineering, 33,11,1410-1417.
- Orhan, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Oruç, Ş., 1997. Torul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçerisindeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özışık M.N., 1979. Basic Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Pan, P., Wu, S., Hu, X., ve Liu, G. ve Li, B., 2017. Effect of Material Composition and Environmental Condition on Thermal Characteristics of Conductive Asphalt Concrete, Materials, Wuhan Institute of Technology, Wuhan..
- Polacco, G., Muscente, A., Biondi D., ve Santini, S., 2006. Effect of Composition on the properties of SEBS Modified Asphalts, Eur Poly J, N.22,1897-1905.
- Rew, Y., Baranikumar A., Tamashausky A.V., Tawil S.E., ve Park P., 2017. Electrical and Mechanical Properties of Asphaltic Composites Containing Carbon Based Fillers, University of Michigan, Ann Arbor, USA.
- Saçak, M., 2014. Polimer Teknolojisi, Gazi Kitapevi, Ankara, 975-8640-27-5.
- Sağlık, A., 2011. KGM Kauçuk Asfalt Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma-Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Serin, S., Özgan, E., Bektaş, S. ve Uzunoğlu, M.M., 2011. Düzce Yöresi Kırmataş Agregalarının Asfalt. Betonu Üretiminde Kullanılabilirliğinin. İncelenmesi, Elazığ, Türkiye.
- Shi, X., Rew, Y., Chang, S.S. ve Park, P., 2015. Controlling Thermal Properties of Asphalt Concrete and Their Effects on Pavements Surface Temperature, Transportation Research Board 94th Annual Meeting Conference.
- Sözbir, N., 2014. Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi Deneyi, Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği, Sakarya.
- Sybilski, D., 1994. Relationship Between Absolute Viscosity of Polymer Modified Bitumens And Rutting Resistance of Pavement, Material and Structures, 27, 110-120.

- Şanlıer, İ., 2018. Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt (TMA) Uygulamaları, Performanslarının karşılaştırılması ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Şevik, S., 2016. Sürdürülebilir Üstyapılar için Çok Fonksiyonlu Güneş-Asfalt Enerji Üretim ve Kar-Buz Önleme Sisteminin Modellenmesi, Hitit Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çorum, Türkiye.
- Taşdemir, M.A., 2003. Combined Effects of Mineral Admixtures and Curing Conditions on The Sportify Coefficient of Concrete, Cement and Concrete Research.
- Temren, Z., 2009. Taş Mastik Asfalt Dizaynı, Üretimi ve Uygulamaları, Asfalt Mütahhitleri Derneği (ASMÜD) Yayınları.
- Torres-Gomes, L.A., Yanez-Neito, R., 1988. Wide Range Determination of Thermal Conductivity by Differential Scanning Calorimetry. *Termochimica Acta*, 140.
- Tunç, A., 2004. Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 352s.
- Tunç, A., 2007. Yol malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınları, Ankara 840s .
- Uluçaylı, M. ve Yavuz, A., 2002. Asfalt El Kitabı, Sistem Ofset, İstanbul.
- URL-1, <https://www.ensonhaber.com/gundem/ankarada-alttan-isitmal-yol-elektrik-bekliyor-2013-02-02> 16 Eylül 2020
- URL-2, <http://portal.canovateenerji.com/tr-TR/toprak-kaynali-isi-pompasi> 19 Şubat 2021
- URL-3, <https://www.betonvecimento.com/beton-2/albedo> 3 Mart 2021
- URL-4, <https://www.essagrup.com/tr/malzeme-transfer-araclari/> 26 Mart 2021
- URL-5, <http://ictinternational.com/products/kd2-pro/decagon-kd2-pro/> 7 Haziran 2021
- Üçüncü, K., 2015. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Teknik Fizik Ders Notu, Trabzon.
- Vo, V.H., Park, D.W., Seo, W.J. ve Im, J.S., 2015. Effect of Conductive Filler Size and Type on Thermal Properties of Asphalt Mixtures. *Innovative Materials and Design for Sustainable Transportation*, Fairbanks, Alaska.
- Vrzyski, P., Kosinski, P., Skoratko, A., Motacki, W., 2019. Thermal Properties of Cellulose Fiber as Insulation Material in a Loose State, *AIP Conference Proceedings*, 2133.
- Vurarak, Y., Çıkman, A., Bilgili, M.E. ve Gözübüyük, Z., 2019. Toprak İşlemede Yeni Yaklaşımlar: Albedo Etkisi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15,3,,83-90.
- Vuruşan, O., 2019. Çatalca Bölgesi Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Wang, H., Yang J., Liao H., ve Chen X., 2016. Electrical and Mechanical Properties of Asphalt Concrete Containing Conductive Fibers and filler, *School of Transportation, Southeast University, China*.

- Whiteoak, D., , 2004 Shell Bitüm El Kitabı, Editörleri, Abdullah Hilmi Lav, M. Ayşen Lav, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul,334s.
- Yardım, M. S. ve Arslan, F., 2013. Türkiye’de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Ankara.
- Yayla, N., 2002. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 285s.
- Yeşilata, B., Turgut P., ve Işiker Y., 2007. Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü-1:Mevcut Ölçüm Tekniklerinin İrdelenmesi, Mühendislik ve Makine Dergisi,48,564.
- Yılmaz, M., Kök, B.V., Kuloğlu, N. ve Alataş, T., 2013. Elastomer Türü Polimerler ile Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcıların Depolama Stabilitelerinin ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 15,1,66-77.
- Yılmaz, M., ve Kök, B.V.,2008. Strien-Butadien-Strien Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Superpave Sistemine Göre Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesinin ve İşlenebilirliğinin Belirlenmesi,Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23,811-819.
- Yüknü, K., Öztürk, T., Komut, M., 2020. Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Zhao, Y., Jiang, J., Dai, Y., Zhou, L., and Ni, F., 2020. Thermal Prpperty Evaluation of Porous Asphalt Concrete Based on Heterogeneous Meso-Structure Finite Element Simulation, Applied Sciences.

ÖZGEÇMİŞ

2010 yılında Esiroğlu Şehit Er Mehmet Akyüz İlköğretim Okulu'ndan, 2014 yılında Tevfik Serdar Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2014-2018 yılları arasında bitirerek İnşaat Mühendisi unvanını aldı. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir.