T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN FARKLI İKLİM ŞARTLARINDA BOZULMASINA FİLLER ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nur Erdem AKGÜL ŞEKER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2020

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN FARKLI İKLİM ŞARTLARINDA BOZULMASINA FİLLER ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nur Erdem AKGÜL ŞEKER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2020

Prof. Dr. Ali SARIIŞIK' ın danışmanlığında Nur Erdem AKGÜL ŞEKER' in hazırladığı **''Bitümlü Sıcak Karışımların Farklı İklim Şartlarında Bozulmasına Filler Etkisinin Değerlendirilmesi''** konulu bu çalışma 10.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Ali SARIIŞIK ……..…….

Üye : Doç. Dr. Cahit GÜRER ……...…….

Üye : Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ ……...…….

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 19102

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7
2.1. Genel Bilgiler 7
2.1.1. Bitümlü sıcak karışımların sahip olması gereken özellikler 7
2.1.2. Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregaların özellikleri 9
2.1.3. Kullanılan bitümlü bağlayıcı 10
2.1.4. Bitümlü kaplamalarda görülen bozulmalar 12
2.1.4.1. Deformasyonlar 12
2.1.4.2. Ayrışmalar 13
2.1.4.3. Çatlamalar 14
2.2. Agrega Çalışmaları 14
2.3. Filler Çalışmaları 17
2.4. Bitüm Çalışmaları 19
2.5. Kayma analizi çalışmaları 20
3. MATERYAL ve YÖNTEM 22
3.1. Materyal 23
3.1.1. Agregalar 23
3.1.2. Bitümlü bağlayıcı 27
3.2. Yöntem 27
3.2.1. Agrega fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik tayini 27
3.2.1.1. Özgül ağırlık ve absorbsiyon deneyi 28
3.2.1.2. X-Işını floresans spektrometresi (XRF) analizi 30
3.2.1.3. Los Angeles aşınma deneyi 31
3.2.1.4. Metilen mavisi deneyi 32
3.2.1.5. Soyulma mukavemeti deneyi 33
3.2.1.6. Slake durabilite deneyi 34
3.2.1.7. Hava tesirlerine karşı dayanım deneyi 35
3.2.2. Bitümlü bağlayıcı fiziksel özellik tayini 36
3.2.2.1. Penetrasyon deneyi 36
3.2.2.2. Yumuşama noktası deneyi 37
3.2.2.3. Düktilite deneyi 38
3.2.2.4. Parlama noktası deneyi 39
3.2.2.5. Bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık deneyi 40
3.2.3. Bitümlü sıcak karışımların Marshall metodu ile karışım dizaynı ve hazırlanması 41
3.2.4. Optimum bitüm yüzdesi belirleme 45
3.2.5. Optimum bitümle hazırlanan briketlere uygulanan deneyler 46
3.2.5.1. Yaşlandırma deneyi 46
3.2.5.2. X-Işını kırınım yöntemi (XRD) analizi 47
3.2.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi 48
3.2.5.4. ICP-OES analizi 48
3.2.5.5. Kayma analizi deneyi 49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 51
4.1. Agrega Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellik Tayini Sonuçları 51
4.2. Bitümlü Bağlayıcı Fiziksel Özellik Tayini Sonuçları 53

4.3. Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları 53
4.4. Optimum Bitüm Yüzdesi Belirlenmesi 57
4.5. ICP-OES Analizi Sonuçları 58
4.6.XRD Sonuçları 59
4.7. SEM Sonuçları 66
4.8. Kayma Analizi Sonuçları 72
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 76
KAYNAKLAR 80
ÖZGEÇMİŞ 84
EKLER 85

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN İKLİM ŞARTLARINDA BOZULMASINA FİLLER ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nur Erdem AKGÜL ŞEKER

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali SARIIŞIK
Yıl: 2020, Sayfa:88

Ülkemizde en çok tercih edilen karayolu üst kaplama malzemelerinin başında bitümlü sıcak karışımlar gelmektedir. Bitümlü sıcak karışımlar kaba agrega, ince agrega ve bitümün uygun sıcaklıkta karıştırılmasıyla elde edilir. Kaplamanın performansını agrega cinsi ve miktarı, bitümlü bağlayıcı cinsi ve miktarı gibi etkileyen birçok etken vardır. Bitümlü sıcak karışımların bozulmasını etkileyen başlıca faktörlerden biri iklim şartlarıdır. Viskoelastik ve termoplastik malzeme olan bitüm, yazın ısınarak yumuşar ve kışın gevrekleşerek çatlar. Bitümlü sıcak karışımların bozulmasını azaltmak amacıyla gelişen teknolojiyle birlikte aynı doğrultuda çalışmalar artmıştır. Bu çalışmada, farklı doğal filler malzemeler kullanılarak bitümlü sıcak karışımların sıcaklık ve yağmur etkisiyle performans kaybını önlemek hedeflenmiştir. Doğal filler malzeme olarak bazalt, kalker ve volkanik cüruf kullanılmıştır. Doğal filler malzeme oranı % 6 olarak sabit tutulmuştur. Tüm karışımlarda kaba ve ince agrega için bazalt kullanılmıştır. Bazalt filler, kontrol numunesi olarak değerlendirilmiştir. Agrega, bitüm ve bitümlü sıcak karışım deneyleri olarak üç ayrı kategoride deneyler yapılmıştır. %4,5 – 5 – 5,5 – 6 – 6,5 oranlarında bitüm kullanılmak üzere toplam 45 adet numune hazırlanmıştır. Marshall stabilite ve akma deneyine tabii tutulan numuneler, farklı filler malzemeler için optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Optimum bitüm yüzdesi belirlenen karışımlara yaşlandırma tayini yapılmıştır. Farklı deneylere tabii tutulan numunelerin iklim şartlarındaki performansı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kalker atığının fazla olduğu kurak bölgelerde alternatif filler malzemesi olarak kullanılabileceği sonucu elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Bitüm, filler, agrega analizleri, iklim şartları, Marshall stabilite

ABSTRACT

MSc Thesis

EVALUATION THE EFFECT OF THE FILLER ON THE DETERIORATION OF THE BITUMINOUS HOT MIXTURES IN CLIMATIC CONDITIONS

Nur Erdem AKGÜL ŞEKER

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali SARIIŞIK
Year: 2020, Page:88

Bituminous hot mixtures are the most preferred road top coating materials in our country. Bituminous hot mixtures are obtained by mixing coarse aggregate, fine aggregate and bitumen at appropriate temperature. There are many factors affecting the performance of the coating, such as aggregate type and quantity, bituminous binder type and quantity. One of the main factors affecting the degradation of hot bituminous mixtures is climatic conditions. Bitumen which is viscoelastic and thermoplastic meterial, softened by heating in summer and brittle in winter and cracks. In order to reduce the deterioration of bituminous hot mixtures, studies have increased in line with the developing technology. In this study, it is hot bituminous mixtures under climatic conditions by using different natural filler materials. Basalt, limestone and volcanic slag were used as natural filler materials. Natural filler material was kept constant at % 6. Basalt was used for coarse and fine aggregate in all mixtures. Basalt filler was considered as control samples. Aggregate, bitumen and hot bituminous mixture experiments were performed in three different categories. A total of 45 samples were prepared to use % 4,5 – 5 – 5,5 – 6 – 6,5 ratio of bitumen. The samples subjected to Marshall stability and yield tests determined the optimum bitumen percentage. The climatic performance of the samples subjected to different experiments was evaluated comparatively. As a result, it can be used as alternative filler material in arid regions where limestone waste is high.

KEYWORDS: Bitumen, filler, aggregate analysis, climate conditions, Marshall stability

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçiminden uygulanmasına kadar yardımlarını ve değerli bilgilerini esirgemeyen sayın danışmanım Prof. Dr. Ali SARIIŞIK' a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca, 19102 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince laboratuvar imkânlarını kullanmamı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen HRÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümündeki değerli hocalarıma, deneylerin uygulanmasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Egemen KAYA' ya, yüksek lisans öğrencisi kıymetli arkadaşım Elif İZOL' a, doktora öğrencileri olan Adile MANCI ve Songül CAN' a, yüksek lisans öğrencisi Fırat AYKAT' a, deneysel aşamada fikirleriyle ışık tutan Dr. Öğretim Üyesi Eyyüp KARAOĞUL' a teşekkür ederim.

Malzeme temini ve laboratuvar imkânlarının kullanılmasında yardımlarını esirgemeyen Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi ve personeline, Şanlı Asfalt A.Ş. ve personeline, BELTAŞ A.Ş. ve Sayın Maden Yüksek Mühendisi İbrahim AKGÜL' e teşekkür ederim.

Tezimin analiz çalışmaları boyunca yardımlarından dolayı Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, personelleri ve Öğretim Görevlisi Deniz ÖĞÜTLÜ' ye teşekkür ederim.

Tezimin analiz çalışmaları boyunca yardımlarından dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarı ve personellerine teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi manevi desteğini esirgemeyip her zaman yanımda olan ve motivasyon desteği sağlayan sevgili babam Tahir AKGÜL' e, annem Remziye AKGÜL' e, eşim Mustafa ŞEKER' e ve kardeşlerim Halit – Reyyan – Muhammed - Zeynep AKGÜL' e sabır ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Patara Antik Kent'e ait yollar (28.09.2019, Antalya) 1
Şekil 1.2. Karayolları 9. Bölge müdürlüğü yol haritası (www.kgm.gov.tr) 2
Şekil 1.3. Şanlıurfa iline ait yol ağı (www.kgm.gov.tr) 3
Şekil 1.4. Esnek üstyapı katmanları (www.simgemat.com.tr) 3
Şekil 1.5. Esnek üstyapı katmanları ve kalınlıkları 4
Şekil 2.1. Bitümün genel görüntüsü (www.sanalsantiye.com)..... 10
Şekil 3.1. Materyal ve yöntem akış diyagramı 22
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan bazalt agregası 23
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan kalker agregası..... 24
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan volkanik cüruf (20.08.2019, Şanlıurfa)..... 24
Şekil 3.5. Bazalt, kalker ve volkanik cüruf ocaklarının bulunduğu iller 25
Şekil 3.6. Gradasyon Eğrisi..... 26
Şekil 3.7. Kaba ve ince agregalar..... 27
Şekil 3.8. Farklı boyutlarda piknometre..... 29
Şekil 3.9. XRF analizi cihazı..... 30
Şekil 3.10. Los Angeles aşınma deneyi cihazı 31
Şekil 3.11. Metilen mavisi deney seti..... 32
Şekil 3.12. Soyulma mukavemeti deneyi 33
Şekil 3.13. Slake Durabilite deney cihazı..... 35
Şekil 3.14. Penetrasyon deneyi cihazı 37
Şekil 3.15. Yumuşama noktası deney cihazı ve bitümün yumuşaması 38
Şekil 3.16. Düktilite deney kalıpları..... 38
Şekil 3.17. Düktilite cihazında bitümün uzaması..... 39
Şekil 3.18. Bitüm parlama noktası deney cihazı 40
Şekil 3.19. Numunelerin karıştırılması..... 42
Şekil 3.20. Marshall tokmağı 42
Şekil 3.21. Su banyosu ve içindeki numuneler..... 43
Şekil 3.22. Marshall stabilite ve akma deney cihazı..... 43
Şekil 3.23. Marshall stabilite deneyi için numune oluşturma..... 44
Şekil 3.24. Marshall stabilite ve akma deneyi grafikleri (Aslan, 2019) 45
Şekil 3.25. Yaşlandırma cihazı..... 46
Şekil 3.26. XRD cihazı..... 47
Şekil 3.27. SEM cihazı..... 48
Şekil 3.28. ICP-OES analizi cihazı (www.hubtam.harran.edu.tr)..... 49
Şekil 3.29. Pandül test cihazı 49
Şekil 4.1. %Bitüm-Stabilite grafiği 54
Şekil 4.2. %Bitüm-Akma grafiği..... 55
Şekil 4.3. %Bitüm-Boşluk (Vh) grafiği..... 56
Şekil 4.4. %Bitüm-Hacim Özgül Ağırlık (Dp) grafiği 56
Şekil 4.5. %Bitüm-Bitümle Dolu Boşluk (Vf) grafiği..... 57
Şekil 4.6 Bazalt filler karışımının XRD sonuçları..... 60
Şekil 4.7. Kalker filler karışımının XRD sonuçları 61
Şekil 4.8. Volkanik cüruf filler karışımının XRD sonuçları..... 62
Şekil 4.9. Yaşlandırılmış bazalt filler karışımının XRD sonuçları 63
Şekil 4.10. Yaşlandırılmış kalker filler karışımının XRD sonuçları 64
Şekil 4.11. Yaşlandırılmış volkanik cüruf fillerin XRD sonuçları 65
Şekil 4.12. Tüm XRD sonuçları 66
Şekil 4.13. B50/70 penetrasyon bitüm SEM görüntüsü 67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Bitümün bileşenleri (Tunç, 2007). 11
Çizelge 2.2. Bitüm seçim tablosu (Kaşak ve ark., 2004). 12
Çizelge 3.1. Aşınma tabakası Tip-1 sınır değerleri (KGM Teknik Şartnamesi, 2013) 25
Çizelge 3.2. Kullanılan gradasyona göre agrega tartımı 26
Çizelge 3.3. Suda dağılma dayanım sınıflaması (Gamble, 1971). 35
Çizelge 3.4. Aşınma Tabakası Tip-1 için gerekli sınır değerler (KGM Teknik Şartnamesi,2013) 46
Çizelge 3.5. Kayma potansiyelinin sınıflandırılması (Bowman, 2004;Coşkun ve Sarıışık, 2017) 50
Çizelge 4.1. Kaba-ince agrega ve mineral filler özgül ağırlık deney sonuçları 51
Çizelge 4.2. XRF analiz sonuçları 52
Çizelge 4.3. KGM teknik şartname sınırları ve deney sonuçları 52
Çizelge 4.4. Slake durabilite deney sonuçları 53
Çizelge 4.5. Bitümlü bağlayıcı fiziksel özellik tayini sonuçları 53
Çizelge 4.6. Optimum bitüm yüzdesi hesapları 58
Çizelge 4.7. ICP-OES analiz sonuçları 58
Çizelge 4.8. Kayma analizi sonuçları 72
Çizelge 4.9. Kayma analizi kuru-ıslak yüzey sonuçları 74

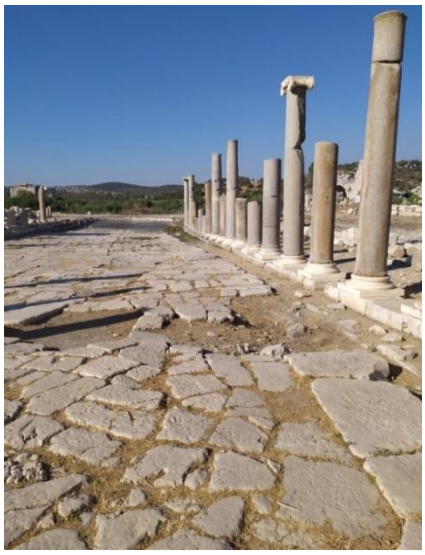
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

M.Ö.	Milattan Önce
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
TL	Türk Lirası
PTV	Pandül Test Değeri
V.M.A.	Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi
Min	Minimum
Maks	Maksimum
Wa	Bitümlü Bağlayıcı Miktarı
Dt	Maksimum Özgül Ağırlık
Dp	Hacim Özgül Ağırlık
Vh	Boşluk
Vf	Bitümle Dolu Boşluk
Si	Silisyum
O	Oksijen
Al	Alüminyum
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
Cu	Bakır
km	Kilometre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
g	Gram
ml	Mililitre
kg	Kilogram
C	Santigrat
°	Derece
dak	Dakika
I_d	Slake Durabilite Katsayısı
cm^2	Santimetre Kare
cm^3	Santimetre Küp
μ	Sürtünme Katsayısı
B	Bazalt
K	Kalker
VC	Volkanik Cüruf

1. GİRİŞ

Tarihte ilk yollar, sayısızca insanın ve hayvanın yıllar boyunca aynı güzergahı izleyerek ayak izleriyle oluşturduğu düzlüklerdir (Gray ve Graham, 2015). Göçlerin, savaşların ve ticaretin vb. nedenlerden dolayı trafiğin artmasıyla bu yollar daha düz ve daha geniş bir hale gelmiştir. Daha düzleşen ve genişleyen yollar, güzergâhları daha net hale getirerek insanların seyahatinde, orduların ulaşımında kolaylıklar sağlamıştır. Ticaretin artması ve tekerlekli araçların gelişimi bu yollara taş ve tuğla döşeme fikriyle yol üstyapısı geliştirme çalışmaları başlamıştır. İlk taş kaplama yollar M.Ö. 4000' de günümüzde Irak sınırları içerisinde bulunan Sümer şehri Ur'da bulunmuştur.

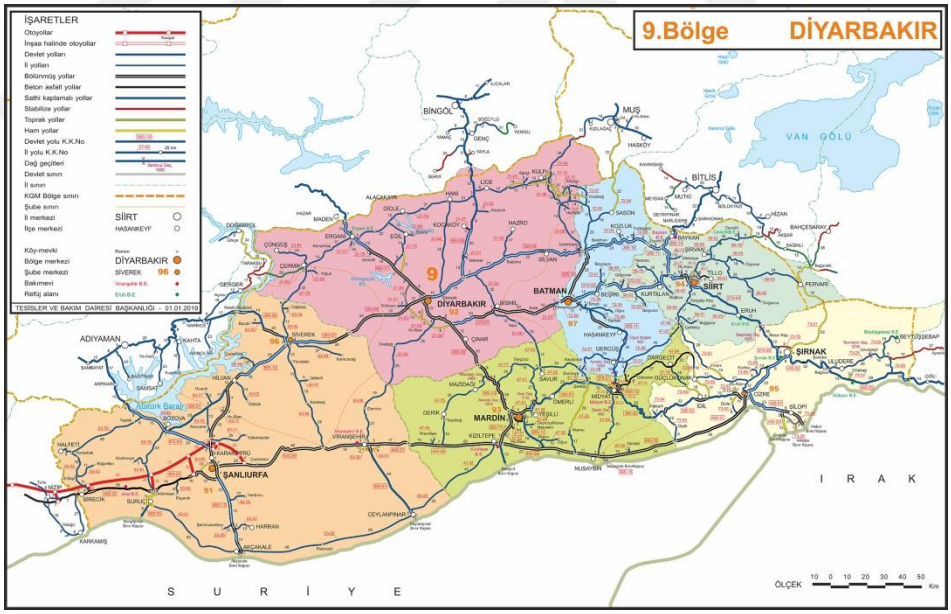
Romalılar yol mühendisliğinde ustalaşan en büyük ve ilk medeniyettir. Roma İmparatorluğunu bir uçtan bir uca bağlayan yollar, günde 30 km yol alabilecek şekildeydi. Temel zeminin üstünde el büyüklüğünde taşlar, bir üst tabakada kireçle karıştırılmış kırık taşlar, bir üst tabakaya çakıl ve kireçten oluşan ince beton ve en üst tabakaya ise genellikle geniş ve yassı taşlar kullanmışlardır. Şekil 1.1' de Antalya Xanthos vadisinde Patara Antik Kent'e ait sokak boyunca sıralanan sütunlar ve döşenmiş yol görülmektedir.



Şekil 1.1. Patara Antik Kent'e ait yollar (28.09.2019, Antalya)

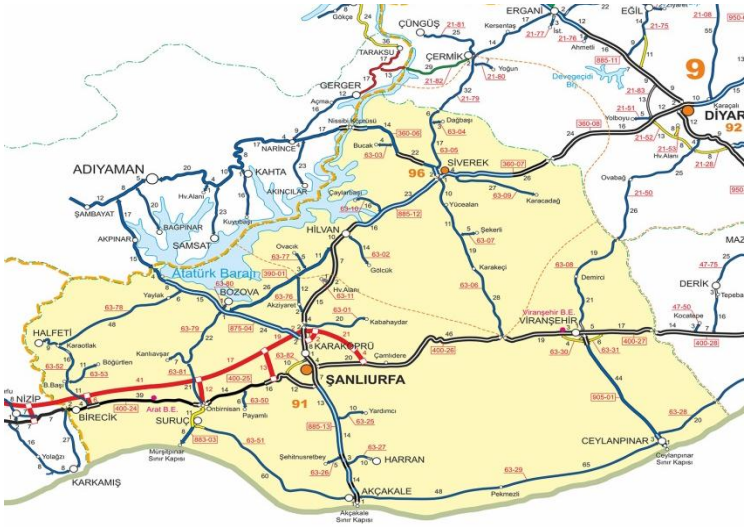
Artan nüfus ve gelişen teknolojiyle ulaşım ihtiyacının ve trafik yükünün artması, yolların performans geliştirilmesi ve yol ağlarının büyütülmesi gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Ülkelerin gelişmişlik seviyesinin belirlenmesinde rol alan ulaşım; sanayi, ticaret ve turizm gibi sektörleri de etkilemektedir.

Ülkemizde 1 Ocak 2019 tarihiyle Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğunda otoyol, devlet yolu ve il yolu olmak üzere toplam 67,333 km yol bulunmaktadır. % 36'sı bitümlü sıcak karışım (BSK), % 58'i sathi kaplama olan bu yolların kalanı stabilize, parke ve toprak yollardan oluşmaktadır. Ayrıca KGM sorumluluk alanı dışında toplam 350,000 km'nin üzerinde yol uzunluğu olduğu tahmin edilmektedir (1. Beton Yollar Kongre Kitabı, 2019). Çalışma sıcak iklimden kaynaklı olarak yol üstyapısında meydana gelen bozulmalardan yola çıkılarak bu bölgede bulunan agregalar tercih edilmiştir. Şanlıurfa ilinin bağlı olduğu Karayolları 9.Bölge Müdürlüğüne ait yol ağı Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Karayolları 9. Bölge müdürlüğü yol haritası (www.kgm.gov.tr)

Karayolları 9.Bölge müdürlüğü sorumluluğunda toplam 146 km otoyol, 2040 km devlet yolu ve 2755 km il yolu bulunmaktadır. Bu yolların146 km otoyol, 575 km devlet yolu ve 637 km' si Şanlıurfa iline aittir. Şanlıurfa iline ait karayollarına bağlı yol ağı Şekil 1.3' te verilmiştir.



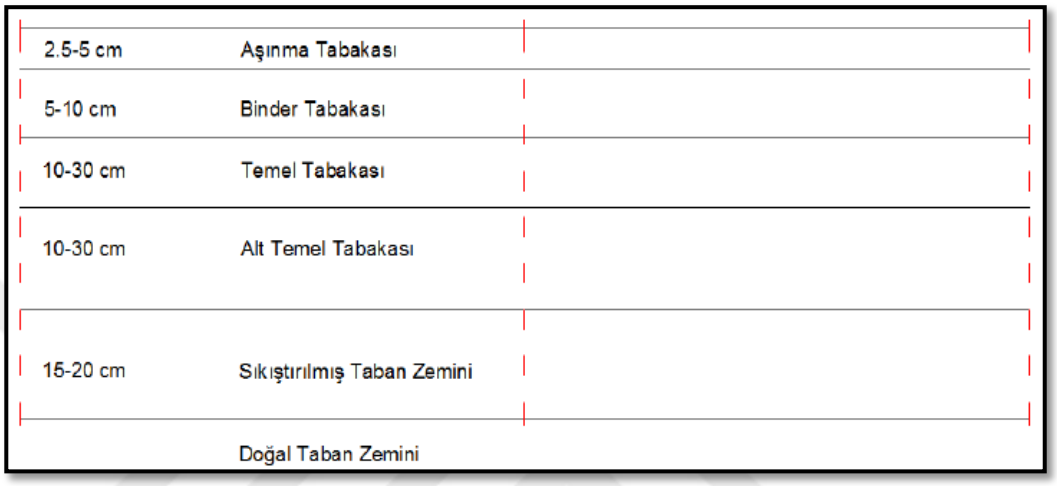
Şekil 1.3. Şanlıurfa iline ait yol ağı (www.kgm.gov.tr)

Güvenli ve konforlu ulaşım, trafik yüklerinin taban zeminine güvenle aktarılması, güvenli kayma direnci ve düşük gürültü seviyesiyle ilgilidir. En iyi performansın sağlanması için yol üstyapı tipi seçimi oldukça önemlidir. Performans, bir yolun tüm trafik yükleri ve çevre etkilerini servis ömrü boyunca karşılamasıdır (Prozzi, 2001; Gürer ve Karaşahin, 2015). Yol üstyapısı genel olarak esnek ve rijit yol üstyapısı olarak ikiye ayrılmakla birlikte üçüncü bir üstyapı tipi olan kompozit üstyapılar da mevcuttur. Hızlı ve kolay inşaat imkânı, kısa sürede trafiğe açılma, trafik yüküne göre kalınlık seçimi gibi nedenlerden dolayı ülkemizde esnek üstyapılar yani bitümlü sıcak karışımlar tercih edilmektedir. Agrega ve bitümlü bağlayıcının uygun sıcaklıkta karıştırılmasıyla oluşturulan karışım, bitümlü sıcak karışımlardır. Tipik bir esnek üstyapı katmanları Şekil 1.4'te gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Esnek üstyapı katmanları (www.simgemat.com.tr)

Şekil 1.4 incelendiğinde aşınma tabakası, binder tabakası ve bitümlü temel olmak üzere bitümlü bağlayıcının kullanıldığı 3 tabaka vardır. Bu tabakaların kalınlık seçimini etkileyen; trafik yükü, proje ömrü, malzeme seçimi, iklim şartları gibi birçok parametre vardır. Esnek üstyapı katmanları kesitleri ve kalınlıkları temsili AutoCAD çizimi olarak Şekil 1.5' te verilmiştir.



