

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÜLEKSİT MİNERALİNİN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA FİLLER
MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tunahan BAYRAK

EKİM 2023
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

“Üleksitin Mineralinin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yetkinliğimi kaybettiğim anlarda fikirleriyle bana yol göstererek çalışmamın önünü açan, çalışma prensibini ve onurlu karakterini kendime rol model edindiğim, desteğini benden hiç bir zaman esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Şeref ORUÇ’a saygılarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

Üleksit mineralinin öğütülmesinde ve laboratuvar deneylerimde desteklerini benden esirgemeyen değerli arkadaşım Araş. Gör. Ersoy KABADAYI’ya teşekkür ederim.

Yaşantım süresince karşılaştığım tüm zorluklarda ve elde ettiğim tüm başarılarda yanımda olan sevgili aileme şükranlarımı sunar, içtenlikle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, “Gerek eğitim gerekse iş hayatım boyunca bana güvenen ve en büyük destekçim olan, elim bir hastalık sonucu aramızdan ayrılan babam Yüksel BAYRAK’ın anısınadır.

Tunahan BAYRAK

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Üleksit Mineralinin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şeref ORUÇ’un 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. 19/10/2023

Tunahan BAYRAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
TABLolar DİZİNİ	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Konu Özgeçmişi	1
1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol.....	7
1.4. Bor ve Tarihçesi	8
1.4.1. Bor Elementi.....	8
1.4.2. Bor Mineralleri ve Çeşitleri.....	10
1.4.3. Üleksit Minerali Genel Özellikleri.	11
1.4.4. Türkiye'deki Bor Yatakları ve Genel Özellikleri.....	12
1.4.5. Bor Minerali Kullanım Alanları	14
1.5. Karayolu Ulaşımı ve Yapısı	16
1.5.1. Yol Altyapısı	18
1.5.2. Yol Üstyapısı.....	18
1.5.3. Rijit Üstyapı	19
1.5.4. Esnek Üstyapı.....	19
1.5.5. Esnek Üstyapı Yol Kaplamaları	20
1.5.6. Yüzeysel Kaplamalar	20
1.5.7. Sathi Kaplamalar	20
1.5.8. Karartma Tabakası.....	22
1.5.9. Harç Tipi Örtü	23
1.5.10. Örtme Tabakası	24

1.6. Karışım Kaplamaları.....	25
1.6.1. Soğuk Karışım Asfalt Kaplamaları.....	25
1.6.2. Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları	25
1.7. Bitümlü Sıcak Karışımlar.....	26
1.7.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Uygulama Aşamaları.....	28
1.7.2. İlk Silindiraj (Tespit Silindirajı)	29
1.7.3. Ara Silindiraj	29
1.7.4. Son Silindiraj (Ütüleme Silindirajı).....	29
1.7.5. Bitümlü Sıcak Karışım Yapılırken Dikkat Edilmesi Gerekenler	30
1.7.6. Agreganın Granülometrisine Göre Bitümlü Sıcak Karışımlar	30
1.8. Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.....	31
1.8.1. Stabilite	32
1.8.2. Esneklik (Fleksibilite).....	33
1.8.3. Durabilite (Çevresel Dayanıklılık)	33
1.8.4. Kaymaya Karşı Direnç.....	34
1.8.5. Yorulmaya Karşı Direnç	34
1.8.6. Geçirimsizlik	35
1.8.7. İşlenebilirlik.....	35
1.9. Bitümlü Sıcak Karışım Üstyapı Bozulmaları.....	36
1.9.1. Şekil Değiştirme	36
1.9.2. Çatlaklar	40
1.9.3. Ayrışmalar	43
1.10. Bitümlü Sıcak Karışımların Avantajları	47
1.11. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Fillerin Önemi	47
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	49
2.1. Materyal	49
2.1.1. Agreganın	49
2.1.2. Mineral Filler	49
2.1.3. Bitüm (AC).....	49
2.2. Agreganın Deneyleri.....	50
2.2.1. Elek Analizi Deneyi.....	50
2.2.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorpsiyon) Deneyi	51
2.2.3. Los Angeles Aşınma Deneyi	53

2.2.4. Yassılık İndeksi Deneyi	55
2.2.5. Cilalanma Deneyi.....	55
2.2.6. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi)	56
2.2.7. Soyulma Mukavemeti Deneyi	57
2.2.8. Metilen Mavisi Deneyi.....	57
2.3. Bitüm Deneyleri	60
2.3.1. Özgül Ağırlık Deneyi.....	60
2.3.2. Penetrasyon Deneyi.....	61
2.3.3. Yumuşama Noktası Deneyi	61
2.3.4. Düktilite Deneyi.....	62
2.4. Marshall Deneyi	63
2.5. Dolaylı (Endirek) Çekme Deneyi	65
3. BULGULAR.....	68
3.1. Karışım oranları, Karışım gradasyonu ve tolerans limitleri.....	68
3.2. Agregat ve Bitüm Deney Sonuçları.....	68
3.3. Karışım Tasarımına Ait Deney Sonuçları.....	69
3.4. Karışım Filleri Olarak Üleksit Mineralinin Kullanılması	72
3.5. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Sonuçları	73
3.6. Dolaylı (Endirek) Çekme Deneyi Sonuçları	74
3.7. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	76
3.7.1. Stabilite ve Akma Değerlerinin Karşılaştırılması.....	76
3.7.2. Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması	77
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	82
5. KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜLEKSİT MİNERALİNİN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA FİLLER MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Tunahan BAYRAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şeref ORUÇ
2023, 87 (Tez Sayfa)

Ülkemizde ve dünyada asfalt kaplama teknolojisindeki gelişmelerle birlikte halen Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalar yaygın olarak tercih edilmektedir. Ülkemizde karayolu yapımı için ise her yıl 100 milyon tondan fazla miktarda agrega malzemesi kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, rezerv bakımından dünya lideri olduğumuz Üleksit mineralinin, bitümlü sıcak karışımlarda filler malzemesi olarak kullanımının kaplama performansı üzerine etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada, Marshall yöntemi ile yapılan karışım tasarımına göre optimum bitüm oranı %4,15 olarak bulunmuştur. Karışım tasarımında kullanılan agrega granülometrisinde kalker kökenli filler malzemesi, toplam agrega ağırlığının %4,9'u kadardır. Filler oranı, optimum bitüm oranı ve diğer karışım bileşenleri sabit kalmak koşulu ile kalker filleri yerine değişen oranlarda (%4,9 üleksit- %0 kalker, %3 üleksit- %1,9 kalker, %1,5 üleksit- %3,4 kalker, %0 üleksit- %4,9 kalker) üleksit minerali kullanılmıştır. Her bir üleksit minerali oranı için 6 adet olmak üzere toplam 24 adet Marshall briketi (numunesi) hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Dolaylı Çekme ve Marshall deneylerine tabi tutularak elde edilen deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda, Bitümlü Sıcak Karışımlarda Üleksit mineralinin filler malzemesi olarak kullanılmasının, kaplamanın esneklik modülü ve stabilite değerlerini arttırarak kaplama performansını olumlu yönde etkilediği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üleksit Mineral, Bitümlü Sıcak Karışım, Üleksit Filler, Kalker Filler, Marshall ve Dolaylı Çekme Deneyi

SUMMARY

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE USE OF THE ULEXITE MINERAL AS A FILLER IN HOT MIX ASPHALT PAVEMENT

Tunahan BAYRAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Şeref ORUÇ
2023, 87 Pages

Hot Mix Asphalt (HMA) pavements are still widely preferred with the developments in asphalt pavements technology in our country and in the world. In our country, more than 100 million tons of aggregate material is used for highway construction every year. In this thesis, the effects of the use of ulexite, which we are the world leader in reserves, as a filler material in Hot Mix Asphalt, on the coating performance were investigated.

In the study, the optimum bitumen ratio was found to be 4.15% according to the mixture design made with the Marshall method. In the aggregate granulometry used in the mixture design, the filler material of limestone origin is 4.9% of the total aggregate weight. Ulexite mineral, filler ratio, optimum bitumen ratio, and the other mixture components remain constant in varying proportions instead of limestone filler (4.9% ulexite - 0% limestone, 3% ulexite - 1.9% limestone, 1.5% ulexite - 3.4% limestone, 0% ulexite- 4.9% limestone) was used. A total of 24 Marshall briquettes (samples) were prepared, 6 for each ulexite mineral ratio. The prepared samples were subjected to Indirect Tensile and Marshall tests, and the test results obtained were evaluated.

As a result of the study, it was determined that the use of ulexite as a filler material in Hot Mix Asphalt positively affects the pavement performance by increasing the flexibility modulus and stability values of the pavement.

Key Words: Ulexite Mineral, Hot Mix Asphalt, Ulexite Filler, Limestone Filler, Marshall and Indirect Tensile Test

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bor Madeni	8
Şekil 2. Üleksit Minerali	12
Şekil 3. Kırka bor yatağı	13
Şekil 4. Türkiye Bor Rezerv Haritası	14
Şekil 5. Kullanım Alanlarına Göre Bor	15
Şekil 6. Türlerine göre üstyapı tabakaları	18
Şekil 7. Yüksek standartlı bir esnek üstyapı kesiti	20
Şekil 8. Sathi kaplama yapımı	21
Şekil 9. Uygun yüzey üzerine karartma tabakası uygulaması	22
Şekil 10. Karartma tabakası uygulama öncesi ve sonrası yol yüzeyi	22
Şekil 11. Kaplamanın uygulamadan önceki ve sonraki görünümü	23
Şekil 12. Harç tipi örtü uygulaması	24
Şekil 13. Örtme tabakası uygulaması.....	24
Şekil 14. Yakıt tüketimi- üretim sıcaklıklarına göre karışım sınıflar.....	26
Şekil 15. Bitümlü Sıcak Karışım Yüzey Dokusu	27
Şekil 16. Bitümlü Sıcak Karışımın Finişer ile Serimi.....	28
Şekil 17. Bitümlü Sıcak Karışım Silindiraj Uygulaması	29
Şekil 18. Agrega Granülometri Eğrileri	31
Şekil 19. Oturma	37
Şekil 20. Yerel çökme	37
Şekil 21. Tekerlek izi oluşumu	38
Şekil 22. Ondülasyon	39
Şekil 23. Kabarma.....	39
Şekil 24. Farklı şiddetlerde yorulma çatlakları.....	40
Şekil 25. Kenar çatlakları	41
Şekil 26. Enine çatlaklar.....	42
Şekil 27. Yansıma çatlağı.....	43
Şekil 28. Oyuk tipi bozulma	44
Şekil 29. Sökülme	45

Şekil 30. Soyulma	46
Şekil 31. Kusma.....	46
Şekil 32. Standart elek analizi için kullanılan elekler.....	51
Şekil 33. Los Angeles deney aleti ve numune agreganın yerleştirilmesi.....	54
Şekil 34. Deney sonunda Los Angeles tamburundan alınan numune.....	54
Şekil 35. Standart yassılık indeksi aparatı.....	55
Şekil 36. Cilalanma deney düzeneği.....	56
Şekil 37. Agreg-a su deney numunesi ve karıştırma işlemi	58
Şekil 38. Metilen mavisi boyası ekleme ve karıştırma işlemi	58
Şekil 39. Penetrasyon cihazı.....	61
Şekil 40. Yumuşama noktası deney cihazı.....	62
Şekil 41. Düktilite deney cihazı.....	63
Şekil 42. Asfalt Mikseri.....	65
Şekil 43. Marshall kompaktörü	65
Şekil 44. Marshall briket kalıbı.....	65
Şekil 45. Marshall numuneleri.....	65
Şekil 46. Dolaylı (Endirek) Çekme Deney Cihazı.....	66
Şekil 47. BSK Marshall Deneyi Sonuçları.....	71
Şekil 48. Karışım malzemeleri	72
Şekil 49. Etüve karışımların yerleştirilmesi	72
Şekil 50. Su banyosu.....	73
Şekil 51. Farklı üleksit oranlarıyla hazırlanan briketler	73
Şekil 52. Numunelerin su banyosuna bırakılması.....	73
Şekil 53. Marshall stabilite-akma cihazı	73
Şekil 54. Üleksit oranı (%) – Akma (mm) grafiğı	76
Şekil 55. Üleksit oranı (%) – Stabilite (kg) grafiğı.....	77
Şekil 56. Yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiğı (%0 üleksit fillerli karışım).....	78
Şekil 57. Yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiğı (%1,5 üleksit fillerli karışım).....	79
Şekil 58. Yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiğı (%3 üleksit fillerli karışım).....	79
Şekil 59. Yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiğı (%4,9 üleksit fillerli karışım).....	80

Şekil 60. Üleksit oranı - Esneklik modülü (Mpa) grafiği (Farklı yükleme periyotları için)	80
Şekil 61. Üleksit oranı – Esneklik modülü (Mpa) grafiği (Farklı yükleme periyotları ve farklı yükleme hızları için)	81



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ülkelere Göre Dünya Bor Rezervi Dağılım Oranları.....	10
Tablo 2. Ulusal Bor Rezervi (milyon ton).....	14
Tablo 3. Ulusal Bor Rezerv Tipolojisi (milyon ton).....	14
Tablo 4. Satış cinsine göre ulusal yol ağı dağılımı.....	17
Tablo 5. Bölünmüş yol uzunlukları	17
Tablo 6. Standart kare delikli elek açıklıkları.....	50
Tablo 7. Özgöl ağırlık hesaplamalarında kullanılan kısaltmalar	52
Tablo 8. Los Angeles aşınma deneyi elek aralıkları ve bilye sayıları.....	53
Tablo 9. BSK dizayn kriterleri.....	64
Tablo 10. Esneklik Modülü Formülünde Kullanılan Kısaltmalar	67
Tablo 11. Agrega Elek Analizi Sonuçları ve Şartname Kriterleri	68
Tablo 12. Agrega Deney Sonuçları.....	69
Tablo 13. Bitüm Deney Sonuçları	69
Tablo 14. BSK Marshall Deneyi Sonuçları.....	70
Tablo 15. BSK Marshall Dizayn Sonuçları ve Şartname Sınırları	72
Tablo 16. Marshall Briketlerinin Stabilite ve Akma değerleri	74
Tablo 17. Dolaylı Çekme Deney Sonuçları.....	75

SEMBOLLER DİZİNİ

%F	: Filler malzemesinin ağırlıkça karışım yüzdeleri
%İ	: İnce agregaların ağırlıkça karışım yüzdeleri
%K	: Kaba agregaların ağırlıkça karışım yüzdeleri
BSK	: Bitümlü sıcak karışım
Cm	: Santimetre
D	: Ortalama yatay deformasyon değeri
dB	: Desibel
Dt	: Maksimum teorik özgül ağırlığı
Gb	: Bitümün özgül ağırlığı
Gef	: Agregata efektif özgül ağırlığı
Gfa	: Filler zahiri özgül ağırlıkları
Gia	: İnce agregaların zahiri özgül ağırlıkları
Gib	: İnce agregaların hacim özgül ağırlığı
Gka	: Kaba agregaların zahiri özgül ağırlıkları
Gkb	: Kaba agregaların hacim özgül ağırlığı
Gr	: gram
Gsa	: Zahiri özgül ağırlık
Gsb	: Hacim özgül ağırlığı
Gse	: Efektif özgül ağırlığı
ITSM	: Dolaylı Çekme-Rijitlik Modülü Deneyi
Km	: Kilometre
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
L	: Düşey yükün maksimum değeri
LA	: Los Angeles aşınma kaybı değeri
M	: 1,6 mm elek üzerinde kalan agregata ağırlığı
Mg	: Metilen mavisi boyasının eklenme ağırlığı
Mk	: Metilen mavisi boyasının eklenme adedi
ml	: mililitre
Mm	: Malzeme ağırlığı
Mm	: Milimetre

Mpa : Megapaskal
MQ : Marshall oranı
Ms : Milisaniye
NCAT : National Center for Asphalt Technology
RMS : Marshall stabilitesi
Sm : Dolaylı çekme rijitlik modülü
SMB : Splittmastixbinder
t : Ortalama numune kalınlığı
v : Poisson oranı
VFA : Asfaltla dolu boşluk
VMA : Agregalar arası boşluk
Wa : Agreganın karşımının yüzde değeri olan bitüm miktarı
WMA : Warm-Mix. Asphalt

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ulaşım ağı; ülkeleri, sosyal ve ekonomik alanlarda önemli oranda etkilemesi sebebiyle büyük ehemmiyete sahiptir. Hatta ülkelerin ulaşım altyapılarının gelişmişlik seviyesi ile ülkelerin genel gelişmişlik ve refah seviyeleri kıyaslandığında paralellik görülecektir. Bu sebeple ülkelerin ulaşım ağı, ülke ekonomisi ve prestiji için büyük bir önem arz etmektedir (Kabadayı, 2019).

Birçok sebepten ötürü, ulaşım sistemleri arasında en fazla tercih edilen ulaşım sistemi karayollarıdır. Ülkelerin ulaştırma sistemlerinin bütünü insan vücudunun dolaşım sistemindeki damarlara benzetilirse; diğer üç ulaşım sistemi olan Havayolları, demiryolları ve denizyolları ana damarları oluştururken karayolları ise bu üç ulaştırma sisteminin ulaşamadığı yerlere ulaşabilen daha ince kılcal damarlar olarak tanımlanabilir. Gerek kısa mesafeli taşımalar ve gerekse kapıdan kapıya yapılacak taşımalar bakımından karayoluna duyulan ihtiyaç su götürmez gerçektir. Karayolları ağır trafik yüklerinin etkisine maruz kalmaktadır. Tekrar eden yoğun ve ağır trafik yüklerinin altında meydana gelen gerilmeler, karayolu esnek üstyapısında deformasyonlara, bozulmalara, yol konforunun ve yol servis kabiliyetinin azalmasına sebebiyet vermektedir. Karayolları esnek üstyapısında kullanılan malzemelerin, çeşitli iklim koşullarında durabilite ve stabilitelerini koruyamamasından ötürü yine karayolları esnek üstyapılarının kullanım ömrü kısalmaktadır (Tayebali, 1998).

Söz konusu hallerde ulaşım ağının sürekliliği için onarım ve bakım işlemleri yapılması zaruri olacaktır. Bakım onarım işlemlerinin artması da ülke ekonomisine ek bir maliyet anlamı taşımaktadır. Söz konusu maliyetleri önlemek ve üstyapının ömrünü uzatmak için esnek üstyapının performansını arttıracak yeni katkı maddeleri ve metotlara başvurulmuştur. Buna ek olarak yıllardır ülkemizde de yaygın bir şekilde kullanılmakta olan bitümlü sıcak karışımlar, yol üstyapısının maruz kaldığı olumsuz etkilere karşı yüksek direnç göstermektedir. Bitümlü sıcak karışımlar yol üstyapısının maruz kaldığı bu etkilere belli ölçülerde direnç gösterebilse dahi yetersiz kaldığı durumlarda görülmektedir. Bunun için ülkenin karayolu ulaşım ağının genelinde, bakım ve onarım giderlerini minimize etmek amacıyla yeni, efektif ve ekonomik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Guirguis, 1990).

Bu yöntemleri uygulama noktasında sürekliliği sağlayabilmek için yerli ve milli ülke kaynaklarının tercih edilmesi ise büyük öneme sahiptir. Bu açıdan dünya rezervinin %73'ünü ülkemizin barındırdığı bor mineralinin, hem ülke kaynağı olarak yeni değerlendirme alanının açılması, hem de bitümlü sıcak karışımlarda kullanılmasının kaplama performansına etkilerinin araştırılması düşüncesinden hareketle bu çalışmaya girilmiştir

1.2. Konu Özgeçmişi

Bitümlü sıcak karışımların içeriğinde bulunan mineral filler karışım stabilitesi ve performansı açısından önemli bir malzemedir. Yapılan birçok çalışmada, filler üzerinde çeşitli iyileştirmeler yapılarak karışımın performansını arttırmanın yolları araştırılmıştır. Bu bağlamda sıcak karışım asfalt kaplamalarda kullanılan filler malzemeleri değiştirilerek, karışımın performansındaki değişimleri gözlemlemek amacıyla birçok araştırma yapılmıştır. Söz konusu araştırmaların birkaç tanesi aşağıda verilmiştir.

İklim koşulları nedeniyle ortam sıcaklığının oldukça yüksek olduğu Bahreyn'de yapılan çalışmada, bitümlü sıcak karışım içerisinde pis su atığı küllerinin filler malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Araştırma kapsamında öncelikle pis su kül atıklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri saptanmış, akabinde hazırlanan karışım numuneleri Marshall deney metoduna tabi tutulmuştur. 70-80°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen akma ve stabilite değerlerinin bölgede kullanılan şartname minimum değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Sayed, Madany, & Bauli, 1995).

Kaplama karışımında filler malzemesi olarak kömür küllerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kömür filler oranları %0, %6 ve %8 olarak hazırlanan karışım numuneleri Marshall stabilite deneylerine tabi tutularak stabilite değerleri incelenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında kömür külü kalker içeren numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için statik analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda karışım fillerleri olarak kömür külü kullanımının stabilite üzerine olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir (Vassiliadau, 1999).

Sıcak asfalt karışımında asfaltit filler ve kalker fillere göre optimum bitüm miktarları saptanmıştır. Kontrol karışımlarının ve Asfaltit karışımların; dolaylı çekme, su hasarı ve Marshall stabilite deneyleri yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu mekanik

özelliklere ek olarak karışımların yoğunluk-boşluk özellikleri de karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda, bitümlü sıcak karışımlarda mineral filler olarak tamamen asfaltit kullanılması yerine, belli bir oranda kullanılmasının özellikle stabilite ve boşluk oranı değerleri açısından daha iyi sonuçlar verebileceği anlaşılmıştır (Eren, 2008).

Pr plast, çimento ve sönmüş kirecin sıcak karışım asfalt kaplamalarda katkı maddesi olarak kullanımı irdelenmiş ve hazırlanan briketler üzerinde Marshall Oranı kullanılarak, Pr plast, çimento ve sönmüş kireç katkılarının sıcak asfalt karışım kaplamalarının performansı üzerine etkileri araştırılmıştır. Çimento ve Sönmüş kireç katkıları için filler oranı azaltılarak katkılar %5, %3, %2, %1,5 ve %1 oranlarında, Pr plast katkısı ise karışımın %0,6 ve %0,3 ağırlık oranında granül agregaya karıştırılarak Marshall numuneleri hazırlanmıştır. 72 adet olarak üretilen numunelerin yarısı su hasarına maruz bırakılarak performans deneyleri için gerekli koşullandırılma gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda; sıcak karışım asfalt içerisinde kullanılan Pr plastın karışım performansını iyileştirdiği ve sönmüş kireç ve çimentonun bitümlü sıcak karışım kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır (Gençtürk, 2011).

Bitümlü sıcak karışım içerisinde filler malzemesi olarak siyah karbon kullanımının mekanik ve fiziksel özellikler üzerine etkileri irdelenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde yapılan mekanik ve fiziksel deneyler sonucunda siyah karbon malzemesinin bitümlü sıcak karışım içerisinde filler olarak kullanılabileceği ve karışımın mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği saptanmıştır (Ahmetzade, Alataş, & Geçkil, 2007).

200 nolu elekten geçecek şekilde öğütülen tinkalinin (bor minerali atığı) asfalt karışımlarda filler olarak kullanılabilirliği irdelenerek performans etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada tinkalin filler olarak asfalt karışım içerisinde %4-%8 ağırlık oranlarında kullanılarak her oran için Marshall briketleri hazırlanmıştır. Deney sonuçlarının mukayese edilebilmesi için karışıma oranla %6 ağırlık oranında kalker kökenli mineral filler ile kontrol briketleri hazırlanmıştır. Marshall numuneleri üzerinde mekanik batırma, stabilite ve akma deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, yapılan ilk deneylerden sonra Donma – Çözülme dönüşümü yapılarak tekrar akma, stabilite ve dolaylı çekme deneyleriyle asfalt karışım üzerinde tinkalin filler malzemesi kullanımının performans etkileri gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda tinkalinin (bor minerali atığı) aşınma kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılabileceği saptanmıştır (Selman, 2015).

Sıcak karışım asfalt kaplamalarda Silopi tesisinden elde edilen asfaltitin mineral filler malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında asfaltit filleri sırasıyla karışım içerisinde %1, %2, %3, %4 ve %5 ağırlık oranlarında kullanılmıştır. Karışım tasarım yöntemi olarak hem kontrol karışımlar hem de asfaltit filler içeren karışımlar için Superpave metodu kullanılmıştır. Uzun dönem ve kısa dönem yaşlandırılmış numuneler üzerinde deneyler yapılmış ve deney sonucunda asfaltit filler içeriği arttıkça karışımın Marshall oranı, stabilite ve kalıcı Marshall stabilitesi değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, esneklik modülü değerinin asfaltit filler oranı ile doğru orantılı olarak arttığı ve aynı şekilde çekme dayanımı oranı deneyleri sonucunda karışımın asfaltit filler içeriği arttıkça çekme dayanımı oranının yükseldiği belirlenmiştir. Karışım içerisinde asfaltit filler oranı arttıkça yorulma ve dolaylı çekme deneylerine göre karışımın yorulma ömründe artış gözlemlenmiştir. Yorulma ömrünün artmasıyla karışımın deformasyon da azaldığı için karışımın daha gevrek kırıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan tekrarlı sünme deneyi ile akma sayısı, rezilyans modülü ve sünme modülü değerlerinin karışım içerisindeki asfaltit oranının artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Numuneler üzerinde uygulanan kırılma tokluğu deneyiyle ise K_{jc} değerlerinin %3 asfaltit filler içeriğine kadar benzer değerlere sahip olduğu daha yüksek asfaltit oranlarında K_{jc} değerinde azalma olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda Silopi tesisinden elde edilen asfaltitin bitümlü sıcak karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılmasının performans iyileştirici etkileri olduğu saptanmıştır (Yılmaz, 2011).