Şekil 1.5. Esnek üstyapı katmanları ve kalınlıkları

İklim, malzeme ve trafik yükü gibi parametrelere bağlı olan tabaka kalınlığı hem en iyi performansı sağlamalı hem de en ekonomik kalınlık olmalıdır. Şekil 1.5'te verilen kalınlıklardan daha fazla yapmak ekonomik olarak gereksiz olacağı gibi, daha az bir kalınlık tercih etmek ise mevcut şartların performansını sağlamayacaktır.

Bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça yaklaşık % 95'ini agregalar oluşturmaktadır. Esnek üstyapının performansı büyük ölçüde agregaya bağlı olsa da, aderans görevini üstlenen bitümlü bağlayıcının da payı vardır. Üstyapı performansını geliştirmede tabaka kalınlığını arttırmak yerine malzeme seçimini doğru yaparak performansı arttırmak daha doğru bir seçimdir. Genellikle bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak kireçtaşı, bazalt, dere taşı, kırma taş gibi agregalar tercih edilmektedir.

Türkiye' de halen en çok tercih edilen üstyapı tipi olan bitümlü sıcak karışımlar, artan taşıt sayısı, artan trafik yükü ve iklimle beraber birçok bozulmaya

uğramaktadır. Yol yapımında kullanılan malzemelerin performans düşüklüğü, iklim şartları ve dizayn hataları gibi parametreler yolun servis ömrünü azaltmakta, erken sürede bozulmalara yol açmaktadır. Bu da birçok ekonomik kaybı beraberinde getirmektedir. Yol bozulmalarını etkileyen faktörlerden olan iklim şartlarıyla yollar, don çözülmesiyle birlikte ilkbahar ayları ve yağışın fazla olması sebebiyle sonbahar aylarında çatlaklardan su girmesiyle kolayca bozulmaya uğrarlar. Viskoelastik ve termoplastik malzeme olan bitüm, yazın ısınarak gevşer, kışın gevrekleşerek çatlar. BSK yol kaplamaları erken bozulmalara uğrar. Bozulma sonucu bakım maliyeti artar veya yol servis ömrünü tamamlayarak yenilenme ihtiyacı duyar. Esnek yol üstyapı kaplamalarda bakım maliyeti en yüksek bozulma kabarma olarak belirlenmiştir. Bu bozulma türünde en etkili faktör iklim ve bölge şartlarıdır. Kabarma bakım maliyeti, 2010 yılı birim maliyetine göre sathi kaplamalar için 21,77 TL/m^2 iken; bitümlü sıcak karışımlar için 21,93 TL/m^2 olarak belirlenmiştir (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017).

Trafik yük ve iklim şartlarının olumsuz etkileri, BSK' larda tekerlek izi, düşük kayma direnci, düşük stabilite ve çatlaklar gibi birçok kalıcı deformasyonlara yol açmaktadır. Bu tür sorunlarda BSK'ların üstyapı performansını arttırmak en uygun yöntem olarak görülür (Ceylan, 2006). Kaplama yüzeyinin ıslak olduğu durumlarda tekerlek izi, cilalanma ve bitüm kusma kayma direncinin düşmesine neden olmaktadır (Shahin, 2002). Kaplama performansını etkileyen bağlayıcı cinsi ve miktarı, agrega cinsi ve miktarı, kaba-ince agrega miktarı gibi birçok etken vardır. Karıştırma süresi, sıcaklığı ve bu süreçteki özen ise uygulamadan kaynaklı performans düşüklüğüne sebep olmaktadır (Çelik ve ark., 2007).

Geçmiş günlerden bugünlere kadar teknolojinin gelişmesi, seyahatlerin artması, ticaretin artması, yeni yerler keşfetme istekleri her zaman yolların geliştirilmesi gerekliliğini arttırmıştır. Yapılan literatür araştırmaları da incelendiğinde üstyapı geliştirme her zaman en fazla çalışılan konular arasında olmuştur. Bu çalışmalar; agrega seçimi, bitüm seçimi, mineral atıklar, plastik atıklar, endüstriyel atıkları değerlendirme gibi üstyapıları olumsuz etkilere karşı geliştirme konusu olmuştur.

Bu çalışmada bitümlü sıcak karışımların sıcaklık ve yağmur etkisinde bozulmasına farklı mineral fillerlerin etkisi araştırılmıştır. Güneydoğu Anadolu bölgesinde yollarda sıklıkla kullanılan bazalt, tüm karışımlarda kaba ve ince agrega olarak kullanılmıştır. Bazalt, kalker ve volkanik cüruf filler malzeme olarak kullanılıp, bazalt kontrol numunesi olarak değerlendirilmiştir. Üç farklı filler malzeme ile gradasyon hazırlanmış olup, mineral filler oranı % 6 olarak sabit tutulmuştur. Çalışma üç kategoride ilerlemiştir. Sırasıyla agrega analizleri, bitümlü bağlayıcı analizleri ve son olarak optimum bitümle oluşturulan karışımlara uygulanan deneyler olarak ilerlemiştir. % 4,5-5-5,5-6-6,5 oranlarında bitümlü bağlayıcı kullanarak toplam 45 numune hazırlanmıştır. Marshall stabilite ve akma dayanımı deneyine tabii tutulduktan sonra gerekli işlemler yapılıp her mineral filler için optimum bitüm yüzdeleri belirlenmiştir. Belirlenen optimum bitüm yüzdeleriyle karışımlar tekrar dökülüp sıcaklık ve nem etkisiyle yaşlandırmaya tabii tutulmuştur. Yaşlandırma uygulanan numunelere XRD ve kayma analizi deneyleri uygulanarak sıcaklık ve nem etkisiyle performans değişikliği araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Genel Bilgiler

Uygun gradasyondaki agreganın, kullanılacak kaplama türü ve şartlarına göre seçilmiş bitümün uygun sıcaklıklarda karıştırılmasıyla elde edilen karışım bitümlü sıcak karışımlardır. Karışım sıcaklığı bitümün cinsine bağlıdır. Su sızıntılarını önlemek, trafik yüklerini alt zeminlere iletmek, iklim koşullarına karşı en az etkilenmek bitümlü sıcak karışımların en önemli kullanım amaçlarındandır. Bitümlü sıcak kaplamaların üst düzeyde performans göstermesi için yüksek stabilite, durabilite, esneklik, yüksek kayma direnci, işlenebilirlik, yorulma mukavemeti, geçirimsizlik gibi özelliklere sahip olması istenir.

2.1.1. Bitümlü sıcak karışımların sahip olması gereken özellikler

Stabilite, bitümlü sıcak karışımlardan oluşan kaplamaların trafiğe açıldıktan sonra taşıtların statik ve dinamik yüklerinden kaynaklı deformasyonlara karşı gösterdiği dirençtir. Yüksek stabilite, düşük deformasyon anlamına gelmektedir. Agrega ve bitümlü bağlayıcıların uygun sıcaklıkta karıştırılmasıyla elde edilen bitümlü sıcak karışımların stabilitesini agrega ve bitümlü bağlayıcı etkilemektedir. Uygun agrega, uygun asfalt çimentosu ve uygun penetrasyon derecesinin belirlenmesi gerekir. Trafik hacmi ve iklim koşulları penetrasyon derecesinin seçilmesinde önemli olan iki husustur. Bitümlü sıcak karışım kaplamaların stabilitesini ısı etkisi, karışımın kayma mukavemeti ve eylemsizlik direnci etkilemektedir (Tunç, 2007). Karışımın kayma mukavemeti, agrega taneleri arasındaki boşluktan, agrega ile bitüm arasındaki kohezyondan etkilenmektedir.

Durabilite, trafik yükleri ve çevresel etkilerin (iklim) oluşturduğu aşınma ve bozulmalara karşı gösterdiği dirençtir. Viskoelastik malzeme olan bitüm ısı değişimlerinden en çok etkilenecek malzemedir. Kullanılacak agrega aşınmaya karşı dirençli ve sert olmalıdır. Yüksek bitüm oranı, düşük penetrasyon, yüksek soyulma

mukavemeti, düşük boşluk oranı ve kesiksiz gradasyon durabiliteyi arttıracaktır. Ancak gereğinden fazla bitüm oranı yazın kaplamada kusma ve düşük kayma direnci gibi problemlerin görülme ihtimali yüksektir.

Kayma direnci, güvenli ulaşımın sağlanabilmesi için sürücünün fren tedbirine başvurduğu anda güvenli mesafede durmasını sağlayan tekerlek bandajı ise yol kaplaması arasındaki dirençtir. Cilalanma direnci yüksek agregalar, düşük bitüm oranı, agrega yüzey pürüzlülüğü kayma direncini arttıran etmenlerdir. Agrega gradasyonu düzgünlüğü arttıkça sürüş konforu artmaktadır ancak bununla birlikte kayma direncinde düşüş gözlenmektedir. Kuru ve ıslak kaplamada yeterli kayma direnci sağlanmalıdır, ancak genellikle ıslak kaplamaların kayma direnci kuru kaplamalara göre daha düşüktür. Bununla birlikte kayma direncini su, ısı, yük ve hız da etkilemektedir (Shahin, 2002; Gürer ve ark., 2007). Xiao ve ark., (2000) trafik kazaları ve kayma sürtünme katsayısı arasındaki ilişkiyi incelendiğinde, kayma direncinin % 35' ten % 48' e çıkarılmasıyla kazaların % 60 azaldığı sonucuna varmışlardır.

Esneklik, uzun dönemlerin sonunda zemin ve altta bulunan temellerde oluşacak oturmalara bitümlü sıcak karışımların kırılmadan uyum sağlamasıdır. Esneklik genel olarak bitüm oranı arttıkça artmaktadır. Bitüm oranı, filler miktarı, bitüm cinsi etkilemektedir.

Geçirimsizlik, bitümlü sıcak karışımların içinden hava ve su geçme ölçüsüdür. Bir bitümlü kaplama içinden ne kadar az hava ve su geçerse durabilitesi o kadar iyi olur. Bitüm miktarı, agrega gradasyonu ve sıkıştırma önemli faktörlerdir. Sıcak kaplamalarda her tabakada farklı oranlarda bitümle dolu boşluk oranı istenir. Bu durum stabilite için önemlidir. Minimum boşluk oranı; bitümün sıcak havalarda kusma ve terleme yapmasını önlemek, trafik yükleri altında sıkışmaya müsaade etmesi için gereklidir. Maksimum boşluk oranı; içsel sürtünme açısının azalmasını önlemek, bitümün sertleşmesini azaltmak için önemlidir.

İşlenebilirlik, bitümlü sıcak karışımın serilme ve sıkıştırma anında kolaylık göstermesidir. Kaba agrega miktarı arttıkça, filler oranı çok arttıkça, penetrasyon düştükçe, kırılmışlık yüzdesi arttıkça, karışım ısısı düştükçe, agrega maksimum dane boyutu arttıkça, bitüm viskozluğu arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır. Yuvarlak kum taneleri işlenebilirliği, köşeli kum taneleri ise stabiliteyi arttırır.

Yorulma Mukavemeti, bitümlü sıcak karışımların eğilmeye karşı çatlamalar olmadan gösterdiği dirençtir. Kaplamanın çekme mukavemetidir. Rijitlik arttıkça, bitüm oranı arttıkça, penetrasyon arttıkça, kaplama kalınlığı arttıkça, eğilme gerilmesi yani eğilme göstermesi için gelen yük azaldıkça yorulma mukavemetinde artış görülmektedir. Kaplamalara yeterli sıkıştırma yapılması yorulma mukavemetini etkileyen faktörlerdendir.

2.1.2. Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agregaların özellikleri

Bitümlü sıcak karışımlardan istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için kaplama karışımının % 95' ini oluşturan agregaların da bazı özellikleri taşıması gerekir. Bitümlü sıcak karışımın stabilitesini arttırmak için sağlamlık, kopmaların gerçekleşmemesi için bitümlü bağlayıcıyı emmesi gibi birçok özelliği barındırması gerekir.

Tane Mukavemeti, bitümlü sıcak kaplamalarda kullanılacak agregaların sıkıştırmadan başlayarak tekrarlı trafik yükler ve hava şartlarıyla planlanan servis ömrü boyunca darbeye dayanıklılığı ve sertliğidir. Kullanılacak agrega darbeye, donma-çözülmeye ve aşınmaya dayanıklı olmalıdır.

Absorbsiyon, bitümlü bağlayıcının viskozitesine göre değişen agreganın bitümü emme derecesidir. Bitümlü bağlayıcının agrega tarafından emilmesiyle soyulmalar daha az gerçekleşir.

Gradasyon, bitümlü sıcak kaplamalarda stabilite, kayma direnci, bitümlü bağlayıcı miktarı ve kullanılacak maksimum tane çapını etkileyen parametredir.

Tane Şekli ve Yüzey Dokusu, bitümlü sıcak kaplamalarda kullanılacak agregaların açısal, kübik şekilli ve yüzey dokusu düz olmayan agregalar olmalıdır. Pürüzlü yüzeylerde soyulma miktarı daha azdır. Yuvarlak ve düz agregalar istenilen kenetlenmeyi sağlamadığı için istenilen stabiliteyi sağlayamaz. Kırılmışlık yüzdesinin stabilite üzerindeki etkisi önemlidir. Dere malzemelerinde kırılmışlık yüzdesinin az olmasından dolayı stabilitenin daha düşük olması beklenir. Tanelerin en az iki yüzeyinin kırılmış olması istenir. Uzun ve yassı tanelerin segregasyon ve stabilitede problem yaratmasından dolayı bitümlü sıcak kaplamalarda kullanılması önerilmez.

Porozite, agrega ve bitümün adezyonu için önemli bir etkendir. Porozitenin uygun miktarda olması agrega-bitümlü bağlayıcı kenetlenmesini arttıracaktır. % 2,5' tan fazla olan porozite, bitümlü sıcak karışımda bitümlü bağlayıcı miktarını arttıracaktır.

Yabancı Maddeler, bitümlü sıcak kaplamaların stabilite ve durabilitesini etkileyecek zararlı maddelerin agrega yüzeyinde bulunması istenilmez.

2.1.3. Kullanılan bitümlü bağlayıcı

Rengi kahveden siyaha dönen, petrolün damıtılmasıyla ortaya çıkan yüksek viskoziteli hidrobarkon maddeye bitüm denir. Şekil 2.1'de bitüm görülmektedir.



Şekil 2.1. Bitümün genel görüntüsü (www.sanalsantiye.com)

Şekil 2.1'de görülen su geçirmez, termoplastik ve viskoelastik malzeme olan bitüm en çok yollarda ve yalıtım gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Çizelge 2.1'de bitümün bileşenleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Bitümün bileşenleri (Tunç, 2007).

Karbon	% 82-88
Hidrojen	% 8-11
Nitrojen	% 0-1
Sülfür	% 1-6
Oksijen	% 0-1,5
Çok az miktarda metaller	

Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi bitümler genel olarak hidrokarbonlardan oluşmaktadır.

Kullanılan bitümün şartnameye, iklime uygun olmaması ve bitüm miktarının gereğinden az veya fazla kullanılması bitümlü kaplamanın erken bozulmasına neden olacaktır. Bitüm miktarının gereğinden az kullanıldığı durumlarda aşınma, düşük durabilite, soyulmalar, kaplama yüzeyinde agrega sökülmeleri, düşük yorulma mukavemeti, eğilmeden kaynaklı çatlaklar görülmektedir. Bitüm miktarının gereğinden fazla kullanıldığı durumlarda ise düşük stabilite, tekerlek izi, yüksek sıcaklıklarda bitümün erimesiyle kusma-terleme, kusmadan kaynaklı düşük kayma direnci görülmektedir (Ayçiçek, 2011).

Bitümlü sıcak karışımlardan oluşan kaplamaların bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak, iklim koşullarına direncini ve sürüş konforunu arttırmak için bitümlü bağlayıcının iklim koşullarına uygun seçilmesi gerekir. Bitüm sınıfı ve bitümün kullanılacağı bölgeler Türkiye'ye uygun şekilde Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bitüm seçim tablosu (Kaşak ve ark., 2004).

Bitüm Sınıfı		Bitümün Kullanılacağı Yer
BSK	Sathi Kaplama	
B40/60 B50/70	B70/100	Akdeniz İklimi Ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi Güney Kesimi
B50/70	B100/150	Karadeniz, Marmara, İç Anadolu, İç Batı Anadolu, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Kuzey Kesimi, Doğu Anadolu Batı Kesimleri
B70/100	B100/150	Bölgelerin Çok Soğuk Kesimleri, Doğu Anadolu Çok Soğuk Ve Yüksek Kesimler

2.1.4. Bitümlü kaplamalarda görülen bozulmalar

Bitümlü sıcak kaplamalarda serilme, sıkıştırma anında veya daha sonradan trafik veya iklim şartlarından dolayı bozulmalar meydana gelmektedir. Tasarım ve malzemenin yanlış seçimi, trafik yükleri, iklim şartları, imalat hataları ve teknik şartnameye uygun olmayan yapımlar ve malzemeler üstyapıların başlıca bozulma nedenlerindendir (Doğan, 2006).

Trafik yükleri, iklim ve çevre koşulları, dizayn hataları, malzeme seçimi, yapım hataları başlıca bozulma nedenleridir. Kaplamada oluşan kusurlar deformasyonlar, ayrışmalar ve çatlamalar olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar.

2.1.4.1. Deformasyonlar

Bitümlü sıcak kaplamanın serim ve trafiğe açılmasından sonra görülen yapısal bozukluklardır. Kalıcı deformasyonlar olup yolun tamamında veya bir bölümünde görülebilirler. Bu kusurların oluşmasına neden olan başlıca etkenler;

- Kaplamanın yetersiz sıkıştırılması
- Fazla filler miktarı ve bitüm oranı
- Yetersiz tabaka kalınlığı
- Alt tabakalarda fazla hacim değişikliği
- Yetersiz drenaj
- Yuvarlak ve düz agrega seçimi
- Yüksek penetrasyonlu bitüm

- Trafik hacminin projede belirtilenden fazla olması
- Düşük agrega bitüm emmesi gibi nedenler deformasyon kusurlarına sebep olmaktadır.

Deformasyon kusurlarının başlıcaları tekerlek izleri, yüzey bozukları, bölgesel çökmeler, ondülasyonlar, kabarmalar, paterni olarak karşımıza çıkmakta olup güvenli ve konforlu sürüşü engellemektedir.

2.1.4.2. Ayrışmalar

Trafik ve iklimin olumsuz etkilerinden en fazla etkilenen aşınma tabakasının trafik ve iklim etkisiyle kopma ve parçalanmalar görülmesidir. Ayrışmaların başlıca nedenleri;

- Yetersiz bitüm oranı
- Trafik hacminin projede belirtilenden fazla olması
- Agrega kirliliği
- Agreganın düşük porozitesi
- Karıştırma ısısı
- Fazla boşluk miktarı
- Aşınma tabakası kalınlığının az olması
- Düşük stabilite
- Düşük agrega-bitüm adezyonu
- Yetersiz sıkıştırma
- Yüksek penetrasyonlu bitüm ayrışma kusurlarına sebep olmaktadır.

Ayrışma kusurlarından kaynaklanan başlıca kusurlar çukurlar, parça veya tabaka halinde sökülmeler, kaygan yüzeyler olarak karşımıza çıkmakta ve trafikte güvenli sürüşü engelleyerek kazalara neden olmaktadır.

2.1.4.3. Çatlamalar

Trafik ve iklim etkisiyle farklı derinlik ve genişlikte kaplama yüzeyinde oluşan kusurlardır. Stabilite çatlakları, yorulma çatlakları ve yansıma çatlakları olarak üç sınıfa ayrılırlar. Çatlama kusurlarının başlıca nedenleri;

- Bitümün fazla yaşlanması
- Agreganın donma-çözülme direncinin düşük olması
- Agreganın fazla bitüm absorbsiyonu
- Esnekliğin azalması
- Bitüm miktarının fazla olması
- Boşluk oranının az olması
- Agregada kilitlenmenin fazla olması
- Tabakalar arası yapıştırma film kalınlığının fazla olması
- Yetersiz çekme kuvveti
- Soğuk havada yol serimi
- Hatalı dizayn
- Agrega kirliliği
- Filler / bitüm oranı fazlalığı gibi nedenler kaplamada çatlamalara yol açmaktadır.

2.2. Agrega Çalışmaları

Nan Su ve Chen (2002) cam atıklarını % 0-5-10-15 oranlarında karışıma katarak nem hassasiyeti, kayma direnci, su geçirgenliği, sıkıştırma ve ışığı yansıtma gibi bazı deneyler standartlarına uygun şekilde yapmıştır. Öncelikle Marshall testinin uygulandığı karışımların sonucunda cam atığının sıcak karışım asfaltta kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Sönmez, Yılmaz ve Tuğrul (2009), yaptıkları çalışmada yıkanmış ve yıkanmamış agregalarla üretilen sıcak karışımların performans analizini

değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında kireçtaşı, kumtaşı ve bazalt kullanmışlardır. Yıkanmış ve yıkanmamış olarak iki ayrı grupta karışımlar hazırlanıp Marshall stabilite testine tabii tutulmuştur. Çalışma sonucunda, yıkanmamış bazalt agregası en düşük bitüm içeriğine sahip olurken, en yüksek stabilite değerini de vermiştir. Ayrıca tüm karışımlar değerlendirildiğinde yıkanmış ve yıkanmamış agregalarda yakın sonuçlar olduğu gözlenmiştir.

Arabani ve Mirabdolazimi (2011), demir tozu katkılı bitümlü sıcak karışımların çekme mukavemeti değişimini araştırmışlardır. Katkı maddeleri kullanarak bitümlü sıcak karışımları dinamik yüklere karşı güçlendirmeyi hedeflenmişlerdir. Yapılan çalışmada demir tozu katkılı bitümlü sıcak karışımlarda yorulma ömrünün daha uzun olduğu gözlemlenmiştir.

Sönmez ve ark., (2011), agrega tane şeklinin bitümlü sıcak karışımlarda bitüm yüzdesi ve performansı üzerine etkisini araştırmışlardır. Farklı yassılıkta bulunan agregalar aşınma tabakası tip-1' e göre dizayn edilmiştir. Agrega oranı sabit tutularak yassılık oranı değiştirilmiştir. Marshall stabilite deneyi ile optimum bitüm yüzdeleri belirlenip, tekerlek izi tayini yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, yassılık oranı arttıkça optimum bitüm yüzdesi arttığı ve tekerlek izi oranını da olumsuz yönde etkilediği sonucuna varmışlardır.

Kara (2012) fayans atıklarını değerlendirerek yaptığı çalışmada, kullanılan Tip 2 gradasyonun agrega ağırlığına % 10-20-30-40'ı olacak şekilde fayans atıklarını eklemiştir. Çalışmada Marshall stabilite yöntemini kullanarak optimum bitüm yüzdelerini belirlemiştir. Çalışma sonunda bitüm yüzdesinin arttığını, optimum bitüm değerlerinin KGM Şartname değerlerini sağladığı, stabilitenin düştüğü sonucuna varmışlardır. Ayrıca en uygun fayans atığı oranı ise % 10 olduğu görülmüştür.

Özuğurlu (2015) elektrik ark ocağı cürufunun bitümlü kaplamalarda yapay agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve doğal ve yapay agregaları karşılaştırmıştır. Tüm deneyleri Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre

değerlendirmiştir. Değerler incelendiğinde optimum bitüm miktarlarının yakın ancak yapay agregada daha fazla olduğu görülmüştür. Optimum bitüm yüzdelerine göre hazırlanan karışımların stabilite değerleri incelendiğinde yapay agrega yani elektrik ark ocağı cürufunun stabilite değeri daha yüksek çıkmıştır. Elektrik ark ocağı cürufunun şartname değerlerini sağladığı görülmüştür.

Morova ve Terzi (2015) yaptıkları çalışmada dört farklı agrega grubu kullanarak kolemanit atıklarının sıcak karışım asfalt betonunda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kireç taşı ve kolemanit atıklarının farklı kombinasyonlarıyla oluşturulan karışım, Marshall stabilite testine tabii tutularak KGM Teknik Şartnamesi' ne uygunluğu kontrol edilmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek değeri kireç taşı vermiştir. Kolemanitin kullanıldığı bazı karışımlar şartnameye uygun olup, kolemanitin alternatif agrega olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Köfteci (2017) bitümlü sıcak karışımların geri dönüşüm yoluyla elde ettikleri agregaların performans analizlerini yapmıştır. Antalya' da bulunan bir yolun bitümlü temel tabakasından 20 karot almıştır. Geri dönüşüm gerçekleştirilen agregalara los angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi, soyulma mukavemeti, metilen mavisi ve donma-çözülme deneyleri uygulayarak performans analizi yapmıştır. Deneyler sonucunda, elde edilen geri dönüştürülmüş agregaların şartname sınır değerlerine uyduğu ve tekrar üstyapıda kullanılabileceğini bildirmiştir.

Terzi ve Büyükdoğaç (2018) hafif asfalt betonu üretiminde pomza ve zeolit atıklarının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kaba agreganın kireçtaşı olduğu karışımlarda, ince agrega olarak pomza ve zeolit atıkları kullanılmıştır. Kaba agrega olarak pomza ve zeolit agregaları kullanıldığında ise ince agrega olarak kireçtaşı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kireçtaşına kıyasla diğer iki agrega daha düşük stabilite sonucu vermiştir. Bu atıkların, sürtünmeyi arttırmak veya sızıntıyı önlemek amacıyla yapılan ince aşınma tabakalarında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Aslan ve Sarıışık (2018) Güneydoğu Anadolu Bölgesi Diyarbakır yöresinde bulunan bazalt, kalker ve dere agregalarını kullanarak bitümlü sıcak karışımlar

oluşturmuş ve performans değerlendirmesi yapmışlardır. Öncelikle agregaların şartnameye uygunluğu test edilip daha sonra agregalar karışım içerisindeki performansları kıyaslanmıştır. Tüm agregaların optimum bitüm oranları Marshall dizaynına uygun olarak belirlenmiştir. Oluşturulan karışımların performans değerlendirilmesi yapılmış ve önerilerde bulunmuşlardır.

Keskin ve Karacasu (2018) geri dönüştürülebilir atıkların yol üstyapısında değerlendirilebilirliğini asfalt betonunda atık borları kullanarak araştırmışlardır. Dünya bor rezervinin % 72'sinin Türkiye' de bulunmasından dolayı ülkemizde bor atıkları fazlaca bulunmaktadır. Kıymetli bir maden olan bor, inşaat sektöründe de her alanda kullanılması amaçlanmıştır. Çalışmada 1,18 mm' lik eleklerin altında kalan boraks pentahidrat, susuz boraks ve öğütülmüş atık boru %5, %10 ve % 15 oranında kullanarak asfalt betonu numuneleri elde edilmiştir. 170 adet asfalt betonu numunesi hazırlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde borun optimum bitüm yüzdesini arttırdığı, susuz boraks ve boraks pentahidratın asfalt betonunda kullanılmasının uygun olmadığı, öğütülmüş atık borun kontrol numunesine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca 1 km'lik yolda 86 ton atık kullanıldığı göz önüne alınarak, öğütülmüş atık borun bulunduğu illerde çevre kirliliğinin önlenmesi açısından asfalt betonunda öğütülmüş atık borun kullanılabileceği belirtilmiştir.

2.3. Filler Çalışmaları

Terzi ve Karaşahin (2003) mermerlerin kesilmesinden sonra ortaya çıkan mermer tozu atıklarını bitümlü sıcak karışım asfaltlarda filler malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kontrol filler malzeme olarak taş tozu kullanılıp, mermer tozunun filler olarak kullanılmasıyla kıyaslanmıştır. Marshall dizayn yöntemiyle optimum bitümlü bağlayıcı yüzdeleri belirlendikten sonra bitüm yüzdesine göre de filler oranları belirlenip dinamik plastik deformasyon testinde birim deformasyonlardan optimum bitüm yüzdesi tayin edilmiştir. Numuneler karşılaştırıldığında taş tozunun filler olarak kullanıldığı karışımlarda yüksek stabilite ve düşük plastik deformasyon değerleri elde dilmiştir. Mermer fabrikalarının

bulunduğu bölgelerde atık mermer tozlarının yol üstyapısında kullanılabilirliği uygun görülmüş, ancak kurutma işleminden dolayı maliyeti arttıracağı belirtilmiştir.

Yılmaz ve Sütaş (2005), yaptıkları çalışmada ferrokrom cürufunu bitümlü sıcak karışımlarda filler malzeme olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada mineral tozu olarak taş tozu kullanılan numuneler kontrol numunesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ferrokrom cürufu ve taş tozunun mineral filler olarak kullanıldığı numunelerin stabilite değerleri incelendiğinde, taş tozunun filler olarak kullanıldığı numunelerin daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür.

Çelik ve ark., (2007) üç farklı mineral filler kullanarak esnek üstyapı performans gelişimini incelemişlerdir. Kontrol filler olarak kalker tozu, diğer karışımlar için magnezit tozu ve carboniferous-triassic kaya tozu kullanılmıştır. Bitümlü bağlayıcı olarak B50/70 penetrasyon bitüm kullanılmıştır. Marshall stabilite sonuçları incelendiğinde magnezit tozunun bulunduğu karışımlarda stabilite daha yüksek çıkmıştır. Magnezit tozuyla üretilen karışımda yüksek stabilite daha düşük bitüm oranında elde edilmiştir. Dolayı çekme modülü incelendiğinde yine en yüksek değeri magnezit tozunun kullanıldığı karışımlar vermiştir. En büyük dolaylı çekme değerinin ise bağlayıcı oranıyla elde edildiği bildirilmiştir.

Üstünkol ve Turabi (2009), farklı mineral fillerin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği ve şartnameye uygunluğunu araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada mermer tozu, uçuçu kül, fosfo alçı ve cam tozunu filler malzeme olarak kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, stabilite değerlerinin yükseldiği ancak fosfo alçı ve uçucu külün şartname değerlerine uymadığı gözlenmiştir.

Öksüz (2011) volkanik cüruf ve cam tozlarının bitümlü sıcak karışımlarda filler malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada önce % 7 sabit filler oranı ve % 4- 4,5-5-5,5-6-6,5 oranlarında bitüm kullanmıştır. Daha sonra ise optimum bitüm oranında ve % 5-6-7-8-9 oranında filler malzeme kullanarak kırma taş tozunun kullanıldığı kontrol numunesi ile karşılaştırmalar yapmıştır. Sonuçlar incelendiğinde optimum bitüm oranları kırma taş tozuna yakın değerler vermiştir. En

yüksek stabilite değeri volkanik cüruf filler malzemede elde edilmiştir. Artan filler malzeme oranıyla boşluk yüzdesi azalmıştır. Akma değerleri filler malzeme oranının artmasıyla azalmıştır.

Nabiun ve Khabiri (2016) ferritin filler malzeme olarak bitümlü sıcak karışımlarda nem hassasiyetini araştırmışlardır. Kireç taşının filler malzeme olarak kullanıldığı karışımlar kontrol numunesi olarak değerlendirilmiştir. Farklı oranlarda ferrit filler katkı olarak ilave edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde % 35 ferrit katkılı karışımlar kontrol numunesinden düşük değer verirken, % 70 ve % 100 ferrit filler içeren karışımlar yüksek değer vermiştir. Ferritin sıcak asfalt karışımda düşük değerlerde etki göstermediği sonucuna varılmıştır.

Wasilewska ve ark., (2017), yaptıkları çalışmada 5 farklı mineral fillerin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Granit, gabro, trachybasalt, kuvars kumtaşı, postglacial kayaç ve kireçtaşını filler malzeme olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada filler kireçtaşı kontrol malzemesi olark kullanılmıştır. Filler malzemelere sınıflandırma, metilen mavisi deneyi, su içeriği tayini, parçacık yoğunluğu, Blaine yüzey alanı, delta halkasıyla yumuşama noktası ve SEM deneyleri uygulanmıştır. Mineral fillerler bitümle karıştırıldığında sertleşme etkisinde büyük değişiklikler olduğu, düzenli ve yuvarlak taneli kireçtaşı ve postglacial fillerlerin blaine yüzey alanlarının 3000 cm^2/g'ı aştığı gözlenmiştir.

2.4. Bitüm Çalışmaları

Ergün ve ark., (2001) atık plastikleri yol üstyapısında yeniden kullanımını araştırmışlardır. Sıcaklığa hassasiyeti fazla olan bitüme atık plastikler katarak yol üstyapısında geliştirmeler hakkında önerilerde bulunmuşlardır. Plastik atıkların bitümlü bağlayıcıda viskozite arttırdığını ve böylece sıcaklık değişimine olan hassasiyetini azalttığı; plastiklerin şeritler halinde karışıma katıldığında boşluğu azalttığını ve soğuyup sertleştikten sonra donatı etkisi gösterdiğini; yarı erimiş halde katıldığında ise agregalar arasında blokaj etkisi yani yük iletimi yaptığını belirtmişlerdir.

Kütük Sert (2017) yaptığı çalışmada Üleksit mineralinin sıcak karışımlarda suya hassasiyetine etkisini araştırmıştır. Üleksit mineralinin 25 mikron altını ve 53 mikron üstünü karışımlarda kullanmıştır. Üleksit mineralini bağlayıcı miktarının % 5 ve % 10'u kadar karışıma katarak suya hassasiyetini araştırmıştır. Sonuçlar incelendiğinde üleksit mineralinin suya karşı direnci arttırdığı ve mukavemet kaybının üleksit minerali katkılı numunelerde %3-4 oranında olduğu görülmüştür.

Karahançer ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada nano SiO_2 ve nano Cu_2O ile modifiye bitüm elde ederek asfalt kaplamaların performans gelişimini değerlendirmişlerdir. Bitümlü bağlayıcı nano malzemelerle modifiye edilmiştir. % 0,1-% 1, % 0,3-% 3, % 0,5- 5 oranlarında nano $Si0_2$ ve nano Cu_2O bitüme katılarak modifiye edilmiştir. Optimum bitüm oranları belirlendikten sonra dayanım ve performans deneyleri uygulanmıştır. Optimum bitüm oranları incelendiğinde % 0,5-% 5 oranlarında nano Cu_2O modifiye bitümlerde bitüm oranında ve yumuşama noktasında % 4 oranında azalma olduğu görülmüştür. İndirekt çekme kuru ve ıslak çekme deneylerinde modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının mukavemeti daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılarda neme hassasiyetin azaldığını da belirtilmiştir.

2.5. Kayma analizi çalışmaları

Gürer ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada Afyonkarahisar bölgesinde sıcak karışımlarda kullanılan farklı ocaklardan alınan kalker ve andezitin kayma direnci özelliklerini araştırmışlardır. Soyulma deneyi, yapışma deneyi ve cilalanma deneyleri şehir içi kaplamalarında kullanılan agregalara uygulanmıştır. Çalışma sonucunda kireçtaşı agregalarının cilalanma değerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Sürüş güvenliği açısından cilalanma değeri yüksek agregaların aşınma tabakasında kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Şengöz ve ark., (2010), İzmir şehir içi yollarda kayma sürtünme katsayısını dinamik sürtünme ölçer cihazıyla analiz etmişlerdir, yapılan analiz trafik kazalarıyla ilişkilendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde dinamik sürtünme değerinin düşük ve

hızın yüksek olduğu yollarda kaza sayısının fazla olduğu görülmektedir. Dinamik sürtünme değerinin kazaları önlemede etkisi olduğu bildirilmiştir.

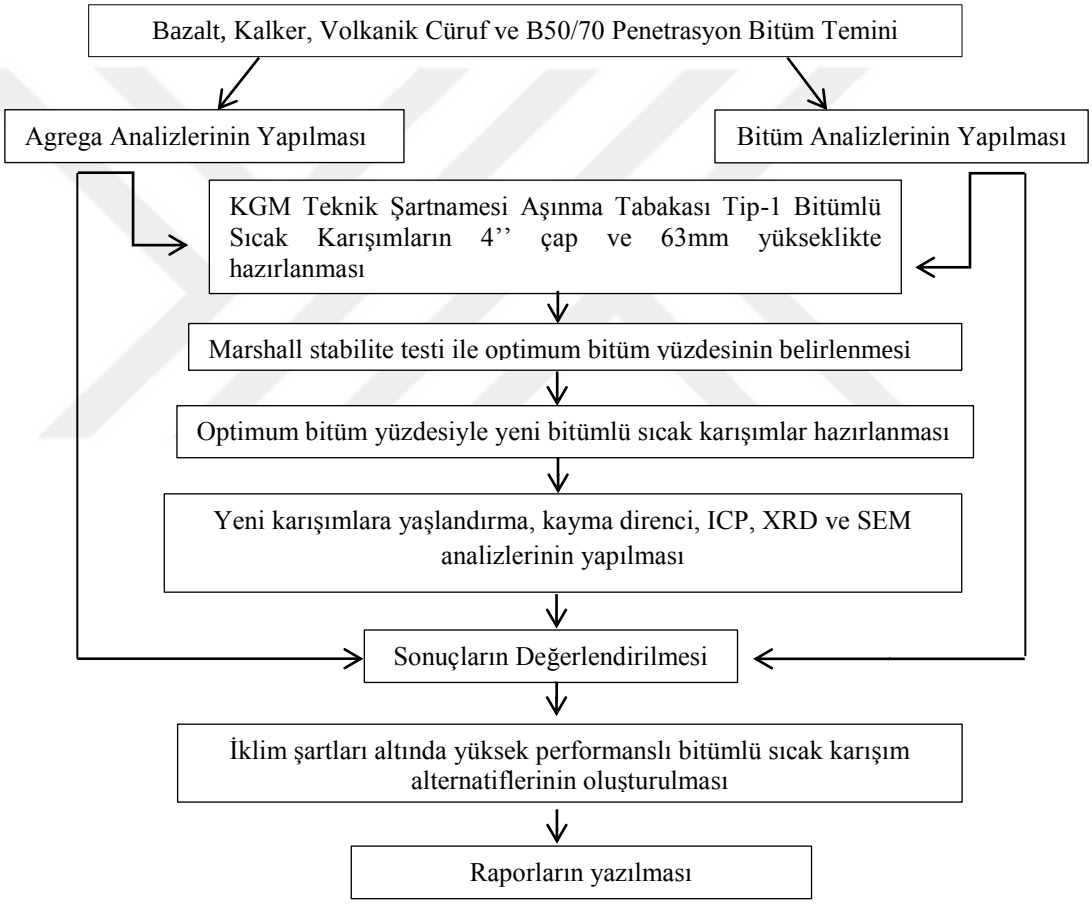
Uz ve Gökalp (2017) yaptıkları çalışmada doğal agrega ve cüruflardan oluşan yüzeysel kaplamalara kayma direnci analizi yapılmıştır. Her bir agregaya fiziksel, mekanik ve kimyasal analizler standartlara uygun şekilde yapılmıştır. Sathi kaplamalarda 7 farklı agrega dane boyutu, harç tipi kaplamada ise 3 farklı gradasyon kullanılmıştır. Çalışma sonunda cüruflar ile üretilen karışımların, doğal agreganın kullanıldığı numunelerden daha iyi kayma direnci gösterdiği sonucuna varılmıştır. Yüzeysel kaplamalarda cüruf kullanımıyla yüksek kayma direnci elde edileceği, bakım ve onarım masraflarının düşeceği ve düşük kayma direncinden kaynaklanacak trafik kazalarının önüne geçileceği sonucuna varılmıştır.

Yıldız (2018) şehir içi yollarda kullanılan asfalt kaplamaların kayma sürtünme katsayısı analizini pandül test cihazı ile yapmıştır. Ölçümler Ankara ilinin Keçiören ilçesinde üç cadde üzerinde kuru ve ıslak yüzeylerde yapılmıştır. Çalışma sonucunda kayma direnci potansiyelinin güvenli bölgede kaldığı ancak belli aralıklarla kontrollerin yapılması gerektiği önerisi yapılmıştır.

Akgül ve Sarıışık (2019) pandül test cihazıyla Şanlıurfa ilinde şehir içinde bulunan asfalt betonu yolun 500 metrelik kesiminde kuru yüzeyde kayma sürtünme katsayısının analizini yapmışlardır. 8 noktada 2 yönlü ve her noktada 4 ölçüm olmak üzere toplam 64 ölçüm yapmışlardır. Yolun genelinin sürtünme katsayısı incelendiğinde cilalanma değerinin yüksek olduğu, yaz aylarında Şanlıurfa'da kayma sürtünme katsayısının istenilen değerin altında kaldığı ve yolda olası trafik kazalarının yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada materyal olarak 3 farklı mineral filler ve bitüm kullanılmıştır. Kullanılan agregalar bazalt, kalker ve volkanik cüruf olup bölgede bulunmasından dolayı tercih edilmiştir. Çalışmada üç aşamada ilerlemiştir; agrega deneyleri, bitüm deneyleri ve bitümlü sıcak karışım deneyleri. Çalışmanın akış diyagramı Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Materyal ve yöntem akış diyagramı

3.1. Materyal

3.1.1. Agregalar

Çalışmada bazalt, kalker ve volkanik cüruf olmak üzere üç farklı doğal agrega kullanılmıştır. Bazalt ve kalker agregaları Beltaş A.Ş. firmasından, volkanik cüruf ise Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan Beltaş A.Ş.'den temin edilen bazalt agregası Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan bazalt agregası

Şekil 3.2' de görülen bazalt agregası kullanılacak gradasyona göre ayarlanmış toplam 1200 g bazalt agregasıdır. Firmadan karışık bir şekilde gelen agregalar istenilen boyutlara göre elenip kullanılmıştır. Kaba ve ince agrega olarak tüm karışımlarda bazalt kullanılmıştır. Karışımların filler malzemeleri değiştirilerek yeni karışımlar elde edilmiştir. Filler malzeme olarak bazaltın kullanıldığı karışım kontrol numunesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan kalker Şekil 3.3' te verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan kalker agregası

Şekil 3.3' te görülen kalker agregası ilgili firmadan büyük daneler şeklinde teslim alınmıştır. Kalker agregası sadece filler malzeme olarak kullanılacağı için öncelikle Los Angeles cihazında parçalanmıştır. Daha küçük danelere parçalanan kalker 0.075 mm' lik eleklerden elenerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan volkanik cüruf filler Şekil 3.4' te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan volkanik cüruf (20.08.2019, Şanlıurfa)

Şekil 3.4' te görülen volkanik cüruf ilgili kurumdan büyük boyutlar şeklinde gönderilmiştir. Los Angeles cihazında parçalanan volkanik cüruflar 0.075 mm' lik eleklerde elendikten sonra kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Bazalt, kalker ve volkanik cüruf ocaklarının bulunduğu iller

Çalışmada kullanılan bazalt, kalker ve volkanik cüruf ocakları Şekil 3.5' te gösterilen Şanlıurfa ve Adıyaman illerinden temin edilmiştir. Bazalt ve kalker Şanlıurfa, volkanik cüruf ise Adıyaman ilinden temin edilmiştir.

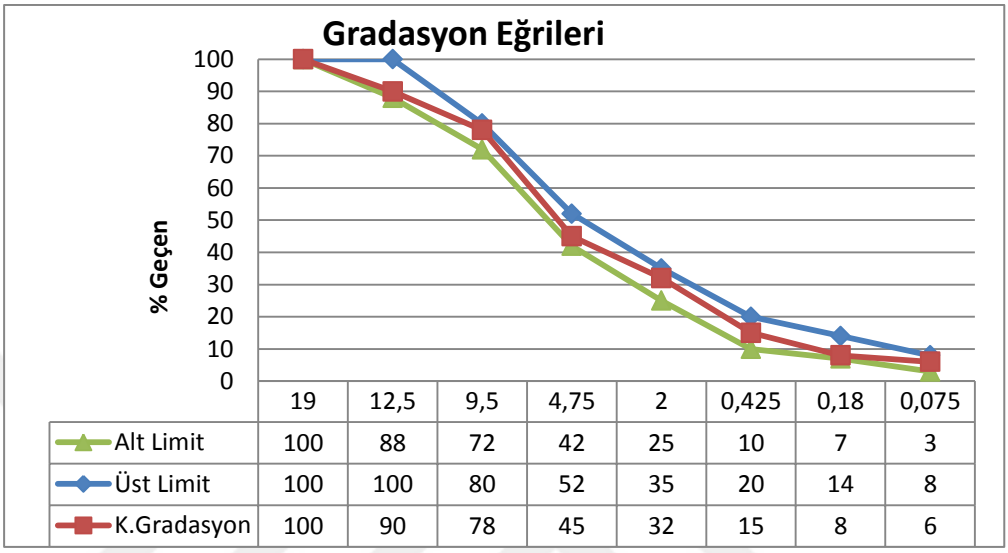
Çalışmada Karayolları Teknik Şartnamesinde Aşınma Tabakası Tip-1 için belirlenen sınır değerlere uygun gradasyon oluşturulmuştur. Sınır değerler ve karışım gradasyonu Çizelge 3.1' de verilmiştir. Karışımda filler malzeme oranı % 6' da sabit tutulmuştur.

Çizelge 3.1. Aşınma tabakası Tip-1 sınır değerleri (KGM Teknik Şartnamesi, 2013)

Elek çapı (mm)	Alt Limit (%Geçen)	Üst Limit (%Geçen)	Kullanılan Gradasyon (%)
19.00	100	100	100
12.50	88	100	90
9.50	72	80	78
4.75	42	52	45
2.00	25	35	32
0.425	10	20	15
0.180	7	14	8
0.075	3	8	6

Çizelge 3.1 incelendiğinde filler malzeme %3-8 arasında tutulmuştur. Filler etkisi incelendiği için filler malzeme oranı yüksek tutulup, % 6 olarak seçilmiştir. Filler malzeme oranı tüm karışımlarda sabit tutulmuş olup, tüm karışımların sadece

mineral fillerin türü değiştirilmiştir. Çizelge 3.1 incelendiğinde aşınma tabakası tip-1 için 19 mm'den küçük taneler tercih edilmiştir. Kullanılan gradasyon şartname alt ve üst limitlerle birlikte gradasyon eğrileri olarak Şekil 3.6' da verilmiştir. Karışım gradasyonu şartname limit değerleri aralığında kaldığı görülmektedir.



	19	12,5	9,5	4,75	2	0,425	0,18	0,075
Alt Limit	100	88	72	42	25	10	7	3
Üst Limit	100	100	80	52	35	20	14	8
K.Gradasyon	100	90	78	45	32	15	8	6

Şekil 3.6. Gradasyon Eğrisi

Şekil 3.6 ve Çizelge 3.1 incelendiğinde % 55 kaba agrega, % 39 ince agrega ve % 6 oranında mineral filler kullanıldığı görülmüştür. Çizelge 3.2 'de kullanılan agregaların gradasyona göre tartımı verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan gradasyona göre agrega tartımı

Elek çapı (mm)	Karışım gradasyonu (%)	Elekte kalan (%)	Agrega miktarı (g)
19,00	100	10	120
12,50	90		144
9,50	78	12	396
4,75	45	33	540
2,00	32	45	
0,425	15		
0,180	8		
0,075	6		
TOPLAM			1200

Kullanılan aralığa uygun olarak elenerek ayrılan kaba ve ince agregalar Şekil 3.7' de verilmiştir.



Şekil 3.7. Kaba ve ince agregalar

3.1.2. Bitümlü bağlayıcı

Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcı Şanlı Asfalt A.Ş.' den temin edilmiş olup, ilgili firma Batman TÜPRAŞ Rafinerisinden temin etmektedir. Bitümlü bağlayıcı olarak B50/70 penetrasyon bitümü kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Agrega fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik tayini

Karayolu üstyapılarında kullanılacak agregaların KGM Teknik Şartnamesine uygun olması istenir. Karışım dizaynı oluşturulmadan önce kullanılacak agreganın fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine bakılarak KGM Teknik Şartnamesine uygunluğu kontrol edilir. Şartnameye uygun olan agregalar yol üstyapısında kullanılabilmektedir. Kullanılabilecek agregaya uygulanacak başlıca deneyler; özgül

ağırlık ve su emme deneyi, XRF analizi, soyulma mukavemeti, aşınma tayini vb. olarak sıralanabilir.

3.2.1.1. Özgül ağırlık ve absorbsiyon deneyi

TS EN 1097-6 standardına uygun olarak gerçekleştirilen bu deney, agreganın su miktarı ağırlığına oranlamasıyla belirlenir (Aslan, 2018). Bu deney kaba agrega, ince agrega ve filler malzemeye ayrı ayrı uygulanır.

Kaba agrega özgül ağırlık ve su emme hesabı TS EN 1097-6 standardına uygun olarak yapılır. No.4 (4,75 mm) elek üstünde kalan, en az 2000 g ve gradasyonu temsil eden agregalar yıkanarak tepsiye konulur. 110 ° C etüvde 24 saat kurumaya bırakılır. 24 saat sonunda soğumaya bırakılan numune tartılır ve W_1 olarak not edilir. Sabit kütleye gelen agregalar tepsiye alınır ve üzeri 2 cm geçecek şekilde su ile kaplanarak 24 saat suyun içerisinde bekletilir. 24 saat sonunda sudan çıkartılarak bir bez yardımıyla doygun kuru yüzey haline getirilen agregalar tartılır ve W_2 olarak not edilir. Aynı agrega numuneleri Arşimet terazisinde ölçülür ve W_3 olarak not edilir. Kaba agrega özgül ağırlık ve su emme sonuçları aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilir.

$$\text{Kaba agrega hacim özgül ağırlık } (g/cm^3) = \frac{W1}{W2-W3} \quad (3.1)$$

$$\text{Kaba agrega zahiri özgül ağırlık } (g/cm^3) = \frac{W1}{W1-W3} \quad (3.2)$$

$$\text{Kaba agrega su emme oranı } (\%) = \frac{W3-W1}{W1} * 100 \quad (3.3)$$

No 4. (4,75 mm) eleğin altında ve No.200 (0,075 mm) eleğin üstünde kalan agregalara uygulanan ince agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi, TS EN 1097-6 standardına uygun olarak gerçekleştirilir. Gradasyonu temsil eden agrega numuneleri No.200 elekte yıkanarak 24 saat suda bekletilir. Deneyin gerçekleşmesi için piknometre kullanılır. Kullanılan piknometre Şekil 3.8' de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Farklı boyutlarda piknometre

Boş piknometre ağırlığı kapağıyla birlikte tartılır ve W_1 olarak not edilir. Piknometre su ile doldurularak kapağıyla birlikte ağırlığı W_2 olarak not edilir. 24 saat suda bekletilen numuneler çıkartılır ve ısı yardımıyla doygun kuru yüzey durumuna gelmesi sağlanır ve Abraham hunisiyle kontrol edilir. Doygun kuru yüzey durumuna getirilen ince agregalardan 500 g alınarak piknometreye koyulur ve tartılır (W_3). Daha sonra Piknometrenin yarısına gelecek şekilde saf su doldurulur ve işaretlenerek 25 ° C'deki suda 24 saat bekletilir. 24 saat sonunda seviye kontrol edilir ve tartılarak W_4 olarak not edilir. Piknometre içerisinde bulunan ince agregalar bir tepsiye alınarak 110 ° C etüvde kurtulur ve tartılır (W_5). İnce agrega özgül ağırlık ve su emme sonuçları aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilir.

$$\text{İnce agrega hacim özgül ağrılık (g/cm}^3\text{)} = \frac{W5}{(W2+W3)-(W1+W4)} \quad (3.4)$$

$$\text{İnce agrega zahiri özgül ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \frac{W5}{W2+W5-W4} \quad (3.5)$$

$$\text{İnce agrega su emme oranı (\%)} = \frac{W3-W1-W5}{W5} * 100 \quad (3.6)$$

No.200 (0,075 mm) eleğin altında kalan mineral fillerin zahiri özgül ağırlık hesabı TS EN 1097-6 standardına uygun olarak gerçekleştirilir. Piknometre kapağıyla birlikte tartılarak W_1 olarak not edilir. Piknometre saf su ile doldurularak 25 ° C su banyosunda 60 dakika bekletilir. Piknometre kurulanarak tartılır (W_2). Etüvde kurutulmuş ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılan mineral fillerin bir kısmı piknometreye doldurulur (W_3). Piknometrenin yarısı su doldurularak havası alınır, daha sonra diğer yarısı da su ile doldurularak tekrar havası alınır. Baloncuk kalmamasına dikkat edilir. Su banyosunda en az 60 dakika bekletilir ve tartılır (W_4). Filler zahiri özgül ağırlık hesabı aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilir.

$$\text{Mineral filler özgül ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \frac{W3-W1}{(W2-W1)-(W4-W3)} \quad (3.7)$$

3.2.1.2. X-Işını floresans spektrometresi (XRF) analizi

Katı, sıvı ya da toz numunelerin hassas kantitatif analizini yapmak için kullanılan XRF analizi, foton-madde etkileşimi prensibiyle çalışır. Kullanılan örnekten gelen ışınları sayarak element miktarı tayini yapılır. XRF analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarında yapılmış olup Şekil 3.9' da bulunan cihaz kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bazalt, kalker ve volkanik cüruf agregasına uygulanmıştır.