Asfalt kaplamalarda filler olarak atık cam, volkanik cüruf ve cam şişe artıkları kullanıldığında elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Teze konu olan katkı maddeleri kullanılmadan orijinal karışımın filler oranının karışım performansına etkileri ortaya konmuştur. Tez kapsamında deneyler iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada; karışım filler oranı sabit tutulmuş (%7) ve %4, 4,5, 5,5, 6, 6,5 bitüm oranlarıyla deneyler yapılarak karışımın optimum bitüm içeriği hesaplanmıştır. Tezin ikinci aşamasında ise atık cam, volkanik cüruf ve cam şişe artıklarıyla kullanılarak oluşturulan filler malzemeleriyle oluşturulan karışımlardaki bitümün optimum oranı ve %9, 8, 7, 6 ve 5 filler oranı ile hazırlanan briketlerde Marshall stabilite deneyleri yapılmış ve gözlemlenen sonuçlar orijinal karışım sonuçlarıyla mukayese edilmiştir. Tez çalışmasında yapılan deneyler sonucunda ise, çevresel ve ekonomik parametreler göz önünde bulundurulduğunda asfalt kaplamalarda mineral filler olarak volkanik cüruf tozu, cam şişe tozu ve hurda cam tozunun, kırmataş tozu yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Öksüz, 2011).

Elmacı tarafından yapılan tez çalışmasında, asfalt kaplamalarda filler olarak granit arıtma çamuru kullanımının karışım performansı üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan granit arıtma çamuru İzmir'den elde edilmiş ve deneylerde kullanılabilir hale getirilmek üzere mikro öğütücülerde öğütülerek filler boyutuna (200 nolu elekten geçecek hale) getirilmiştir. Granit arıtma çamurundan elde edilen filler malzemesiyle Marshall briketleri hazırlanmıştır. Briketlerin içeriğinde, uygun olduğuna farklı deneylerle test edildikten sonra karar verilen agrega, karışım ağırlıkça oranı %6,5, %6, %5,5, %5, %4,5, %4 olan bitüm, %8, %6, %4, %2, %0 ağırlık oranlarında filler malzemeleri bulunmaktadır. Belirlenen bu karışım oranlarıyla hazırlanan briketler üzerinde akma ve stabilite deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deney sonuçları analiz edilerek optimum bitüm oranı tayin edilmiştir. Tespit edilen bitüm oranına göre tasarlanan briket numunelerde Marshall mekanik batırma ve Endirek çekme deneyleri yapılmıştır. Tez kapsamında yapılan deneyler sonucunda ise granit arıtma çamurunun filler olarak kullanılmasının karışım performansını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir (Elmacı, 2011).

Mermer tozunun filler malzemesi olarak kullanılmasının kaplama performansına etkilerinin irdelendiği bu çalışmada; karışım filler malzemesi mermer tozu ve taş tozu olan numuneler agrega granülometrisi sabit olacak şekilde tasarlanmıştır. Hazırlanan briketler hem taş hem de mermer tozu için aynı değerlerde %6, %5,5, %5, %4,5, %4, %3,5 bitüm oranlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan bu briketlerden karışımın optimum bitüm oranı tespit edildikten sonra, bitüm-filler oranı %8, %7, %6, %5, %4 olan her yüzde için %10, %8, %6, %4, %2 filler oranında numuneler yapılmıştır. Bu şekilde hazırlanan briket numuneler plastik deformasyon deneyine tabi tutulmuştur. Plastik deformasyon deneyiyle elde edilen bulgulara göre karışımın optimum filler oranı belirlenmiştir. Tez kapsamında Isparta yöresinde bulunan iki fabrikadan elde edilen 7 farklı çeşit mermer mikro öğütücü yardımıyla filler boyutuna indirgenmiş ve bu malzemelerle briket numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan briketlerde plastik deformasyon deneyi yapılarak plastik deformasyon değerleri saptanmıştır. Farklı filler malzemesiyle hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karışım filler malzemesi olarak mermer tozunun kullanıldığı numunelerin deformasyon değerlerinin alt ve üst sınırlar arasında kaldığı deneyler sonucunda gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen deney sonuçları, karışım filler malzemesi olarak taş tozu yerine mermer tozu kullanımının plastik deformasyon değerlerini olumsuz etkilemediğini ve filler malzemesi olarak mermer tozunun kullanılabileceği göstermiştir (Terzi, 2000).

Büyükdoğan tarafından yapılan tez çalışmasında, kireç taşı numuneleri aynı granülometride olmak koşuluyla %8, 7, 6, 5, 4 ve 3, pomza taşı ve zeolit briket numuneleri %9, 8, 7, 6 ve 5 oranlarında bitüm kullanılarak oluşturulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda belirlenen optimum bitüm oranı kullanılarak %8, %7, %6, %5 ve %4 oranlarında Marshall briketleri oluşturulmuş ve oluşturulan briket numunelerin akma ve stabilite değerleri saptanmıştır. Deneyler sonucunda briket numunelerin optimum bitüm yüzdesi ve optimum filler yüzdesi saptanmıştır. Çalışmanın devamında iri agrega kireç taşı ince agrega zeolit, iri agrega zeolit ince agrega kireç taşı, iri agrega kireç taşı ince agrega pomza ve iri agrega pomza ince agrega kireç taşı şeklinde briketler hazırlanmış %8, %7, %6, %5 ve %4 agrega / bitüm oranlarında AC (asfalt çimentosu) kullanılmıştır. Marshall stabilite deneyi uygulanarak hazırlanan briket numunelerin optimum bitüm yüzdeleri tayin edilmiştir. Deneyler sonucunda numuneler için elde edilen optimum bitüm yüzdeleri karşılaştırılarak pomza ve zeolit tozunun bol miktarda bulunduğu bölgelerde özellikle taşıma ve nakliye giderlerinin kireç taşı maliyetlerinin altında kalacağı düşünülerek kireç taşı tozunun yerine zeolit ve pomza tozu kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır (Büyükdoğan, 2014).

Sıcak karışım asfalt kaplamalarında filler malzemesi olarak Afşin-Elbistan bölgesinden elde edilen uçucu külün kullanılabilirliği irdelenmiştir. Bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi, optimum bitüm yüzdesi, stabilite ve akma değerlerini elde etmek amacıyla uçucu kül, Portland çimentosu ve taş tozu fillerli numunelere Marshall deneyleri yapılmış ve elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uçucu külün sıcak karışım asfalt kaplamalarda filler malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Güngör, 1996).

Literatür çalışmalarından da anlaşılacağı üzere mineral filler asfalt kaplamalar içerisinde kullanım miktarına nazaran önemli etkilere sahiptir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Bor mineralinin bir türevi olan üleksit, ülkemizde büyük rezervlere sahip bir mineraldir. Ayrıca ülke ekonomisine büyük katkılar sağladığı gibi birçok farklı alanda da kullanılmaktadır. Büyük miktarda rezervi bulunan bu milli kaynak için ülkece en önemli hedefimiz ve planımız ise kullanım alanını daha kapsamlı hale getirerek sanayi ve teknoloji alanındaki gelişmeler doğrultusunda mineralin katma değerini yükseltmek ve gerek iç pazar gerekse dış pazar talebini arttırmaktır.

Ülkemiz ulaşım ağının en önemli unsuru olan karayollarında, araç trafik yüklerine direk maruz kalan kaplama tabakaları, genellikle bitümlü sıcak karışım (BSK) olarak dizayn edilmektedir. BSK bitmiş yol yüzeyinde yeterli güvenlik ve konfor için gerekli sürtünme katsayısına ve dayanıklılığa sahiptir. Hem trafik yüklerine hem de çevreden gelebilecek dış etkilere karşı dayanıklıdır. Ayrıca elastik deformasyonlara karşı yeterli esnekliğe sahip olduğu için deformasyonlara karşı oldukça dayanıklıdır. Mineral filler asfalt karışım içerisinde boşluk oranını azalttığı için agregalar arası temas alanını arttırarak yoğun bir karışım oluşumunu sağlar. Bunun yanı sıra karışımın maruz kalacağı trafik yüklerinden kaynaklı deformasyon, çatlak ve oyuk oluşumu karşısında mukavemete olumlu etkilerinden dolayı asfalt karışımlar için önemli bir unsurdur (Yayla, 2004).

Sıcak karışım asfalt kaplamalar, karayollarında trafik yüklerinden, iklim ve bölge şartlarından dolayı oluşan deformasyonlara karşı dayanıklı ve oldukça dirençli olduğu için kullanımı oldukça yaygındır. Bu çalışmada ise üleksit mineralinin bitümlü sıcak karışımlarda mineral filler olarak kullanılmasının karışım performansına etkileri irdelenmiştir. Çalışma kapsamında optimum bitüm içeriği belirlenen bitümlü sıcak karışıma, No:200 elekten geçecek şekilde mikro öğütücüde öğütülerek hazırlanan üleksit minerali belli oranlarda (%4,9 üleksit- %0 kalker, %3 üleksit- %1,9 kalker, %1,5 üleksit- %3,4 kalker, %0 üleksit- %4,9 kalker) karışıma eklenerek her bir oran için marshall briketleri (numuneleri) üretilmiştir. Üretilen numuneler, Marshall ve Dolaylı Çekme Deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre üleksit mineralinden elde edilen filler malzemesinin, kalker filleri yerine kullanılmasının karışım performansı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak tartışılmış ve yorumlanmıştır.

1.4. Bor ve Tarihçesi

4000 yıl önce ilk kez Tibet'te kullanılmış olup devam eden yıllarda Babiller tarafından değerli eşyaların eğrtilmesinde, Romalılarca arena zeminine serpilerek temizlik işlemlerinde, Mısırlılarda ise önemli kişilerin mumyalanması işlemlerinde kullanılmıştır. Ayrıca 9. Yüzyılda Araplar tarafından bor tuzlarından ilaç yapımı gerçekleştirilmiştir.

Marco Polo'nun 13.yy da Tibet'ten Avrupa'ya bor getirmesi modern bor endüstrisinin başlangıcı olarak nitelendirilmektedir. Ülkemizde ise 1861 yılında çıkartılan 'Maadin Nizamnamesi' uyarınca 1865 yılında ilk kez bir Fransız firmasına 20 senelik maden çıkartma imtiyazı verilerek bor endüstrisinin gelişim serüveni başlamıştır (Boren, 2023).

1968 yılında yabancı şirketlerin imtiyazlarını devlete devretmesinden sonra ülkemizde Bor madeni Etibank tarafından işletilmeye başlanmıştır (Boren, 2023).

1.4.1 Bor Elementi

Bor elementi periyodik tabloda B simgesi ile gösterilirken, yarı metal ve yarı iletken özelliklere sahiptir. Ayrıca atom ağırlığı 10,81 ve atom numarası ise 5'tir. Periyodik tabloda 3a grubu içerisinde yer almaktadır. Doğada serbest halde bulunmayan bor, çeşitli metal ve ametallerle farklı bileşikler oluşturabilir. Bu sayede birçok bor bileşiği endüstrinin farklı dallarında kullanılabilir.



Şekil 1. Bor Madeni

Çağın getirdiği teknolojiyle birlikte önemi günden güne artan bor, kullanım alanı oldukça geniş bir madendir. Hatta alternatifinin bulunmadığı alanlarda mevcuttur. Bu alanlar; yalıtım, jet yakıtları, seramik sanayi, eczacılık, tekstil, enerji, tarım sektörü, deterjan sanayi ve kimya olarak söylenebilir.

Türkiye'de dünya bor rezervinin yaklaşık %73'lük kısmı bulunmaktadır. Bununla birlikte, ülkemizde çıkartılan bor cevherlerimiz kalite bakımından dünyadaki emsallerinden oldukça üstündür. Ancak bu derece zengin ve kaliteli bor cevherimiz olmasına rağmen çağın gereksinimleri ve teknolojisinden yeterince yararlanılamadığı için elimizdeki kaliteli cevherlerden tam anlamıyla verim alınamamaktadır. Çünkü; bor ve türevi ürünlerin yüksek oranlarda işlenebilmesi ileri derece teknolojiyi etkin kullanmayı gerektirmektedir. Gelişmekte olan ülkeler statüsünde olan Türkiye, bor ve türevi cevherleri işleyebilecek teknolojik seviyeye henüz ulaşamadığı için elindeki değerli cevherleri genellikle hammadde olarak ihraç etmektedir. Kıymetli cevherlerin yurtdışına işlenmeden hammadde olarak ihracatı ise Türkiye ekonomisi için büyük bir kayıp anlamına gelmektedir. Türkiye'nin hem sanayi hem de ekonomik alanda gelişim gösterebilmesi için madenlerden elde edilen bor cevherlerinin zenginleştirilerek mamul ve katma değeri yüksek bor ürünlerine dönüştürülüp ihracatının gerçekleştirilmesine ve yurt içi sanayi kollarında tüketiminin arttırılmasına önem verilmesi gerekmektedir (Savaş, 1994).

Ayrıca bor tesislerinden elde edilen ve şu anda değerlendirilemeyen düşük tenör değerine sahip yıkama artıkları işletme alanlarında depolanmakta ve depolanan miktar günden güne artmaktadır. Söz konusu durum, depolama sorunu oluştururken, ihraç edildiği takdirde önemli bir döviz girdisi sağlayacak artıklar ülke ekonomisi açısından kayıp oluşturmaktadır. Çünkü; bor madeninin yeraltından çıkartılması ve depolanması ekonomik maliyeti yüksek işlemlerdir. Söz konusu düşük tenörlü yıkama artıkları uygun bir zenginleştirme tesisi kurulup işlenerek, ülke ekonomisine katma değeri yüksek bir girdi oluşturabilirler (Savaş, 1994).

Tablo 1.Ülkelere Göre Dünya Bor Rezervi Dağılım Oranları (%) (Buluttekin, 2008)

Ülke	Yüzde
Türkiye	73
ABD	7
Rusya	8
Çin	3
Şili	3
Peru	2
Bolivya	2
Kazakistan	1
Diğer	1

1.4.2. Bor Mineralleri ve Çeşitleri

Yapılarında farklı oranlarda bor oksit içeren doğal minerallere bor minerali denmektedir. 230 çeşit bor minerali doğa içerisinde bulunmaktadır. Endüstri sektöründe kullanılan bor ve türevi ürünler, üretim aşamaları ve kullanıldığı alanlara göre; rafine bor, özel bor ürünleri, ham bor, konsantre bor olarak 4 grupta incelenebilir.

Ham Bor; Maden yataklarından çıkartılarak herhangi bir zenginleştirme işlemi yapılmadan elde edilen bor türüdür. Tinkal, kolemanit ve üleksit ham bor örneği olarak gösterilebilir (Elçiçek, 2012).

Konsantre Bor; Cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinden sonra bor mineralinin B_2O_3 miktarının artırılıp, içerisinde gang minerallerinin izole edilmesiyle elde edilen bor türüne denir. Tinkal, kolemanit ve Üleksitin konsantre edilmiş halleri konsantre borlara örnek olarak gösterilebilir (Elçiçek, 2012).

Rafine Bor; Ham bor ve konsantre bordan farklı olarak rafine borlar değişik yöntemlerle elde edilirler. Bu bor grubunda arındırılma işlemine uygun olan ham bor ve konsantre bor kimyasal bir tepkimeye maruz bırakılarak bor mineralinin içerisinde bulunan yabancı mineraller ya da kimyasal reaksiyona maruz kalarak oluşan yabancı maddelerin temel minerale uzaklaştırılmasıyla oluşur. Uzaklaştırma için rafinasyon işlemi uygulanır. Boraks dehidrat, borik asit, boraks penrahidrat ve susuz boraks rafine bor ürünlerine örnek olarak gösterilebilir (Elçiçek, 2012).

Özel Bor Ürünleri; Özel amaç ve ihtiyaçlar için Rafine bor ürünlerine ileri seviye kimyasal işlemler uygulanarak üretilirler. Kristalin bor ile çinko borat örnek olarak gösterilebilir (Elçiçek, 2012).

Günümüze kadar birçok farklı uygarlık ham bor ve türü ürünlerden çeşitli alanlarda faydalanmıştır. Buna ek olarak içerisinde bulunduğumuz yüzyılda gerçekleşen teknolojik atılımlar ve sanayi alanındaki gelişmeler ışığında bor cevherinin kullanım alanını oldukça genişlemiştir. Rafine, ham ve özel bor ürünleri sanayi başta olmak üzere birçok alanda yaygın kullanıma sahip bir maden konumuna gelmiştir (Şahan, 2010).

Doğada birçok çeşidi bulunan Bor mineralinin bazıları zengin rezerv ve yataklara sahipken bazıları ise ender olarak bulunmaktadır. Dünya rezervlerinin büyük bir bölümüne sahip olan ülkemizde çıkartılan önemli Bor mineralleri aşağıda sıralanmıştır (Buluttekin, 2008).

- a. Üleksit
- b. Kolemanit
- c. Kernit
- d. Probertit
- e. Pandermit
- f. Hidroborasit
- g. Boraks (Tinkal)

1.4.3. Üleksit Minerali Genel Özellikleri

Kimyasal formülü $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ olan üleksit, triklinik kristal sistemine sahiptir. Yoğunluğu 1,955 g/cm³, sertlik değeri 2.5 Mohs ve özgül ağırlık değeri 1,96'dır. Kırılgan bir yapıya sahip olan üleksit ayrıca beyaz renksiz, ipeksi ve camsı bir yapıdadır. Saf halde bünyesinde %9.89 Ca ve %42.95 B₂O₃ barındırır (Sarı, 2008).

Üleksit minerali seramik, cam, gübre, ses ve ısı yalıtımı endüstrisinde ayrıca borik asit ve boraks üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. Üleksit Minerali

Ayrıca üretim sürecinde Üleksit Mineralinin H_2SO_4 ile kimyasal tepkimeye girmesiyle sodyum sülfat, borik asit ve jips elde etmek mümkündür (Sarı, 2008).

1.4.4. Türkiye'deki Bor Yatakları ve Genel Özellikleri

Bor cevheri Türkiye sınırları içerisinde dört ana bölgede üretimi yapılan bir cevherdir. Dünyadaki sayılı borat oluşumlarından da sayılan Emet ve Bigadiç kolemanit yatakları ve Kırka'daki tinkal yatağı büyük ölçekli bor yataklarımız arasındadır (Bulut, 2010).

Ayrıca Eskişehir'in yaklaşık 60 km güneybatısında yer alan Eskişehir-Kırka yatağı önemli bir tinkal yatağı niteliğindedir. Miyosen sonucunda oluşan fay çatlaklarından gelen magnezyum, borik asit ve sodyum minerali içeren eksolasyonların, volkanik kül ve çamurların, neojen göl sularına karışıp çökelmeleriyle tinkal minerali oluşmaktadır. Ayrıca bu bor yatağının sığ bölgelerinde üleksit minerali, derin bölgelerinde ise boraks minerali çökelmiş vaziyette bulunmaktadır (Bulut, 2010).



Şekil 3. Kırka bor yatağı

Kütahya'nın yaklaşık 100 km batısında bulunan Emet bölgesi bor yatağı orpiment ve realgar bileşiminde olup bölgesel olarak bazı bölümlerinde kırmızılıklar halinde kolemanitte içermektedir. Ayrıca Kütahya-Emet bor yatağı içerisindeki bileşiminin yaklaşık olarak %1'lik kısmını arsenik oluşturmaktadır (Poslú, 2001).

Balıkesir'in yaklaşık 40 km güneyinde bulunan Balıkesir-Bigadiç bölgesi bor yatakları, batı anadolu borat yatakları benzer yapıda olup, neojen göl çökeltilerinin içerisinde oluşmuşlardır. Bu bor yatağının merkez bölgesinde az miktarda tinkal oluşumu gözlemlenirken, merkezi saran üst ve alt tabakalarda ise boratlı kalker tabakaları mevcuttur. Merkez zonda bulunan tinkal dışarıdan kolemanit minerali açısından zengin bir tabaka ile çevrilidir. Balıkesir-Bigadiç yatağının en önemli özelliği ise içerdiği arsenik oranının oldukça düşük olmasıdır. Arsenik oranının düşük olması gerek iç gerekse dış bor pazarında tercih edilme sebebidir. Ayrıca Bigadiç bor yatağında aktif olarak üleksit ve kolemanit cevheri üretilerek ithalatı yapılmaktadır (Yılmaz, 2011).

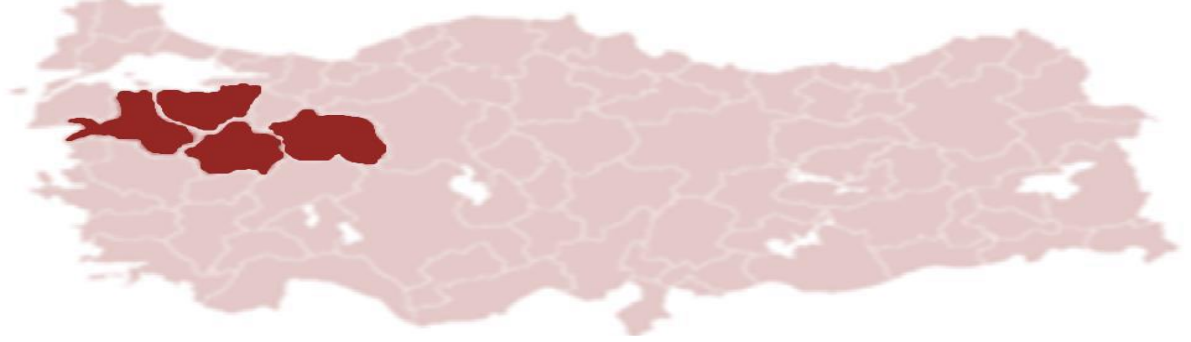
Kütahya-Emet bölgesi bor yataklarına benzerlik gösteren bir başka önemli bor yatağımız ise Bursa-Kestelek bor yataklarıdır. Paleozoik kayaçların üzerinde bulunan yataklar Bigadiç bölgesi yataklarında olduğu gibi neojen tortulların içinde meydana gelmişlerdir. Bölge yatağının karstik yapısını tavandan tabana doğru inceleyecek olursak en üst zonu aglomera, kil, marn ve tuf ile karışık vaziyette bulunan yaklaşık 100m derinliğe sahip borat oluşturur. Bu tabakanın altında ise yaklaşık 200m kalınlığında aglomera, marn, tuf ve linyitli kil zonu bulunmaktadır. Taban zonunu ise yaklaşık 100m derinliğindeki taban konglomerası oluşturmaktadır (Yılmaz, 2011).

Tablo 2. Ulusal Bor Rezervi (milyon ton) (Buluttekin, 2008).

Rezerv Yeri	Rezervler	B ₂ O ₃ (ppm)
Kestelek	8	3
Bigadiç	1030	360
Kırka	518	130
Emet	887	310
TOPLAM	2443	803

Tablo 3. Ulusal Bor Rezerv Tipolojisi (milyon ton) (Buluttekin, 2008).

Ürün Tipi	Rezervler
Boraks	552
Üleksit	200
Kolemanit	1.050
TOPLAM	1.802



Şekil 4. Türkiye Bor Rezerv Haritası (Poslü, 2001).

1.4.5. Bor Minerali Kullanım Alanları

Bor minerallerinin günümüzde önemi oldukça artmasıyla birlikte başlıca; kamera, otomobil, mercek ve optik camlarının üretiminde kullanılmaktadır.

Bor minerallerinin katkı maddesi olarak kullanımını birçok sektör içerisinde görmek mümkündür. Örnek olarak, golf sopaları, kayak ayakkabıları, bilgisayar ve telefon için kullanılmakta olan fiber özellikli optik kablolar gibi ürünleri gösterebiliriz (Bulut, 2010).

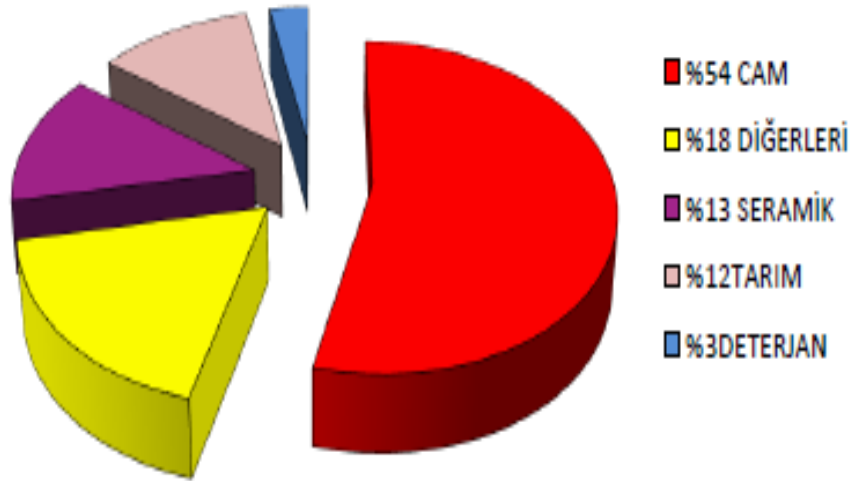
Ayrıca bor minerali, yangın söndürücü kimyasallar, yapıştırıcı, antifriz, soğutucu kimyasal maddeler, fren sıvıları, kolonya, kireç önleyicileri, nişasta, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında korozyon önleyiciler, mürekkep, bitki ilaçları, orman ürünleri koruyucuları, böcek ilaçları, boya koruma ürünleri, kibrit, diş macunu, sentetik motor

yağları, patlayıcı, havuz temizleyici kimyasal maddeler, şampuan, ağartıcılar, sabunlar, parfüm, krem, makyaj malzemesi, deterjanlar gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır.

Bor mineralinin enerji sektöründe efektif olarak kullanılabilmesi için ise çeşitli çalışma ve araştırmalar yapılmaktadır. Araştırma sonuçlarından elde edilen bulgular irdelendiğinde rafine ve ham halde bulunan bor madeninin enerji sektörünün geleceğinde aktif bir rol oynayacağı öngörüsünde bulunmak mümkündür.

Bor madenin olduğu kadar bor bileşiklerinin de kullanım alanı oldukça yaygındır. Kimya endüstrisi içerisinde Elektrolit elde etmek için kullanılmaktadırlar. Ayrıca elektrolit işleminin kaplama aşamasında da büyük oranda kullanılmaktadır.

Yukarıda sayılan örneklerden de anlaşılabileceği üzere bor, kullanım alanı çok geniş olan bir mineraldir. 21.yy'da yapılan ve devam eden araştırmalar bor mineralinin çok farklı alanlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Sanayi sektörü için önemli bir eleman olan bor, ekonomik anlamda da katma değeri yüksek bir üründür. Ayrıca uygun teknoloji ve tesisleşmenin yapılmasıyla daha yüksek katma değere sahip olma potansiyeline de sahiptir. Bu sebeple Dünya bor pazarı birkaç şirketin elinde bulunmaktadır. Söz konusu pazar içerisinde önemli bir yere sahip olan Türkiye, kaliteli ve zengin cevher yataklarına sahip olmasına karşın henüz yurt içi ve yurtdışı bor pazarında istenilen seviyelere ulaşamamıştır (Poslū, 2001).



Şekil 5. Kullanım Alanlarına Göre Bor

1.5. Karayolu Ulaşımı ve Yapısı

Ülkemizde karayolu ulaşımının yaygınlaşması ve trafik yoğunluğunun artmasıyla beraber karayolu ağının genişletilmesi zorunlu hale gelmiştir. Karayolları çalışmaları esas olarak eğitim, sağlık gibi topluma faydalı hizmetlerin yaz kış aralıksız olarak yurdun dört bir köşesinde sağlanabilmesi için yürütülmüştür. Özellikle 1960-1970 yılları arasında karayolu yapım işlerine hassasiyet gösterilerek ulaşım ağının genişletilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Motorlu taşıtların sayısı, bu alanda kurulan yeni firmalar ve bu firmaların üretim kapasitelerinin artmasıyla doğru orantılı bir şekilde ülkemizde de artmaya başlamıştır. Artan motorlu taşıt sayısı beraberinde trafik yoğunluğunda da artış sağladığı için devlet karayolları hakkında yeni politikalar belirlemiştir. Devlet bu kapsamda öncelikli olarak şehirlerarası geçişlerde ki trafik yoğunluğunu azaltabilmek için bu noktalara otoyol yapımını politika haline getirmiştir. Devlet politikaları içerisinde öncelik haline gelen bu otoyol inşaatları için, maliyeti düşük yeni metotlar ve finansman kaynağı için ayrıca çalışmalar yürütülmüştür. Karmaşık yapım yöntemleri içeren ve maliyeti yüksek olan bu yollara örnek olarak 15 Temmuz Şehitler köprüsü ve İstanbul Çevre Yolu projelerini gösterebiliriz

Türkiye kıtaları birbirine bağlayan stratejik derinlikli jeopolitik konumundan dolayı kıtalar arası ticaret için oldukça önemli bir ülkedir. Sahip olunan bu jeopolitik konumdan faydalanıp, efektif olarak yararlanabilmek için ülkemizde bulunan karayolu ağının genişletilerek yüksek standartlara ulaştırılması ülke ekonomisinin güçlendirilmesi için önem arz eden bir husustur (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023).

Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün uhdesinde olan karayolları 3 sınıftan oluşmaktadır ve bu yolların toplam uzunluğu 01.01.2022 yılı itibari ile 68.526 km'dir.

- Otoyol
- Devlet Yolu
- İl Yolu

Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığına bağlı olarak 6001 sayılı kanun kapsamında kurulan Karayolları Genel Müdürlüğü tüzel kişiliğe sahip bir devlet kurumudur. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün görevlerini; otoyol, devlet yolu ve il yollarının yapımı ve devam eden süreçte gerekli bakım, onarım, işletme çalışmalarını gerçekleştirmek şeklinde ifade edebiliriz. Ayrıca kurumun sorumluluğunda olmayan diğer yollar ise aşağıda sıralanmıştır.

- Köy Yolları

- Turistik Yollar
- Orman Yolları
- Şehiriçi Yolları'dır.

Turistik yolların yapımından, bakım ve onarımından Kültür ve Turizm Bakanlığı sorumludur. Ancak bu yolların yapım işini gerekli finansal giderleri karşılayarak Karayolları Genel Müdürlüğüne yaptırmaktadır. Köy yollarından ise bağlı bulunan ilin, İl Özel İdare Müdürlükleri sorumludur. Ayrıca şehiriçi yollardan belediyeler, orman yollarından ise Tarım ve Orman Bakanlığı sorumludur (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023).

Tablo 4. Satış cinsine göre ulusal yol ağı dağılımı (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023).

SATIŞ CİNSİNE GÖRE YOL AĞI (KM) 01.01.2022 tarihi itibarıyla							
	Asfalt Beton	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	TOPLAM
Otoyol (*)	3532	-	-	-	-	-	3532
Devlet Yolları	19280	11314	46	22	-	303	30965
İl Yolları	5494	25573	241	303	339	2079	34029
TOPLAM	28306	36887	287	325	339	2382	68526

(*) Yap-İşlet-Devret kapsamında yapılarak hizmete açılan yollar otoyol uzunluğuna dahil edilmiştir.

Tablo 5. Bölünmüş yol uzunlukları (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023).

BÖLÜNMÜŞ YOLLAR (KM) 01.01.2022	
Otoyollar	3532
Devlet Yolu	21292
İl Yolu	2149
Toplam	26973

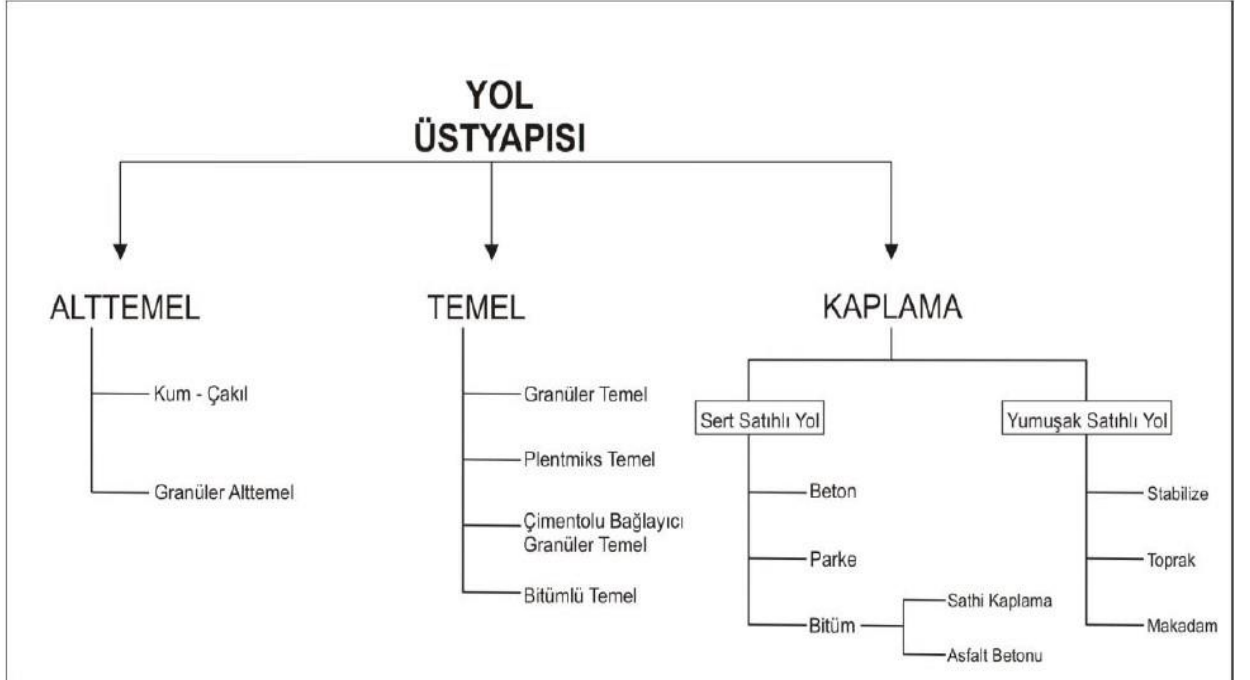
İnsanların ulaştırma ağıyla olan ilintileri artan nüfus yoğunluğu ile doğru orantılı olarak artmıştır. Bu durum ise mevcut ulaştırma ağlarının iyileştirilmesi ve yeni ağların oluşturulmasını mecburi hale getirmiştir. Bu sebeple ülke ihtiyaçlarına karşılık verebilecek yeni ulaşım sistemlerinin oluşturulması ve halihazırda bulunan ağların rehabilite edilerek işlevselliğinin artırılması gerekmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023).

1.5.1. Yol Altyapısı

Genel tanımıyla karayolu, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Yol tabakaları içerisinde üst yapısından gelen yükleri direkt olarak karşılayan yol altyapısı oluşturulurken, dolgu ve yarma işlemleri için ilgili şartnameler esas alınmalıdır. Yolun taşıyıcılık özelliğini büyük ölçüde sağlayan kısım altyapıdır. Bu sebeple Altyapıda oluşan deformasyonlar üstyapı performansını da direkt etkileyecektir. Yol performansının tasarlanan seviyelerde olabilmesi için altyapı yapımı esnasında oluşabilecek olumsuzluklara hassasiyet gösterilmelidir (Orhan, 2006).

1.5.2. Yol Üstyapısı

Yol üstyapısı, yoldan yüzeyinden gelen trafik yüklerini karşılayarak altyapı kısmına iletir. Genel olarak kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşmaktadır. Trafik yükleri karşısında yaptığı davranış ve tabakaları oluşturulurken kullanılan malzeme cinsine göre rijit üstyapı ve esnek üstyapı olmak üzere iki tiptir.



Şekil 6. Türlerine göre üstyapı tabakaları

1.5.3. Rijit Üstyapı

Rijit üstyapı, üzerine gelen trafik yüklerini bir miktar absorbe ettikten sonra altyapıya iletir. Kaplama tabakası çimento betonu kullanılarak inşa edilir. Rijit üstyapılar betonarme bloklar halinde inşa edildiği için taşıma gücü oldukça yüksektir. Bu sebeple trafik yükleri karşısında deformasyonları düşük, stabilitesi yüksektir. Ayrıca kullanılan beton plaklar sayesinde esnek üstyapıya kıyasla üzerine gelen trafik yüklerini daha geniş alanlara dağıtabilmektedir (Orhan, 2006).

Hava koşullarının etkisiyle meydana gelen büzülme ve genleşmeler, maruz kalınan trafik yüklerinin de etkisiyle rijit üstyapılarda zamanla ayrışma ve çatlak oluşumlarına sebebiyet vermektedir. Rijit üstyapıyı söz konusu deformasyonlardan korumak için; çok geniş alanı kaplayan ya da tek yönde çok uzun olan beton plaklar kullanılmamalıdır. Beton plakların boyutu tasarlanırken optimum ano boyu esas alınmalı ve beton plaklar birbirinden derz boşlukları ile ayrılmalıdır. Rijit üstyapıyı esnek üstyapıyla kıyaslayacak olursak ilk yatırım maliyetinin daha az ve işletme süresince bakım ve tamirat giderlerinin daha düşük olduğunu söyleyebiliriz. Fakat yol konforu açısından daha düşük standartlara sahiptir (EAPA, 1998).

1.5.4. Esnek Üstyapı

Esnek üstyapı; altyapı kısmından sonra oluşan yapının üzerine bir veya daha fazla tabakadan meydana gelecek şekilde oluşturulan ve tabakaları içerisinde bitümlü bağlayıcı bulunan kısımdır. Trafik yüklerini direkt olarak alıp içerisinde bulunan bitümlü bağlayıcı sayesinde bir miktar taşıdıktan sonra altyapı kısmına iletir. Esnek üstyapının stabilitesi, tanecikler arası sürtünme, agregalar arası aderans ve bunların doğal sonucu olarak kohezyona bağlıdır. İnşa edilecek yolun trafik yoğunluğu ve kullanım amacına göre üstyapı tabaka sayısı veya kalınlıkları belirlenmektedir. Esnek üstyapı tasarımının yapılarak tabaka sayısı ve kalınlıklarının belirlenebileceği birçok yöntem mevcuttur (Önal, 1993).

1.5.5. Esnek Üstyapı Yol Kaplamaları

Esnek üst yapılyı yol kaplamaları farklı özelliklerdeki tabakaların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Asfalt kaplamayı oluşturan en üst tabaka kaplama tabakasıdır ve sırasıyla aşınma ve binder olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır. Kaplama tabakasından sonra ise sırasıyla temel, alttemel ve zemin tabakaları bulunmaktadır.



Şekil 7. Yüksek standartlı bir esnek üstyapı kesiti

Şekil 7 'de görüleceği üzere yüksek standartlı bir üstyapının kaplama tabakası aşınma ve binder olmak üzere 2 tabakadan oluşmaktadır.

1.5.6. Yüzeysel Kaplamalar

1.5.7. Sathi Kaplamalar

Belirli bir granülometri değerine sahip agreganın (mıcır) temel ve alttemel tabakaları üzerine bitümlü bağlayıcıyla beraber serilmesiyle oluşan kaplama çeşididir. Bitümlü bağlayıcı olarak asfalt emülsiyonları, yol yüzeyine ince bir film halinde serilerek kullanılmaktadır. Yol yüzeyine homojen olarak sürülen bitümlü bağlayıcı sayesinde yüzey sularının alt tabakalara geçişi engellenir. Ayrıca sathi kaplamalar trafik yükü taşıma kapasitesi düşük olmasına rağmen elverişli yuvarlanma yüzeyi oluşturarak gerekli kayma ve sürtünme değerlerini sağlamaktadır (Koca, 1987).

Sathi kaplamalar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yol kaplaması olarak kullanım oranının fazla olması karayolu ulaşımı için ne derece önemli olduğunu göstermektedir (M. Karaşahin, 2004).



Şekil 8. Sathi kaplama yapımı

Bitümün ince bir film halinde serilerek üzerinin tek tip agrega ile kaplanmasıyla oluşan sathi kaplamalar 4 gruba ayrılmaktadır (Kuloğlu & Kök, 2004).

Tek katlı sathi kaplama: Hazır hale getirilmiş yol sathına bitümlü bağlayıcının ince bir katman olacak şekilde püskürtülüp üzerine gradasyon limitlerine uygun agreganın serilip silindirlenmesi ile oluşturulur. Yapımı hızlı ancak hizmet ömrü kısadır.

Çift katlı sathi kaplama: Tek katlı sathi kaplama uygulamasının iki katman halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulur. Çift katlı sathi kaplama yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus ikinci katman oluşturulurken kullanılacak agreganın dane boyutu, ilk katmanda kullanılan agrega dane boyutunun yarısından fazla olmaması gerektiğidir. Tek katlı sathi kaplamalara göre geçirimsizliği yüksek ve hizmet ömrü daha fazladır.

Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama: Halihazırda bulunan asfalt kaplama yüzeyi üzerine bitümlü bağlayıcının ince bir film halinde püskürtülüp sonrasında mevcut yüzeyi iyileştirmek ya da korumak amacıyla sathi kaplama yapılması olarak tanımlanabilir. Ayrıca mevcut yol kaplamasının soyulmuş, deforme olmuş kısımlarını onarmak, kaplama ömrünü uzatmak ya da yol yüzeyinin sürtünme direncini arttırmak amacıyla yapılır. Bitümlü koruyucu sathi kaplamanın kalınlığı 13 cm 'den az olmamalıdır (Kuloğlu & Kök, 2004).

Makadam Sathi Kaplama: Mevcut yol yüzeyinin taşıma gücünü arttırmak için uygulanır. 3 katman olarak inşa edilir. Halihazırda bulunan yol yüzeyi astarlandıktan sonra, ilk katman ince bir film halinde yola püskürtülen bitümlü bağlayıcının üzerine kaba

agreganın serilip silindirlenmesiyle oluşturulur. İkinci aşama da orta agrega son aşamada ise ince agrega kullanılarak aynı işlem uygulanır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).

1.5.8. Karartma Tabakası

Karatma tabakası, düzgün bir yol yüzeyi elde etmek ve yüzey geçirimsizliğini arttırmak amacıyla yapılır. Ağır trafik yüklerine uzun süre maruz kalmış yol yüzeylerinin, agrega kayıplarını telafi etmek için yapılan iyileştirme çalışmaları karartma tabakası uygulamasına örnek olarak gösterilmektedir. Yapım şartnamesinde belirtilen esaslar uygulanarak yapılan karartma tabakası; asfalt kaplama tabakasının yüzeyini iyileştirerek kaplama ömrünü uzatırken, şartname esasları dikkate alınmayarak inşa edilen karartma tabakası uygulamaları kaygan zemin oluşumuna neden olabilmektedir (The Asphalt Institute, 2006).



Şekil 9. Uygun yüzey üzerine karartma tabakası uygulaması



Şekil 10. Karartma tabakası uygulama öncesi ve sonrası yol yüzeyi



a) uygulamadan önce kaplama

b) uygulamadan sonra kaplama

Şekil 11. Kaplamanın uygulamadan önceki ve sonraki görünümü

1.5.9. Harç Tipi Örtü

Yaygın kullanıma sahip olan bu kaplama türü; su, emülsiyon ve agregadan meydana gelmektedir. Harç tipi kaplamalar; tekrarlı yükler karşısında oluşan agrega soyulmalarını gidermek, üst yapıda meydana gelen deformasyon ve çatlakları kapatmak ve yol üst yüzeyindeki sürtünme değerlerini iyileştirerek güvenli sürüş için elverişli bir yol yüzeyi sağlamak amacıyla uygulanır (Caltrans Division of Maintenance , 2003).

Ağır trafik yüklerinin bulunduğu yol üst kaplamalarında oluşabilecek çatlaklara hızlı müdahale edebilme imkânı verir. Yol yüzeyinde oluşan çatlakların doğrudan hava ve su temasını engelleyerek kaplama tabakasının kullanım ömrünü, stabilite ve durabilite değerlerini arttırır. Bu sebeple yaygın kullanıma sahip bir kaplama türü haline gelmiştir.

Ayrıca harç tipi örtünün kullanım avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Kaplama tabakasını görünüm açısından iyileştirme,
- Kanal ve rögar imalatlarında kolaylık sağlama,
- Asfalt yüzeyinde meydana gelen yüzeysel bozulmalara hızlı müdahale edebilme,
- Yol yüzeyinde sürtünme direncine katkı sağlayabilme,
- Hızlı ve pratik çözüm oluşturma (İlıcılı, 2001).



Şekil 12. Harç tipi örtü uygulaması

1.5.10. Örtme Tabakası

Örtme tabakası; mevcut asfalt kaplama tabakasına uygulanarak kaplamanın kullanım ömrünü uzatmak için uygulanır. Bozulmuş asfalt kaplamanın üzerine ilk olarak tek kat sathi kaplama yapılır, ikinci işlem olarak ise sathi kaplama üzerine harç tipi kaplama uygulanarak örtme tabakası imalatı tamamlanır. Örtme tabakası ile geçirimsiz bir yüzey oluşturularak hava ve su tesirlerinin etkisi azaltılır. Ayrıca yol yüzeyindeki kayma direncini de arttırdığı için havaalanı pistlerinde, küçük yarıçaplı kavşaklarda ve eğim yüzdesi yüksek yollarda kullanılmaktadır (Tunç, 2007).



Şekil 13. Örtme tabakası uygulaması

1.6. Karışım Kaplamaları

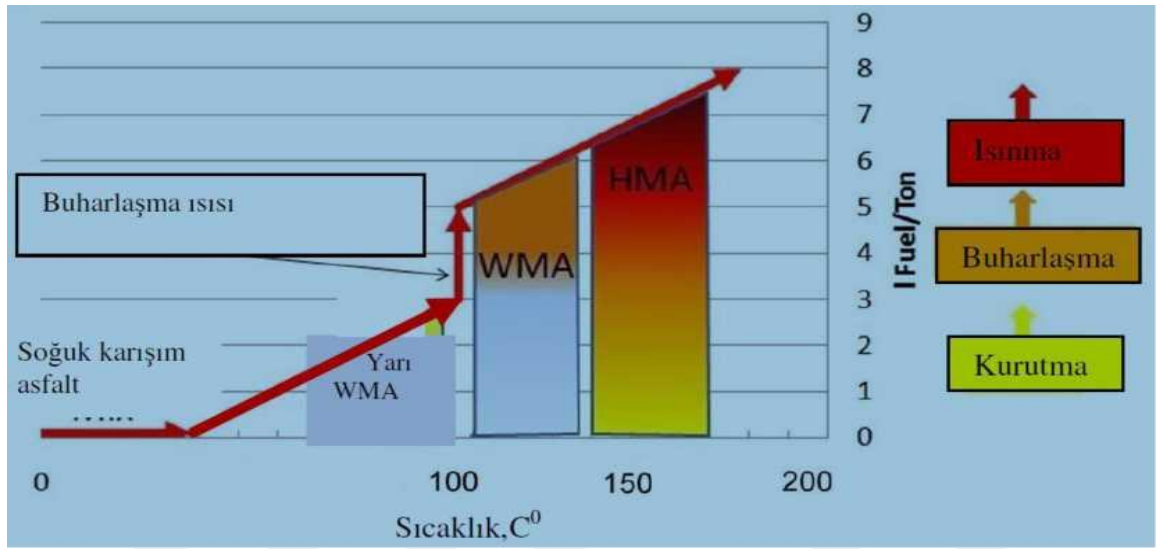
1.6.1. Soğuk Karışım Asfalt Kaplamaları

Bitümlü bağlayıcı ve agreganın soğuk halde karıştırılmasıyla elde edilen karışım tipi kaplama türüdür. Bitümlü bağlayıcı olarak katbek asfalt ya da asfalt emülsiyonları kullanılır. Karıştırma işlemi soğuk halde ya da agregada içerisindeki nemin kurumasına yetecek sıcaklıkta yapılır. Soğuk karışım asfalt kaplamalarında karıştırma işlemi, karıştırma tesislerinde ya da yol yüzeyinde yapılabilmektedir. Ayrıca soğuk karışımlar üstyapının; alttemel, temel veya aşınma tabakalarının hepsinde kullanıma uygundur. Trafik yoğunluğu açısından bütün yolların alttemel ve temel tabakası olarak kullanıma uygunken aşınma tabakası olarak hafif trafik yoğunluğuna sahip yollarda kullanılması uygundur. Soğuk karışım asfalt kaplamalar dizayn edilirken kullanılacak bitümlü bağlayıcı ve agregada seçimi, iklim koşulları ve karıştırma yöntemine bağlıdır (Uluçaylı & Yavuz, 2002).

1.6.2. Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları

Dünya genelinde oluşan doğa koruma bilinci ve farkındalığının etkisiyle endüstri, sanayi ve inşaat faaliyetlerinin her alanında yeni uygulama ve üretim teknikleri geliştirilmektedir. Geliştirilen bu yeni yöntem ve tekniklerin temel amacı çevre kirliliğini önlemek, kullanılan enerji miktarını minimize etmek ya da yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak ve üretim maliyetlerini azaltmaktır. Bu bağlamda enerji gerekliliği fazla olan sıcak karışım kaplamalardan ziyade Ilık karışım kaplamaların (WMA) kullanımı yaygınlaşmaktadır. Çünkü sıcak karışım tipi kaplamalarda ısıtma işlemi için yüksek enerji giderleri meydana geldiği gibi hava ve çevre kirliliği de oluşmaktadır. Ilık karışım kaplamalarda ise ısıtma işlemi için kullanılacak enerji miktarı daha düşük seviyelerde olduğu gibi içeriğinde geri kazanılmış asfalt kullanımına da uygundur. Ayrıca uygulama alanı oldukça geniş olan ılık karışım asfalt kaplamaları; poroz asfalt, taş mastik asfalt ya da yoğun gradasyonlu asfalt dahil olmak üzere bütün bitümlü karışımlarda kullanıma uygundur (Svechinsky, Ishai, & Sousa, 2011).

100-140 °C sıcaklıkta bitüm ve agreganın karıştırılıp sıkıştırılmasıyla oluşturulan ılık karışım asfalt, sıcak karışımlardan 20-50 °C daha düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyduğu için kullanım oranı artmıştır. Ayrıca üretimde kullanılan sıcaklık arttıkça karışımı oluşturmak için kullanılacak yakıt miktarı da artmaktadır. Sıcak, ılık, yarı ılık, soğuk asfalt olmak üzere asfalt karışımlar üretim sıcaklıklarına göre 4 gruba ayrılır (U.K Transport and Road Research Laboratory, 1969).



Şekil 14. Yakıt tüketimi- üretim sıcaklıklarına göre karışım sınıfları (Temren, 2009)

1.7. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Ülkemizde bitümlü bağlayıcı içeren kaplamalar Karayollarımızda oldukça yüksek oranlarda tercih edilmektedir. Bu kapsamda en yaygın kullanıma sahip karışım türü ise bitümlü sıcak karışımlardır.