Şekil 3.9. XRF analizi cihazı

3.2.1.3. Los Angeles aşınma deneyi

Yapay ve doğal agregaların aşınma ve parçalanmaya direncinin belirlenmesinde kullanılan deneydir. TS EN 1097-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilen deneyin cihazı Şekil 3.10' da gösterilmektedir. 10-14 mm dane boyutu arasında kalan agregalar öncelikle yıkanır ve sabit kütleye ulaşıncaya kadar etüvde 110 ° C' de kurutulur. Deneyi gerçekleştirmek için kurutulan agregadan 5000 g tambura yüklenir ve bilyalar eklenerek kapak kapatılır. 30-33 devir/dakika aralığında sabit hızda 500 devir döndürülür. Devri biten cihaz kapatılarak kapağı açılır. İçindeki agrega dikkatli bir şekilde 1,66 mm' lik eleğe boşaltılarak yıkanır ve elenir. Elek üstünde kalan agregalar kurutularak tartılır (m). Los Angeles katsayısı aşağıdaki gibi denklem (3.8) yardımıyla hesaplanır. LA katsayısının KGM teknik şartnamesinde % 27' den küçük olması beklenir.

$$LA = \frac{5000-m}{50} \quad (3.8)$$

LA : Los Angeles Katsayısı

m : 500 devir sonrası 1,6 mm' lik eleğin üstünde kalan agrega miktarı (g)



Şekil 3.10. Los Angeles aşınma deneyi cihazı

3.2.1.4. Metilen mavisi deneyi

Bitümlü sıcak karışımların performansını olumsuz etkileyecek kil, silt vb. zararlı maddelerin ince agregadaki miktarını hakkında bilgi veren deneydir. Bu deney, TS EN 933-9+A1 standardına uygun olarak gerçekleştirilir. Çalışmada kullanılan metilen mavisi deney seti Şekil 3.11' de verilmiştir.



Şekil 3.11. Metilen mavisi deney seti

0-2 mm aralığındaki en az 200 g olan ince agregalar 110 ° C etüvde kurutulur ve soğuması için oda sıcaklığında bırakılır. Soğuyan ince agregalar tartılır ve M olarak not edilir. 500 ml' lik saf suya agregalar eklenerek karıştırılır. Daha sonra 5 ml' lik metilen mavisi çözeltisi eklenir ve gerekli sürelerde süzgeç kâğıdına çözelti damlatılarak mavi tonda açılma olması beklenir. Metilen mavisi çözeltisi ekleme işlemi mavi tonda açılma işlemi oluncaya kadar devam eder. İlave edilen toplam metilen mavisi çözeltisi V olarak not edilir. Metilen mavisi değeri denklem (3.9) yardımıyla elde edilir.

$$\text{Metilen Mavisi Değeri} = \frac{V}{M} * 10 \qquad (3.9)$$

V: İlave edilen toplam metilen mavisi çözeltisi (ml)
M: 500 ml'lik çözeltiye eklenen ince agrega miktarı (g)

3.2.1.5. Soyulma mukavemeti deneyi

TS EN 12697-11 standardına uygun olarak gerçekleştirilen bu deney, agrega ve bitüm arasındaki aderansın sıcaklık ve su etkisiyle değişimini vermektedir. Kullanılan agrega tipi, agrega yüzey pürüzlülüğü, yüzey kırılmışlığı ve bitüm bağlayıcı cinsi ve penetrasyonu soyulma mukavemetini etkileyen parametrelerdir. Soyulma mukavemetinin fazla olması durumunda bitüme katkı maddesi eklenerek aderansın arttırılması sağlanır. Soyulma mukavemeti uygulanmış agregalar Şekil 3.12' de görülmektedir.



Şekil 3.12. Soyulma mukavemeti deneyi

6,5-9,5 mm arasında kalan agregalar elenerek yıkanır. Yıkanan agregalar 110 ° C etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur. Kurutulan agregalardan 100 g ayrılır ve 5 g bitümlü bağlayıcı eklenerek homojen karışım elde edilene kadar karıştırılır. Karışım soğumaya bırakılır. Soğuyan numunenin üstü saf su ile kaplanır ve 60 ° C etüvde 24 saat üstü kapalı şekilde bekletilir. 24 saat sonunda kap çıkarılır ve net görüntü elde edilinceye kadar su temizlenir ve soyulma miktarı belirlenir.

KGM Teknik Şartnamesine göre soyulma miktarının % 60' ın altında olması beklenir.

3.2.1.6. Slake durabilite deneyi

Diğer adı ''Suda Dağılma Dayanımı Deneyi'' olan bu deney, kayaç ve agregaların ıslanma-kurulanma, donma-çözülme, sıcaklık vb. etkenlerle numunenin iç yapısında oluşacak bozulmaları önceden tahmin etmeye yardımcı olur (Beşer, 2018).

Deney ASTM D4644-87 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Agrega tane boyutunun 3 mm' yi geçmemesi gerekir. Deneyde 12.50 mm' lik eleklerin üstünde kalan agregalar kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce temiz ve kuru şartlarda bulunan sağ ve sol tambur tartılarak not edilir (C). Agregaların toplam ağırlığı 450-550 g olacak şekilde 110 ° C etüvde kurutulur ve tamburlara yerleştirilerek. Tambur ve agrega numunelerinin ağırlığı A olarak not edilir. Tamburlar su tankına sağ ve sol kuralına göre yerleştirilerek su tanklarına saf su eklenir. Cihaz 10 dakika süreyle çalıştırılır. Süre bittikten sonra tanklar dikkatli bir şekilde çıkarılır ve etüvde kurutulur. Kurutulan tamburlar tekrar ölçülerek B olarak not edilir. Slake durabilite katsayısı yani I_d denklem (3.10) yardımıyla hesaplanır. Deneyde kullanılan cihaz Şekil 3.13' te verilmiştir.

$$I_d = \frac{B-C}{A-C} * 100 \qquad (3.10)$$

I_d: Slake durabilite katsayısı

A: Deney öncesi tambur + agrega ağırlığı

B: Deney sonrası tambur + agrega ağırlığı

C: Tambur ağırlığı



Şekil 3.13. Slake Durabilite deney cihazı

Slake durabilite katsayısı Gamble'nin 1971'de oluşturduğu tabloya göre sınıflandırılmaktadır. Çizelge 3.2' de suda dağılma dayanımı sınıflandırılması gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Suda dağılma dayanım sınıflaması (Gamble, 1971).

İndeks Değeri (I_{d-1}) (%)	**İndeks Değeri (I_{d-2}) (%)**	**Dağılma Dayanım Sınıflaması**
<60	0-30	Çok düşük
60-85	30-60	Düşük
85-95	60-85	Orta Derecede
95-98	85-95	Orta-Yüksek
98-99	95-98	Yüksek
>99	>98	Çok Yüksek

3.2.1.7. Hava tesirlerine karşı dayanım deneyi

Yol üstyapısının bozulmasını etkileyen başlıca faktörlerden biri maruz kaldığı iklim şartları yani hava tesirleridir. Yağmur, kar, sıcaklık ve donma-çözülme olayları yol üstyapısını olumsuz etkileyip erken tahrip olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenden dolayı yol üstyapısının performansını büyük ölçüde etkileyen agregaların hava şartlarına dayanıklı olması istenir.

TS EN 1367-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilen bu deney, agreganın hava tesirlerinden ne derecede etkilendiğini belirler. 10-14 mm aralığında dane çapına sahip agregalar yıkanır ve 110 ° C etüvde kurutulur. Etüvden alınan sabit kütleye sahip olan agregalar tartılır ve M_1 olarak not edilir. $MgSO_4$ çözeltisi hazırlanır ve agregalar tel sepetlere koyularak çözeltiye daldırılır. Agregalar sıcaklığı 20 ° C olan çözelti içerisinde 17 saat bekletilir ve daha sonra çıkarılarak sularının süzülmesi beklenir. Suları süzülen agregalar 24 saat 110 ° C etüvde kurutulur. Bu işlem 5 defa tekrarlanır. Son işlem bitince agregalar tartılır ve M_2 olarak not edilir. Agregada gerçekleşecek olan bozulma, 500 donma-çözülme olayına denktir (Orhan, 2012). Agregaların hava tesirlerine dayanımı aşağıdaki denklem (3.11) yardımıyla elde edilir.

$$\text{Hava Tesirlerine Dayanım (\%)} = \frac{M1-M2}{M1} * 100 \qquad (3.11)$$

3.2.2. Bitümlü bağlayıcı fiziksel özellik tayini

Bitümlü sıcak karışımların performans özelliklerini etkileyen ana parametrelerden biri olan bitümün fiziksel özellikleri karışım dizaynı yapılmadan önce belirlenmelidir. İstenilen özelliklere uygun bitümü belirlemek için belli başlı deneyler uygulanarak bitümün fiziksel özellikleri belirlenir.

3.2.2.1. Penetrasyon deneyi

TS EN 1426 standardına uygun olarak gerçekleştirilen penetrasyon deneyi, bitümlü bağlayıcının viskozitesini belirler.

Öncelikle bitümlü bağlayıcı ısıtılarak penetrasyon deney kabına doldurulur. Kap tekrar ısıtılarak boşluk kalmaması sağlanır ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Daha sonra numuneler 25 ° C suda 1 saat bekletilir. Cihaza yerleştirilen kap, iğne ile temas etme noktasında ayarlanır. Penetrasyon iğnesi serbest bırakılır ve en az üç okuma gerçekleştirilir. Her okumada iğne temizlenir ve okumalar farklı noktalardan yapılır. Her nokta arası 1 cm' den az olacak şekilde ayarlanır.

Okumaların ortalaması alınır ve en yakın sayıya yuvarlanır. Deneyde kullanılan penetrasyon cihazı Şekil 3.14' te gösterilmektedir.

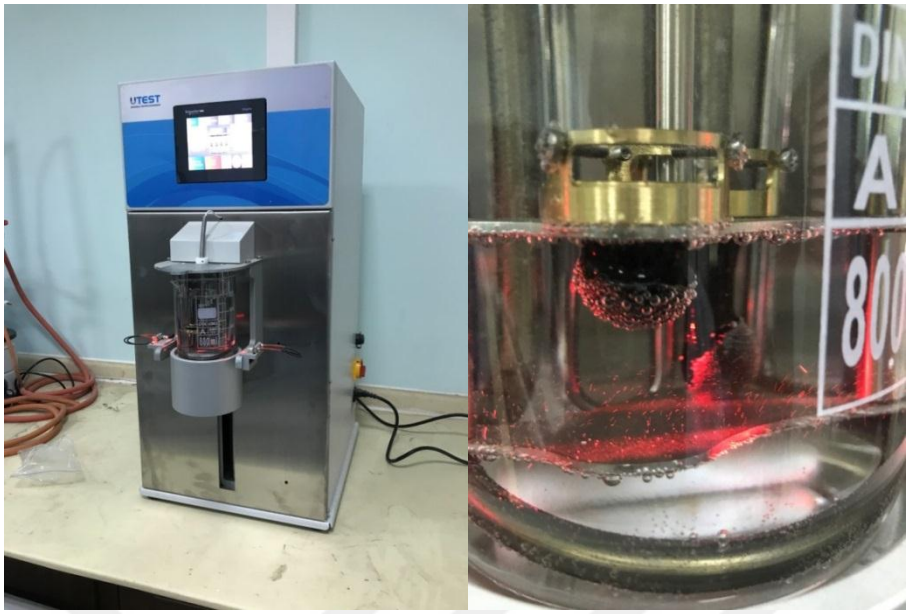


Şekil 3.14. Penetrasyon deneyi cihazı

3.2.2.2. Yumuşama noktası deneyi

Karışımda kullanılacak bitümlü bağlayıcının yumuşama sıcaklık noktası tayini için yapılan bu deney, TS EN 1427 standardına uygun olarak yapılır.

Akıcı hale getirilen bitüm halkaların içine dökülerek oda sıcaklığında en az 30 dakika bekletilir. Kullanılacak behere saf su eklenir ve otomatik cihaz yardımıyla suyun sıcaklığı 5 ° C ' ye getirilir. Balık behere atılarak suyun her noktaya eşit yayılması sağlanır. Bilyeler halkanın ortasına yerleştirilerek suya daldırılır. Suyun sıcaklığı 5 ° C / dak. artacak şekilde ısıtılır. Bitümlü bağlayıcının referans tabana temas ettiği sıcaklık not edilir. Bu sıcaklık yumuşama noktasıdır. Kullanılan yumuşama noktası tayini cihazı ve bitümün yumuşayıp referans tabana değmesi Şekil 3.15' te gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Yumuşama noktası deney cihazı ve bitümün yumuşaması

3.2.2.3. Düktilite deneyi

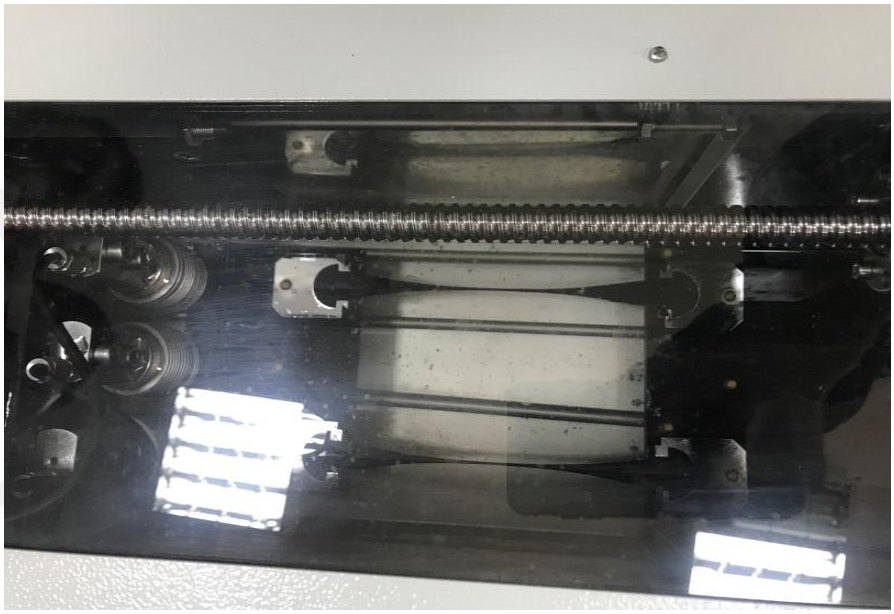
TS EN 13589 standardına uygun olarak gerçekleştirilen düktilite deneyi, bitümlü bağlayıcının kopmadan uzama özelliğini cm cinsinden vermektedir. Deney genellikle modifiye bitümlü bağlayıcılara uygulanmaktadır.

Pirinç kalıpların en dar kesiti 1cm^2, kalınlığı 1 cm olmalıdır. Deneyde kullanılan pirinç kalıp Şekil 3.16' da verilmiştir.



Şekil 3.16. Düktilite deney kalıpları

Isıtılarak pirinç kalıplara dökülen bitümlü bağlayıcı oda sıcaklığında en az 30 dakika bekletilir. Bitümlü bağlayıcı dökülürken kalıbın ayrılmamasına dikkat edilmelidir. Soğuyan numune 25 ° C suda 30 dakika bekletilir ve kalıp spatula yardımıyla düzlenir. Düzeltilen numune tekrar su banyosunda 1,5 saat bekletilir ve yan kalıplar sökülerek cihaza yerleştirilir. Cihaz numuneyi 5 cm/dakika hızda çekmeye başlar. Kopma gerçekleştiği anda okuma yapılır. Bitümlü bağlayıcının cihazda çekilmesi Şekil 3.17' de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Düktilite cihazında bitümün uzaması

3.2.2.4. Parlama noktası deneyi

Uygulamalar esnasında oluşabilecek yangın vb. olayları engellemek için kullanılacak bitümlü bağlayıcının parlama sıcaklık noktası bilinmelidir, iş kazasına yol açabilecek durumlar önlenmelidir.

Isıtılarak akıcı kıvama getirilen bitümlü bağlayıcı kaptaki belirlenen çizgiye kadar doldurulur. Termometre kaba yerleştirilir ve bitüm ısıtılmaya devam edilir. Bitümlü bağlayıcı sıcaklığı 3° C arttığında üzerinden alev geçirilir. Parlamanın olduğu sıcaklık not edilir. TS EN ISO 2592 standardına uygun yapılan deney cihazı Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Bitüm parlama noktası deney cihazı

3.2.2.5. Bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık deneyi

İki farklı yöntemle hesaplanabilen bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık tayini, TS EN 15326+A1 standardına uygun olarak piknometre yöntemi ile elde edilmiştir.

Boş piknometre tartılır (W_1). Piknometre saf su ile doldurularak tekrar tartılır ve W_2 olarak not edilir. Yeterli akıcılığı bulunan bağlayıcı, piknometreye doldurulur ve tartılır (W_3). Daha sonra bağlayıcının üstü saf su ile doldurularak 25 C° su banyosunda 30 dakika bekletilir ve tartılır (W_4). Aşağıdaki denklem yardımıyla özgül ağırlık elde edilir.

$$\text{Bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık} = \frac{W3-W1}{(W2-W1)-(W4-W3)} \quad (3.12)$$

3.2.3. Bitümlü sıcak karışımların Marshall metodu ile karışım dizaynı ve hazırlanması

Kaba, ince agrega ve mineral fillerin belli gradasyon aralığında karışım formülüne uygun olarak optimum oranda bitümlü bağlayıcıyla belli sıcaklıklarda karıştırılmasıyla bitümlü sıcak karışımlar oluşur.

Bruce Marshall tarafından geliştirilen bu yöntem, Marshall stabilite deney aleti ile briketlerin yanal yüzeylerine yükleme ile akmaya karşı direncin ölçülmesi prensibine dayanır (Öksüz, 2011). Bu yöntem agrega maksimum dane çapı 25 mm olan agrega ve bitüm penetrasyonu belli olan sıcak karışımlara uygulanır.

Marshall stabilite deneyi yapılmadan önce Marshall briketlerinin hazırlanması gereklidir. Öncelikle Marshall karışım dizaynında maksimum stabilite değerine ulaşmak için Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen sınır değerlere uygun gradasyon belirlenir. Agrega ve penetrasyonu bilinen bitümlü bağlayıcının uygun şartlarda karıştırılmasıyla bitümlü sıcak karışım numuneleri hazırlanır.

Karışım gradasyonu belirlenen yaklaşık 1200 g agrega etüvde kurutulur. Bitümlü bağlayıcının akışkan kıvama gelmesi için 140 ° C etüvde 4 saat bekletilir. Döküm esnasında ısı kaybı olmaması için Marshall kalıplar da etüvde ısıtılır. Kalıpların çapı 4 inçtir. Uygun sıcaklığa gelen agrega ve farklı yüzdeliklerde bitümlü bağlayıcı homojen bir şekilde karıştırılır. Bu çalışmada %4,5-5-5,5-6-6,5 oranlarında bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır. Karıştırma süresinin 2 dakikayı geçmemesi beklenir. Önceden ısıtılan Marshall kalıplar numunenin kolay çıkarılması çıkarılması için yağlanır. Karıştırma işlemi biten sıcak karışım kalıplara dökülür. Karıştırma işlemi Şekil 3.19' da verilmektedir. Farklı bitümlü bağlayıcı yüzdeleri için Marshall karışım dizaynında en az 3 numune dökülmesi gereklidir.



Şekil 3.19. Numunelerin karıştırılması

Marshall kalıplara doldurulan karışım Marshall tokmağında her iki yüzüne 75 vuruş olacak şekilde sıkıştırılır. Marshall tokmağı Şekil 3.20' de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Marshall tokmağı

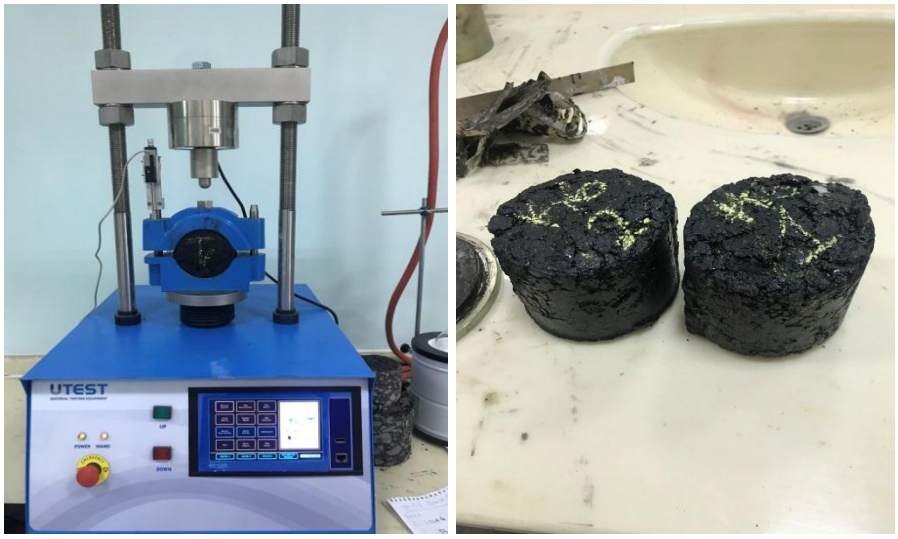
Marshall tokmağında sıkıştırılan numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. 24 saat soğumaya bırakılan numuneler kriko yardımıyla Marshall kalıptan çıkarılır. Kalıptan çıkarılan numunelerin yükseklikleri üç farklı noktadan kumpas yardımıyla ölçülür ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınır. Marshall stabilite

deneyi için gerekli olan bu değer cihaza girilir ve 63,5 mm yükseklikten farklı numuneler için düzeltme katsayısı uygulanır. Marshall stabilite ve akma deneyinin gerçekleştirilmesi için numuneler en az 30-45 dakika arasında 60 ° C su banyosunda bekletilir. Çalışmada kullanılan su banyosu ve su banyosundaki numuneler Şekil 3.21' de verilmektedir.



Şekil 3.21. Su banyosu ve içindeki numuneler

60 ° C su banyosunda bekletilen numuneler ısı kaybı gerçekleşmeyecek Marshall stabilite deney cihazına yerleştirilir. Ortalama yükseklik değeri cihaza girilir. Akma ve yük değeri sıfırlanır. Cihaz başlatılır. Bu işlem 1 dakikayı geçmemelidir. Marshall stabilite deney cihazı ve deney sonrası numuneler Şekil 3.22' de verilmektedir.



Şekil 3.22. Marshall stabilite ve akma deney cihazı

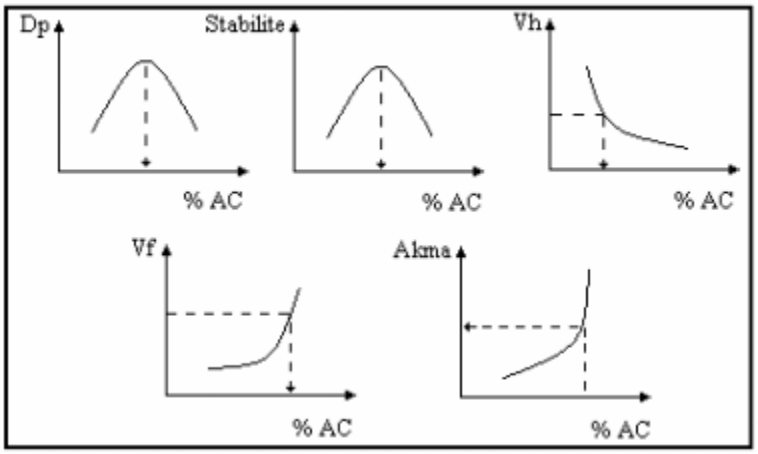


Şekil 3.23. Marshall stabilite deneyi için numune oluşturma

Numunenin kırılmasını sağlayan yük stabilitedir ve birimi kilogramdır. Numunedeki kırılma anında olan yer değiştirmeyi veren değer ise akmadır. Marshall stabilite deneyi ASTM D6927-15 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Marshall stabilite ve akma deneyi sonrası gerekli hesaplamalar yapılır. Hesaplamalar sonucunda toplam 5 farklı grafik elde edilir ve optimum bitüm yüzdesi belirlenir.