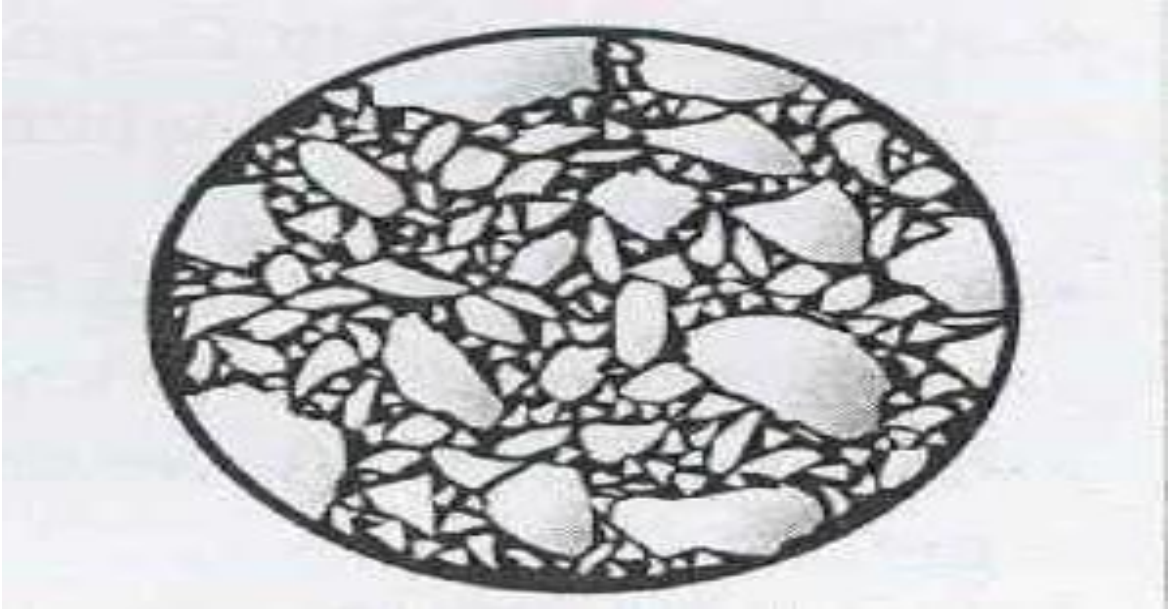
1956 yılında özel bir firmanın asfalt plenti açmasıyla birlikte Bitümlü sıcak karışımlar ülkemizde ilk kez kullanılmaya başlanmıştır. 1960 yılında ise Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından bir asfalt plenti satın alınarak kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Karayolu ulaşım ağının geliştirilmesine paralel olarak bitümlü sıcak karışımların kullanımı da her geçen gün artmaktadır (Uzuner, 1989).

Havaalanı üstyapıları, otoyollar ve standartı yüksek karayollarında kullanılacak üst yapılar için bitümlü sıcak karışımlar tercih edilmektedir. Yalnızca ülkemizde değil tüm dünyada bitümlü sıcak karışımlar esnek üstyapı kaplaması olarak yaygın kullanıma sahiptir.

Esnek üstyapı kaplama malzemesi olarak kullanılan bitümlü sıcak karışım, (%3-7) bitüm ve (%93-97) agreganın 135-165°C sıcaklıkta asfalt plantinde karıştırılması ile elde edilir (Uzuner, 1989).

Karayolları üstyapısı yapımında yaygın kullanım alanına sahip bitümlü sıcak karışımlar, içerdiği malzeme cinslerine göre; hava, bitüm ve agregat olmak üzere 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Karışımın içerdiği bileşenler maddenin 3 farklı fazı halindedir. Gaz fazını hava oluştururken, sıvı fazı bitüm ve katı fazı ise agregat oluşturmaktadır. Ana bileşenlerden sıvı fazdaki bitüm, viskoelastik ve termoplastik özellikte bir malzemedir. Bitümün gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin; sıcaklıkla ilintili olarak değişmesi termoplastik malzeme olmasıyla alakalıyken, yükleme zamanıyla ilintili olarak değişmesi ise viskoelastik malzeme olmasından kaynaklanır. Bu bağlamda bitüm yükleme hızının yüksek olduğu durumlarda viskoelastik malzeme davranışı göstererek elastik davranış ve yüksek mukavemet sergilerken, yüksek sıcaklıklarda ise termoplastik malzeme davranışı göstererek rijitliği ve mukavemeti azalmaktadır. Bitüm için sayılan bu özellikler, bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Uzuner, 1989).

Çekme dayanımı, rijitlik, yorulma, tekerlek izi oluşumu ve kalıcı deformasyonlar bitümlü sıcak karışımların en önemli mekanik özelliklerini oluşturmaktadır (Kök, 2007).



Şekil 15. Bitümlü Sıcak Karışım Yüzey Dokusu

1.7.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Uygulama Aşamaları

- Yol sathında bulunan yabancı madde, moloz, kil ve tozlar kaplamanın yol sathı üzerinden uzaklaştırılarak plentte hazırlanan bitümlü sıcak karışım serilir.
- Bitümlü sıcak karışımın serileceği zeminde çatlak, çökme, dalgalanma ya da çukur varsa uygun şekilde düzeltme işlemi yapılır.
- Tamamen hazır hale getirilen temel tabakası üzerine m²'ye ortalama 1-2 litre astar kullanılarak astarlama işlemi yapılır. Astarlama işlemi yüzeye homojen olarak dağıtılmalı ve astarlanan yüzey 1-2 gün trafiğe kapalı olmalıdır. Uygulanan astarlama işlemi iki tabaka arasındaki aderansı arttırmaktadır.
- Projesine uygun olarak tamamlanan astarlama işleminden sonra m² 'ye 0,5-0,15 litre bitümlü yapıştırıcı uygulanır. Bitümlü yapıştırıcının uygulanmasında hava ve proje şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca belirtilen miktardan fazla bitümlü yapıştırıcı uygulanırsa kaplamanın onarılacak aynı işlemin tekrarlanması gerekir.
- Hava ve proje şartlarına uygun biçimde yapılan bitümlü yapıştırma uygulamasından hemen sonra bitümlü sıcak karışımın serimi gerçekleştirilir. BSK'nın serimi offset hattı kullanılarak gergili çelik halat yardımı ile yapılır. Ayrıca serim işlemi için elektronik duyargalı finişer kullanılmalıdır.

BSK'nın serim işlemi tamamlandıktan sonra silindiraj işlemi yapılır. Silindiraj işlemi ilk silindiraj, ara silindiraj ve son silindiraj olmak üzere üç aşamada tamamlanır (The Asphalt Institute, 2006).



Şekil 16. Bitümlü Sıcak Karışımın Finişer ile Serimi

1.7.2. İlk Silindiraj (Tespit Silindirajı)

Bitümlü sıcak karışımın serim işleminden sonra uygulanan ilk silindiraj işlemidir. Bandajlı silindir kullanılarak yapılır. Uygulama esnasında silindirajın bir noktadan minimum iki kez geçmesine dikkat edilmelidir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).

1.7.3. Ara Silindiraj

Vibrasyonlu silindir ya da demir bandajlı silindir yardımıyla yapılır. İlk silindiraj işleminden sonra yolda oluşabilecek ondülasyon ve dalgalanmaları önlemek amacıyla uygulanır. Uygulama sırasında silindiraj işleminin bir noktadan minimum iki kez geçmesine dikkat edilmelidir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).

1.7.4. Son Silindiraj (Ütüleme Silindirajı)

Ütüleme silindirajı olarak bilinen ve silindiraj uygulamasının son aşaması olan son silindiraj işlemi zeminin optimum kusursuzlukta olması ve yüzeyde oluşabilecek kılcal çatlakların giderilmesi için uygulanır.

Demir ya da vibrasyonlu silindirlerin ulaşamadığı bir noktada silindiraj işlemi yapılmak isteniyorsa el kompaktörü yardımıyla sıkıştırma işlemi yapılmalıdır.

Silindiraj işlemi tamamlandıktan sonra şartname ve proje kontrolleri yapılır. Kontroller sonucunda yol yüzeyinde herhangi bir olumsuzluk yoksa yolun soğuması beklenerek trafiğe açılır (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).



Şekil 17. Bitümlü Sıcak Karışım Silindiraj Uygulaması

1.7.5. Bitümlü Sıcak Karışım Yapılırken Dikkat Edilmesi Gerekenler

- Granüler temel üzerine yapılan astarlama işleminde yüzeyin 3 cm'lik kısmında nem oranı maksimum %2 olmalıdır.
- BSK serimi ve bitümlü yapıştırıcı uygulamaları bekleme yapılmadan mümkün olan en kısa süre içerisinde yapılmalıdır. Bitümlü yapıştırıcı uygulanmasından BSK serimine kadar olan sürede yüzey; yabancı malzeme, moloz, kil, kir ve toz gibi maddelerden korunmalıdır.
- BSK'nın taşınması için kullanılacak kamyonların damperleri taşınma esnasında karışımın yapışmaması için özel madde ve yağlar yardımıyla yağlanmalıdır. Ayrıca damper toz, kir ve yabancı maddelere karşı korunmalı ve temiz olmalıdır.
- Bitümlü sıcak karışımın finişer ile serim işlemi kesintisiz ve sabit hızda gerçekleştirilmelidir.
- Bitümlü sıcak karışımın serim işleminden sonra sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Sıkıştırma işlemi için bitümlü sıcak karışımın sıcaklığı minimum 130°C olmamalıdır.
- Bitümlü sıcak karışım uygulaması yapılırken hava şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Hava sıcaklığının 45-15°C aralığında olduğu ve yağışsız olan günler tercih edilmelidir. Ayrıca uygulamanın yapılacağı gün hava sıcaklığı 5°C'nin altına düşecekse uygulama o gün yapılmamalıdır (Lav & Süttaş, 1993).

1.7.6. Agregada Granülometrisine Göre Bitümlü Sıcak Karışımlar

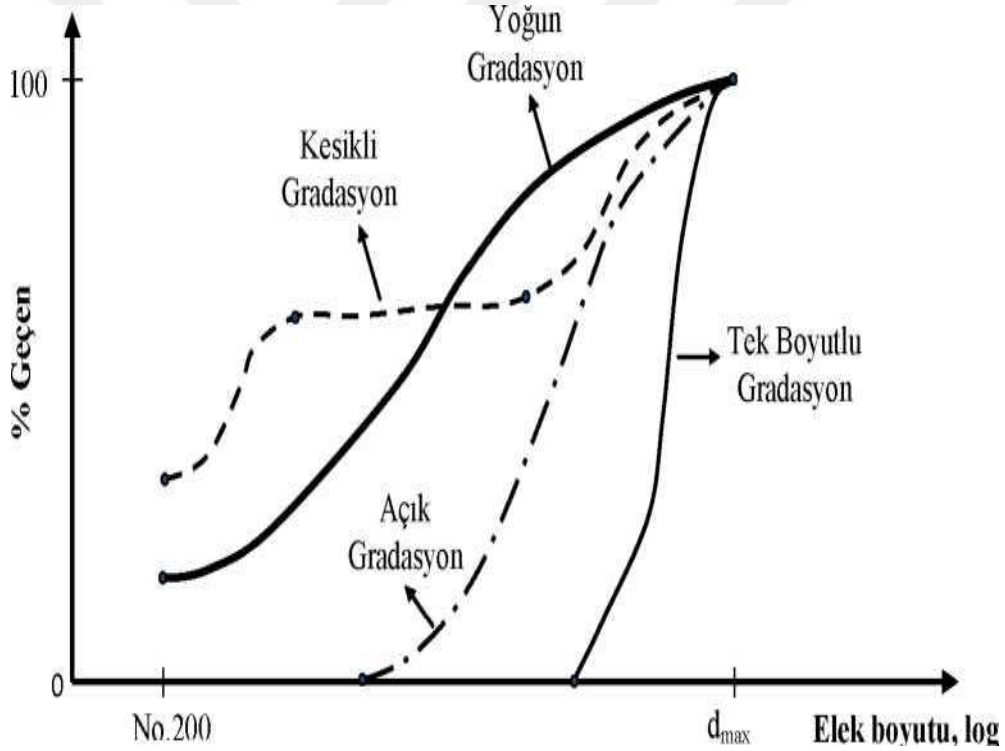
Agrega granülometrisi bakımından bitümlü sıcak karışımlar 4 grupta incelenmektedir.

Açık Granülometrili Bitümlü Sıcak Karışımlar: Kaba agregada oranının yüksek ince agregada oranının düşük olduğu karışım tipidir. İnce agregada oranı düşük olduğu için içerisindeki boşluk oranı oldukça fazladır (%15-5). Bu karışımlara örnek olarak Makadam tipi kaplamalar gösterilir (Gürer, 2005).

Kesikli Granülometrili Bitümlü Sıcak Karışımlar: Karışım içerisinde kullanılan agreganın, bazı elek aralıklarında fazla olduğu, bazı elek aralıklarında ise çok az veya hiç olmadığı karışım tipidir. Pürüzlü bir yüzey yapısına sahip olarak tekerlek izlerine karşı yüksek direnç gösteren bu karışımlar; %12-8 aralığında boşluk oranı içerirler. Bu tip karışımlara verilebilecek en iyi örnek taş mastik asfalt karışımlarıdır (Gürer, 2005).

Yoğun Granülometrilili Bitümlü Sıcak Karışımlar: Açık granülometrilili karışımların aksine agrega granülometrisi düşük boşluk oranı verecek şekilde dizayn edilmiş karışım tipidir. Yoğun Granülometrilili karışımların yüzey pürüzlülüğü az ve içerdiği boşluk oranı %5-2 aralığındadır. Bu tip karışımlara örnek olarak asfalt betonu ve bitümlü temel gösterilmektedir (Orhan, 2012).

Harç Tipi Karışımlar: Boşluk oranı düşük bitüm yüzdesi yüksek olan karışım tipidir. İçeriğinde ince malzeme miktarı fazladır. İnce malzeme ve bitüm arasında kaba agregalar dağılmış vaziyette bulunmaktadır. Harç tipi karışımlarda vizkozitesi yüksek, penetrasyonu düşük bitüm kullanılır. Sert bitüm içeren harç tipi karışımların yüzey pürüzlülüğü azdır. Bu tip karışımlara örnek olarak çelik ve beton köprüler üzerinde kullanılan mastik asfaltlar gösterilir (Bituminous Materials in Road Construction, 1969).



Şekil 18. Agrega Granülometri Eğrileri

1.8. Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Karayolu ulaşımında üstyapı kaplama malzemesi olarak bitümlü sıcak karışımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bitümlü sıcak karışımların yol kaplaması olarak

yoğun trafik yükleri altında uzun ömürlü kullanılabilmesi için sağlaması gereken bazı mekanik ve fiziksel özellikler vardır. Söz konusu mekanik ve fiziksel özellikler aşağıda sıralanmıştır.

1.8.1. Stabilite

Asfalt kaplamaların; taşıtların tekerlek etkileriyle oluşan sökölme, çekme, kesme kuvveti ve oluşan uzun süreli tekrarlı yüklere karşı gösterdiği dirence stabilite denmektedir. Bir başka deyişle trafik yükleri altında tekerlek izi oluşumu ve ötelenmeye karşı direnç gösterebilme yeteneği olarak tanımlamak mümkündür. Kaplamanın stabilite değeri ne çok fazla ne de çok düşük seviyelerde olmamalı, trafik yüklerinden oluşacak etkileri karşılayabilecek değerde olmalıdır. Çünkü çok yüksek stabilite değerine sahip karışım sert bir yapıya sahip olacağı için trafik yükleri etkisiyle oluşacak deformasyonlardan dolayı kaplama esneklik özelliğini yitirerek çatlar. Bu nedenle düşük stabilitede çok yüksek stabilitede karışım için istenmeyen bir durumdur.

Stabilite, agrega-bitüm kohezyonu ve agregalar arası içsel sürtünmeyle doğrudan ilintilidir. Kohezyon bitümün yapışma özelliğine, agregalar arası içsel sürtünme ise agreganın yüzey yapısı ve şekline bağlıdır. Kaplama ısının azalması ve asfaltın vizkozite değerinin artması kohezyon değerini artırır. Diğer taraftan, karışım içerisindeki asfalt yüzdesinin belirli bir noktaya kadar azalması kohezyon değerini arttıracaktır. Agregalar arası içsel sürtünme, karışım içerisindeki bitüm tabakası kalınlığının artmasıyla azalırken beraberinde stabiliteyi de azaltacaktır.

Düşük stabiliteye sahip yollarda akma, ondülasyon ve çökmeler oluşabilmektedir. Yukarıda anlatılan özelliklerden de anlaşılacağı üzere; stabilite, yol üst yapısı açısından bitümlü karışımın en önemli özelliklerinden birisidir. Ayrıca karışım içerisinde;

- Yüksek bitüm oranı kasma, tekerlek izinde oturma ve oluklaşmaya,
- Filler yüzdesinin fazla olması sıkıştırma zorluğuna,
- Agreganın köşeli yüzey yapısına sahip olması istenir. Yuvarlak yüzey yapısına sahip agrega kullanılması ise tekerlek izinde oturmaya sebep olmaktadır (Umar & Açar, 1985).

1.8.2. Esneklik (Fleksibilite)

Esneklik, yol alt tabakasında oluşan çökmeler sonucu bitümlü tabakalarda oluşabilecek deformasyonları çatlak oluşturmada karşılayabilme özelliğidir. Yeterli esnekliğe sahip olmayan yol kaplamalarında çatlaklar meydana gelmektedir. Ayrıca esneklik; filler-bitüm oranı, kullanılan bitümlü bağlayıcının duktilitesi, kıvamı ve sıcaklığa karşı duyarlılığına bağlıdır. Karışım içerisindeki bitüm yüzdesi arttıkça esneklikte artar. Fakat bazı durumlarda bitüm yüzdesi ve esnekliği yüksek karışımların stabilitesi düşük olabilir. Kışın esnekliğini koruyup kırılgan hale gelmeyen ve trafik yüklerine karşı dayanıklı; yazın ise kıvamını koruyabilen bağlayıcı kullanılması, esnek ve kararlı bir karışım elde edebilmek için gereklidir (Kulash, 1994).

1.8.3. Durabilite (Çevresel Dayanıklılık)

Durabilite, bitümlü kaplamanın sıcaklık değişikliği, hava ve su gibi çevresel faktörlere karşı gösterdiği dirençtir. Ayrıca bitümlü karışımın çevresel dayanıklılığının iyi olması, trafik etkileri karşısında kararlı bir yapıda olmasını sağlar.

Karışım içerisindeki agreganın aşınma direncinin yüksek olması kaplama karışımının da aşınma direncini olumlu yönde etkilemektedir. Bitümlü karışım aşınma tabakaları dizayn edilirken sert agrega tercih edilmesi karışımın dayanıklılığını artırır. Ayrıca, agreganın şişmeye karşı gösterdiği direnç, karışımın şişme özelliğini etkilemektedir. Nem ise dayanıklılığa etki eden bir diğer öncelikli unsurdur (Kulash, 1994).

Bitümlü karışımın boşluk oranı ve bitümün yaşlanma özellikleri, asfaltın oksitlenmeye karşı direnci için önemli etkilere sahiptir. Ayrıca asfaltın oksitlenmesiyle penetrasyon değeri düşer ve penetrasyon değeri düştükçe bitümün kırılganlığı artar. Dolayısıyla, kaplamanın kırılmaya karşı direnci, oksitlenmeyle doğrudan alakalıdır. Ancak, karışımın boşluk yüzdesinin belirli sınırlar içerisinde kalması sağlanırsa; asfaltın oksitlenmesi minimum seviyede tutularak kaplamanın kırılması engellenmiş olur. Bununla birlikte, bitümlü karışım üst yapı kaplamaların durabilitesini etkileyebilecek durumlar aşağıda sıralanmıştır;

- Karışımın bitüm yüzdesinin düşük olması, agreganın soyulmasına ve kaplama yüzeyinin kuru bir görünümde olmasına,
- Tasarım ya da sıkıştırma hatası nedeniyle karışım içerisinde yüksek boşluk yüzdesi olması, asfaltın erken yaşlanmasına,

- Karışımın içerisinde soyulmaya karşı direnci yetersiz agrega kullanımı, agrega-bitüm aderansının zayıflayarak kaplamanın sökülmesine neden olur (Umar & Ağar, 1985).

1.8.4. Kaymaya Karşı Direnç

Kaymaya karşı direnç; taşıtların, yol yüzeyindeki sürtünmeden yararlanarak hareket etmesini ve güvenli bir şekilde durmasını sağlamaktadır. Ayrıca, karışım içerisindeki bitüm oranı, boşluk oranı ve kaplamanın yüzey dokusu, kaymaya karşı direnci etkilemektedir. Karışım içerisinde yumuşak agregalar fazla aşındıkları için kaplama yüzeyi düzleşir ve bu durum kaymaya karşı direnci azaltır. Bununla birlikte, yüksek oranda bitüm içeren ve düşük boşluk yüzdesine sahip kaplamalarda trafik yüklerinin ya da sıcaklığın etkisiyle kaygan bir yol yüzeyi oluşur. Terleme olarak adlandırılan bu durumun oluşmaması için karışımın homojen olması ve uygulama esnasında segregasyon oluşmaması sağlanmalıdır. Kaymaya karşı direncin azalmaması için karışım içerisinde gevrek agrega kullanılmamalıdır. Çünkü gevrek agrega içeren kaplama tekerlek etkisiyle cilalanır. Cilalanma oluşan yol yüzeylerinde kaymaya karşı direnç ciddi ölçüde azalmaktadır. Ayrıca, bitümlü karışım kaplamaların kaymaya karşı direncini etkileyen nedenler aşağıda sıralanmıştır;

- Karışımın bitüm içeriğinin fazla olması, kismaya ve kayma direncinin azalmasına,
- Kötü gradasyonla dizayn edilmiş karışım, düzgün yüzey oluşumuna ve düşük kayma direncine,
- Karışım içerisinde cilalanma değeri düşük agrega kullanılması, kaymaya karşı direncin azalmasına sebep olur (Umar & Ağar, 1985).

1.8.5. Yorulmaya Karşı Direnç

Karayolu üst yapısının, trafik yükleri altında oluşan gerilmelere karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir. Kaplama karışımının yorulmaya karşı direncini etkileyen en önemli faktörler; kullanılan asfaltın vizkozitesi ve karışım boşluk yüzdesidir. Ayrıca, asfaltın sertleşmesi, yaşlanması ve yetersiz sıkıştırma işlemi karışımın yorulmaya karşı direncini azaltmaktadır. Karışımın yorulmaya karşı direnci üst yapı kullanım ömrünü etkileyen önemli bir unsurdur. Yorulma direncinin yanı sıra zemin taşıma kapasitesi, üst yapının mukavemeti ve kalınlığı da üst yapının kullanım ömrünü etkileyen diğer önemli unsurlardır. Ek olarak,

bitümlü sıcak karışım kaplamaların yorulmaya karşı direncini etkileyen nedenler aşağıda sıralanmıştır;

- Karışım dizaynında asfalt yüzdesinin düşük tutulması yorulma çatlaklarının meydana gelmesine,
- Karışım dizaynında boşluk yüzdesinin fazla olması kaplamanın erken yorulmasına ve akabinde yorulma çatlaklarının oluşmasına,
- Üst yapı kaplama tabakası uygulamalarında yetersiz sıkıştırma işlemi yapılması kaplamanın erken yorulmasına ve akabinde yorulma çatlaklarının oluşmasına,
- Yol üst yapısı tasarımında üst yapı kalınlığının yetersiz olması eğilmelerden kaynaklı yorulma çatlaklarının meydana gelmesine sebebiyet vermektedir (Umar & Ağar, 1985).

1.8.6. Geçirimsizlik

Üst yapı kaplama tabakasının su veya havaya karşı gösterdiği direnç geçirimsizlik olarak adlandırılır. Bitümlü sıcak karışım kaplama tabakaları, alt tabakalara su geçirimsizliği oluşturulacak şekilde tasarlanmalıdır. Karışım içerisindeki hava boşluğu oranı, boşlukların yüzey ve birbirleriyle olan bağlantıları geçirimsizliği oluşturan önemli etmenlerdir. Karışım içerisinde boşluk yüzdesinin fazla olması hava ve suyun karışım içerisine kolayca girebilmesine neden olur. Karışım içerisindeki su ise agreganın ayrışması, oksidasyon gibi durumlara sebebiyet verir (Yılmaz, 2011).

1.8.7. İşlenebilirlik

En sade anlamıyla işlenebilirlik, karışımın kolayca karıştırılması ve sıkıştırılması olarak tanımlanabilmektedir. İşlenebilirliği yüksek bir karışım elde etmek için karışım içerisinde filler ve kaba agrega oranının çok fazla olmaması gerekir. Fakat kaba agrega oranının çok olmaması işlenebilirliği arttırırken yumuşak karışım oluşmasına neden olur. Yumuşak karışımlar, trafik yükleri altında oluşan gerilmelere karşı yeterli mukavemeti gösteremediği için plastik deformasyona uğrama ihtimalleri yüksektir (Yılmaz, 2011).

1.9. Bitümlü Sıcak Karışım Üstyapı Bozulmaları

Bitümlü sıcak karışım kaplama tabakaları tasarlanırken; deformasyona uğramayacak stabilite değerine sahip olması, trafik yükleri etkisiyle oluşacak gerilmeler karşısında çatlamaması, alttemel ya da temel tabakasinda oluşacak oturmalar karşısında yeterli esneklik değerine sahip olması ve güvenli sürüş için yeterli sürtünme değerine sahip olması istenir. Ancak bu şekilde tasarımı gerçekleştirilen kaplamalarda ayrışma, çatlama ve şekil değiştirme olmak üzere üç farklı tip bozulma oluşmaktadır. Bu bozulmalara sebebiyet veren etmenler; çevre ve trafik koşulları, tasarım ve inşaat hataları ya da malzeme kusurları olarak sıralanmaktadır (Uluçaylı, 1976).

1.9.1. Şekil Değiştirme

Kaplama sathının deformasyonlar neticesinde tasarım kotuna göre değişikliğe uğramasıdır. Kaplama tabakasının stabilitesini yitirmesiyle meydana gelebileceği gibi alttemel ya da temel tabakasına bağlı olarak da meydana gelebilmektedir. Oturmalar, yerel çökmeler, kabarmalar, yığılmalar, tekerlek izi oluşumu ve ondülasyonlar şekil değiştirmeye bağlı bozulmalar olarak nitelendirilmektedir.

Oturmalar; Temel veya alttemel tabakasinda oluşan bozulmaların yüzeye yansması olarak tanımlanır. Diğer şekil değiştirmelerden farklı olarak oturmalar kaplama harici tabakalarda oluşarak etkisini kaplama tabakasinda göstermektedir. Ayrıca oturma sonucu oluşan deformasyonun eğrilik yarıçapı diğer şekil değiştirme bozulmalarına kıyasla daha büyüktür. Oturmaların nedenleri, doğal zemin taşıma gücünün yetersiz olması, temel ve alttemel tabaka kalınlıklarının yetersiz olması, üstyapıya gelen yanıl desteğin yetersiz olması ya da yol drenaj sisteminin yeterli olmaması şeklinde sıralanmaktadır. Oturmaların önlenmesi için alttemel ve temel tabakalarının projelendirilmesi yapılırken gerekli tedbirlerin alınması gerekir (Uluçaylı, 1976).