3.2.4. Optimum bitüm yüzdesi belirleme

Optimum bitüm yüzdesi belirlemek için Marshall stabilite deneyi sonucunda oluşturulan 5 farklı grafik oluşturulmalıdır. Bunlar % bitüm – Dp, % bitüm – stabilite, % bitüm – akma, % bitüm – Vh, % bitüm – Vf ‘ dir. Temsili olarak grafikler Şekil 3.24’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Marshall stabilite ve akma deneyi grafikleri (Aslan, 2019)

Oluşturulan grafiklerden maksimum stabiliteye denk gelen bitüm yüzdesi, maksimum Dp, % 4 Vh ve % 70 Vf denk gelen bitüm yüzdesi değerleri toplanır ve aritmetik ortalaması alınır. Karayolları teknik şartnamesinde (2013) aşınma tabakası için gerekli sınır değerler Çizelge 3.3’ te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Aşınma Tabakası Tip-1 için gerekli sınır değerler (KGM Teknik Şartnamesi,2013)

Aşınma Tabakası TİP-1		
Özellikler	Min.	Maks.
Darbe sayısı	75	
Marshall Stabilite (kg)	900	-
Vh (%)	3	5
Vf (%)	65	75
Akma (mm)	2	4
Filler/Bitüm	-	1,5

3.2.5. Optimum bitümle hazırlanan briketlere uygulanan deneyler

Kullanılan her filler malzemesi için ayrı ayrı optimum yüzdesi belirledikten sonra belirlenen optimum bitümlü bağlayıcı yüzdesinde tekrar briket numuneleri dökülür. Dökülen numunelere ICP, XRD, SEM, Yaşlandırma tayini ve kayma analizi tayini yapılmıştır.

3.2.5.1. Yaşlandırma deneyi

Bu çalışma, HÜBTAM laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deney için kullanılan cihaz ve içinde bulunan numuneler Şekil 3.25' te gösterilmektedir.



Şekil 3.25. Yaşlandırma cihazı

Optimum bağlayıcı bitümle dökülen numuneler 7 gün boyunca % 60 nem ve 40 ° C sıcaklığa Şekil 3.25' te görülen cihazın içindeki ultraviyole ışınlara maruz bırakılmıştır. Burada numuneler nem ve sıcaklığa maruz kalarak yaşlandırılmıştır.

3.2.5.2. X-Işını kırınım yöntemi (XRD) analizi

1895 yılında Wilhelm Condrad Röntgen tarafından X ışınlarının keşfedilmesiyle başlayan bu süreçte kristal sınıf, atomların pozisyonları ve birim hücre parametreleri belirlenebilir.

XRD yöntemi malzemenin kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak ışınları kırma esasına dayanır. Bu ışık kırma esası, o malzemeye ait parmak izi veya genetik kod diyebiliriz. Bu yöntemle metaller, alaşımlar, çimentolar, kil ve kayaçlar vb. analiz edilebilir.

XRD analizi Hübtam laboratuvarlarında yapılmış olup, ilgili cihaz Şekil 3.26 'da verilmiştir.



Şekil 3.26. XRD cihazı

3.2.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

1935’ te Max Kroll’ ün ilk SEM’ i üretmesiyle başlayan süreç 1965’te ilk ticari SEM’ in üretilmesiyle devam etmiştir. Elektronların numunedeki atomlarla birleşerek numunedeki topografik ve kompozisyon bilgilerini görüntüler elde ederek vermesi prensibiyle çalışır. Kırılma yüzeyleri, fiberler, çimento ve harçlar, biyolojik numuneler, kayaçlar, kaplamalar ve elektronik parçalar vb. incelenebilir. SEM analizi Hübtam laboratuvarlarında Şekil 3.27’ de gösterilen cihazla yapılmıştır.



Şekil 3.27. SEM cihazı

3.2.5.4. ICP-OES analizi

Katı veya sıvı malzemelerin hızlı ve doğru şekilde içerisinde bulunan elementlerin analizini milyarda bir olacak şekilde kimyasal analizinin yapılmasıdır. Gıda, su, kayaçlar, biyolojik katı ve sıvı numuneler, toprak gibi birçok alanda kullanımı mevcuttur. Kısaca numunelerin element tayinidir. ICP-OES analizi Hübtam laboratuvarlarında yapılmış olup, kullanılan cihaz Şekil 3.28’ de verilmiştir. Optimum bitüm oranıyla dökülen ve yaşlandırma uygulanmayan numuneler için uygulanmıştır.



Şekil 3.28. ICP-OES analizi cihazı (www.hubtam.harran.edu.tr)

3.2.5.5. Kayma analizi deneyi

Bu deney TS EN 13036-4 standartlarına uygun olarak pandül test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Optimum bitümlü bağlayıcı yüzdesi belirlenen numuneler dökülerek yaşlandırma uygulanmamış ve yaşlandırma uygulanmış numuneler üzerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Kullanılan Matest marka pandül test cihazı Şekil 3.29' da verilmiştir.



Şekil 3.29. Pandül test cihazı

Genellikle iç ve dış yüzey kaplamalarının kayma analizinde kullanılan pandül test cihazı son yıllarda ulaştırma alanında büyük önem kazanmıştır. Cihazın yüzeyle temas ettiği nokta 4S kauçuk olarak tasarlanmıştır. Cihaz kuru ve ıslak olmak üzere

iki farklı şartta analiz yapabilmektedir. Hem arazi hem de laboratuvarda ölçüm imkânı sunan bu cihaz, tahribatsız bir yöntemdir.

Deney yaşlandırma uygulanan numuneler ve yaşlandırma uygulanmayan numuneler üzerinde gerçekleştirildi. Ayrıca yaşlandırma uygulanmayan kuru ve ıslak numune yüzeyinde ölçümler yapıldı. Öncelikle cihaz sert bir zemine yerleştirilerek üzerinde bulunan vida ve su terazisi yardımıyla kalibrasyonu yapıldı. Her numune üzerinde 5 ölçüm yapıldı. Her numunede 5 ölçüm olmak üzere toplam 30 ölçüm yapıldı. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak Pandül Test Değeri (PTV) belirlendi. Bu değer denklem (3.13) yardımıyla sürtünme katsayısına (μ) dönüştürüldü. Cof değeri yani Coefficients of Friction olan bu katsayısı biliniyorsa denklem (3.14) yardımıyla PTV değerine dönüştürülebilir.

$$\text{Sürtünme Katsayısı } (\mu) = \left[\frac{110}{\text{PTV}} - \frac{1}{3} \right]^{-1} \quad (3.13)$$

$$\text{Pandül Test Değeri (PTV)} = \left[\frac{330.\mu}{3+\mu} \right] \quad (3.14)$$

İlgili denklemlerle dönüştürülen değerler, Dr. Bowman'ın oluşturduğu ve TS EN13036-4' in kullandığı tablolara göre sınıflandırmalar yapılmaktadır. Elde edilen değerler Çizelge 3.4' e göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.5. Kayma potansiyelinin sınıflandırılması (Bowman, 2004;Coşkun ve Sarıışık, 2017)

Sınıflama	Pandül Değeri	Cof (μ)	Kayma Potansiyeli
Z	<24	<0.25	Çok Yüksek
Y	25-34	0.25-0.34	Yüksek
X	35-44	0.36-0.46	Orta
W	45-54	0.47-0.59	Düşük
V	>54	>0.59	Çok Düşük

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Agrega Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellik Tayini Sonuçları

Çalışmada kullanılan kaba, ince ve mineral fillerin özgül ağırlık tayini sonuçları aşağıda verilmiştir. Kaba agrega (bazalt), ince agrega (bazalt) ve mineral fillerin (bazalt, kalker, volkanik cüruf) özgül ağırlık deneyi sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kaba-ince agrega ve mineral filler özgül ağırlık deney sonuçları

Deney Sonuçları (g/cm^3)				Deney Standardı TS EN 1097-6
Kaba Agrega (Bazalt)		Hacim özgül ağırlık	2,57	
		Doygun yüzey özgül ağırlık	2,63	
		Zahiri özgül ağırlık	2,75	
İnce Agrega (Bazalt)		Hacim özgül ağırlık	2,70	
		Zahiri özgül ağırlık	2,86	
Filler	Bazalt	Zahiri özgül ağırlık	2,57	
	Kalker		2,51	
	V. Cüruf		2,60	

Bazalt, kalker ve volkanik cüruf agregalarına uygulanan XRF analizi uygulanmıştır. Kullanılan agregaların XRF analizi sonuçları Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. XRF analiz sonuçları

Bazalt		Kalker		Volkanik cüruf	
Bileşenler	Sonuçlar (%)	Bileşenler	Sonuçlar (%)	Bileşenler	Sonuçlar (%)
SiO_2	46,12	CaO	55,31	SiO_2	42,89
Al_2O_3	17,56	Ig	43,40	Al_2O_3	18,85
Fe_2O_3	11,35	SiO_2	0,53	Fe_2O_3	10,40
CaO	11,05	MgO	0,21	CaO	9,19
Na_2O	3,95	Al_2O_3	0,21	Na_2O	5,45
MgO	3,65	Fe_2O_3	0,15	MgO	4,31
TiO_2	2,18	SrO	0,06	K_2O	3,35
Ig	1,89	P_2O_5	0,03	TiO_2	2,45
K_2O	1,26	SO_3	0,03	Ig	1,21
P_2O_5	0,35	TiO_2	0,02	P_2O_5	0,82

Yapılan diğer deneylerle ilgili KGM Teknik Şartnamesinde sınırlar bulunmaktadır. Bu deneyler ve sınır değerler ve deney sonuçları Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. KGM teknik şartname sınırları ve deney sonuçları

Deney Adı		Deney Standardı	Deney Sonucu		Sınır Değer
Los Angeles Aşınma Deneyi (%)		TS EN 1097-2	18,1		≤ 27
Su Emme (%)	Kaba Agrega	TS EN 1097-6	2,49		≤ 2,0
	İnce Agrega		2,70		
Metilen Mavisi (%)		TS EN 933-9+A1	Bazalt	2,50	≤ 3,0
			V.Cüruf	5,75	
			Kalker	1,50	≤ 1,50
Soyulma Mukavemeti (%)		TS EN 12697-11	98		≥ 60
Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (%)		TS EN 1367-2	1		≤ 16

Çizelge 4.3 incelendiğinde su emme deneyinde kaba ve ince agregalar aşınma tabakası için şartları sağlamamıştır. Ayrıca metilen mavisi deney sonucunda volkanik cürufun kil oranı çok yüksek olup şartname sınır değerini sağlamamıştır. Los Angeles aşınma tayininde sonuç % 18,1 ile şartname sınır değeri sağlanmış olup kullanılacak kaba agrega aşınmaya dirençlidir. Soyulma mukavemeti deney sonucunda agregalarda soyulma yok denecek kadar az gözlenmiştir. Hava tesirlerine karşı dayanım deneyi $MgSO_4$ ile yapılmış olup, % 1 olarak sonuçlanmıştır ve

şartname sınır değerleri sağlamaktadır. Yapılan Slake Durabilite deneyi sonuçları Çizelge 4.4' da verilmiştir.

Çizelge 4.4. Slake durabilite deney sonuçları

Deney Sonucu (%)		Değerlendirme	Deney Standardı ASTM D4644-87
I_{d-1}	99,71	Çok Yüksek	
I_{d-2}	96,48	Yüksek	
Ortalama	98,10	Yüksek	

Çizelge 4.4 incelendiğinde kullanılan bazalt agregasının su ile temas ederek belli sürede çevrim yapılması durumunda agregada dağılım çok az gözlenmiştir. Yapılan deney sonuçları Çizelge 4.4 ile değerlendirildiğinde çok yüksek ve yüksek olarak değerlendirilmiştir. İki deney ortalaması alındığında ise suda dağılımın yine çok az olduğu görülmektedir.

4.2. Bitümlü Bağlayıcı Fiziksel Özellik Tayini Sonuçları

Çalışmada kullanılan B50/70 penetrasyon bitümlü bağlayıcıya penetrasyon tayini, yumuşama noktası tayini, düktilite tayini, parlama noktası tayini ve bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık deneyi olmak üzere 5 farklı deney uygulanmıştır. B50/70 penetrasyon bitümlü bağlayıcı fiziksel özellikleri Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bitümlü bağlayıcı fiziksel özellik tayini sonuçları

Deney Adı	Deney Standardı	Deney Sonucu
Penetrasyon Tayini	TS EN 1426	58
Yumuşama Noktası Tayini (° C)	TS EN 1427	53,25
Düktilite Tayini (cm)	TS EN 13589	100+
Parlama Noktası Tayini (° C)	TS EN ISO 2592	303,6
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	TS EN 15326+A1	1,04

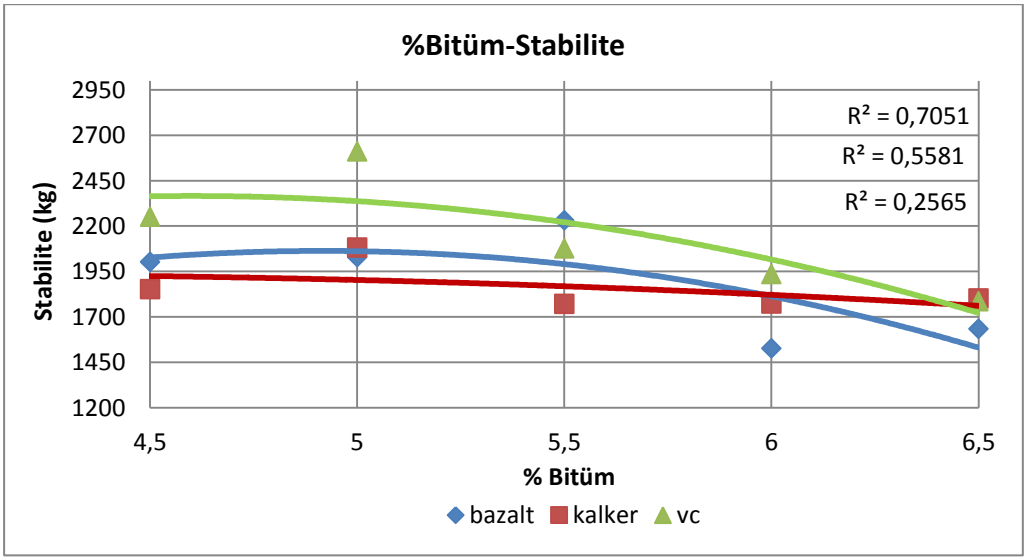
4.3. Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları

1200 g toplam ağırlığındaki agregalara % 4,5-5-5,5-6-6,5 oranlarında bitüm karıştırarak her bitüm yüzdesinden 3 numune olmak üzere toplam 45 numune dökülmüştür. Çelik kalıplara dökülen karışım, her yüzüne 75 vuruş yapılarak

sıkıştırma işlemi yapılmıştır. 24 saat kalıpta bekleyen numuneler sonra kriko yardımıyla kalıptan çıkarılmıştır. Numuneler su banyosunda bekletildikten sonra Marshall stabilite ve akma deney cihazında kırılmıştır. Cihaz stabilite ve akma değerlerini vermiştir. Çıkarılan numunelerin optimum bitüm yüzdesi için gerekli hesaplamaları yapılıp EK-1, EK-2 ve EK-3' e işlenmiştir. Optimum bitüm yüzdesi tayini için gerekli olan Dp (Briket hacim özgül ağırlık), Vh (Hava boşluğu) ve Vf (Bitümle dolu boşluk) hesaplamaları yapılmıştır. Marshall stabilite ve gerekli hesaplamalar sonunda %Bitüm-Stabilite, %Bitüm-Akma, %Bitüm-Boşluk (Vh), %Bitüm-Hacim Özgül ağırlık (Dp) ve %Bitüm-Bitümle dolu boşluk (Vf) grafikleri elde edilmiştir.

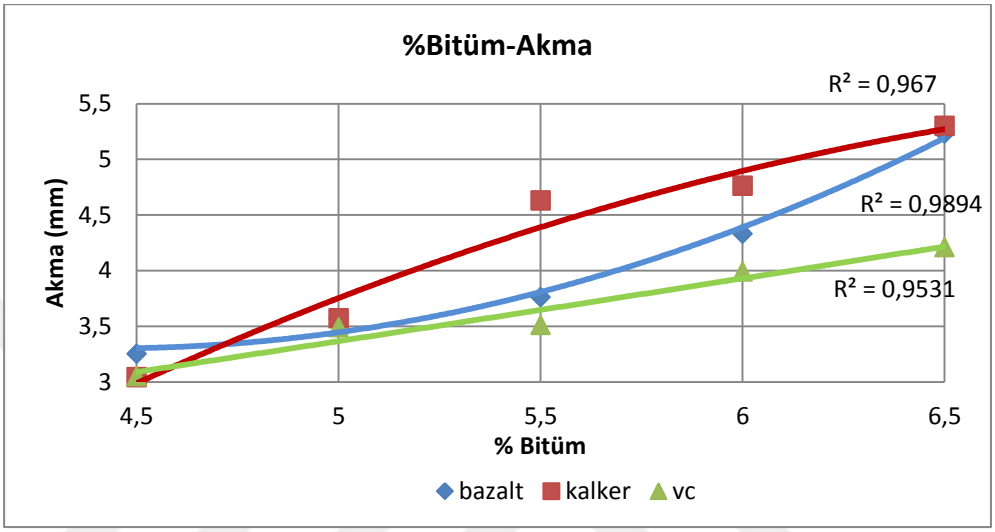
Bazalt mineral fillerin kullanıldığı karışımın hesaplamaları EK-1' de, kalker mineral fillerin kullanıldığı karışımın hesaplamaları EK-2' de, volkanik cürufun mineral filler olarak kullanıldığı karışımın hesaplamaları EK-3' te verilmiştir. EK-1, EK-2, EK-3 yardımıyla gerekli grafikler oluşturulmuştur.

%Bitüm-Stabilite grafiği Şekil 4.1, %Bitüm-Akma grafiği Şekil 4.2, %Bitüm-Boşluk grafiği Şekil 4.3, %Bitüm-Hacim özgül ağırlık grafiği Şekil 4.4, %Bitüm-Bitümle dolu boşluk grafiği Şekil 4.5'de verilmiştir.



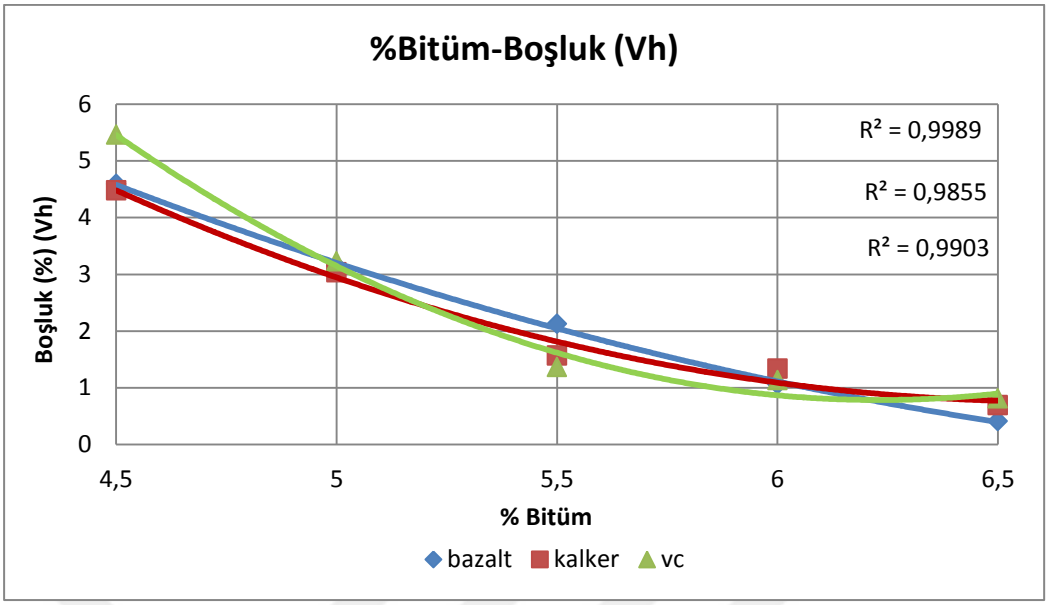
Şekil 4.1. %Bitüm-Stabilite grafiği

Şekil 4.1' deki çizgi grafiği incelendiğinde mavi ile gösterilen çizgi grafiği bazalt mineral filleri, kırmızı çizgi grafiği kalker ve yeşil çizgi grafiği volkanik cürufu temsil etmektedir. Üç mineral fillerde de düşük bitüm oranında stabilite değerleri düşük çıkmış olup, stabilite bitümün artmasıyla artmıştır ancak belli bir yüzdeden sonra tekrar düştüğü gözlenmiştir.



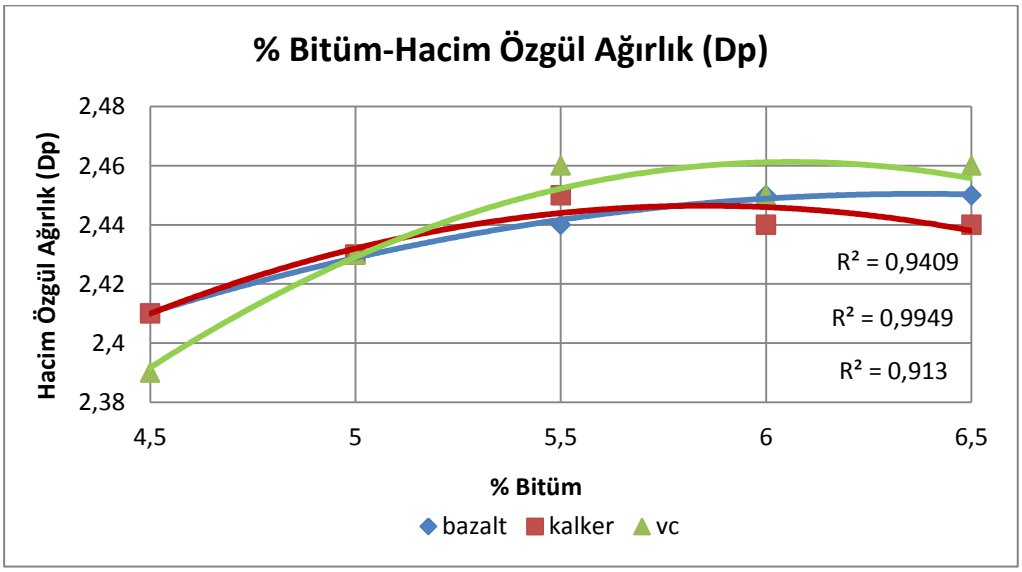
Şekil 4.2. %Bitüm-Akma grafiği

Şekil 4.2' deki çizgi grafiği incelendiğinde bazalt ve volkanik cürufun mineral filler olarak kullanıldığı karışımların akma değeri grafikleri benzer çıkmıştır. Kalkerin mineral filler olarak çıktığı grafikte % 5,5 bitümün olduğu karışımlarda akma birden artış göstermiştir. Genel olarak Şekil 4.2 incelendiğinde bitüm %'si arttıkça akma değeri artmıştır. Kalker ve bazalt % 6,5 bitüm oranında daha fazla akma gösterirken, volkanik cürufun filler olarak kullanıldığı karışımlarda % 6,5 bitüm oranında diğer karışımlara göre daha az akma olduğu gözlenmiştir. Bu da volkanik cürufun gözenekli yapısının bitümü emmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



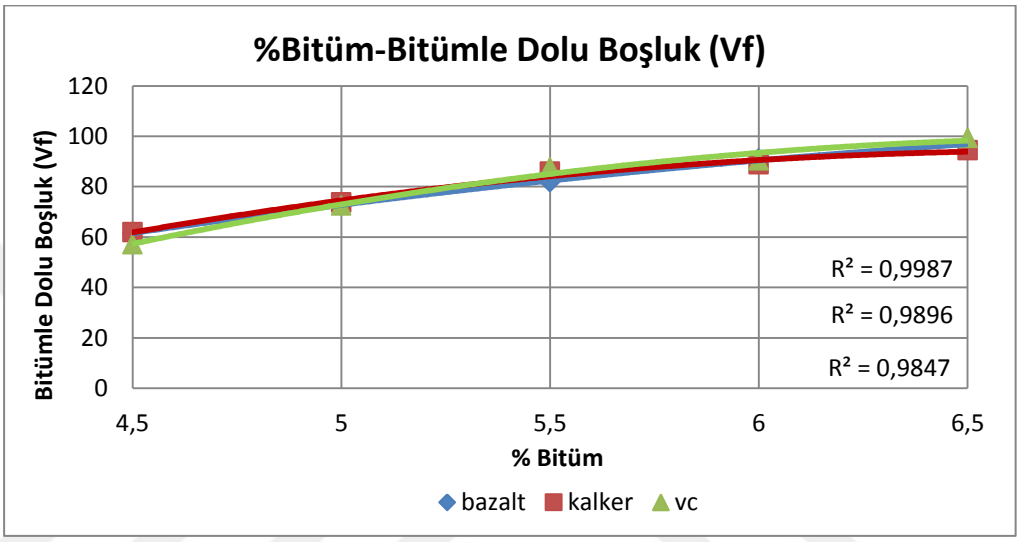
Şekil 4.3. %Bitüm-Boşluk (Vh) grafiği

Şekil 4.3' te bulunan çizgi grafiği incelendiğinde bazalt, kalker ve volkanik cürufun mineral filler olarak kullanıldığı karışımlarda bitümlü bağlayıcı miktarı arttıkça boşluk azalmıştır. % 4,5 bitüm oranı incelendiğinde en fazla boşluk oranı volkanik cürufun kullanıldığı karışımlarda gözlenmiştir. Başlangıç bitüm miktarında kalker ve bazalt çok yakın sonuçlar vermiştir. Optimum bitümlü bağlayıcı için kullanacağımız % 4 oranında boşluk KGM teknik şartnamesi (2013) için ideal bir değerdir.