Şekil 19. Oturma

Yerel Çökmeler; Otuirmalardan farklı olarak yerel çökmeler bölgesel olarak meydana gelmektedir. Yerel çökmeleri oluşturan başlıca nedenler; Alt tabakaları oluşturan alttemel ve temel tabakaların bölgesel olarak yetersiz sıkıştırma işlemine tabii tutulması, kaplama tabakasının geçirimsizliğini kaybetmesini takiben alt tabakalarda su birikmesi ve temelin bazı noktalarda ayrışma sonucu rijitliğini yitirmesidir. Yerel çökmelerin oluşumunu önlemek için yol yapımı esnasında şartname esaslarına uygun imalat yapılması ve gerekli kontrollerin aksatılmadan yapılması gerekmektedir (Tunç, 2004).



Şekil 20. Yerel çökme

Tekerlek İzi Oluşumu; Bitümlü sıcak karışım kaplamalarında en fazla görülen bozulma türüdür. İklim sıcaklıklarının ve karayolu trafik yükünün fazla olduğu bölgelerde

bu tip bozulmalara sıkça rastlamak mümkündür. Tekerlek izi oluşumu yalnızca kaplama tabakasında oluşan deformasyonlardan meydana gelebileceği gibi üst yapıyı oluşturan diğer tabakalardaki deformasyonların etkisiyle de oluşabilmektedir (Kabadayı, 2019).



Şekil 21. Tekerlek izi oluşumu

Ondülasyonlar; Bitümlü sıcak karışımdan oluşturulan tabakaların trafik yükleri altında yeterli stabilite değerine sahip olmamasından dolayı meydana gelmektedir. Genel olarak ondülasyona sebep olan etmenler aşağıda sıralanmıştır.

- Karışım içerisindeki bitümlü bağlayıcı oranının çok fazla olması
- Karışım içerisinde filler malzeme oranının yüksek olması
- Karışım agregasının yuvarlak şekilde olması
- Karışım içerisindeki ince agrega yüzdesinin fazla olması
- Karışım dizaynında penetrasyon değeri yüksek bitüm kullanımı ondülasyona sebep olan etmenlerdir.

Tırmanma şeritleri, yaya geçitleri, otobüs durakları ve kavşaklar ondülasyon bozulmalarının sıklıkla görüldüğü yerlerdir (Tunç, 2004).



Şekil 22. Ondülasyon

Kabarmalar; Yol altyapısında donma-çözünme etkisiyle oluşan bozulma türüne kabarma denir. Üst yapının bölgesel olarak yukarı yönlü deplasman yapması olarak gözlemlenir. Kabarma tipi bozulmaların önlenmesi için, zemin iyileştirme işlemleri, etkili drenaj sistemleri ile suyun uzaklaştırılması ve kaplama altına don oluşumundan etkilenmeyecek malzeme kullanımı tercih edilmelidir (Tunç, 2004).



Şekil 23. Kabarma

Yıgılmalar; kaplama tabakası üst bölümlerinin sıcaklık ve taşıt yükleri etkisiyle ya da sünme ile ötelenerek yıgılmasıdır. Yıgılmalar yol eksenine paralel ya da dik olarak oluşur. Astar tabakasının olmaması ya da yetersiz olması, iklim koşullarının yüksek sıcaklıkta olması ve stabilite değeri düşük karışım kullanılması yıgılma tipi bozulmaların neden olmaktadır. Yıgılma tipi bozulmaları önlemek için karışım içerisinde sert bitüm kullanmak ve stabilitesi yüksek karışımlar tercih etmek gerekir (Tunç, 2004).

1.9.2. Çatlaklar

Üst yapı kaplamalarında çeşitli çatlak oluşumları gözlemlenmektedir. Bu açıdan iklimsel etkiler, imalat hataları ve ağır trafik yükleri çatlak oluşumunun sebepleri arasında sayılmaktadır. Kaplamada oluşan çatlaklar; stabilite, yorulma ve yansıma çatlakları olmak üzere üç ana başlıkta incelenir. Çatlak oluşumu gerçekleşmiş tabaka üzerine yapılan iyileştirme sonrasında koruma tabakası altında kalan bozulmaların koruma yüzeyinde çatlak oluşturmaya yansıma çatlağı denilmektedir. Yorulma çatlakları ise bitümlü sıcak karışım kaplamaların uzun süreli ağır trafik yükleri altında yorulma direncini kaybetmesiyle oluşan çatlak tipidir. Benzer şekilde trafik yüklerinin etkisiyle kaplamada oluşan çekme gerilmelerinin kaplama alt tarafından yüzeyine doğru çatlak oluşturmaya ise stabilite çatlağıdır. Ayrıca üç ana tip çatlak oluşumunun haricinde, asfalt kaplamalarda büzülme ve genleşme davranışlarının etkisiyle de çatlak oluşumu gözlemlenebilmektedir. Kaplamada meydana gelen diğer çatlak türleri aşağıda verilmiştir (Uluçaylı, 1976).



Şekil 24. Farklı şiddetlerde yorulma çatlakları

Timsah Sırtı Çatlaklar; Bitümlü sıcak karışım asfalt kaplamalarda en çok görülen çatlak tipidir. Kaplamanın bloklar halinde kopması şeklinde gerçekleşir.

Binder ve aşınma tabakalarının yetersiz kalınlıkta olması, ağır trafik yüklerine maruziyet ve drenajın yetersiz olması kaplamada bu tür çatlaklara sebep olmaktadır. Ayrıca karışım esnekliğinin yeterli seviyede olmaması yani gevrek özellikte olması çatlak tipi bozulmaların oluşumunu kolaylaştırmaktadır (Tunç, 2004).

Büzülme Çatlakları; Alt tabakalarda ya da kaplamanın kendi içerisinde oluşan hacim değişimlerinden kaynaklı meydana gelen çatlaklardır. Karışım içerisinde asfalt yüzdesi yüksek ve ince daneli malzemeyle oluşturulmuş karışım kaplamalarında sıkça rastlanılan bir bozulma türüdür. Gelişen asfalt kaplama teknolojisiyle birlikte büzülme çatlağı oluşumları azalmıştır. Ancak oluşturulan kaplamanın uzun süre atıl vaziyette bırakılarak kullanılmaması büzülme çatlağı bozulmalarını arttırmaktadır (Tunç, 2004).

Kenar Çatlakları; Yol kenarında bulunan banketlerin yeterli yanal desteği sağlayamadığı durumlarda oluşan çatlak türüdür. Genel olarak kenar çatlakları; üst yapı etrafında bulunan bitki örtüsü, kaplama kenarındaki banketlerin büzülmesi, don etkisi ve yetersiz drenajın etkisiyle meydana gelmektedir (Tunç, 2004).



Şekil 25. Kenar çatlakları

Derz Çatlakları; Farklı zamanlarda serimi gerçekleştirilmiş iki kaplama şeridi arasında meydana gelen çatlaklardır. Ayrıca banket ile kaplama arasında da meydana gelebilmektedir. Kaplama yapım esnasında serimi gerçekleştirilen ikinci şeridin ilk şeride yeterli bindirmeyi yapmamasından dolayı oluşmaktadır (Tunç, 2004).

Enine Çatlaklar; Bütün çatlak oluşum sebeplerine ek olarak kaplama serimi esnasında uzun süreli duraklamalardan ya da sıcaklıktaki ani değişimlerden kaynaklı gerilmeler vasıtasıyla yol yüzeyine dik eksende meydana gelen çatlaklardır. Yol yapımı esnasında oluşturulacak iyi koordinasyon sayesinde önlenmesi mümkündür (Tunç, 2004).



Şekil 26. Enine çatlaklar

Yansıma Çatlakları; Rijit kaplama kullanılarak yapımı gerçekleştirilmiş yol yüzeyinin bozulmalar sonucu bitümlü kaplamalarla iyileştirildiği durumlarda sıkça rastlanılan bir bozulma tipidir. Rijit kaplama yüzeyinde bulunan çatlakların bitümlü kaplama yüzeyine yansıması şeklinde oluşurlar. Bu tip bozulmaları önlemek için öncelikle beton kaplama tabakasında mevcut bulunan çatlakların onarımı yapılmalı sonrasında bitümlü karışımlar ile takviye tabakasının yapımına geçilmelidir (Dündar, 1998).



Şekil 27. Yansıma çatlağı

1.9.3. Ayırışmalar

Trafik yükleri ve iklim koşullarının etkisiyle kaplama içerisindeki agrega danelerinin kaplamadan ayrılmasıyla oluşan bozulma türüdür. Kaplamalarda meydana gelen ayırışmaların genel olarak nedenleri;

- Kaplamaya uygulanan sıkıştırmanın yetersiz olması
- Yol yapımı esnasında karışım içerisinde segregasyon oluşması
- İklim koşullarının etkisi (çok soğuk ve nemli havalarda yapımın gerçekleştirilmesi)
- Tasarlanan kaplama tabakasının yeterli kalınlığa sahip olmaması
- Karışım içerisinde bulunan bitümlü bağlayıcının mekanik etkilere maruz kalarak kopması
- Kil ve suyun etkisiyle kaplamada soyulmaların meydana gelmesi
- Yeterli drenajın olmaması

Trafik yüklerinin kaplamada oluşturacağı mekanik etkiyle birlikte yukarıda sıralanan nedenlerin bir ya da daha fazlasının bir araya gelmesiyle ayırışma tipi bozulmalar meydana gelmektedir (Karaşahin, 2007).

Oyuklar; Kaplama yüzeyinde 20-80 cm çapında dairesel formda meydana gelen oluk tipi bozulmalardır. Genellikle trafik yüklerinin ağır ve sürekli olduğu tırmanma şeritlerinde

görülmektedir. Ayrıca zamanında onarımı gerçekleştirilmeyen timsah sırtı çatlaklar ilerleyen aşamalarda oyuk oluşumuna sebep olmaktadır.

Kaplama için kullanılacak karışımın bitüm kalitesinin iyi olması, sıkıştırma işleminin iyi yapılması ve teknik şartname esaslarına uygun inşaat yapılarak oyuk tipi bozulmaları önlemek mümkündür (Karaşahin, 2007).



Şekil 28. Oyuk tipi bozulma

Sökülmeler; Agregatanelerinin kaplama yüzeyinden ayrılmasıyla oluşan ayrışma tipidir. Agregaların ayrılması genellikle kaplama yüzeyinden aşağıya doğru gerçekleşmektedir. Asfalt betonunun erozyonu olarak da adlandırılan bu tip ayrışmalar ilk önce ince agreganın sonrasında ise kaba agreganın kaplama yüzeyinden ayrışması şeklinde gerçekleşir.

Kaplama tabakasının uygun hava koşullarında yapılmaması, sıkıştırma işleminin yetersiz ve yanlış yapılması, karışımın içerdiği bitüm yüzdesinin az olması ve karışım içerisinde yeterli aderansı sağlayamayacak kirli agreganın kullanımı sökölme tipi ayrışmaların başlıca nedenleri arasında gösterilmektedir (Uluçaylı, 1976).



Şekil 29. Sökülme

Tabaka Halinde Sökülme; Temel tabakası ile kaplama tabakası arasındaki adezyonun yeterli seviyede olmadığı, kaplama tabakası kalınlığının yetersiz olduğu, ağır taşıt yükleri altında bitümün karışım içerisinde ayrıştığı ve karışım içerisindeki filler yüzdesinin çok fazla ya da az olduğu kaplamalarda gözlemlenen bir ayrışma türüdür (Uluçaylı & Yavuz, 2002).

Soyulmalar; Bitümlü bağlayıcı ile agregalar arasında bulunan adezyonun zayıflamasıyla bitümlü sıcak karışım yapısının zamanla bozulması soyulma olarak adlandırılır. Agregada danelerinin trafik etkileri, kil ve su gibi sebeplerle etrafını saran bitüm filminden sıyrılarak yalın halde kalmasıdır. Ayrıca soyulma bozulmaları kaplama tabakasının alt tarafından başlayarak yukarı yönde gerçekleşir. Karışım içerisindeki bitüm ve agreganın kimyasal ve fiziksel özellikleri soyulma bozulmalarının en önemli nedenlerindendir. Bununla birlikte karışımın tasarımı, serim ve sıkıştırma işlemleri ve trafik yüklerinin mekanik etkileri soyulmayı tetikleyen diğer unsurlardır. Soyulmayı azaltmak için; bitüm ve agregada ara yüzeyleri nem ve sudan arındırılmalı, karışım içerisinde temiz agregada kullanılmalı ve bağlayıcılık özelliği yüksek sert bitüm tercih edilmelidir (Uluçaylı, 1976) .



Şekil 30. Soyulma

Kusma; Ortam sıcaklığının etkisiyle kaplama karışımı içerisinde bulunan bitümün zamanla yol yüzeyine çıkarak yüzey agregasının etrafını ince bir film şeklinde sarmasıyla oluşan bozulma tipidir. Yol yüzeyinde meydana gelen kusma tipi bozulmalar sürtünme katsayısını düşürerek sürüş güvenliğini azaltmaktadır. Ayrıca, kusma tipi ayrışmalar, sıcak havalarda ve asfalt yüzdesi yüksek karışımlarda yaygın olarak görülmektedir (Uluçaylı, 1976).



Şekil 31. Kusma

1.10. Bitümlü Sıcak Karışımların Avantajları

- Yüzey pürüzlülüğü az olduğundan taşıt yürütme maliyeti düşüktür.
- Sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklıdır.
- Kalıcı ve elastik deformasyonlara karşı dayanıklıdır.
- Gelişen teknoloji ve yeterli bakım onarım ile birlikte kullanım ömrü oldukça uzundur.
- Taşıt yürütme gürültüsü azdır.
- Sürücülerde fazla yorgunluk oluşturmaz.
- Yüzey geçirimsizliği yüksektir.
- Reaktif özellikte değildir. Asit ve sülfata maruz kaldığında korozyona sebebiyet vermez.
- Karayolu ulaşımı için konforlu ve güvenli yol yüzeyi oluşturur.
- Esnekliği yüksek olduğu için trafik yüklerinin mekanik etkisi karşısında etkin direnç gösterir.
- Yeniden kullanıma ve geri dönüşüme uygundur.
- Uygun hava koşullarında yeterli sürtünme değerine sahiptir ve sürüş güvenliği sağlar.
- Belli seviyede rijitliğe sahiptir ve gelen yükleri alt tabakalara sağlıklı olarak iletir.
- Bakım ve onarımı hızlı ve kolaydır.
- Bakım onarım gerektiren durumlarda servis yoluna ihtiyaç duyulmaz (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).

1.11. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Fillerin Önemi

Agrega olarak mineral filler 200 nolu (0,075 mm) elekten geçen malzeme olarak tanımlanır. Karışım içerisinde kullanılan agreganın bir elemanıdır ve bu sebeple karışım performansına direk etkilidir. Karışım içerisindeki agreganın çok küçük bir bölümünü oluşturmasına karşın yüzey alanı oldukça fazla olduğu için karışımın yük taşıma ve stabilize değerleri üzerinde etkin rol oynamaktadır. Mineral filler, karışım içerisinde agregalar arası boşlukları verimli bir şekilde doldurduğu için karışım içerisinde kullanılması gereken bitüm

oranının düşürülmesini sağlamaktadır. Ayrıca karışım içerisindeki ince agrega yüzdesini arttırmak, karışım içerisindeki boşluk yüzdesini azaltmak, karışımın dayanımı arttırmak ve oluşturulmak istenen karışım performansına ulaşmak için mineral filler kullanımı zaruridir (Umar & Ağar, 1985).

Filler, karışımın plastik davranışı ve yorulma süresini de etkilemektedir. Karışımın uygun şekilde dizayn edilerek optimum miktarda filler kullanılması şekil değiştirmelere karşı dayanıklı bir yol kaplaması elde etmek için gereklidir. Bu sebeple karışım içerisindeki filler oranı iyi ayarlanmalıdır. Filler karışım içerisindeki boşlukları doldurarak daha fazla temas noktası sağlayarak karışımın yoğunluğunu arttırmakta önemli bir rol oynar. Ayrıca bitüm ile birlikte ince agregaya bağlayıcılık etkisi gösterebilir. Genel olarak filler malzemesi bitümlü sıcak karışımın;

- Esneklik
- Sertleşme
- Genleşme
- Neme karşı direnç
- Yaşlanma
- İşlenebilirlik
- Sıkıştırılabilirlik özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır (Umar & Ağar, 1985).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bitümlü sıcak karışımlar içerisinde üleksit mineralinin filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak için kullanılan malzemeler, yapılan malzeme deneyleri ve farklı kalker-üleksit filleri oranlarında hazırlanan briketlere uygulanan deney yöntemleri bu bölümde anlatılmaktadır.

2.1. Materyal

Bitüm, kalker kökenli agregası ve üleksit mineralinin öğütülmesiyle elde edilen filler malzemesi çalışma için kullanılan materyallerdir. Bu çalışma kapsamında kullanılan materyallere ait genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Agregası

Çalışma kapsamında kullanılan agregası kalker kökenli olup Mescitli Kalker Ocağından alınmıştır.

2.1.2. Mineral Filler

Mineral filler olarak Etimaden'in Bigadiç bor yataklarından elde ettiği Üleksit minerali kullanılmıştır. Üleksit mineralinin filler boyutuna getirilmesi için ise Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm laboratuvarındaki halkalı öğütücü kullanılmıştır.

2.1.3. Bitüm (AC)

Çalışma kapsamında bağlayıcı olarak, Trabzon-Gümüşhane karayolu projesi şantiyesinden elde edilen ve penetrasyon değeri 57 olan bitüm kullanılmıştır.

2.2. Agrega Deneyleri

Çalışma kapsamında kullanılan kalker kökenli agregaların kalitesini ve fiziksel özelliklerini belirleyebilmek için numuneler üzerinde bazı deneyler uygulanmıştır.

2.2.1. Elek Analizi Deneyi

Bitümlü sıcak karışım dizaynında kullanılacak agreganın granülometrisini belirleyebilmek için elek analizi deneyi uygulanmaktadır. Standart deney için kullanılan kare delikli elek açıklıkları ise aşağıda tablo olarak sunulmuştur.

Tablo 6. Standart kare delikli elek açıklıkları

Elek Açıklığı	
İnch	Mm
11/2	37.5
1	25.0
¾	19.1
½	12.7
3/8	9.52
No.4	4.75
No.10	2.00
No.40	0.42
No.80	0.177
No.200	0.075

Sıcak karışım agrega granülometrisini belirlemek için kullanılan elek analizi deneyinde farklı standartlarda elekler kullanılarak beton dizaynı içinde kullanılabilir. Elek analizi deneyi tamamlandıktan sonra karışım agregası için granülometri eğrisi çizilir ve şartname limit değerleri arasında olması gerekmektedir (Orhan, 2006).

Bölgeç ya da dörtleme olarak adlandırılan yöntem kullanılarak farklı agrega stok yığınlarından alınan malzemeler homojen olarak karıştırılır. Homojen hale getirilen karışım agregası ön kurutma işlemi için 1100 °C etüvde kurutulur.

Ön kurutma işlemi tamamlanarak etüvden çıkartılan agrega numunelerinin yüzey temizliği 200 nolu elek içerisinde yıkanarak gerçekleştirilir. Yıkama işleminden sonra tekrar 1100 °C sıcaklıkta etüv içerisinde kurumaya bırakılır. Daha sonra kurutulmuş agrega numuneleri üzerinde elek analizi deneyi uygulanır. Elek analizi sırasıyla, agregaların

tamamının geçtiği elekten başlanılarak elek aralığı daha küçük olan eleklerle doğru yapılır. Deney sonucunda her bir eleğin üzerinde kalan agrega miktarı tartılarak agrega karışımı içerisindeki yüzdelik oranları belirlenerek elek analizi deneyi tamamlanır (Orhan, 2006).



Şekil 32. Standart elek analizi için kullanılan elekler

2.2.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorpsiyon) Deneyi

Agrega özgül ağırlığı, agreganın danesinin birim hacimdeki ağırlığının eşit hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir. Özgül ağırlık türleri danenin hacim tanımına bağlı olarak 3 farklı gruba ayrılır.

- a) Zahiri Özgül Ağırlık (G_{sa}): Agregada danesinin geçirimli boşlukları düşüldükten sonra kalan hacim ağırlığının, eşit hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilir.
- b) Efektif Özgül Ağırlık (G_{se}): Agregada danesinin geçirimsiz boşlukları düşüldükten sonra kalan hacim ağırlığının, eşit hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilir.
- c) Hacim Özgül Ağırlığı (G_{sb}): Asfalt geçirimli ve geçirimsiz boşluklarıyla birlikte hesaplanan agrega hacim ağırlığının, eşit hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilir.

Agrega karışımının özgül ağırlığını hesaplamak için karışım içerisinde bulunan kaba, ince ve filler boyutundaki agregaların özgül ağırlığının bilinmesi gerekmektedir. Filler boyutundaki agregalar için zahiri özgül ağırlık deneyi yapılırken, kaba ve ince agregalar için hacim ve zahiri özgül ağırlık deneylerinin yapılması gerekmektedir. Boyut gruplarına göre agregalar özgül ağırlıkları bulunduğundan sonra ise agregalar karışımının özgül ağırlıkları aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır (Orhan, 2006).

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%I}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (2.1)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%I}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (2.2)$$

Efektif özgül ağırlıklar 2 farklı metot yardımıyla bulunabilmektedir.

1) Hacim ve zahiri özgül ağırlıklar yardımıyla bulunulması;

$$G_{ef} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (2.3)$$

2) Bitüm özgül ağırlığı, agregalar yüzdesi ve bitümlü karışım maksimum teorik özgül ağırlığı kullanılarak bulunulması;

Bu yöntemin kullanılabilmesi için öncelikle kaplama karışımının maksimum teorik özgül ağırlığı deneyler vasıtasıyla belirlenmelidir. Maksimum teorik özgül ağırlık belirlendikten sonra efektif özgül ağırlık aşağıdaki formül kullanılarak bulunabilmektedir.

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (2.4)$$

Tablo 7. Özgül ağırlık hesaplamalarında kullanılan kısaltmalar

G _{sa}	Zahiri özgül ağırlık
G _{sb}	Hacim özgül ağırlık
G _{ef}	Efektif özgül ağırlık

Tablo 7'nin devamı

Gkb	Kaba agregâ hacim özgül ağırlığı
Gib	İnce agregâ hacim özgül ağırlığı
Gka	Kaba agregâ zahiri özgül ağırlığı
Gia	İnce agregâ zahiri özgül ağırlığı
Gfa	Filler zahiri özgül ağırlığı
Gb	Bitüm özgül ağırlığı
Wa	Karışım içerisinde agregâ yüzdesi
Dt	Maksimum teorik özgül ağırlık
%K	Kaba agreganın ağırlıkça karışım yüzdesi
%İ	İnce agreganın ağırlıkça karışım yüzdesi
%F	Fillerin ağırlıkça karışım yüzdesi

2.2.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

Trafik yüklerinin etkisiyle bitümlü sıcak karışım kaplamalarda birçok bozulma türü meydana gelmektedir. Sıkça rastlanılan bir bozulma türü olan aşınmalar; karışım agregasında meydana gelmektedir. Ancak agregalar karışım için iskelet görevi gördüğünden, agregada meydana gelen aşınmalar tüm karışımın fiziksel ve mekanik özelliklerine etki etmektedir. Bu nedenle karışım içerisinde kullanılacak agregaların aşınma miktarının belirlenmesi karışım performansı için önemlidir. Agreganın aşınma miktarını belirlemek için Los Angeles aşınma deneyi yapılmaktadır. Los Angeles deneyi standart olarak 10-14 mm elek açıklığında kazan içerisinde 11 adet bilye konularak ve 5000 gram agregâ numunesi üzerinde yapılmaktadır. Ancak elek aralığı değiştirilerek de yapılabilmektedir. Değişen elek aralıkları için ise kazan içerisindeki bilye sayıları da değiştirilmektedir. Farklı elek aralıkları için kullanılması gereken bilye sayıları aşağıda tablo olarak verilmiştir (Anonim, 2009).

Tablo 8. Los Angeles aşınma deneyi elek aralıkları ve bilye sayıları

Elek Aralıkları (mm)	Bilye Sayısı (Adet)
4-8	8
6.3-10	9
8-12	10
11.2-16	11

Numune olarak alınan 5000 gram agregata üzerinde elekler yardımıyla eleme işlemi yapılarak deneye başlanılır. Daha sonra belirlenen elekler arasında kalan agregata numunesi üzerinde yıkama işlemi yapılarak üzerinde bulunan kil ve tozdan arındırılması sağlanır. Eleme ve temizleme işlemi yapılan numuneler etüv içerisine yerleştirilerek 1050°C sıcaklıkta kurutulur. Kurutulma işlemi tamamlanan numuneler Los Angeles deney cihazının tambur kısmına yerleştirilir. Ayrıca agregata numuneleri için kullanılan elek aralığına bağlı olarak deney için kullanılması gereken bilye adeti de tambur içerisine konulur (Anonim, 2009).



Şekil 33. Los Angeles deney aleti ve numune agreganın yerleştirilmesi



Şekil 34. Deney sonunda Los Angeles tamburundan alınan numune

Tambur içerisinde agregata numuneleri ve bilyeler olan cihaz yaklaşık 500 devir olacak şekilde çalıştırılarak deney bitirilir. Deney sonucunda tambur içerisinde bulunan numuneler 1.6mm elekten geçirilerek elek üstü kalan malzeme miktarı tartılır (Anonim, 2009).

Deney sonucunda kullanılan numune agreganın Los Angeles Aşınma değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$LA = \frac{(5000 - M)}{50} \quad (2.5)$$

LA: Los Angeles Aşınma Değeri

M: Deney sonucu 1.6mm elek üstünde kalan agreganın ağırlığı (gr.)

2.2.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Yassılık, agreganın eninin agreganın boyuna oranının 0,6'dan daha düşük olması olarak ifade edilmektedir. Agregaların yassılık değerlerinin belirlenebilmesi için şablon kullanılmaktadır. Stok içerisinde bulunan numune agregaları yassılık indeksi şablonuna tabi tutulur. Deney sonucunda standart olarak kullanılan yassılık indeks şablonu aralıklarından geçen agregaların ağırlığı toplam karışım agregası ağırlığı içerisinde yüzdelik olarak belirtilir (Anonim, 2009).