Şekil 4.4. %Bitüm-Hacim Özgül Ağırlık (Dp) grafiği

Şekil 4.4 incelendiğinde bitümlü bağlayıcı miktarı arttıkça hacim özgül ağırlık artmıştır. % 4,5 başlangıç bitüm miktarında en düşük hacim özgül ağırlık volkanik cüruf filler malzemede gözlenirken en yüksek hacim özgül ağırlık yine volkanik cüruf fillerde gözlenmiştir. Şekil 39 incelendiğinde bitümlü bağlayıcı miktarı arttıkça hacim özgül ağırlığın arttığı ve belli bir orandan sonra biraz düştüğü gözlenmiştir. Tüm karışımların % 5 bitümlü bağlayıcı oranı çok yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.5. %Bitüm-Bitümle Dolu Boşluk (Vf) grafiği

Şekil 4.5 incelendiğinde bazalt, kalker ve volkanik cürufun filler malzeme olarak kullanıldığı karışımlarda bitümle dolu boşluk oranı yakın sonuçlar vermiştir. Ancak bazalt filler malzemede % 5,5 bitümlü bağlayıcı oranında diğer filler malzemelere göre daha düşük sonuç vermiştir. Grafik incelendiğinde kalker ve volkanik cürufun kullanıldığı karışımlarda sonuçların çok yakın olduğu görülmüştür. Bitümlü bağlayıcı miktarı arttıkça bitümle dolu boşluk oranın arttığı gözlenmiştir.

4.4. Optimum Bitüm Yüzdesi Belirlenmesi

Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçlarına göre oluşturulan grafiklerle optimum bitüm yüzdesini belirlemek mümkündür. Optimum bitüm miktarı, bitümü fazla veya az kullanmaktan kaynaklanan sorunları azaltmakla birlikte maliyeti de etkilemektedir. Optimum bitümlü bağlayıcı miktarını belirlemek için stabilite,

boşluk, hacim özgül ağırlık ve asfaltla dolu boşluk değerlerinin şartnameye denk gelen bitüm yüzdeleri yeterlidir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması optimum yüzdesine denk gelmektedir. Kullanılan mineral fillerlerin optimum bitüm yüzdesi hesaplamaları Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Optimum bitüm yüzdesi hesapları

	Bazalt	Kalker	Volkanik cüruf
Max stabilite	5,0	4,5	4,5
Max Dp	6,5	5,7	6,0
% 4 Vh	4,7	4,7	4,8
% 70 Vf	5,0	5,0	5,0
Optimum bitüm	5,30	5,00	5,07

4.5. ICP-OES Analizi Sonuçları

Hübtam laboratuvarlarında gerçekleştirilen ICP analizi optimum bitüm miktarıyla dökülen ve yaşlandırma uygulanmayan numunelere uygulanmıştır. Alüminyum (Al), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum (Na) ve silisyum (Si) içeriklerine bakılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. ICP-OES analiz sonuçları

Numuneler (mg/kg)	Al 396,153	Ca 317,933	Mg 285,213	Na 589,592	Si 251,611
Bazalt	12,40	6,529	12,11	17,34	4,303
Kalker	41,47	25,24	28,72	53,83	2,587
V.Cüruf	52,24	247,8	799,1	224,0	56,74

Çizelge 4.7 incelendiğinde bazaltın filler malzeme olarak kullanıldığı kontrol numunelerinde Na miktarının ve daha sonra da Al miktarının fazla olduğu görülmüştür. Ca ve Si daha az miktarda görülmektedir.

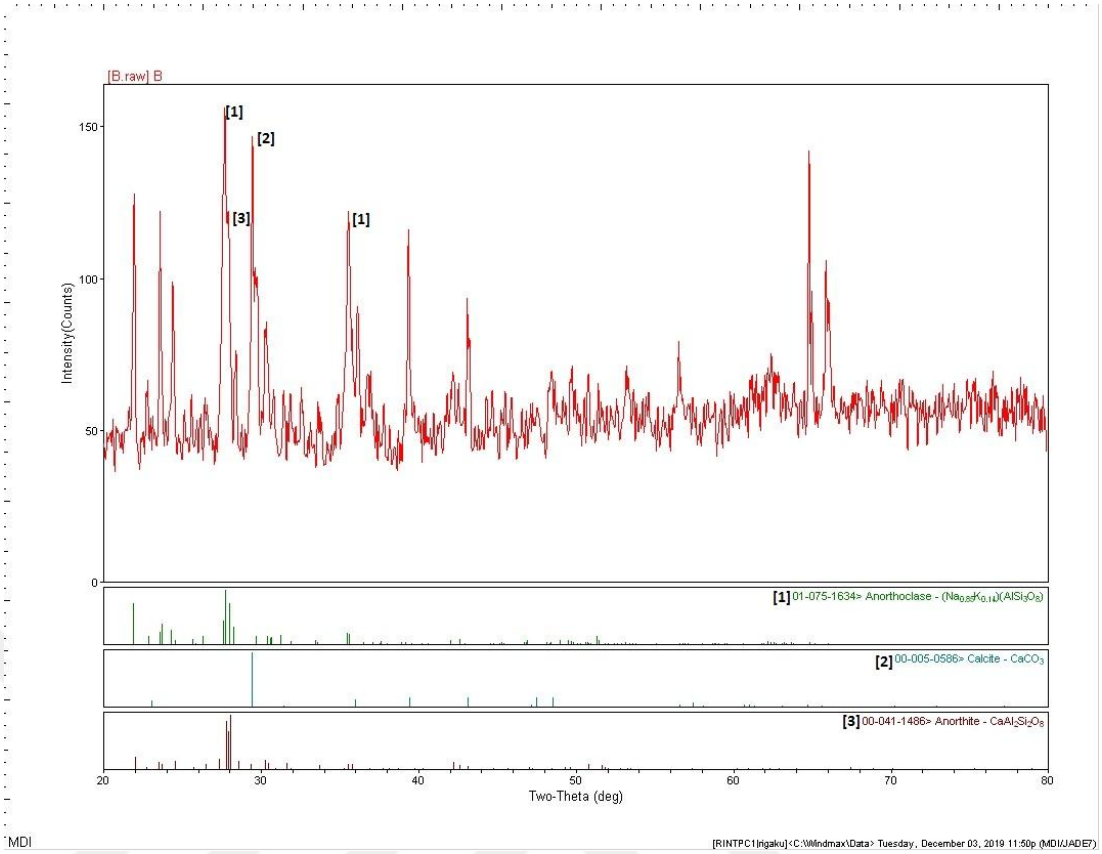
Kalkerin mineral filler olarak kullanıldığı karışımlarda en fazla Na ve daha sonra ise Al miktarı olduğu görülmektedir. Ca ve Mg miktarlarının çok yakın olduğu ve Si miktarının çok az olduğu görülmektedir.

Volkanik cürufun filler malzeme olarak kullanıldığı karışımlarda Mg, Ca ve Na miktarları diğer karışımlara göre çok yüksek çıkmıştır. Si ve Al miktarları diğer karışımlara göre daha yüksek çıkmasına rağmen diğer elementlere göre daha az görülmüştür.

Ca, Mg ve Na bozucu etki gösterir ve volkanik cürufun filler malzeme olarak kullanıldığı karışımda bu oranlar çok yüksektir. Al ve Si ilk başta stabiliteyi yükseltici etki gösterirler, bunlar volkanik cürufta fazlaca bulunsa da diğer elementlerin fazla bulunması yaşlandırma sürecini olumsuz etkileyecektir. Si-O dayanımı arttırıcı etkisine rağmen soyulmayı arttırır.

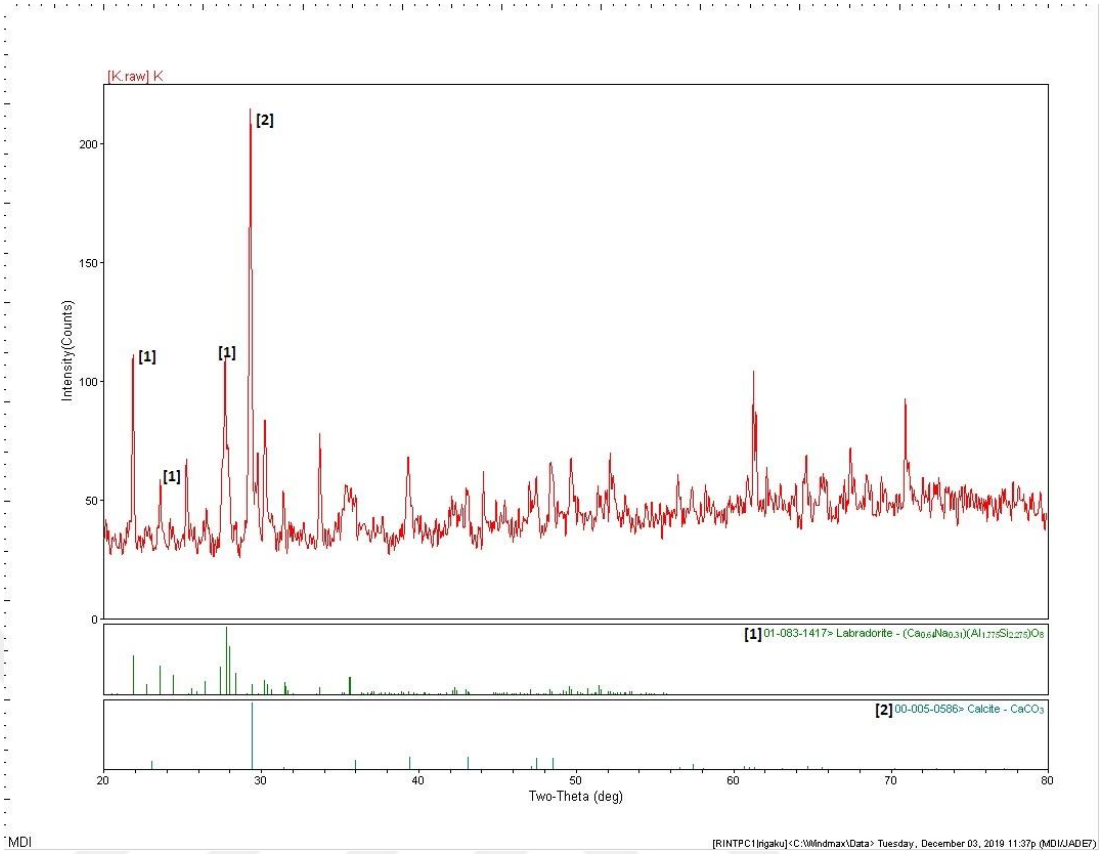
4.6.XRD Sonuçları

XRD analizi Hübtam'da optimum bitüm yüzdesiyle dökülen numunelerde yaşlandırma uygulanmış ve uygulanmamış olarak iki farklı grupta uygulanmıştır. Bazalt fillerin kullanıldığı numuneler B, yaşlandırma uygulanmış hali YB; kalker fillerin kullanıldığı numuneler K, yaşlandırma uygulanmış hali YK; volkanik cüruf fillerin kullanıldığı numuneler VC ve yaşlandırma uygulanmış hali YVC olarak isimlendirilmiştir.



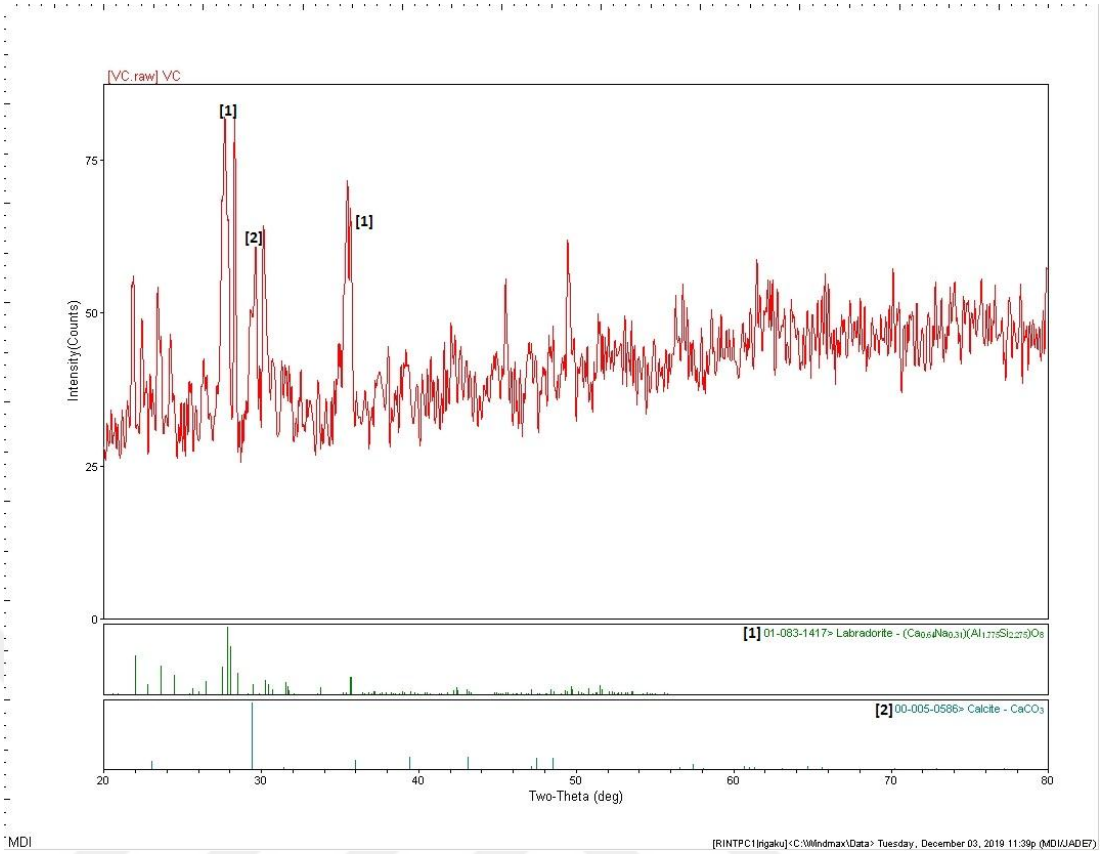
Şekil 4.6 Bazalt filler karışımının XRD sonuçları

Şekil 4.6' da bazalt fillerin kullanıldığı karışımın XRD sonuçları incelendiğinde oluşan piklerde [1]: Anorthoclase [(Na0.85K0.14)(AlSi3O8)], [2]: Calcite [(CaCO3)] ve [3]: Anorthie [(CaAl2Si2O8)] oluşumu gözlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kaba, ince ve filler malzemenin magmatik kayaç olan bazaltın kullanılmasından dolayı kalsit oluşumu görülmesi dayanımı arttırmaktadır. Ayrıca oluşan piklerde Anorthie' nin içeriğinde Al, Si ve Si-O etkileşiminin bulunması dayanımı arttıran etkendir. Anorthoclase' nin içinde bulunan Na ve K' nın bulunması ortamda su ve Cl' un bulunmasıyla zamanla taşın çözünmesine sebep olacaktır. Yapısında CO3 bulunan kayaçlar yağmur suyu pH derecesi ortalama 6 civarında olduğunda ısı etkisi gösterir ve kayacı eritici etki gösterir. CO3 sulu ortamda Ca ile tepkimeye girerek çökeltiler oluşturabilir.



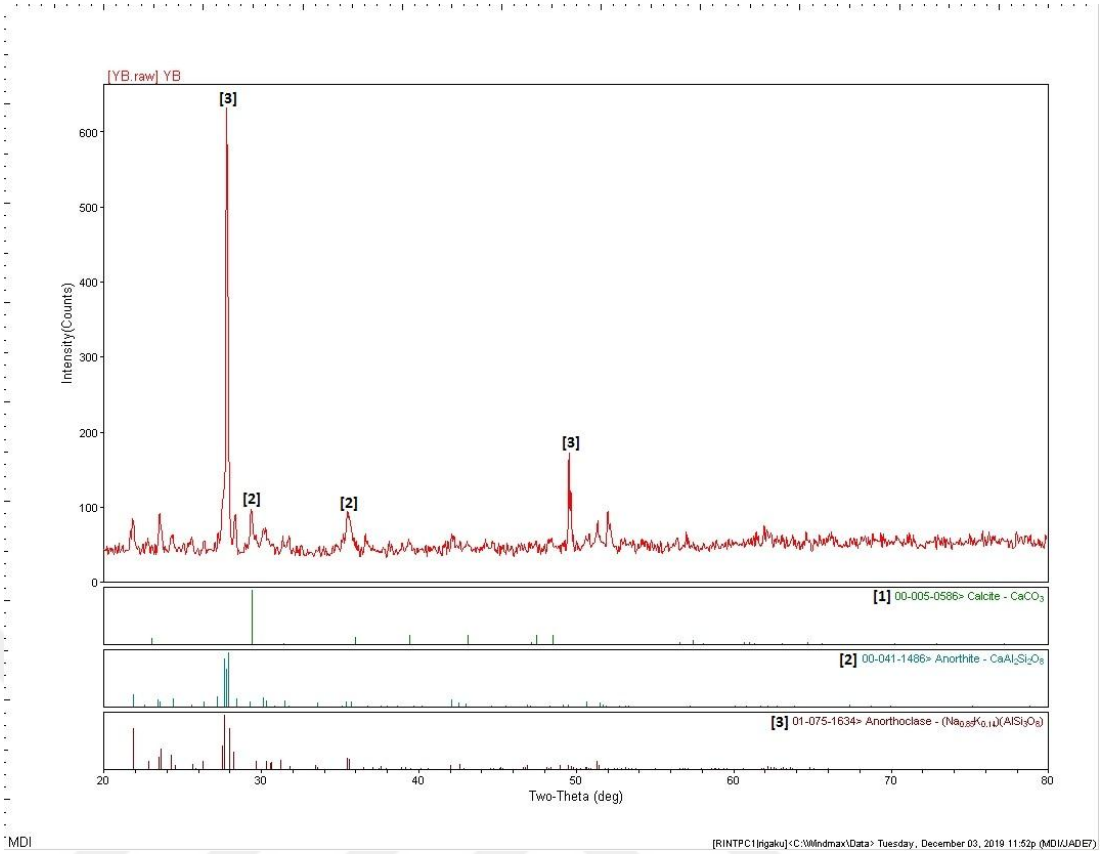
Şekil 4.7. Kalker filler karışımının XRD sonuçları

Şekil 4.7' de kalker fillerin kullanıldığı karışımın XRD sonuçları incelendiğinde bazalt fillere benzer ancak biraz farklı noktalarda pikler oluşmuştur. Oluşan piklerde bazaltta olduğu gibi yine [2]: Calcite [($CaCO_3$)] oluşumu gözlenmiştir. Başlangıç piklerinde daha çok [1]: Labradorite [($Ca_{0.6}Na_{0.31}$)($Al_{1.775}Si_{2.275}$)O_8] oluşumu gözlenmiştir. Havadaki CO_2 su ile birleşince zayıf bir asit olan H_2CO_3 meydana gelir. Bu asidi içeren yağmur suları kalkere etki gösterir ve erimesine sebep olur. En büyük pikte oluşan $CaCO_3$'teki CO_3'ün varlığı numunenin uzun vadede dayanım kaybetmesine sebep olabilir.



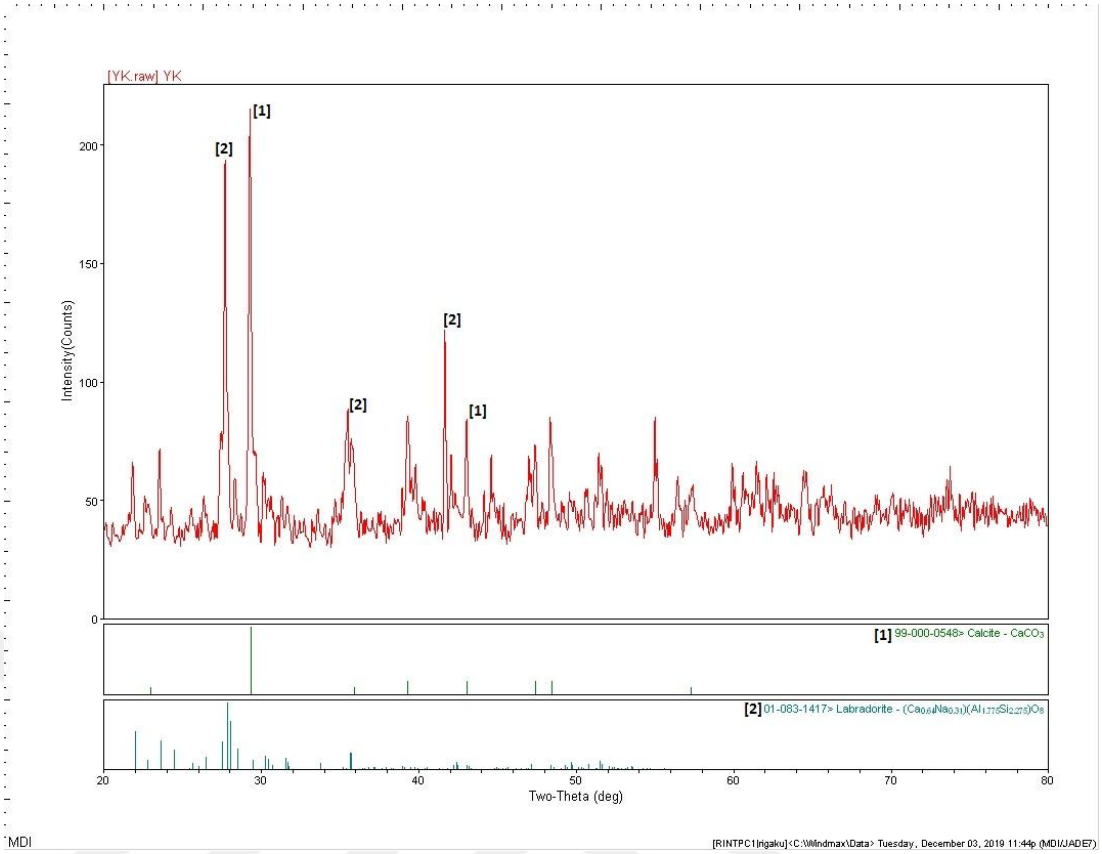
Şekil 4.8. Volkanik cüruf filler karışımının XRD sonuçları

Şekil 4.8' de volkanik cürufun filler olarak kullanıldığı karışım incelendiğinde bir çok farklı piklerin oluştuğu gözlenmiştir. Başlangıçta farklı piklerin oluştuğu ve sonradan azaldığı görülmüştür. Başlangıç piklerde çoğunlukla [1]: Labradorite [$(Ca_{0.6}Na_{0.31})(Al_{1.775}Si_{2.275})O_8$] oluştuğu görülmüştür. Bunun dışında da yine az da olsa [2]: Calcite [$(CaCO_3)$] oluşumu gözlenmiştir. Kalsit tüm karışımlarda elde edilmiştir. Kalsit başlangıçta sağlamlık sağlasa da bozulma başlayınca hastalığın seyri hızlanmaktadır. Başlangıçta Al ve Si oranının fazla olması dayanımı arttırıcı etki gösterecek olsa da Si fazla bulunması soyulmayı arttıracaktır. Ancak numunede Na ve Ca bulunması su ile etkileşimde boşluklar meydana getirebilir.



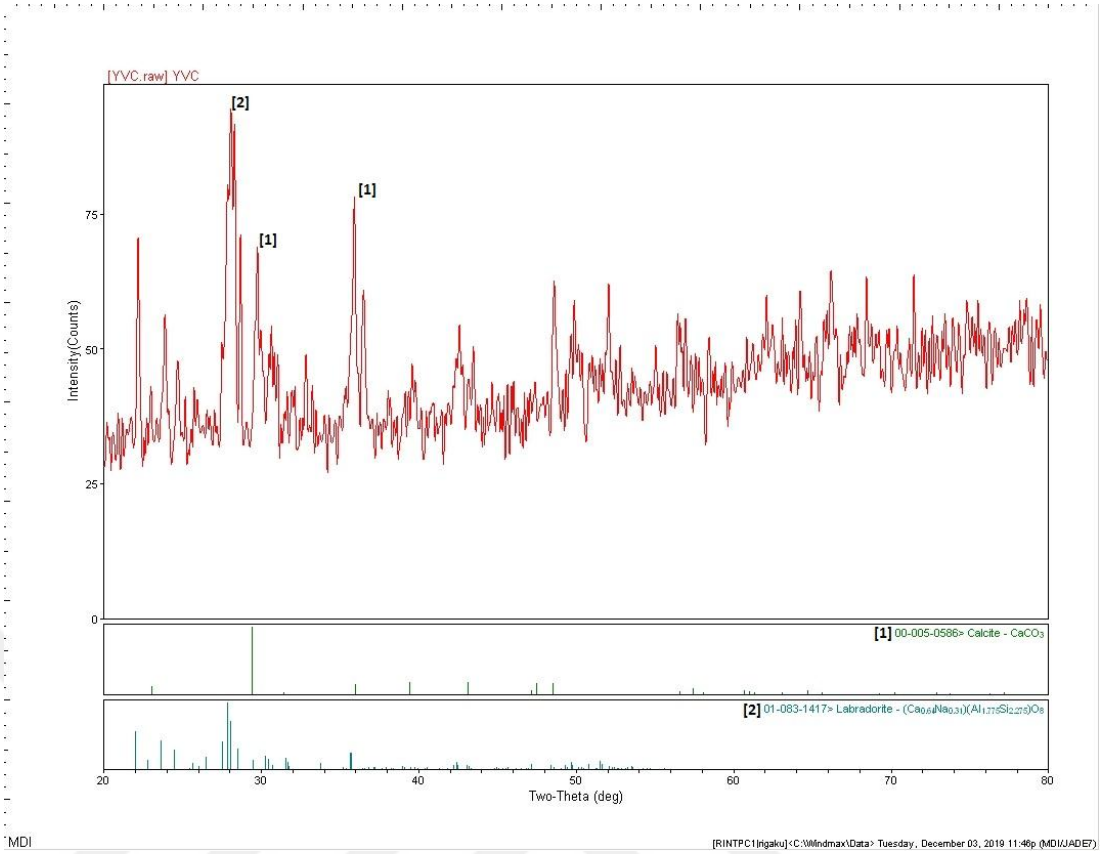
Şekil 4.9. Yaşlandırılmış bazalt filler karışımının XRD sonuçları

Şekil 4.9 incelendiğinde grafiğin başlangıcında büyük piklerin oluştuğu gözlenmiştir. Bu piklerin çoğunluğu [2]: Anorthie [($CaAl_2Si_2O_8$)] 'den oluştuğu gözlenmiştir. Bununla birlikte [3]: Anorthoclase [($Na_{0.85}K_{0.14}$)($AlSi_3O_8$)] ve [1]: Calcite [($CaCO_3$)] oluşumu da gözlenmiştir. Yaşlandırma uygulanan bazalt filler karışımında Na, K ve Ca elementleri yaşlandırma esnasında dayanımı düşürücü etki gösterebilir. Bu tarz piklerin oluşması yaşlandırma esnasında uygulanan nemden kaynaklı olabilir. En büyük pikteki Al ve Si elementleri numuneye dayanım kazandırır. Si-O bulunan yapıların dayanıklığı artar.