Şekil 35. Standart yassılık indeksi aparatı

2.2.5. Cilalanma Deneyi

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarının trafik yüklerine karşı belirli bir dayanım değerine sahip olması beklenir. Ayrıca kaplamanın mukavemetinin haricinde cilalanma ve yüzey pürüzlülük değerleri de karışım performansını etkilemektedir. Cilalanma değerinin

belirlenebilmesi için karışım agregası cilalanma deneyine tabi tutulur. Bu deney sayesinde agreganın trafik yükleri etkisi altında cilalanma değerleri tespit edilmektedir. Deney, laboratuvar ortamında kaplama yüzeyinde sürtünme etkileri oluşturulup kaplamanın aşınmaya maruz kalması sağlanılarak tamamlanır. Deney sonucunda karışım içerisindeki agreganın cilalanma değeri cilalanma deney aleti yardımıyla tayin edilir (Orhan, 2006).

Deneye tabi tutulan agreganın cilalanma değerinin yüksek olması, oluşturulacak yol kaplamasının trafik yükleri karşısında yüksek sürtünme direnci göstereceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla cilalama değeri yüksek kaplamaların sürüş güvenliği de bir hayli yüksek olacaktır. Ayrıca agrega kayaç tipine göre cilalanma değerleri de farklılık göstermektedir. Örnek olarak; sert bir kayaç olan bazalt orta sertlikteki kalkere göre daha yüksek cilalanma değerine sahiptir (Orhan, 2006).



Şekil 36. Cilalanma deney düzeneği

2.2.6. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi)

Hızlandırılmış ortam koşulları oluşturularak uygulanan bu deneyde hava tesirleri etkisinde kalan agreganın dayanımını belirlemek amaçlanır. Kaplama içerisindeki donma ve çözülme etkileri bölgesel bozulmalara sebep olabildiği gibi gerekli tedbirler alınmadığı

taktirde üstyapının komple bozulmasına da sebebiyet vermektedir. Bu yüzden oluşturulacak kaplama karışımı içerisinde hava tesirlerine karşı dayanıklı agregalar kullanmak oldukça önemlidir. Ayrıca bu deney belirli bir boyutun üzerinde olan (4.75mm elek aralığı üzerinde kalan) agregalar üzerinde uygulanmaktadır. 4 Nolu elek üzerinde kalan agregalar 5 kez donma çözölmeye maruz bırakılarak tatbik edilen bu deneyde agregaların ağırlıkça kayıpları belirlenip yüzdelik olarak ifade edilir (Orhan, 2006).

2.2.7. Soyulma Mukavemeti Deneyi

Kaplama performansını etkileyen önemli bozulmalardan birisi de agregada meydana gelen soyulmalardır. Bu nedenle kaplama karışımı üzerinde su ve sıcaklık etkisi göz önünde bulundurularak soyulma mukavemeti deneyi yapılmaktadır. Agregada meydana gelen soyulmalar birçok farklı nedene bağlı olarak oluşabilir. Soyulma oluşumuna sebebiyet veren en önemli etmenler kuşkusuz ki karışım içerisinde kullanılan bitüm ve agregaların mekanik ve fiziksel özellikleridir. Fakat soyulma mukavemeti düşük agrega ve bitüm kullanılarak oluşturulan karışımlarda soyulma mukavemetini arttırıcı katkı maddeleri kullanılarak istenilen performansı elde etmek mümkündür. Kullanılan katkı maddesi, agrega ve bitüm arasında aderansı arttırarak soyulma problemini çözmektedir.

Bitüm ve agrega tipolojisine bağlı olarak bitüm ve agrega arasında farklı seviyelerde aderans sağlanmaktadır. Agregalar türü sabit tutulup farklı tip bitümlü bağlayıcı kullanılarak oluşturulan karışımlar üzerinde yapılan deneyler soyulma miktarlarının her bir bitümlü bağlayıcı için farklı seviyelerde olduğunu göstermiştir. Karışım oluşturulurken bitümlü bağlayıcı ya da agregada yapılacak bir değişiklikte soyulma mukavemeti deneyinin yeniden yapılması ve şartnameye bağlı kontrolleri yenilenmelidir. Şartname kriterlerinin üzerinde olan soyulma değerleri için ise gerekli katkı maddeleri kullanılarak soyulmaya karşı mukavemet arttırılmalıdır (Orhan, 2006).

2.2.8. Metilen Mavisi Deneyi

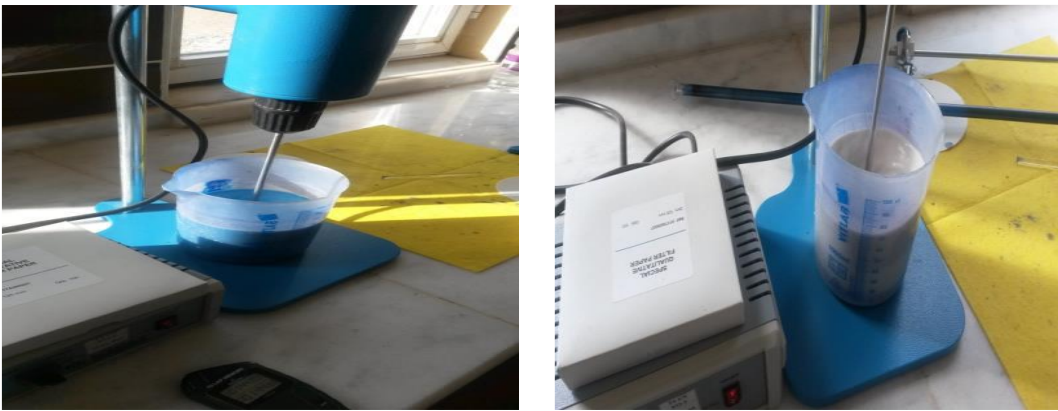
Bitümlü bağlayıcı ve agrega arasında oluşacak aderans kaplama stabilitesini etkilemektedir. Bu bağlamda aderansı arttırmak için karışım oluşturulmadan önce agrega yüzeyinde bulunan kir, toz ve zararlı kil mineralleri arındırılmalıdır. Karışım agregasının

yüzeyinde bulunan kil minerallerinin tespiti içinse TS EN 933-9 şartlarında metilen mavisi deneyi yapılmaktadır. Bu deneyde metilen mavisi boyası agrega yüzeyinde bulunan zararlı kil minerallerine katyon değişimi sayesinde tutunur (Anonim, 2009).



Şekil 37. Agreg-a-su deney numunesi ve karıştırma işlemi

Yaklaşık 200 gram agrega numunesi bir kaba alınarak üzerine 500 ml su eklenir. Deney aletine konulan su ve agrega numunesi 15 dakika süre ile 600 devirde karıştırılır. Karıştırma işleminden sonra 5 ml metilen mavisi boyası eklenerek 4 dakika süre ile 400 devirde tekrar karıştırma işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 38. Metilen mavisi boyası ekleme ve karıştırma işlemi

Şekil 38'in devamı



Metilen mavisi eklenerek karıştırma işlemi tamamlanan deney numunesinden belli bir miktar alınarak süzgeç kağıdına leke oluşturacak biçimde bırakılır. Ardından karışım numunesi içerisine yine 5 ml metilen mavisi boyası eklenerek aynı devir ve sürede karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Yeni karışım içerisinden tekrar numune alınarak damlatma işlemiyle süzgeç kağıdında leke oluşumu sağlanır. Metilen mavisi ekleme, karıştırma ve leke oluşturma işlemine oluşacak lekenin 1mm genişlikte, açık mavi renkte ve süzgeç kağıdı üzerinde kaybolmadan 5 dakika süreyle durabilecek özellikte olduğu ana kadar devam edilir. Deney sonucu ise aşağıdaki formül yardımıyla incelenmektedir (Orhan, 2012).

$$M_{\text{metilen}} = \frac{M_k \cdot M_g}{M_m} * 10 \quad (2.6)$$

Formülde;

Mm: Deney sonucunda oluşan karışımın toplam ağırlığı (gram)

Mg: Karışıma eklenen metilen mavisi boyası toplam ağırlığı (gram)

Mk: Karışıma eklenen 5ml metilen mavisi boyası toplam adedi.

Agrega üzerinde bulunan kil metilen mavisi boyasını çektiği için kullanılan agregaya ne kadar killiyse deney için kullanılacak metilen mavisi boyası da bir o kadar fazla olacaktır. Kısacası metilen mavisinin kullanım miktarı agregaya malzemesinin kil açısından kirlilik derecesini tayin etmektedir (Selman, 2015).

2.3. Bitüm Deneyleri

Kaplama karışımını oluşturulan ana elemanlardan bir tanesi de bitümlü bağlayıcılardır. Bitümlü bağlayıcının cinsi ve özellikleri oluşturulacak kaplamanın stabilite, mukavemet gibi birçok özelliğini etkilemektedir. Bu nedenle bitümlü bağlayıcının özelliklerinin belirlenmesi ve şartnamede istenilen koşulları sağlayabilmesi önemlidir. Bitümlü bağlayıcının özelliklerinin belirlemek amacıyla bağlayıcıya birtakım deneyler uygulanmaktadır.

2.3.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Belirli bir hacimdeki bitümlü bağlayıcı ağırlığının, aynı hacimdeki suyun ağırlı cinsinden ifade edilmesi bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığı olarak ifade edilir. Karışım içerisinde kullanılan bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığı, karışımın mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen bir unsurdur. Bu nedenle bitümün özgül ağırlığının tayin edilmesi oldukça önemlidir.

Alt yüzeyi iç bükey olan ve hava çıkışı için kılcal bir çıkış borusuyla cam kapağı bulunan Piknometre, bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığının hesaplanması için kullanılır. Piknometre ile özgül ağırlığın bulunabilmesi için; öncelikle Piknometre aleti cam kapakla birlikte tartılır(M1). İkinci adım olarak Piknometre içerisine su konularak tekrar tartılır (M2). İçerisindeki su tamamen boşaltılan Piknometre aleti 110°C sıcaklıktaki etüv içerisine konulur ve tamamen kuru hale gelen alet içerisine hacminin yaklaşık %67'si kadar eriyik bitümlü bağlayıcı konularak tekrar tartılır(M3). Son adım olarak ise içerisinde eriyik bağlayıcı bulunan Piknometrenin %33'lük kısmına su konularak 25°C sıcaklıkta 40 dakika su banyosu yaptırılarak tartılır(M4). Elde edilen tartı ağırlıkları aşağıdaki formülde kullanılarak bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığı hesaplanır (T.S.E, 1972).

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{(M2 - M1) - (M4 - M3)}{M3 - M1}$$

M1 = Cam kapağıyla birlikte boş Piknometre ağırlığı

M2 = %100 su ile dolu Piknometre ağırlığı

M3 = %65 bitümlü bağlayıcı ile dolu Piknometre ağırlığı

M4 = %65 bitümlü bağlayıcı- %35 su ile dolu Piknometre ağırlığı

Deney 25°C sıcaklıkta ve hassasiyeti 1/10 gram olan terazi kullanılarak yapılır. Deneyin yapıldığı sıcaklık, bağlayıcı sıcaklığı ve suyun sıcaklığının farklı olduğu durumlar deney sonucunda ayrıca belirtilmelidir (T.S.E, 1972).

2.3.2. Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcının kıvamını belirlemek için uygulanan bir deneydir. 100 gram yük altında 5 saniye süre ile standart bir iğnenin bitüme batırılması işlemidir. Bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değeri ile kıvamı arasında ters orantı bulunmaktadır. Ayrıca bitümlü bağlayıcının sertliği ile kıvamı arasında ise doğru orantı bulunmaktadır (T.S.E, 1998).



Şekil 39. Penetrasyon cihazı

2.3.3. Yumuşama Noktası Deneyi

Akmaya karşı direnç bitümlü bağlayıcılardan beklenen önemli özelliklerinden birisidir. Bitümün akmaya başladığı sıcaklığın belirlenebilmesi için ise yumuşama noktası deneyi yapılmaktadır. Deney, bilye-yüzük metodu kullanılarak gerçekleştirilir. Bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasının yüksek sıcaklıklarda olması, oluşturulacak bitümlü karışım sıcaklığının yüksek olmasına neden olmaktadır (Yıldız, 2003).

Deneyin yapılışında TS EN 1427-2008’de belirtilen kriterler esas alınır. Ayrıca, bitüm tipine göre yumuşama noktası sıcaklıkları farklılık göstermektedir. Penetrasyon değerleri aynı olan iki farklı tip bitüm, sıcaklık artışı karşısında benzer davranışı sergilememektedir.



Şekil 40. Yumuşama noktası deney cihazı

5 °C sıcaklıkta saf su cam deney kabının içerisine 8,25 cm yükseklikte olacak miktarda doldurulur. Daha sonra içerisinde numune bulunan halka kap tabanından 2,52 cm yükseklikte olacak şekilde içeriye sarkıtılır. Deney kabının içerisine daha sonra bilye ve halka ile aynı seviyede ve halkaya 0,5 cm uzaklıkta olacak şekilde termometreler konulur. Kabın dibinde bulunan bilye alınarak halkanın ortasına konulur. Akabinde deney düzeneği dakikada 5 °C artacak şekilde ısıtılır. Halka içerisindeki bitümün kabın tabanına değdiği sıcaklığa kadar ısıtılma işlemi devam eder. Kap tabanına bitümün değdiği anda termometre değeri okunarak bitümün yumuşama noktası sıcaklık değeri tespit edilir (Yıldız, 2003).

2.3.4. Düktilite Deneyi

Bitümlü bağlayıcının kopmadan uzama yeteneğini belirlemek amacıyla düktilite deneyi yapılmaktadır. Asfaltın düktilite değerinin yüksek olması bağlayıcılık özelliğini olumlu yönde etkilemektedir.

Deneyin yapılışında TS 119 ‘da belirtilen kriterler esas alınır. 280 µm elekten süzülen ısıtılmış asfalt betonu vazelinlenmiş düktilite kabına 3 numune olarak yerleştirilir. 45 dakika

oda sıcaklığında bekletilen numuneler daha sonra yarım saat süre ile 250°C'lik su banyosunda bekletilir. Numunelerin fazlalık kısımları kesilerek düzeltildikten sonra tekrar 250°C'lik su banyosunda 90 dakika bekletilir. Akabinde su banyosundan çıkartılan numuneler düktilite deney cihazında dakikada 5 cm'lik bir hızla çekilir. Deney numunelerin koptuğu ana kadar devam eder ve koptukları anda yapmış oldukları uzama miktarları cm cinsinden ölçülür. Numunelerin uzama miktarının aritmetik ortalaması alınarak bitümlü bağlayıcının düktile değeri saptanır (T.S.E, 1964).



Şekil 41. Düktilite deney cihazı

2.4. Marshall Deneyi

Tarihte ilk kez mühendis Bruce Marshall tarafından formüle edilerek kullanılmaya başlanan Marshall metodu, bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm içeriğiyle dizaynı için kullanılmaktadır. Amerikan istihkam sınıfı (U.S. Corps of Engineers) tarafından yapılan büyük çaplı araştırma ve çalışmalar sonucunda ise bitümlü sıcak karışımlar için dizayn şartları geliştirilmiştir. Amerikan deney ve materyal topluluğu (American Society for

Testing and Materials) tarafından bu çalışmalar daha da genişleterek ASTM D 1559 Marshall test metodunu oluşturulmuştur. Standartlaştırılan ABD menşeli bu metodun Türk muadili ise TS 3720'dir (Yıldız, 2003).

İçerisinde; vizkozite ya da penetrasyon ile sınıflandırılmış bitüm ve max dane boyutu 25 mm olan agrega kullanılarak oluşturulan bitümlü sıcak karışımların laboratuvar dizaynı için kullanılan Marshall dizayn metodunun aşamaları aşağıda verilmiştir (T.S.E, 1983).

- 1) Karışım içerisinde kullanılacak agreganın gradasyonu belirlenerek kaba, orta ve ince agrega olarak gruplara ayrılır.
- 2) Oluşturulan agrega karışım gradasyonunun şartname limitlerine uygunluğu kontrol edilir.
- 3) Agrega özgül ağırlıkları hesaplanır.
- 4) Değişen bitüm yüzdelere göre Marshall briketleri hazırlanır.
- 5) Hazırlanan briketlerin stabilite, yoğunluk, akma, VFA (asfaltla dolu boşluk), VMA (agregalar arası boşluk) değerleri hesaplanır ve farklı bitüm yüzdesindeki briketlerin her biri için grafikler oluşturulur.
- 6) Karışım için optimum yüzdesi tespit edilerek, optimum bitüm %'si değerinde stabilite, yoğunluk, akma, VFA, VMA değerlerinin şartname değerlerine uygunluğu kontrol edilir.

Oluşturulan briketler için uygulanan Karayolları Teknik Şartnamesi BSK dizayn kriterleri Tablo 9 'da verilmiştir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006) (Oruç, 1997).

Tablo 9. BSK dizayn kriterleri

Özellikler	Şartname Limitleri
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75
Agrega boyutu (mm)	25/0
Hava Boşlukları, (%)	4-6
Agregalar arası boşluk (VMA), (%), min.	13-15
Asfaltla Dolu Boşluk, (%)	60-75
Marshall stabilitesi min kg	750
Filler/ bitüm oranı maks.	1,4
Bitüm, min (%)	3,5-6,5



Şekil 42. Asfalt Mikseri



Şekil 43. Marshall kompaktörü



Şekil 44. Marshall briket kalıbı



Şekil 45. Marshall numuneleri

2.5. Dolaylı (Endirek) Çekme Deneyi

Karışımın; analizini, değerlendirmesini, rölatif kalitesini ve tasarımını yapabilmek için kullanılacak önemli kriterlerden bir tanesi de esneklik modülü değeridir. Dolaylı çekme deneyi sayesinde karışım üzerinde sıcaklık, yükleme süresi ve hızı gibi parametrelerin etkisi irdelenmektedir. Deney esnasında numuneler herhangi bir tahribata maruz kalmadığı için nem ve sıcaklık gibi koşullar değiştirilerek farklı koşullar altında deney tekrarlanabilmektedir (Majidzadeh & Herin, 1965).

Deneyde ilk olarak; kullanılacak numunenin istenilen sıcaklığa gelmesi için sıcaklık kontrollü hücrede 1 gün süreyle bekletilir. İstenilen sıcaklığa ulaşıp ulaşılamadığı ise içerisine termometre yerleştirilen kukla numune yardımıyla kontrol edilir. İstenilen sıcaklık değerine ulaşan numuneler daha sonra deney aletine konularak ön yüklemesi gerçekleştirilir.

Deney esnasında uygulanacak yük numunenin indirek çekme dayanım değerinin % 50- % 10'u aralığında olmalıdır. Belirli periyotta beş kez yarı haversin (sinüzoidal) olarak yapılan yükleme sonucunda numunede meydana gelen düşey ve yatay deformasyonlar ölçülür. Ayrıca deney için yükleme tekrüründe 1, 0.5 ve 0.33 Hz'lik frekanslar yaygın olarak uygulanmaktadır (Tian, Zaman, & Joakim, 1998).

0° ve 90° konumlarında olmak üzere esneklik modülü değeri için bir numuneye iki kez deney uygulanır. Yapılan iki deney sonucunda elde edilen esneklik modülü değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak numunenin esneklik modülü değeri hesaplanır (Tian, Zaman, & Joakim, 1998).

Deneyin aynı numune üzerinde birden fazla yapılabilmesi; tahribatsız olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak numunede oluşacak deformasyonları en aza indirmek için ilk önce en düşük yük, en düşük yükleme süresi ve en düşük sıcaklık koşullarından başlanılarak yapılmalıdır (Tian, Zaman, & Joakim, 1998).



Şekil 46. Dolaylı (Endirek) Çekme Deney Cihazı

Numune yüksekliği, poisson oranı ve uygulanan yüke bağlı olarak esneklik modülü değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$S_m = \frac{L * (v + 0,27)}{D * t}$$

Tablo 10. Esneklik Modülü Formülünde Kullanılan Kısaltmalar

<i>S_m</i>	Endirek çekme esneklik modülü değeri (Mpa)
<i>L</i>	Uygulanan maksimum düşey yük değeri (N)
<i>v</i>	Poisson oranı (0.35)
<i>D</i>	Yatay deformasyon değeri
<i>t</i>	Numune kalınlığı

3. BULGULAR

3.1. Karışım oranları, Karışım gradasyonu ve tolerans limitleri

Karışım içerisinde penetrasyon değeri 57 olan bitüm ve Mescitli Kalker Taşocağından elde edilen (19-38 mm), (7-19), (0-7 mm) ve filler dane boyutu grubu agregalar kullanılmıştır. Karışımında kullanılacak agreganın; elek analizi sonuçları, dizayn gradasyonu, tolerans limitleri ve şartname kriterleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 11. Agregada Elek Analizi Sonuçları ve Şartname Kriterleri

Elek Açıklığı		26%	30%	44%	Dizayn Karışım % Geçen	Tolerans Sınırları			KTŞ Kısım-407		
mm	inch	37,5-19	19-7	7-0		ALT		ÜST	BSK Tip-A		
37.5	1" 1/2"	100	100	100	100	100	-	100	100	-	100
25.4	1"	55,6	100	100	88,5	83	-	93	72	-	100
19.1	3/4"	16,9	100	100	78,4	73	-	83	60	-	90
12.5	1/2"	0,7	70,8	100	65,4	60,4	-	70,4	50		78
9.5	3/8"	0	41,5	100	56,5	51,6	-	61,5	43	-	70
4.75	No.4	0	7,6	93,4	43,4	38,4	-	48,4	30	-	55
2.00	No.10	0	1,9	57	25,7	22,7	-	28,7	18	-	42
0.425	No.40	0	1,1	32	14,4	11,4	-	17,4	6	-	21
0.180	No.80	0	0	19,4	8,5	5,5		11,5	2		13
0.075	No.200	0	0	11,2	4,9	2,9	-	6,9	0	-	7

3.2. Agregada ve Bitüm Deney Sonuçları

Karışım içerisinde kullanılan kalker kökenli agregada ve bitümlü bağlayıcıya uygulanan deneyler ve sonuçları tablo olarak aşağıda verilmiştir.

Tablo 12. Agrega Deney Sonuçları

Ocak Adı			Mescitli Taşocağı		
Kayanın Cinsi			Kalker		
		Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler	Deney Standardı
Hacim Özgöl Ağırlığı		2,703	2,623		TS EN 1097-6
Zahiri Özgöl Ağırlığı		2,728	2,711	2,737	
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu %		0,33			
Karışımın Efektif Özgöl Ağırlığı (deneyle)				2.696	ASTM D-2041
Karışımın Efektif Özgöl Ağırlığı (hesapla)				2.698	
Cilalanma Değeri				65,7	
Mg2SO4 Donma Kaybı, %				1,83	ASTM C-88
Los Angeles Aşınma Kaybı, %				17,8	AASHTO T-96
Yassılık İndeksi, %				12,4	BS 812
Soyulma Mukavemeti, %				(90-95)	KTŞ Kısım 403 Ek-A
Metilen Mavisi %				1.2	TS EN 933-9

Tablo 13. Bitüm Deney Sonuçları

Bitüm Özgöl Ağırlığı	1.035	TS1087
Bitüm Penetrasyonu, dmm	57	TS EN 1426
Yumuşama Noktası, Oc	50	TS EN 1427
Düktilite, cm	107	TS 119
Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı	Rafinerisi	Tüpraş
	Tipi	Bitüm
	Sınıfı	B 50/70

3.3. Karışım Tasarımına Ait Deney Sonuçları

Karışıma uygulanan Marshall deneyleri sonucunda optimum bitüm miktarı kuru agregaya göre ağırlıkça %4,15 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca optimum bitüm miktarındaki diğer kriterler ve şartname sınırları tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 14. BSK Marshall Deneyi Sonuçları

Bitüm Penetrasyonu										Kaba Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, G _k										G _{eff} deneyi									
Bitüm Özgü Ağırlığı, G _b										Kaba Agreganın Zahirî Özgü Ağırlığı, G _k										G _{eff} hesap									
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu P _{ba}										İnce Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, G _i										Karışım. Mikar									
Agreganın Etketif Özg. Ağırlığı, G _{ef}										İnce Agreganın Zahirî Özgü Ağırlığı, G _i										Darbe Sayısı									
Agreganın Hacim Özg. Ağırlığı, G _{ab}										Fillerin Zahirî Özgü Ağırlığı, G _i										2,737									
Agreganın Zahirî Özg. Ağırlığı, G _{sa}										2,780										2,703									
2,696										2,728										2,698									
1,035										2,623										1,150									
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									
57										2,732																			
1,035										2,780																			
57										2,732																			
1,035										2,780																			
-0,50										2,711										75									

V=B-C

Dp=AV Dn=(100+Ws)/(100Gs+Wa/Gs)

Vn=(Dn-Dp)*100/Dt

Gsb=100/(%G_{sa}+%/G_{sa}+%/G_{sa})Gsa=100/(%G_{sa}+%/G_{sa}+%/G_{sa})

VMA=100-(Dp*(100+Ws)/(100Gs+Wa/Gs))

Vn=(VMA-Vh)*100/VMA

Pbm=100*Gs/(Gs+Gsb)/(Gs+Gsb)

1 1/2" 100,0

1" 88,5

3/4" 78,4

1/2" 65,4

3/8" 56,6

No.4 43,4

No.10 25,7

No.40 14,4

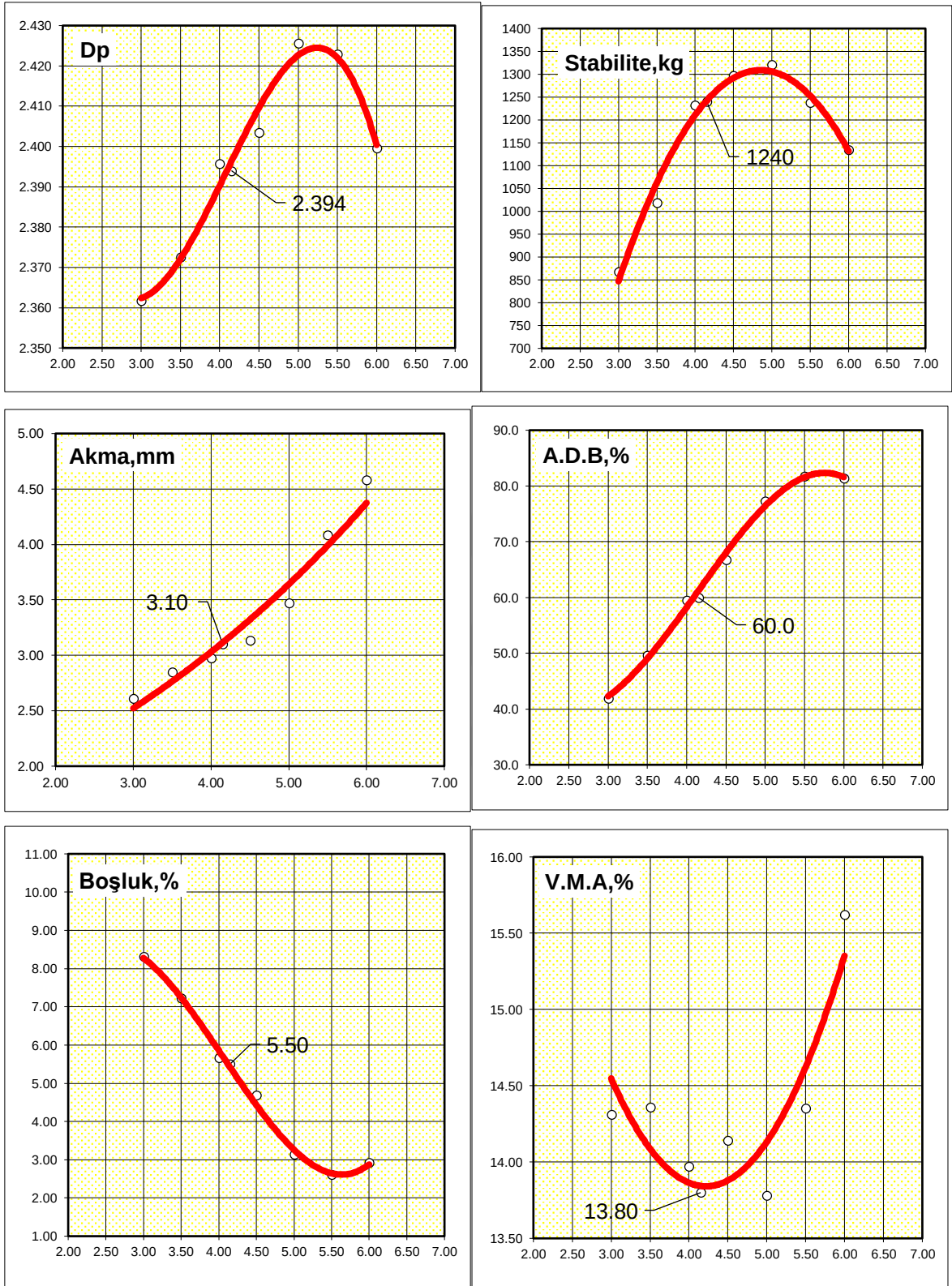
No.80 8,5

No.200 4,9

Kaba %si= 56,6

İnce %si= 36,4

Filler %si= 4,9



Şekil 47. BSK Marshall Deneyi Sonuçları

Tablo 15. BSK Marshall Dizayn Sonuçları ve Şartname Sınırları

	Dizayn	Şartname
Optimum Bitüm (Ağırlıkça, 100'e)	4,15	3,5 ~ 6,5
Pratik Özgöl Ağırlık	2,394	
Stabilite, kg	1240	750
Boşluk, %	5,5	4 ~ 6
Asfaltla Dolu Boşluk (VFA), %	60	60 ~ 75
Agregalar Arası Boşluk (VMA), %	13,8	13 ~ 15
Akma, mm	3,1	2 ~ 4

3.4. Karışım Filleri Olarak Üleksit Mineralinin Kullanılması

Üleksit mineralini karışım içerisinde kullanabilmek için ilk önce Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma laboratuvarındaki halkalı öğütücü kullanılmıştır. Halkalı öğütücü yardımıyla filler boyutunda öğütülen üleksit minerali daha sonra 0,76 mm (200 Nolu) elekten geçirilerek karışım içerisinde kullanıma uygun hale getirilmiştir.

Marshall deneyleriyle oluşturulan karışım tasarımında; optimum filler oranı %4,9 olarak bulunmuştur. Bu filler oranı sabit kalmak koşuluyla üleksit mineralinden elde edilen filler malzemesi karışım içerisine lineer değişim gösterecek şekilde farklı oranlarda kullanılmıştır. Üleksit fillerin karışım performansına etkilerini irdeleyebilmek için %4,9 kalker taş tozu- %0 üleksit tozu, %3,4 kalker taş tozu- %1,5 üleksit tozu, %1,9 kalker taş tozu- %3 üleksit tozu ve %0 kalker taş tozu- %4,9 üleksit tozu karışım içerisinde kullanılmıştır. Her farklı üleksit filler oranı için 6 adet briket olacak şekilde toplamda 24 briket hazırlanmıştır. Hazırlanan numune briketler dolaylı çekme, akma ve stabilite deneylerine tabi tutularak karışım performansındaki değişimler saptanmıştır.



Şekil 48. Karışım malzemeleri



Şekil 49. Etüve karışımların yerleştirilmesi

3.5. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Sonuçları

Deney briketleri 1 saat süreyle 60°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletildikten sonra Marshall stabilite cihazına yerleştirildi. Deney; briketlerin kırılmaya başladığı ana kadar yükleme yapılarak gerçekleştirildi. Deney sonucunda elde edilen Marshall akma ve stabilite değerleri aşağıda tablo olarak verilmiştir.



Şekil 50. Su banyosu



Şekil 51. Farklı üleksit oranlarıyla hazırlanan briketler



Şekil 52. Numunelerin su banyosuna bırakılması



Şekil 53. Marshall stabilite-akma cihazı

Tablo 16. Marshall Briketlerinin Stabilite ve Akma değerleri

Briket No	Filler Oranı (%)	Yükseklikler,mm				Akma	Stabilite	Marshall Oranı
		1	2	3	ortlm	mm	kg	Stabilite / Akma
1	%0 Üleksit %4,9 Kalker	64,4	64,3	64,9	64,5	3,12	1246	399
2		65,3	64,9	64,8	65	3,08	1233	400
3		65,1	64,1	64,2	64,5	3,11	1242	399
Ortalama						3,10	1240	400
4	%1,5 Üleksit %3,4 Kalker	64,3	65,2	65,2	64,9	3,00	1409	470
5		64,9	65,3	65,2	65,1	4,02	1487	369
6		65,0	64,7	65	64,9	3,27	1717	525
Ortalama						3,43	1537	448
7	%3 Üleksit %1,9 Kalker	65,2	65,2	65,4	65,3	3,58	1460	407
8		65	65,1	65,5	65,2	3,16	1531	484
9		65,7	64,2	64,5	64,8	3,79	1541	406
Ortalama						3,51	1511	430
10	%4,9 Üleksit %0 Kalker	65,0	65,2	65,5	65,2	3,43	1388	404
11		65,2	65,0	65,4	65,2	3,36	1330	396
12		65,0	64,7	65,5	65,1	3,07	1277	416
Ortalama						3,27	1332	407

3.6. Dolaylı (Endirek) Çekme Deneyi Sonuçları

Dolaylı (endirek) çekme-rijitlik modülü deneyi Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney kapsamında numune briketler üzerinde poisson oranı sabit (0.35) olmak şartıyla farklı yükleme hızı (80 ms, 60 ms, 40 ms) ve farklı yükleme periyotları(3000 ms, 2000 ms, 1000 ms) uygulanmıştır. 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilen deneylerde %0, %1,5, %3, %4,9 üleksit filler oranlarını temsil eden 4 grupta toplam 12 briket numune (her farklı üleksit oranı için 3 adet) üzerinde gerçekleştirilmiştir.

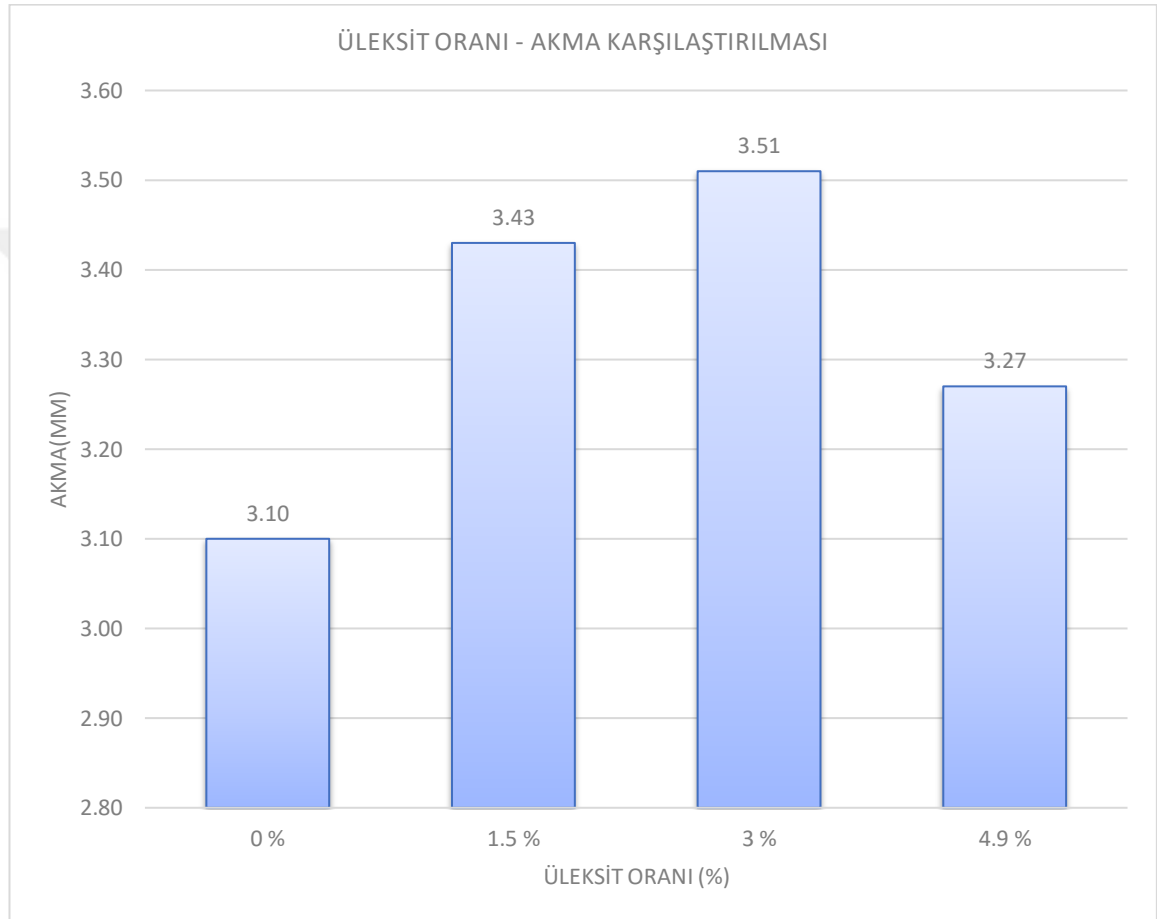
Tablo 17. Dolaylı Çekme Deney Sonuçları

Briket No	Filler Oramı (%)	Briket Yüksekliği	Yükleme periyodu	Yükleme Hızı	Esneklik Modülü	Esneklik Modülü	Esneklik Modülü	Esneklik Modülü
		ortalama (mm)	ms	ms	(0°)	(90°)	(ortalama)	(ortalama)
					Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
1	%0 Üleksit %4,9 Kalker	65,2	3000	40	3832	3517	3675	3168
			3000	60	3166	3027	3097	
			3000	80	2773	2691	2732	
2	%0 Üleksit %4,9 Kalker	64,8	2000	40	3192	2977	3085	2584
			2000	60	2597	2410	2504	
			2000	80	2214	2114	2164	
3	%0 Üleksit %4,9 Kalker	65,1	1000	40	3181	2105	2643	2287
			1000	60	2681	1711	2196	
			1000	80	2504	1542	2023	
Ortalama								2680
4	%1,5 Üleksit %3,4 Kalker	65,1	3000	40	4847	4678	4763	3761
			3000	60	3626	3540	3583	
			3000	80	2996	2881	2939	
5	%1,5 Üleksit %3,4 Kalker	65,0	2000	40	3787	3582	3685	2956
			2000	60	2817	2714	2766	
			2000	80	2491	2347	2419	
6	%1,5 Üleksit %3,4 Kalker	65,4	1000	40	3523	3286	3405	2895
			1000	60	2771	2631	2701	
			1000	80	2641	2519	2580	
Ortalama								3204
7	%3 Üleksit %1,9 Kalker	64,9	3000	40	5218	5107	5163	4013
			3000	60	3892	3676	3784	
			3000	80	3179	3008	3094	
8	%3 Üleksit %1,9 Kalker	64,6	2000	40	4171	4015	4093	3333
			2000	60	3168	3079	3124	
			2000	80	2874	2688	2781	
9	%3 Üleksit %1,9 Kalker	65,1	1000	40	3771	3576	3674	3270
			1000	60	3225	3104	3165	
			1000	80	3082	2863	2973	
Ortalama								3539
10	%4,9 Üleksit %0 Kalker	65,3	3000	40	4476	4178	4327	3478
			3000	60	3471	3311	3391	
			3000	80	2802	2631	2717	
11	%4,9 Üleksit %0 Kalker	65,0	2000	40	3497	3342	3420	2787
			2000	60	2718	2587	2653	
			2000	80	2316	2261	2289	
12	%4,9 Üleksit %0 Kalker	64,8	1000	40	3302	3145	3224	2691
			1000	60	2541	2461	2501	
			1000	80	2384	2311	2348	
Ortalama								2985

3.7. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

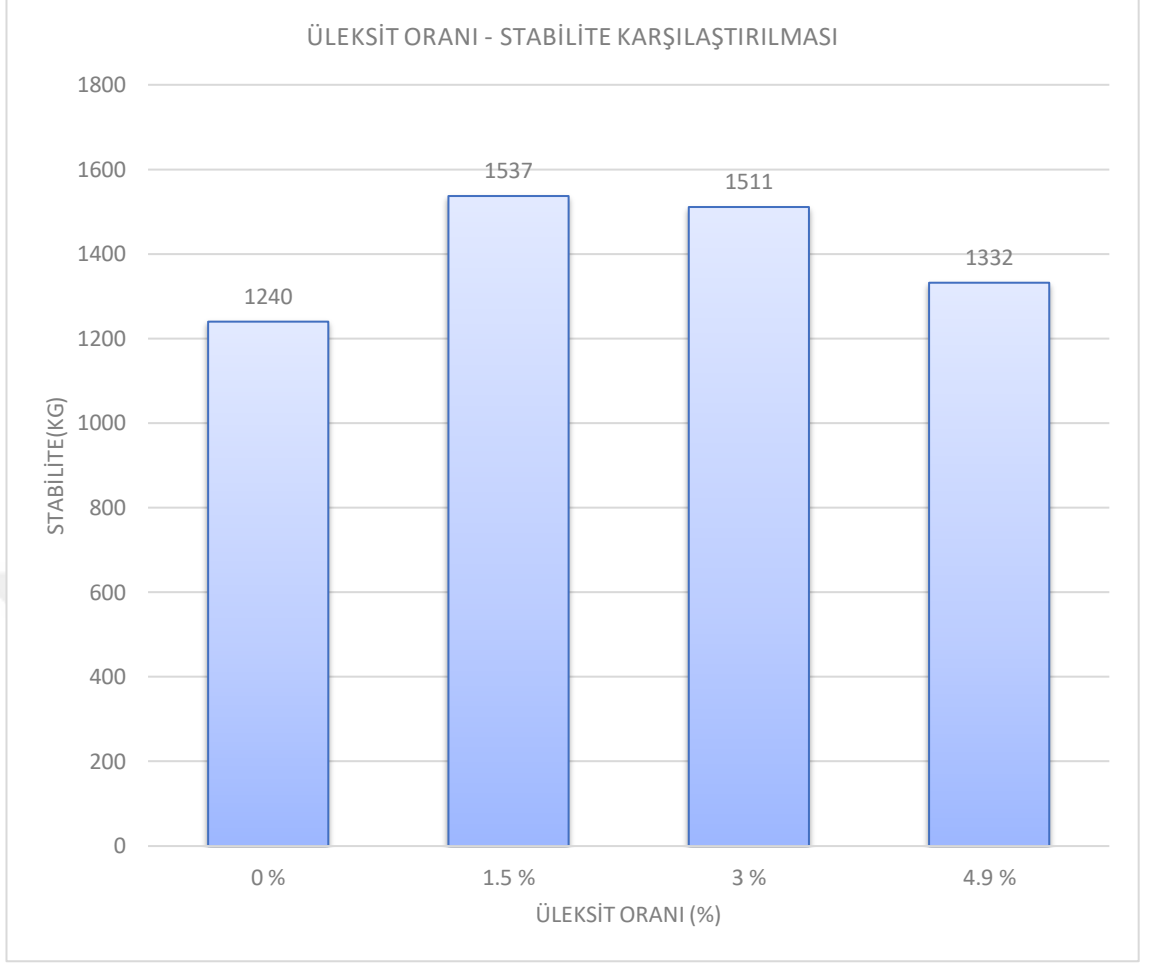
3.7.1. Stabilité ve Akma Değerlerinin Karşılaştırılması

Tablo 16'dan elde edilen değerler doğrultusunda aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 54. Üleksit oranı (%) – Akma (mm) grafiği

Karışım numuneleri içerisinde üleksit %0, %1.5, %3 ve %4.9 oranlarında kullanılmıştır. Her bir farklı oran için 3' er numune hazırlanmış ve bu numunelerin akma değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak Şekil 54'te verilen grafik oluşturulmuştur. Her üleksit oranı için elde edilen akma değeri KTŞ'de belirtilen akma değerleri arasında kalmaktadır. Şekil 54'te görüleceği üzere en düşük akma değeri %0 üleksit oranında, en yüksek akma değeri ise %3 üleksit oranında elde edilmiştir.



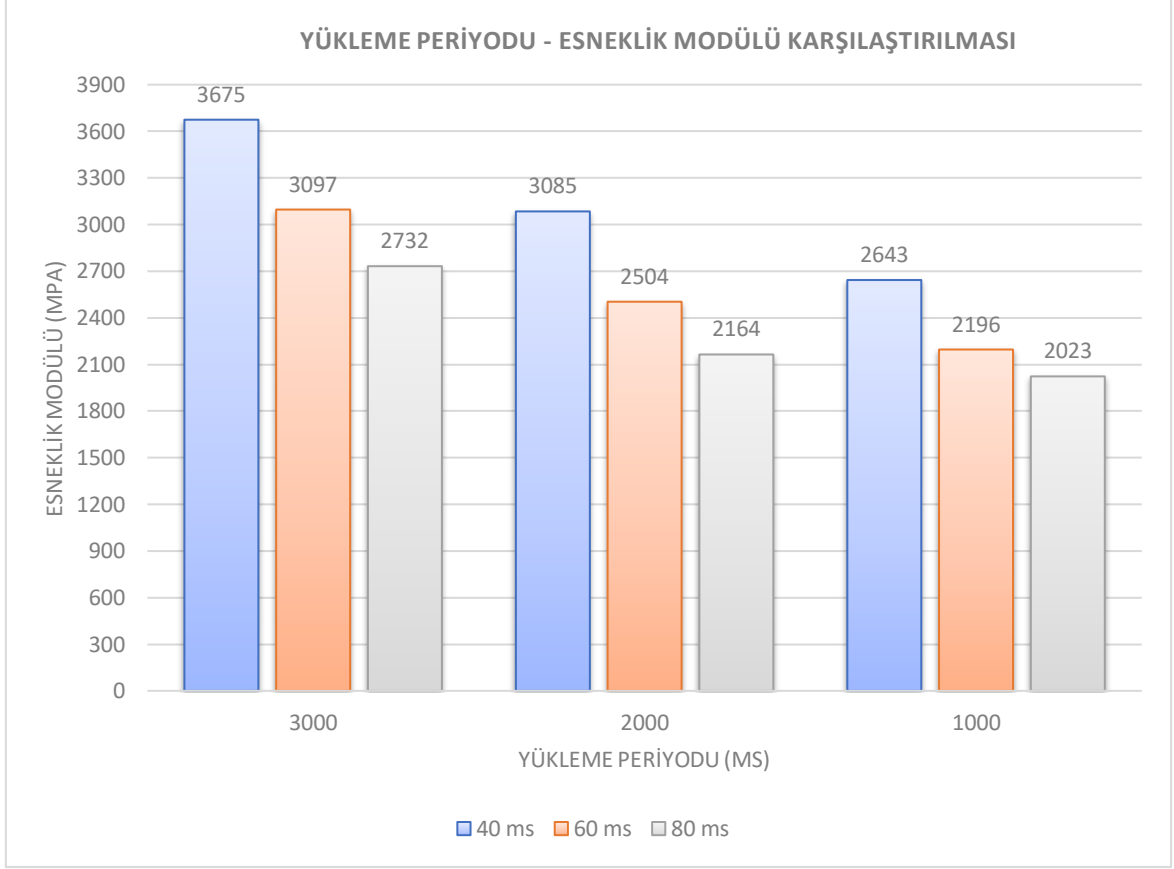
Şekil 55. Üleksit oranı (%) – Stabilite (kg) grafiği

Marshall deneyleri sonucunda her farklı üleksit oranı için elde edilen stabilite değerleri Şekil 55’de grafik olarak verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere karışımın en yüksek stabilite değeri %1.5 üleksit oranında, en düşük stabilite değeri ise %0 üleksit oranında gözlemlenmiştir.

3.7.2. Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Farklı üleksit oranı içeren bitümlü sıcak karışımların farklı trafik hızı ve yoğunluklarında gösterdiği esneklik modülü performansını gözlemleyebilmek amacıyla deneyler farklı yükleme aralığı ve hızlarında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, Üleksitin esneklik modülü üzerindeki etkisini daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmek üzere üç farklı yükleme aralığında ve her bir yüklem aralığında ise üç farklı yükleme hızında

deney yapmak suretiyle deney programı genişletilmiştir. Dolaylı Çekme Deneyinden elde edilen ve Tablo 17’de verilen deney sonuçları grafik haline getirilerek Şekil 56-61’de verilmiştir.

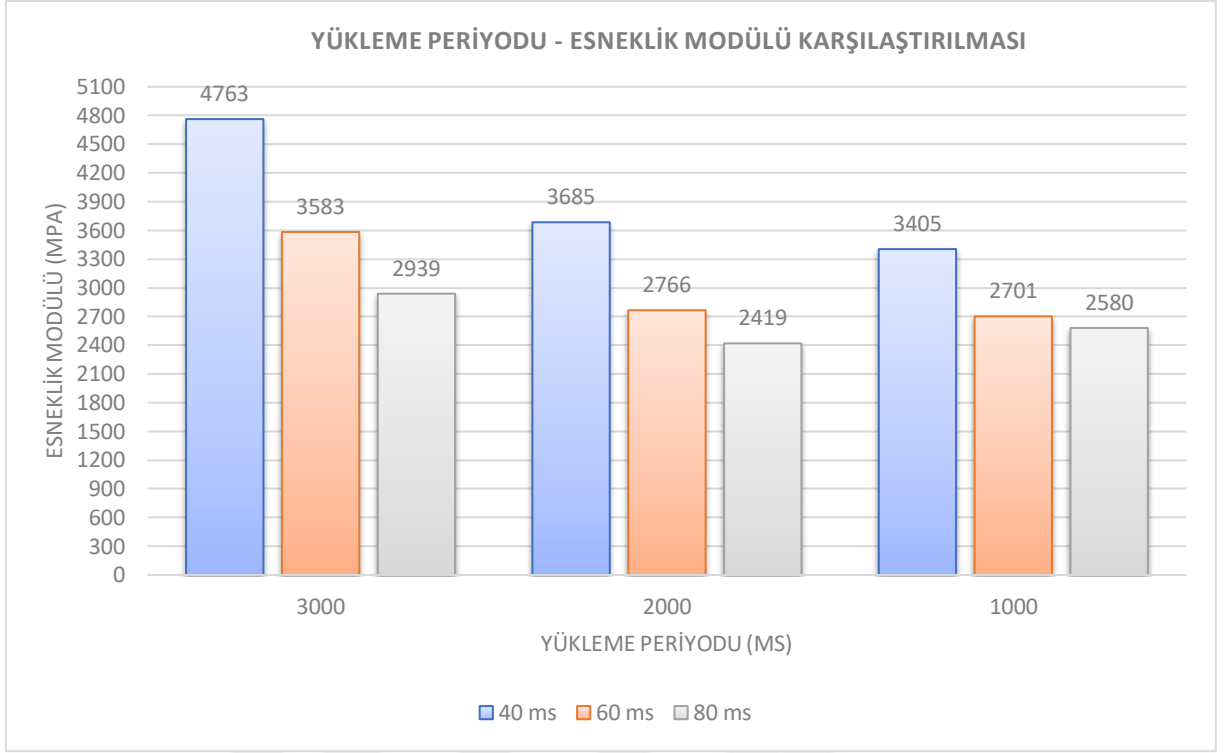


Şekil 56. Yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği (%0 üleksit fillerli karışım)

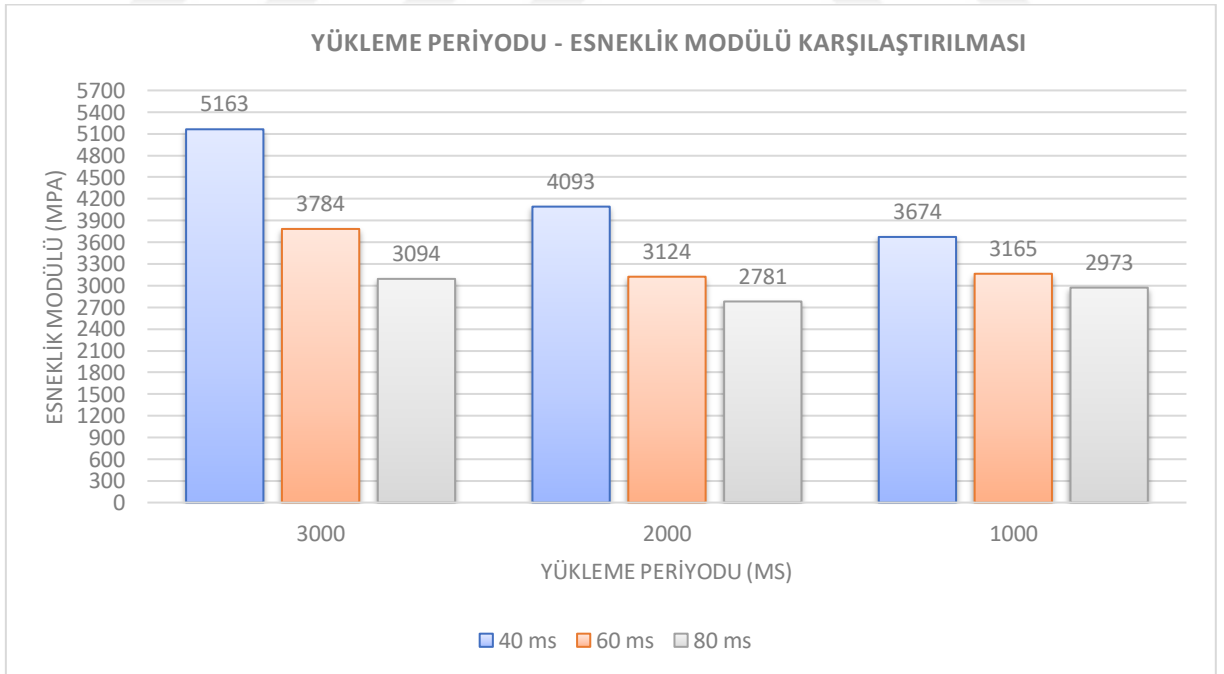
Şekil 56’te gri sütunlar 80 ms yükleme hızını, turuncu sütunlar 60 ms yükleme hızını ve mavi sütunlar ise 40 ms yükleme hızını temsil etmektedir.