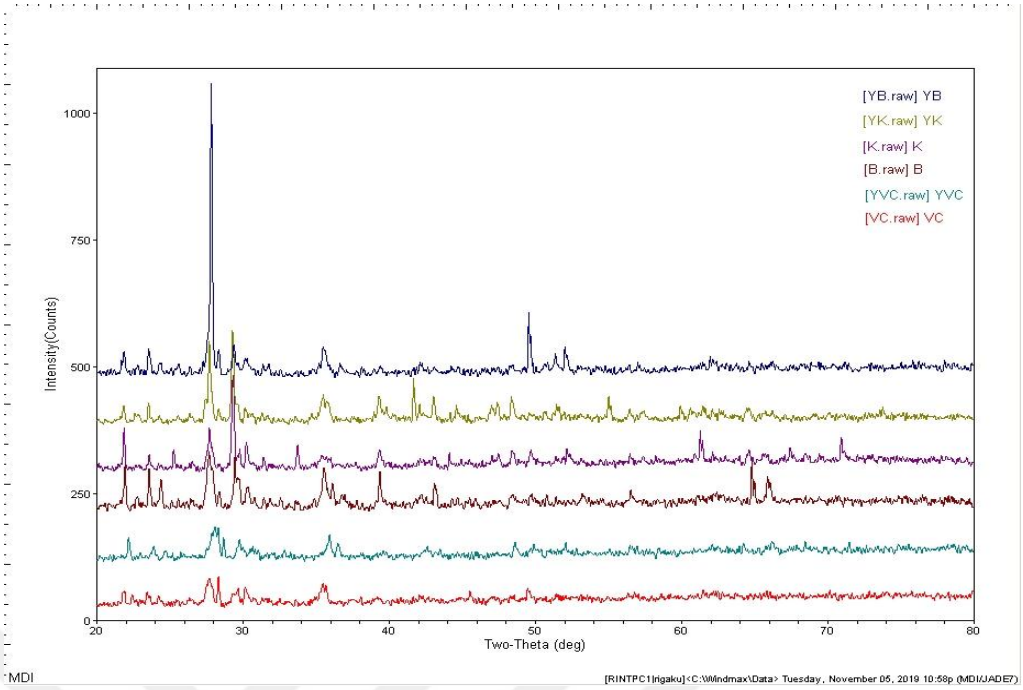
Şekil 4.10. Yaşlandırılmış kalker filler karışımının XRD sonuçları

Şekil 4.10' da XRD sonuçları incelendiğinde piklerin çoğunluğunda [2]: Labradorite [$(Ca_{0.6}Na_{0.31})(Al_{1.775}Si_{2.275})O_8$] oluştuğu gözlenmiştir. En büyük pikte ise [1]: Calcite [$(CaCO_3)$] oluşumu gözlenmiştir. Kalsit tekrarlanan ısınmada taneler arası boşluk çatlakları görülebilir. Yol üstyapısında fazla kalsit oluşumu bu yönden zararlı etki gösterebilir. Yaşlandırma işleminden sonra yoğun kalsit oluşumu yağmur suyu etkisiyle bozulmalara neden olabilir.



Şekil 4.11. Yaşlandırılmış volkanik cüruf fillerin XRD sonuçları

Şekil 4.11' de XRD sonuçları incelendiğinde başlangıç piklerden de görüldüğü gibi çoğunluk olarak [2]: Labradorite [$(Ca_{0.6}Na_{0.31})(Al_{1.775}Si_{2.275})O_8$] oluştuğu ve sonra da [1]: Calcite [$(CaCO_3)$] oluşumu gözlenmiştir. Yoğun olarak Al-Si-O oluşumu dayanımı sağlasa da yaşlandırma sonrası büyük piklerde bulunan Ca ve Na bozulma etkisi gösterebilir.

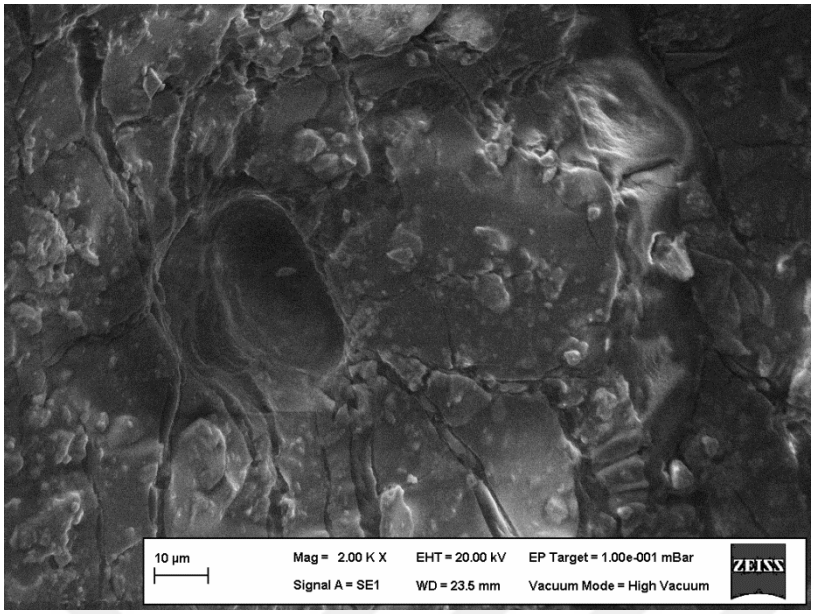


Şekil 4.12. Tüm XRD sonuçları

Şekil 4.12' de bulunan tüm XRD sonuçları incelendiğinde tüm karışımların hemen hemen aynı aralıklarda pikler verdiği görülmüştür. Ayrıca karışımlarda başlangıç aralıklarında büyük piklerin oluştuğu gözlenmiştir. Karışımların % 94'ünün bazalt agregasından oluşmasının buna sebep olduğu düşünülmektedir.

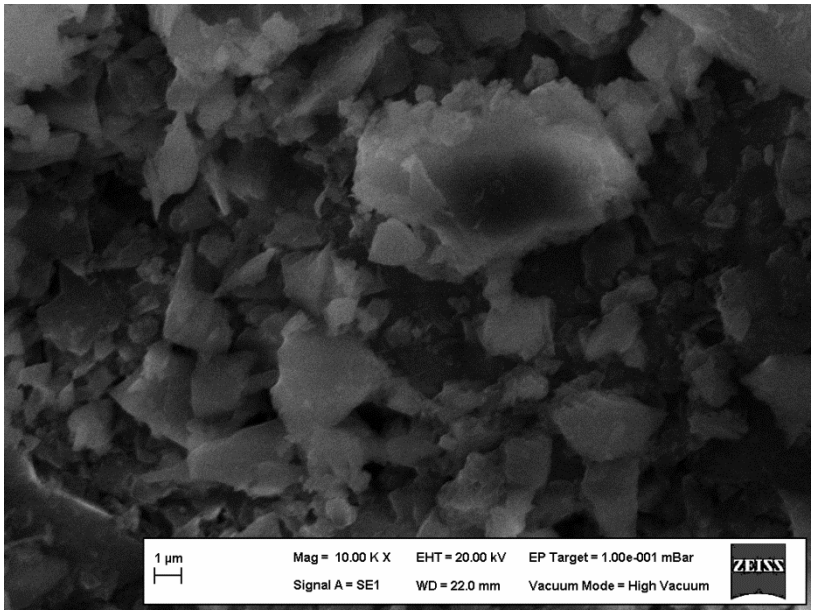
4.7. SEM Sonuçları

SEM analizi için B50/70 penetrasyon bitüm, bazalt agregası, kalker agregası, volkanik cüruf agregası, Bazalt filler BSK, kalker filler BSK, volkanik cüruf filler BSK, yaşlandırılmış bazalt filler BSK, yaşlandırılmış kalker filler BSK ve yaşlandırılmış volkanik cüruf filler BSK olmak üzere toplam 10 farklı numunede SEM görüntüsü alınmıştır. Numunelere ait SEM görüntüleri aşağıda verilmiştir.

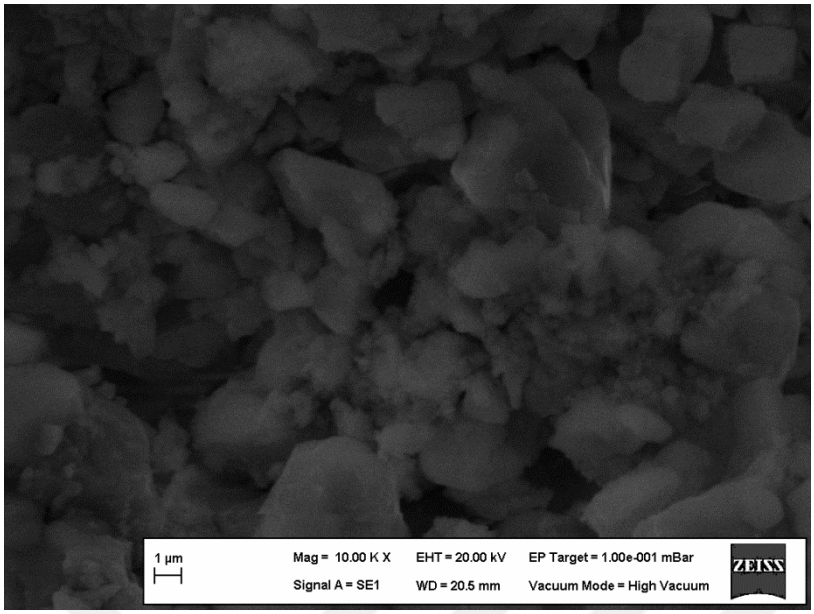


Şekil 4.13. B50/70 penetrasyon bitüm SEM görüntüsü

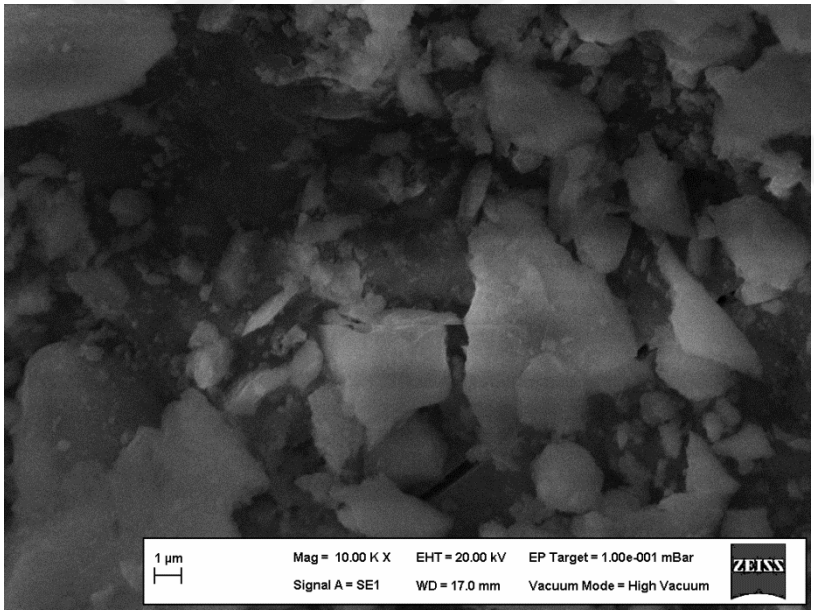
Şekil 4.13 incelendiğinde bitümün katı haldeki yapısında çatlakların ve boşlukların olduğu görülmektedir. Genel anlamda dolu ve yoğun bir maddedir. Kristalleşmeyen malzemedir ve düşük sıcaklıkta yumuşama gösterir. Kararlı yapıda değildir. Çok fazla gerilme çatlağı görülmektedir. Ortam sıcaklık farkından çabuk etkilenebilir. Her sıcaklıkta asfalt dökülemez gevrekleşerek çatlama ve kırılma gösterebilir.



Şekil 4.14. Bazalt agregası SEM görüntüsü

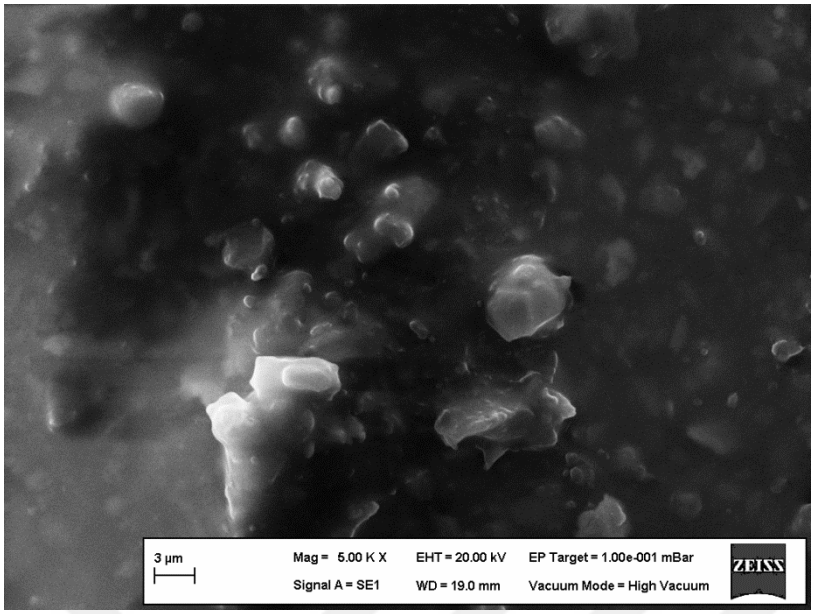


Şekil 4.15. Kalker agregası SEM görüntüsü

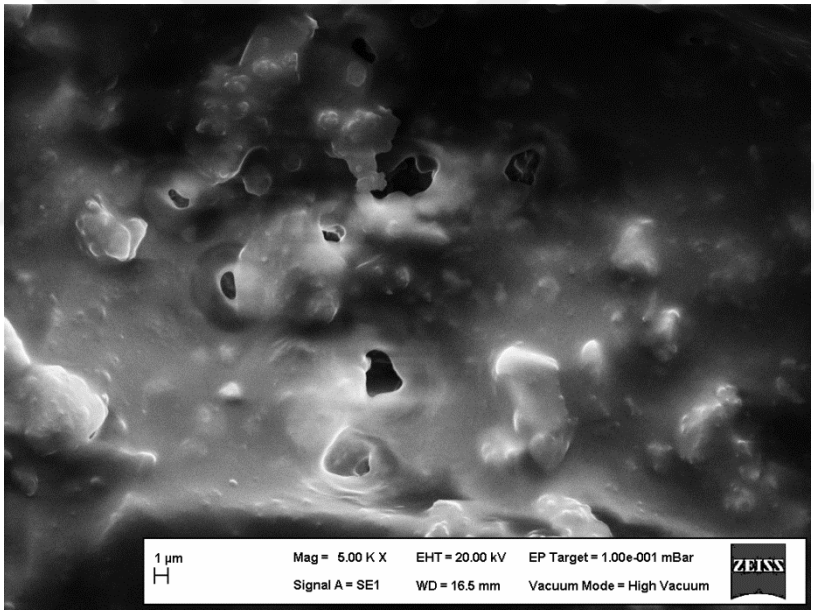


Şekil 4.16. Volkanik cüruf agregası SEM görüntüsü

Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16 incelendiğinde volkanik kayaçların yapısı daha parça parça iken, sedimanter kayaç olan kalkerin yapısı daha küçük taneciklerden oluşmaktadır. Bu yönden bazalt ve volkanik cüruf daha yakın görüntüler oluşturmuştur.

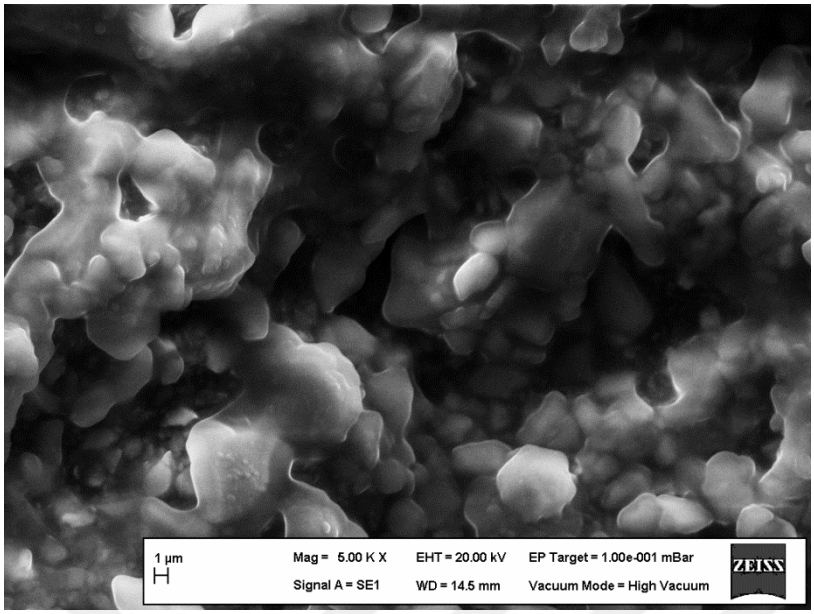


Şekil 4.17. Bazalt filler karışımın SEM görüntüsü

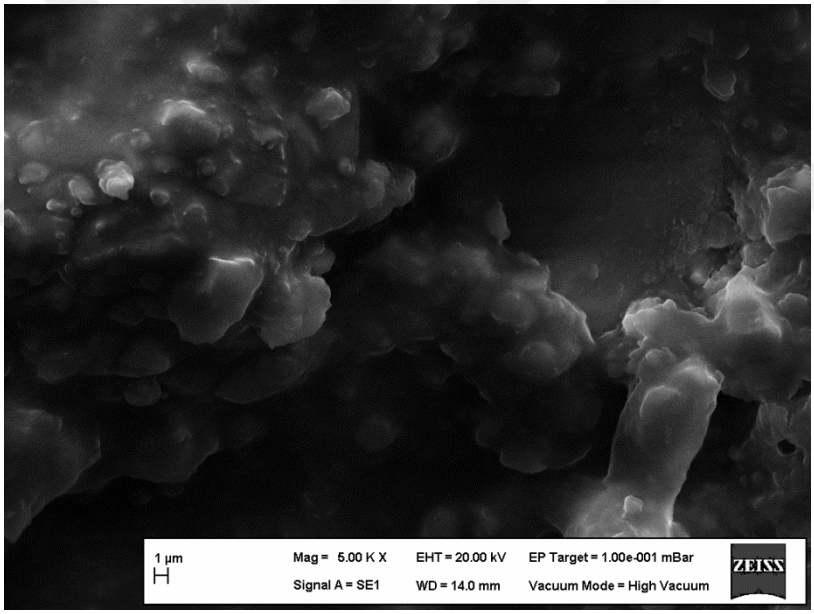


Şekil 4.18. Yaşlandırılmış bazalt filler karışımın SEM görüntüsü

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 incelendiğinde bazalt fillerin kullanıldığı karışımlar incelendiğinde yaşlandırılma uygulanan numunede boşlukların oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca yüzeyde pürüz oluşturacak küçük toz taneciklerin de koptuğu gözlenmiştir.

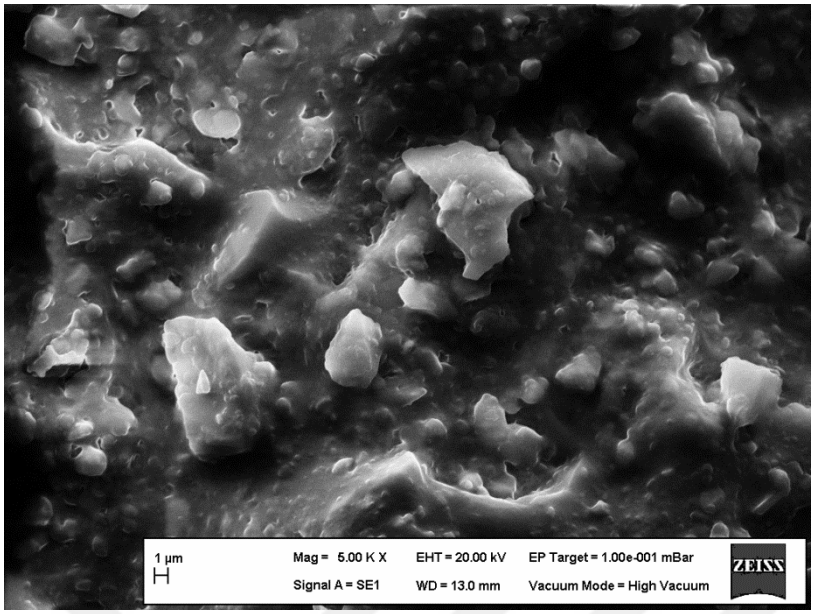


Şekil 4.19. Kalker filler karışımın SEM görüntüsü

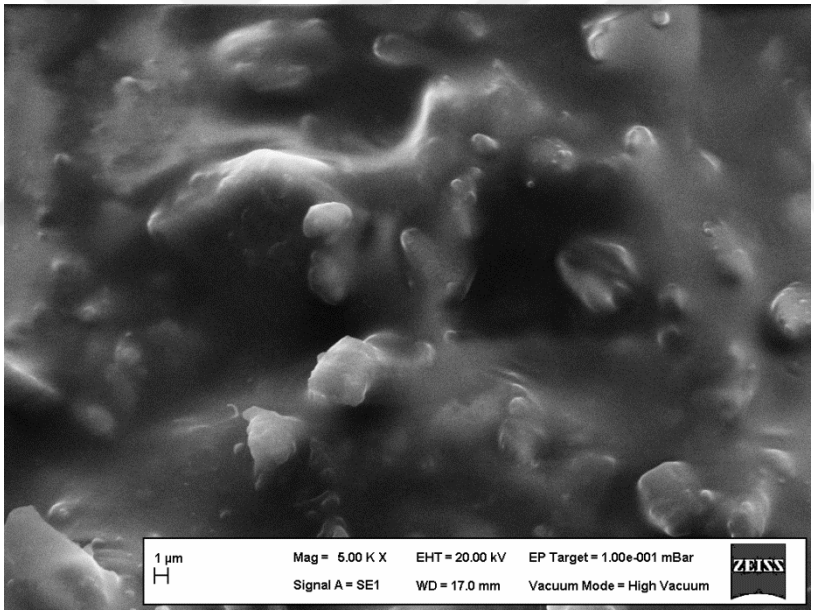


Şekil 4.20. Yaşlandırılmış kalker fillerin SEM görüntüsü

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 incelendiğinde kalkerin filler olarak kullanıldığı karışımlarda yaşlandırma tayininden sonra makro pürüzlülüğün arttığı görülmüştür. Yaşlandırma işleminden sonra numunede büyük boşlukların oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4.21. Volkanik cüruf filler karışımın SEM görüntüsü



Şekil 4.22. Yaşlandırılmış volkanik cüruf fillerin SEM görüntüsü

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 incelendiğinde her iki görüntüde de yoğun bir görüntü elde edilmiştir. Boşluk oranının çok az olduğu bir karışım olmakla birlikte yüzeyde pürüzler her iki görüntüde de hâkimdir. Ancak yaşlandırma yapılmadan önce daha fazla pürüz vardır. Bu da kayma direncinin düşmesine neden olan bir etkendir.

4.8. Kayma Analizi Sonuçları

7 gün boyunca 40 ° C sıcaklık ve % 60 nem uygulanan numuneler ile yaşlandırma işlemine tabii tutulmamış numunelerin kayma analizi deneyi yapılmıştır. Sıcaklık ve nemin etkisindeki numunede kayma sürtünme değerinin ne derecede değiştiğini görmek hedeflenmiştir.