%0 üleksit filler içeren bitümlü sıcak karışımın yükleme periyodu arttıkça esneklik modülü değerinin arttığı gözlemlenmektedir.

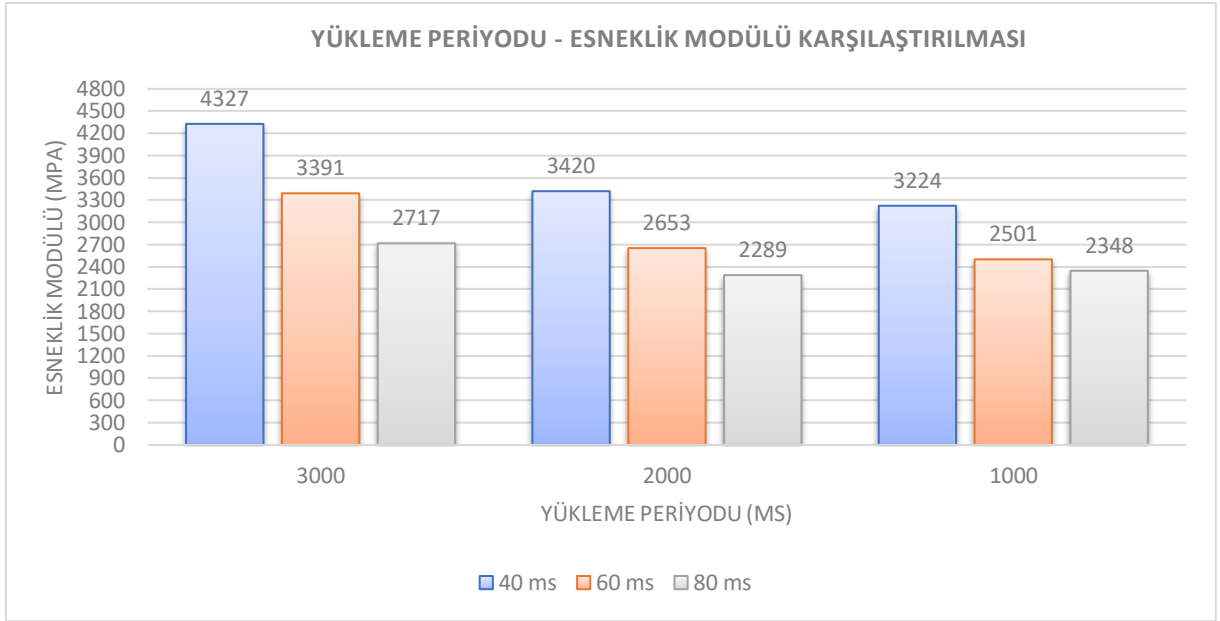
Karışım trafik hızının düşük olduğu durumlarda esnek davranış sergilerken, trafik hızının artmasıyla daha rijit bir davranış sergilemektedir.



Şekil 57. Yüklemeye periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği (%1,5 üleksit fillerli karışım)

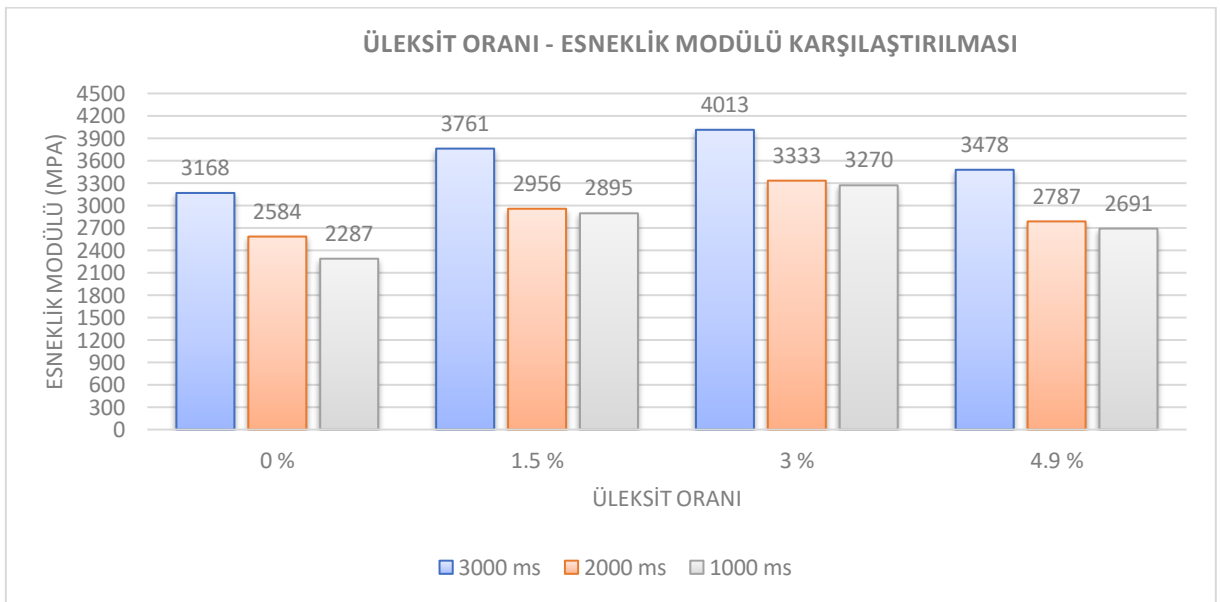


Şekil 58. Yüklemeye periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği (%3 üleksit fillerli karışım)

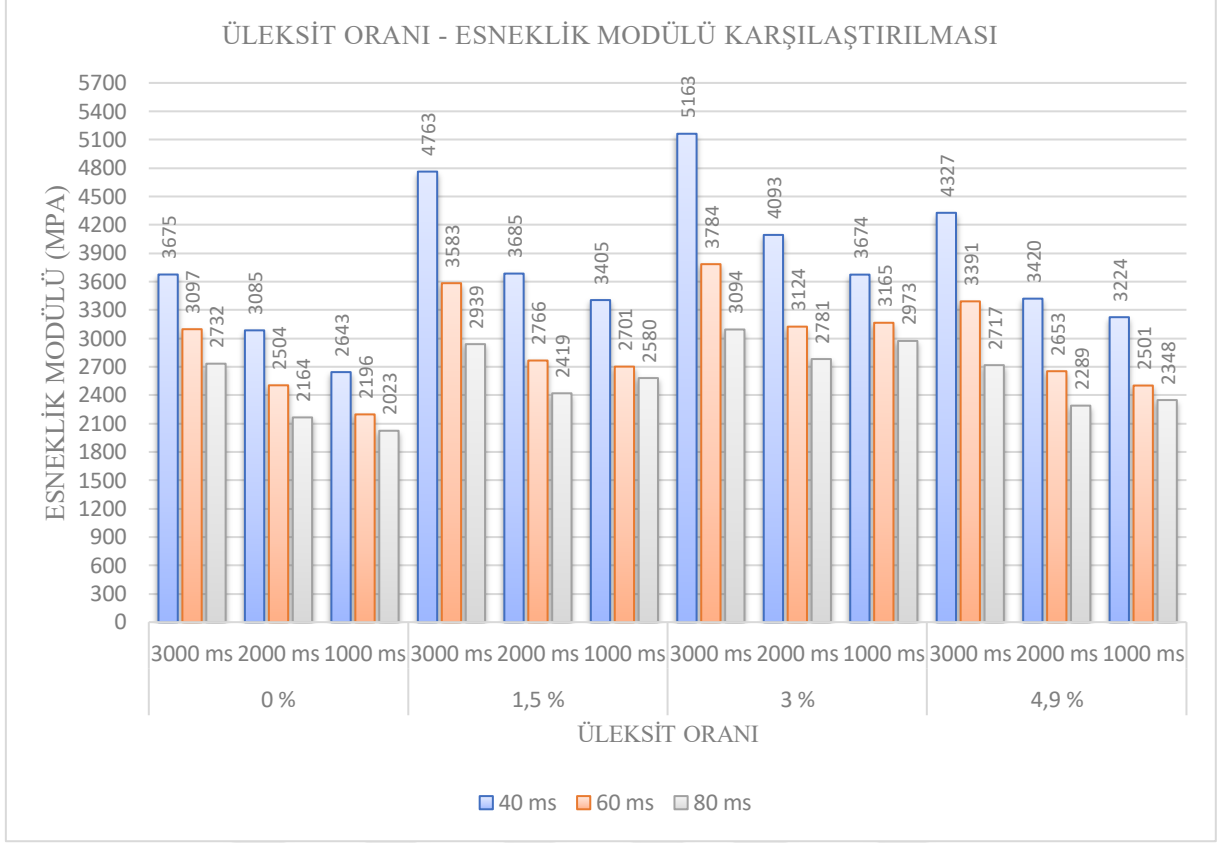


Şekil 59. Yüklemeye periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği (%4,9 üleksit fillerli karışım)

Şekil 56,57,58 ve 59 'daki grafikler için genel bir değerlendirme yapılırsa; Farklı üleksit oranı içeren bitümlü sıcak karışımlar trafik hızının arttığı durumlarda esneklik modülü değeri artarken trafik yoğunluğunun arttığı durumlarda ise esneklik modülü değerinde azalma görülmüştür.



Şekil 60. Üleksit oranı - Esneklik modülü (Mpa) grafiği (Farklı yüklemeye periyotları için)



Şekil 61. Üleksit oranı – Esneklik modülü (Mpa) grafiği (Farklı yükleme periyotları ve farklı yükleme hızları için)

Bitümlü sıcak karışım içerisindeki üleksit filler oranı ile esneklik modülü değeri arasındaki değişim üzerinde bir değerlendirme yapıldığında; grafik verilerinden de anlaşılaacağı üzere esneklik modülü değerinin %3 üleksit oranına kadar artış gösterdiği %4,9 üleksit oranında ise bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

Esnek üstyapıda oluşan basınç ve çekme gerilmeleri asfalt kaplamanın esneklik modülü ile yakından ilişkilidir. Kaplama tabakası yaz mevsiminde ortam sıcaklığının artmasıyla daha esnek bir yapıya bürünmektedir. Bu durum ise kaplamanın yoğun trafik yükleri altında direncini yitirerek üstyapıda bozulmaların meydana gelme ihtimalini yükseltmektedir.

Bitümlü sıcak karışım içerisinde tamamen kalker kökenli filler kullanmak yerine %3 üleksit-%1,9 kalker filler kullanımının daha rijit bir kaplama tabakası oluşturacağı yapılan deneyler sonucunda saptanmıştır. %3 üleksit fillerli karışımdan elde edilen kaplamanın yoğun trafik yükleri altında deformasyon ve bozulmalara karşı daha dirençli olacağı sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üleksit mineralinin bitümlü sıcak karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan bu tez çalışmasında, karışım içerisindeki optimum bitüm oranı (kuru agregaya göre ağırlıkça %4,15) sabit olmak koşulu ile kalker kökenli filler yerine farklı oranlarda üleksit filler (%4,9 üleksit- %0 kalker, %3 üleksit- %1,9 kalker, %1,5 üleksit- %3,4 kalker, %0 üleksit- %4,9 kalker) kullanılarak numune briketler oluşturulmuştur. Briketler üzerinde yapılan dolaylı çekme ve Marshall deneylerinden elde edilen veriler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Bitümlü sıcak karışım içerisinde filler malzemesi olarak tamamen kalker yerine belirli bir miktarda Üleksit minerali kullanmak, karışımın stabilite değerini arttırmıştır. Yapılan Marshall deneyleri sonucunda en yüksek stabilite değeri %1,5 üleksit- %3,4 kalker filler oranında elde edilmiştir. %3 üleksit- %1,9 kalker ve %4,9 üleksit- %0 kalker filler içeren karışımların stabilite değerleri bir miktar azalmıştır. Ancak içerisinde üleksit filler bulunduran her karışım %0 üleksit-%4,9 kalker fillerli karışımdan daha yüksek stabilite değerine sahiptir. Marshall deneylerinden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki bitümlü sıcak karışım içerisinde filler malzemesi olarak üleksit mineralinin kullanımı stabilite değerini artırarak karışım performansını iyileştirmektedir.
- Marshall Stabilite/Akma tablosunda (Tablo 16) görüleceği üzere üleksit mineralinin karışımda filler malzemesi olarak kullanımı Marshall oranını olumlu yönde etkilemiştir. En yüksek Stabilite/akma oranı ise %1,5 üleksit kullanımında elde edilmiştir.
- Farklı hız ve yoğunluktaki trafik durumlarının kaplama performansı üzerine etkilerini irdelemek amacıyla Esneklik modülü deneyleri yapılmıştır. %4,9 kalker- %0 üleksit filler içeren bitümlü sıcak karışıma farklı yükleme periyotlarında (1000 ms, 2000 ms, 3000 ms) ve her yükleme periyodu için farklı yükleme hızlarında (40 ms, 60 ms, 80 ms) esneklik modülü deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından, her bir farklı periyot için yükleme hızı arttıkça karışımın esneklik modülü değerinde azalma meydana geldiğini söylemek mümkündür.

- %1,5 üleksit- %3,4 kalker filleri oranı için hem yükleme periyodu süresinin kısaldığı hem de yükleme hızının arttığı durumlarda esneklik modülü değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.
- %3 üleksit - %1,9 kalker filleri ve %4,9 üleksit - %0 kalker filleri oranı için hem yükleme periyodu süresinin kısaldığı hem de yükleme hızının arttığı durumlarda esneklik modülü değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.
- Esneklik modülü deneyi genel olarak değerlendirildiğinde; %3 üleksit- %1.9 kalker filler oranına kadar esneklik modülü değerlerinde artış gözlemlenirken, %4.9 üleksit-%0 kalker filler oranında bir miktar azalma gözlemlenmiştir.

Marshall deneylerinden elde edilen veriler ışığında; Ağır ve tekrarlı yüklere maruz kalan bitümlü sıcak karışımın maksimum stabilite değerine ulaşabilmesi için karışım içerisinde tamamen üleksit filleri kullanmak yerine optimum üleksit-kalker oranında filler malzemesi kullanılması daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca karışım içerisinde üleksit oranının artmasıyla akma değerinde de artış gözlemlenmiştir. Akma değerindeki artışın karışım performansı üzerinde olumsuz etkileri performans deneyleriyle tespit edilerek optimum üleksit-kalker filler oranını tayin etmek uygun olacaktır.

Dolaylı çekme deneylerinden elde edilen veriler ışığında; %3 üleksit- %1,9 kalker filler oranı içeren bitümlü sıcak karışımda en yüksek esneklik modülü değeri elde edilmiştir. Bu sonuçtan hareketle en yüksek karışım rijitliğinin %3 üleksit filler kullanılan karışımda meydana geldiğini söylemek mümkündür.

Üleksit mineralinin bitümlü sıcak karışımlarda filler malzemesi olarak kullanıldığında karışım performansı üzerine etkilerinin belirli bir hassasiyetle araştırıldığı bu çalışma genel olarak değerlendirilirse; Üleksit mineralini karışım filleri olarak kullanılması esneklik modülü ve stabilite değerlerinde artış sağlayarak, karışım performansını olumlu yönde etkilediği kaydedilmiştir.. Ancak optimum üleksit-kalker oranının belirlenebilmesi için ileri düzey performans deneyleri kullanılarak yeni çalışmalar yapılması uygun olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Ahmetzade, P., Alataş, T., & Geçkil, T. (2007). The Effect of Carbon Black on the Mechanical Properties of Asphalt Mixtures. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 179-189.
- Anonim. (2009). *İnşaat Mühendisliği Laboratuvar-1 Deney Föyü*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi.
- Boren. (2023, Mart 26). www.boren.tenmak.gov.tr adresinden alındı
- Bulut, A. (2010). *Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gerken Önlemlerin Belirlenmesi*. Ankara.
- Buluttekin, M. (2008). Bor Madeni Ekonomisi: Türkiye'nin Bor Piyasasındaki Yeri. 2. *Ulusal İktisat Kongresi*. İzmir.
- Büyükdoğan, E. (2014). *Zeolit ve Pomzanın Asfalt Betonunda Filler ve Agregalı Malzemesi Olarak Kullanımı*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dündar, G. (1998). *Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- EAPA. (1998). *Heavy Duty Surfaces*. Ankara: Asmüd Yayınları.
- Elçiçek, H. (2012). *Sulu Ortamda Karbondioksit Basıncı Altında Üleksit Cevherinin Çözünme Kinetiği ve Optimizasyonu*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Elmacı, A. (2011). *Asfalt Betonunda Granit Arıtma Çamurunun Filler Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eren, Ü. (2008). *Asfaltitin Asfalt Betonunda Mineral Filler Olarak Kullanılması*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gençtürk, G. (2011). *Sönmüş Kireç ile Çimento ve Pr Plast Kullanımının Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Guirguis, H., Daoud, O., & Hamdani, S. (1990). Asphalt Concrete Mixtures Made With Cement-Coated Aggregates. s. 80-85.
- Güngör, M. (1996). *Afşin Elbistan Uçucu Külünün Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma*. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gürer, C. (2005). *Atık Mermer Parçalarının Yol Kaplamasında Değerlendirilmesi*. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ilıcalı, T. Ö. (2001). *Asfalt ve Uygulamaları*. İstanbul: Seçil Ofset.

- Kabadayı, E. (2019). *Üleksitin Taş Mastik Asfaltlarda Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaşahin. (2007). *Aşırı Dingil Yüklemesinin Karayollarına Verdiği Zararlar*. Ankara: T.C Ulaştırma Bakanlığı.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2023, Mart 15). www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx adresinden alındı
- Karayolları Teknik Şartnamesi. (2006). *Karayolları Teknik Şartnamesi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Karayolları Teknik Şartnamesi*. (2013).
- Koca. (1987). *Bitümlü Kaplamalar Yapım Tekniği*. Bursa: T.C.K 14. Bölge Müdürlüğü.
- Kök, B. (2007). *Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması*. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kulash, D. (1994). Based Specifications for Bitumen and Asphalt Mixtures. *Proceedings of Institution of Civil Engineering Transport*, 187-194.
- Kuloğlu, N., & Kök, B. (2004). Sathi Kaplamalar Kusma Olayına Etki Eden Faktörler. *4.Ulusal Asfalt Sempozyumu*. Ankara.
- Lav, A., & Süttaş, İ. (1993). Pirit Kalesinin Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Değerlendirilmesi. *Teknik Dergi*.
- M. Karaşahin, E. A. (2004). Sathi Kaplamalar Üzerine Bir Değerlendirme. *4. Ulusal Asfalt Sempozyumu*. Ankara.
- (2003). *Maintenance Technical Advisory Guidelines*. Sacramento: State of California Department of Transportation.
- Maintenance Technical Advisory Guidelines. (2003). *Caltrans Division of Maintenance*. California.
- Majidzadeh, K., & Herin, M. (1965). *Modes of Failure and Strength of Asphalt Films Subjected to Tnsile Stresses*. Highway Research Record.
- Mta. (2023, Nisan 20). www.mta.gov.tr adresinden alındı
- Orhan. (2012). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları*. Ankara: T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Orhan, F. (2006). *Bitümlü Karışımlar Labaratuar Çalışmaları*. Ankara: T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Oruç, Ş. (1997). *Tortul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçerisindeki Performansının Araştırılması*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öksüz, B. (2011). *Asfalt Betonu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Önal, K. (1993). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı.
- Poslū, K. (2001). Özel Bor Kimyasalları ve Bor Dünyasındaki Gelişmeler. *Madencilik Bülteni*, 25-26.
- Sarı, M. (2008). *Değişik Minerallerin Borik Asit Çözeltilerinde Çözünme Kinetiği*. İstanbul: Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Savaş, M. (1994). *Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Gölet Artıklarının Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması*. Eskişehir: Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sayed, M., Madany, I., & Bauli, R. (1995). Use of Sewage Sludge Ash in Asphaltic Paving Mixtures in Hot Regions. *Construction and Building Materials*, 19-23.
- Selman, G. (2015). *Bor Atıklarının Asfalt Kaplamalarda Mineral Filler Olarak Kullanılabilirliği*. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Svechinsky, G., Ishai, I., & Sousa, J. (2011). Developing Warm Sma Paving Mixes Using Activated Mineral Stabilizers and Bitumen Flow Modifiers. *2nd International Conference on Warm Mix Asphalt*. St. Lois Missouri.
- Şahan, H. (2010). *Üleksit'in Öğütülebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi*. Eskişehir: Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- T.S.E. (1964). *TS 119, Bitümlü Maddelerin Düktilite Deneyi İçin Metot*. Ankara: T.S.E.
- T.S.E. (1972). *TS 1087, Bitümlü Maddelerde Özgül Ağırlık Tayini*. Ankara: T.S.E.
- T.S.E. (1983). *TS 3720, Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları Marshall ve Hubbart Field Metotları*. Ankara: T.S.E.
- T.S.E. (1998). *TS 118, Petrol Ürünleri-Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Penetrasyon Tayini*. Ankara: Türk Standartlar Enstitüsü.
- Tayebali, A. A., Malpass, G. A., & Khosla, N. P. (1998). Effect of Mineral Filler Type and Amount on Desing and Performance. *Transportation Research Record*, 36-43.
- Temren, Z. (2009). Ilık Karışım Asfalt Uygulamaları ve Performansı. 5. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, (s. 50-60). Ankara.
- Terzi, S. (2000). *Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- The Asphalt Institue. (1999). *A Basic Asphalt Emulsion Manual*. Kentucky.
- The Asphalt Institue. (2006). Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements. 20-40.
- Tian, P., Zaman, M., & Joakim, G. (1998). *Variation of Resilient Modulus of Aggregate Base and Its Influence on Pavement Performance*. Journal of Testing and Evaluation.
- Tunç. (2004). *Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı*. Ankara: Asil Yayın.

- Tunç, (2007). *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- U.K Transport and Road Research Laboratory. (1969). *Bituminous Materials in Road Construction*. Berkshire.
- U.K. Transport and Road Research Laboratory. (1969). *Bituminous Materials in Road Construction*. Berkshire.
- Uluçaylı, M. (1976). Türkiye'de Asfalt Beton Kaplamalar ve Alternatifleri. Karayolları Teknik Bülteni.
- Uluçaylı, Y. (2002). *Asfalt El Kitabı*. İstanbul: Sistem Ofset.
- Umar, & Ağar. (1985). *Yol Üstyapısı*. İstanbul: İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Uzuner, Ş. (1989). Bitümlü Sıcak Karışımlar. *Karayolları Vakfı Dergisi*.
- Vassiliadau, E., & Amirkhanion, S. (1999). Coal Ash Utilizaion in Asphalt Concrete Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*.
- Yayla, N. (2004). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Yıldız, K. (2003). *Marshall Dizayn Metodu ile Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deney Parametrelerinin Sonuca Etkisi*. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, M. (2011). *Asfaltitin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Tunahan BAYRAK, İlk ve Ortaöğretimini 2006 yılında Trabzon Fatih ilköğretim okulunda tamamladı. 2010 yılında Trabzon Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Lisans eğitimini 2010-2014 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde onur öğrencisi olarak tamamladı. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılında yapılan sınavda başarılı olarak Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından verilen C sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı unvanını aldı. 2016-2021 yılları arasında Trabzon/Yomra'da yürütülen Marin City Rezidance Projesi kapsamında sırasıyla Saha Mühendisi, İnce İşler Kısım Şefi ve Teknik Ofis Şefi pozisyonlarında görev yaptı.

Tunahan BAYRAK, iyi derecede İngilizce bilmekte olup 2021 yılından itibaren Şişli Belediye Başkanlığı bünyesinde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.