Çizelge 4.8. Kayma analizi sonuçları

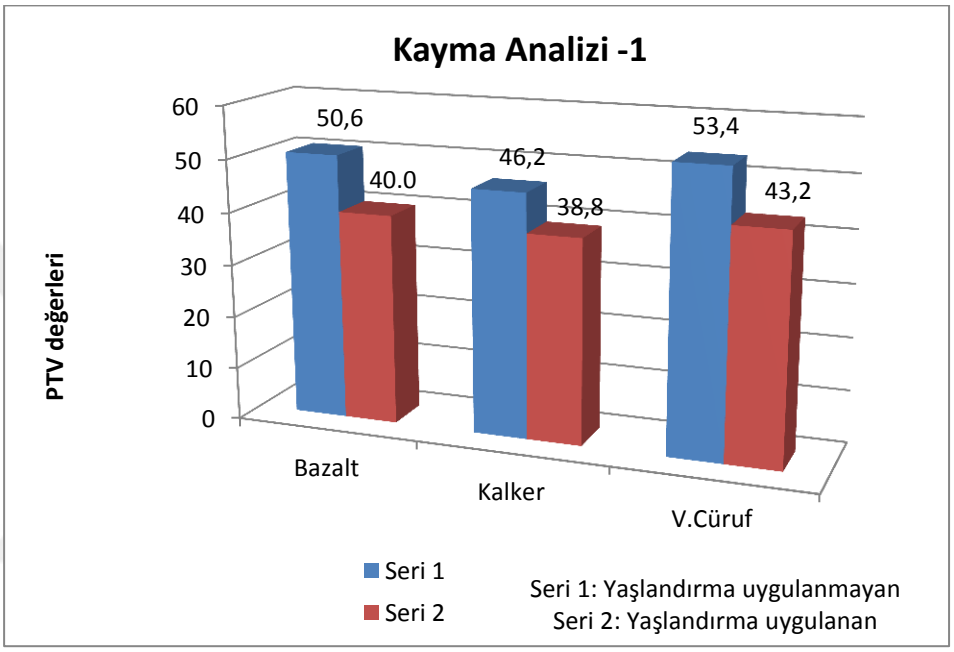
Numuneler	Kayma Analizi Sayısı					PTV_{ORT}	μ
	1	2	3	4	5		
Bazalt	55	50	50	50	48	50,60	0,543
Kalker	50	45	50	44	42	46,2	0,464
V.Cüruf	51	53	50	58	55	53,4	0,580
Y-Bazalt	40	36	35	43	46	40,0	0,414
Y-Kalker	30	35	45	42	42	38,8	0,400
Y-V.Cüruf	45	50	40	40	41	43,2	0,452

Çizelge 4.8 incelendiğinde her bir numuneye 5 adet ölçüm yapılmasıyla birlikte toplam 30 ölçüm yapılmıştır. Her 5 ölçümün aritmetik ortalaması o numunenin PTV değerini vermektedir. PTV değeri elde edilen numuneler denklem (3.13) yardımıyla kayma sürtünme katsayısına dönüştürülmüştür. Çizelgede Y harfiyle isimlendirilen numuneler yaşlandırılma uygulanan numuneleri temsil etmektedir.

Çizelge 4.8 incelendiğinde yaşlandırma uygulanmayan numunelerde en yüksek kayma direnci değeri volkanik cüruf mineral fillerin kullanıldığı karışımlarda olduğu gözlenmiştir. Daha sonra bazalt karışımları yüksek değer vermiştir ve yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yaşlandırılma uygulanan numuneler incelendiğinde tekrar en yüksek değeri volkanik cüruf fillerin kullanıldığı numuneler verirken, bazalt ve volkanik cürufun sonuçları birbirine çok yakındır.

Çizelge 4.8' de kayma sürtünme katsayıları μ incelendiğinde yaşlandırma uygulanmayan numunelerde bazalt 0,543 kayma sürtünme katsayısı ile kayma potansiyeli 'Düşük', kalker 0,464 kayma sürtünme katsayısı ile kayma potansiyeli

'Orta', volkanik cüruf 0,580 kayma sürtünme katsayısı ile kayma potansiyeli 'Düşük' olarak değerlendirilmiştir. Yaşlandırma uygulanan numuneler incelendiğinde bazalt 0,414 kayma sürtünme katsayısı ile kayma potansiyeli 'Orta', kalker 0,400 kayma sürtünme katsayısı ile kayma potansiyeli 'Orta' ve volkanik cüruf 0,452 kayma sürtünme katsayısı ile kayma potansiyeli 'Orta' olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.23. PTV_{ORT} değerlerinin her numune için artış-azalış grafiği

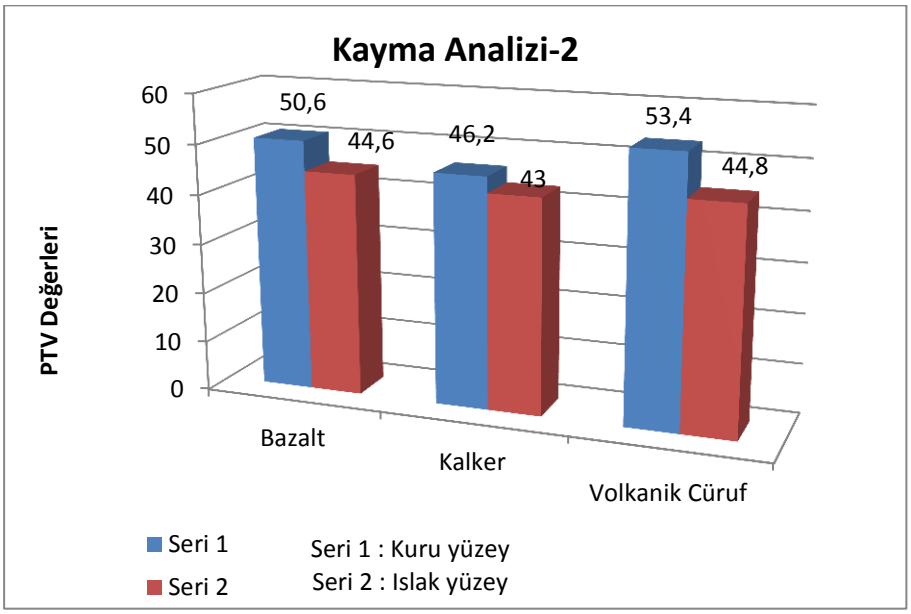
Şekil 4.23 incelendiğinde yaşlandırma uygulanan ve uygulanmayan numuneler arasında en az düşüş gösteren numune kalkerde olmuştur. En fazla farkı gösteren numune bazalt olmasına rağmen volkanik cüruf ile yakın sonuçlar vermiştir. Bazalt numunesinde % 21, kalker numunesinde % 16 ve volkanik cüruf numunesinde % 19 düşüş olduğu gözlenmiştir.

Yol üstyapısında tekerlek ve yol yüzeyi arasında su birikintisi bulunması kayma sürtünme katsayısını etkilemektedir. Çizelge 4.9' da kuru ve ıslak yüzey şartlarında kayma analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kayma analizi kuru-ıslak yüzey sonuçları

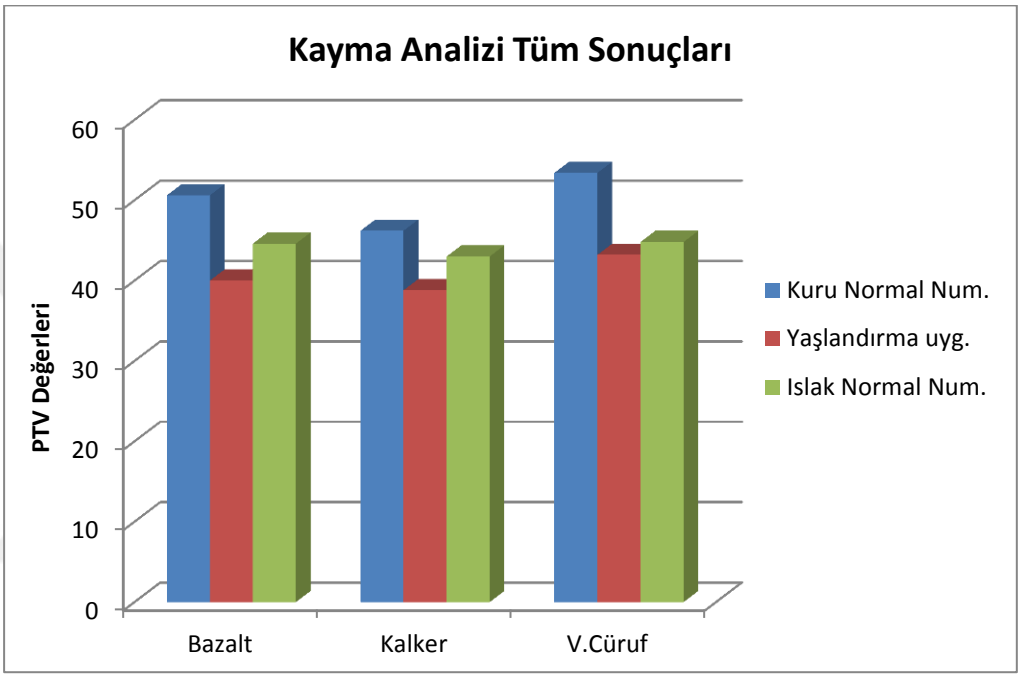
Kayma Analizi Kuru-Islak Yüzey Sonuçları (PTV)			
Yüzey Şartları	Bazalt	Kalker	Volkanik Cüruf
Kuru Yüzey	55 50 50 50 48	50 45 50 44 42	51 53 50 58 55
Ortalama	50,6	46,2	53,4
Islak Yüzey	43 44 45 46 45	44 44 43 42 42	44 47 45 43 45
Ortalama	44,6	43,0	44,8

Çizelge 4.9' daki kuru ve ıslak yüzey şartlarında yapılan kayma analizi sonuçlarına bakıldığında kuru yüzeyde kayma sürtünme katsayısının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bazaltın kullanıldığı numunelerde ıslak yüzey kayma analizi PTV değeri 44,6 ve kayma potansiyeli 'Düşük' olarak değerlendirilmiştir. Kalkerin kullanıldığı numunelerde ıslak yüzey kayma analizi PTV değeri 43,0 ve kayma potansiyeli ' Orta' olarak değerlendirilmiştir. Volkanik cürufun kullanıldığı numunelerde ıslak yüzey kayma analizi PTV değeri 44,8 ve kayma potansiyeli 'Düşük' olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.24. Kayma analizi kuru-ıslak yüzey sonuçları

Şekil 4.24 incelendiğinde yüzey şartları değiştiğinde yani ıslak yüzey şartlarına geçtiğinde en fazla düşüş volkanik cürufun kullanıldığı numunede gözlenmiştir. En az düşme oranı kalkerin kullanıldığı numunelerde gözlenmiştir. Bazaltın kullanıldığı numunelerde % 12, kalkerin kullanıldığı numunelerde % 7 ve volkanik cürufun kullanıldığı numunelerde ise % 16 oranında kayma sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir.



Şekil 4.25. Kayma analizinin tüm sonuçlarının bir arada verilmesi

Şekil 4.25' te kayma analizinin yaşlandırma uygulanmayan kuru yüzey sonuçları, yaşlandırma uygulanan kuru yüzey sonuçları ve yaşlandırma uygulanmayan ıslak yüzey sonuçları bir arada verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde tüm numunelerde en düşük kayma direnci yaşlandırma uygulanan numunelerde elde edilmiştir. En yüksek kayma direnci yaşlandırma uygulanmayan kuru yüzey numunelerden elde edilmiştir. Numunelerin genelinde kuru yüzeyde kayma direnci daha yüksek iken, ıslak yüzey kayma direnci yaşlandırma uygulanan kuru yüzeyden daha iyi sonuç vermiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Şanlıurfa' da karayolları esnek üstyapıda sıklıkla kullanılan bazalt agregasına alternatif olarak kalker ve volkanik cüruf filler kullanımının esnek üstyapıda sıcaklık ve yağışın performans üzerinde etkisi incelenmiştir. Tüm karışımlarda kaba ve ince agrega bazalt olarak kullanılmıştır. Mineral fillerin bazalt olduğu karışımlar kontrol numune olarak değerlendirilmiştir. Agrega ve bitümlü bağlayıcının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlendikten sonra karışım gradasyonuna uygun dökümler yapılarak optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Optimum bitüm yüzdesiyle yeni karışımlar dökülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan gradasyon Karayolları Teknik Şartnamesi Aşınma Tabakası Tip-1 alt ve üst limitlere uygundur. Karışımda % 55 kaba agrega, % 39 ince ve % 6 filler malzeme kullanılmıştır. Tüm karışımlarda gradasyon sabit tutulmuştur.

Agrega fiziksel ve mekanik özellik tayini sonuçları incelendiğinde, los angeles aşınma deneyi sonucu kaba agrega olarak kullanılan bazalt için % 18,1 olarak elde edilmiştir ve şartname değerlerine uygundur. Deneyde kullanılan bazalt agregası trafikten kaynaklanan yük ve aşınmalara karşı dirençlidir. Su emme oranı % 2' nin üstünde çıkarak şartname değerlerini aştığı görülmüştür. Aşınma tabakası Tip-1 için uygun olmayacağı ancak binder tabakasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Metilen mavisi sonuçları incelendiğinde bazalt ve kalker agregası şartname değerleri sağlarken volkanik cürufun şartname sınır değerlerini çok aştığı gözlenmiştir. Soyulma mukavemetinde soyulma çok az gözlenmiştir. Agrega ve bitümün aderansının iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Slake durabilite deneyinde agreganın suda dağılım direnci değerlendirilmiştir. Deney sonucunda bazalt agregasının suda dağılmaya karşı yüksek direnci olduğu sonucuna varılmıştır.

% 4,5 – 5 – 5,5 – 6 – 6,5 oranlarında bitümlü bağlayıcı ve toplam 1200 g agrega olacak şekilde uygun sıcaklıkta karışımlar yapılmıştır. 24 saat kalıpta bekleyen numuneler Marshall stabilite testinde kırılmıştır. Marshall stabilite

sonuçları incelendiğinde volkanik cürufun filler malzeme olarak kullanıldığı karışımlarda stabilite daha yüksek çıkmıştır. Volkanik cüruf ve kalkerin filler malzeme olarak kullanıldığı karışımlarda maksimum stabilite % 5, bazalt ise % 5,5 bitüm oranında elde edilmiştir. Optimum bitüm yüzdeleri bazalt, kalker, volkanik cüruf için sırasıyla %5,28 , %5,03 ve %5,05 olarak elde edilmiştir. Optimum bitüm yüzdeleri elde edilen karışımlar incelendiğinde bazalt, kalker ve volkanik cüruf arasında çok fark olmasa da en az bitüm yüzdesi sonucunu kalker filler vermiştir. Volkanik cüruf ve kalker çok yakın sonuçlar vermiştir.

ICP sonuçları incelendiğinde bozucu etki gösterecek olan Ca, Na ve Mg en fazla volkanik cürufun kullanıldığı karışımlarda görülmüştür. Al ve Si miktarı fazla olması sebebiyle başlangıçta yüksek dayanım etkisi göstereceği ancak iklim ve çevre şartları etkisinde çabuk bozulma göstereceği sonucuna varılmıştır. Bozulma etkisi gösterecek elementlerin en az bazalt karışımında görülmesinden dolayı bozulma miktarının en az bu karışımda olacağı sonucuna varılmıştır.

XRD sonuçları incelendiğinde bazalt, kalker ve volkanik cürufun kullanıldığı tüm karışımlarda kalsit oluşumu gözlenmiştir. Kalsit tanelerinin sürekli tekrarlanan ısınma sonucunda tanelerinin ara boşluklarında çatlamalar görülebilir ve ortamda su bulunması durumunda bozulma hızlanabilir. Kalsit sağlam olup yapıya dayanım kazandırsa da bozulma görüldükten sonra seyri hızlanmaktadır. İklim şartları ele alındığında yaz aylarında tekrarlanan sıcaklıklar ve bahar aylarında görülecek yağışlar yol üstyapısını olumsuz etkileyeceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca asit içerikli yağmur suları kireçtaşlarında $CaSO_4$ oluşumuna sebep olup dayanımı düşürür. Asitli yağmurların yoğun olduğu bölgelerde kireçtaşı kullanımı önerilmemektedir.

Ca, Na, Mg ve K elementlerinin yoğun görülmesi Cl elementinin bulunduğu ortamda su ile reaksiyona girerek ayrışma ve bozulmalara neden olmaktadır. ICP ve XRD sonuçları incelendiğinde en fazla volkanik cüruf fillerin kullanıldığı karışımlarda olduğu görülmektedir. Si-O oluşumu dayanıklığı arttırsa da Si

elementinin fazla olması soyulmayı arttırmaktadır ve su hasarı artmaktadır. Bunu önlemek için soyulma önleyici katkılar kullanılması önerilmektedir.

SEM sonuçları incelendiğinde kullanılan bitümde yorulma çatlakları olduğu gözlenmiştir. Bu da kullanılan bitümün ısınma-soğuma döngülerinden kaynaklı kopma ve çatlakların oluşabileceği sonucuna varılmıştır. Kullanılan agregalarda magmatik kökenli olanlar yakın görüntüler vermiştir ve tüm agregalarda kristalleşmeler görülmüştür bu da kenetlenmeyi yani dayanımı arttırıcı bir etkendir. Yaşlandırma uygulanan ve uygulanmayan karışımların SEM görüntüleri incelendiğinde, yaşlandırma sonrası boşlukların oluştuğu ve pürüzlerin azaldığı görülmüştür. En büyük boşlukların kalker fillerin kullanıldığı karışımlarda oluştuğu gözlenmiştir.

Kayma analizi sonuçları incelendiğinde en yüksek kayma direnci volkanik cürufun kullanıldığı karışımlarda elde edilmiştir. Volkanik cüruftan sonra en yüksek kayma direnci bazalt fillerde görülmüştür. En düşük kayma direnci kalkerde görülmesine rağmen yaşlandırma sonrası kayma direncindeki en az değişim bu numunede gerçekleşmiştir. Yaşlandırma uygulanmayan numunelerde kuru ve ıslak yüzey olarak kayma analizi sonucu incelendiğinde ıslak yüzey şartlarında uygulanan numunelerde kayma potansiyelinin daha fazla olduğu görülmüştür. En fazla düşüşün volkanik cüruf filler numunelerinde olduğu görülmüştür. Tüm sonuçlar bir arada incelendiğinde en yüksek kayma direnci yaşlandırma uygulanmayan kuru yüzey numunelerde ve en düşük ise yaşlandırma uygulanan kuru yüzey numunelerde olduğu görülmüştür. Yaşlandırma sonrası kayma direnci ıslak yüzey kayma direncinden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde optimum bitüm oranını düşürüp, yüksek stabilite elde edilse de volkanik cürufun iklim şartları etkisinde zamanla bozulmaya uğrayacağı sonucuna varılmıştır. Kalkerin kullanıldığı karışımlar incelendiğinde optimum bitüm oranı bazalta oranla düşük ve stabilite değeri yüksektir. Yüksek nem ve asit yağmurlarının sıklıkla görüldüğü sanayinin geliştiği endüstriyel anlamda önde olan şehirlerde kullanılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Optimum bitüm oranı

diğerlerine göre fazla olsa da iklim şartları etkisinde en az bozulmayı bazaltın gösterdiği sonucuna varılmıştır. Kalker atığının fazla olduğu kurak bölgelerde kalkerin alternatif filler malzemesi olarak kullanılabileceği sonucu elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

AKGÜL, N. E. SARIIŞIK, A., 2019. Karayollarında Kayma Sürtünme Katsayısının Analizi. 13. Ulaştırma Kongresi, 10-12 Ekim, Erzurum. 386s.

ARABANI, M. MIRABDOLAZIMI, S. M., 2011. Experimental İnvestigation of the Fatigue Behaviour of Asphalt Concrete Mixtures Containing Waste İron Powder. Materials Science and Engineering, 528(10-11):3866-3870.

ASLAN, D. SARIIŞIK, A., 2018. Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3):243-250.

ASTM D4644-87, 1998. Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks. 4s.

ASTM D6927-15, 2015. Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures. 7s.

AYÇİÇEK, S., 2011. Esnek Üstyapılarda İmalat Ve Uygulama Kusurları. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. 102s.

BAĞDATLI, M. YILDIRIM, M. 2017. Karayolu Üstyapısındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(1):102-111.

BEŞER, H. M., 2018. Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarı, Slake Durabilite Deneyi Notları, 4s.

BOWMAN, R., 2004. Practical Aspects of Slip Resistance of Stone. www. discoveringstone.com

CEYLAN, S., 2006. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Carboniferous-Triassic Kayaç Tozlarının Kullanılması ve Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya. 79s.

ÇELİK, O. N. YONAR, F. ve CEYLAN, S., 2007. Bitümlü Sıcak Karışımların Performansına Filler Etkisi. 7. Ulaştırma Kongresi, 19-21 Eylül. 196-204s.

COŞKUN, G. SARIIŞIK, G., 2017. Doğal Taşların Sürtünme Katsayılarını (COF) Belirleyerek Yüzey Özelliklerinin Kayma Güvenlik Risk Analizi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 38(2), 15s.

DOĞAN, O., 2006. Esnek Üstyapılı Devlet Yollarındaki Bozulmaların Bulanık Mantık İle Tahmini. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. 98s.

ERGÜN, M. İYİNAM, A. F. ve İYİNAM. Ş., 2001. 5. Ulaştırma Kongresi, 30 Mayıs-1 Haziran, 293-301.

GÜRER, C. AKBULUT, H. ve ÇETİN S., 2007. Afyonkarahisar Şehir İçi Kaplamalarında Kullanılan Agregaların Kayma Direnci Özelliklerinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(2): 129-134.

GÜRER, C. KARAŞAHİN, M., 2015. Hasarsız Deneylerle Bir Sathi Kaplamalı Yol Kesiminin Performans Değişiminin İncelenmesi. 11. Ulaştırma Kongresi, 27-29 Mayıs, İstanbul, 213-220.

KARA, Ç., 2012. Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 125s.

KARAHANÇER, Ş. TERZİ, S. ERİŞKİN, E. AKBAŞ, M. Y. SALTAN, M. ve CENGİZHAN, A., 2019. Nano Cu_2O ve SiO_2 ile Modifiye Edilmiş Asfalt Kaplamalarının Performans Analizi. 13. Ulaştırma Kongresi, 10-12 Ekim, Erzurum, 386s.

KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013. 431s.

KAŞAK, S. ERİBOL, S. ORHAN, F. ve GÜNGÖR. A. G., 2004. Yeni Bitüm Standardı. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Karayolları Genel Müdürlüğü, Yollar Türk Milli Komitesi, 25-26 Kasım, Ankara. 9s.

KESİN, M. KARACASU, M., 2018. Atık Bor İçeren Asfalt Betonlarının Performanslarının Değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2):185-192.

KÖFTECİ, S., 2017. Bitümlü Sıcak Karışımlardan Geri Dönüşüm Yolu İle Elde Edilen Agregaların Performanslarının Değerlendirilmesi: Deneysel Bir Çalışma. Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2):535-545.

MOROVA, N. TERZİ, S., 2015. Kolemanit Atıkların Sıcak Karışım Asfalt Betonda Agrega Olarak Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2):8-15.

NABIUN, N. KHABIRI, M. M., 2016. Mechanical and Moisture Susceptibility Properties of HMA Cointaining Ferrite for Their USA in Magnetic Asphalt. Construction and Building Materials, 113: 691-697.

ORHAN, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şube Müdürlüğü, Ankara, 39s.

ÖKSÜZ, B., 2011. Asfalt Betonu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 77s.

ÖZUĞURLU, B., 2015. Karayolu Esnek Üstyapı Binder Tabakasında Elektrik Ark Ocağı Cürufunun Yapay Agrega Olarak Kullanımının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul. 92s.

PROZZI, J. A., 2001. Modelling Pavement Performance by Combining Field and Experimental Data. Civil and Enviromental Engineering, University of California, Berkeley. 139s.

SHAHIN, M. Y., 2002. Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Kluwer Academic Publishers, 90-111.

SÖNMEZ, İ. YILMAZ, M. ve TUĞRUL, A., 2009. Yıkanmış ve Yıkanmamış Agregalardan Üretilen Asfalt Karışımlarının Özelliklerinin Karşılaştırılması. 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 1-2 Aralık, İstanbul. 309-315.

SÖNMEZ, İ. GİRİT, YILDIRIM, S.A. TOPCU, A. ve SARIKAYA, H., 2011. Agrega Tane Şeklinin Optimum Bitüm ve Tekerlek İzleri Üzerine Etkisi. 6. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 6-7 Ekim, Sivas. 43-52.

SU , NAN. CHEN, J. S., 2002. Engineering Properties of Asphalt Concrete Made With Recycled Glass. National Yunlin University of Science and Technology, 259s.

ŞENGÖZ, B. TANYEL, S. GÖRKEM, Ç. ve KAÇMAZ, B., 2010. İzmir Şehir İçi Yollarının Kayma Dirençlerinin Trafik Güvenliği Açısından

Değerlendirilmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1):75-85.

TERZİ, S., BÜYÜKDOĞAÇ. E. M., 2018. Evaluation of Zeolite and Pumice Waste as Mineral Aggregate and Filler for Producing Lightweight Asphalt Concrete Mixtures. Journal of Engineering Sciences and Design, 6(1):118-123.

TERZİ, S. KARAŞAHİN, M., 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı. İMO Teknik Dergi, 14(67):2903-2922.

TS EN 1097-2, 2010. Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 2: Parçalanma Direnci Tayini İçin Yöntemler, Ankara.

TS EN ISO 2592, 2017. Petrol ve İlgili Ürünler – Parlama ve Yanma Noktasının Tayini- Cleveland Açık Kap Yöntemi, Ankara.

TS EN 12697-11, 2012. Bitümlü Karışımlar- Deney Metotları- Sıcak Karışımlı Asfalt İçin-Bölüm 11: Agrega Ve Bitüm Arasındaki Bağlanmanın Tayini, Ankara.

TS EN 933-9+A1, 2014. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi, Ankara.

TS EN 1097-6, 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara.

TS EN 1367-2, 2010. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Ankara.

TS EN 1426, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – İğne Batma Derinliği Tayini, Ankara.

TS EN 1427, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – Yumuşama Noktası Tayini – Halka ve Bilye Yöntemi, Ankara.

TS EN 13589, 2018. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Kuvvet Uygulamalı Süneklik Yöntemiyle Modifiye Bitümün Gerilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Ankara.

TS EN 15326+A1, 2010. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini – Kapiler Kapaklı Piknometre Yöntemi, Ankara.

TS EN 13036-4, 2014. Yol ve Hava Alanı Yüzey Karakteristikleri – Deney Yöntemleri – Bölüm 4: Yüzeyin Kayma/Kızaklama Direncinin Ölçülmesi Yöntemi: Pandül Deneyi, Ankara.

TUNÇ, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayınevi, 2. Baskı, Ankara, 840s.

GAMBLE, J. C., 1971. Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks. Ph. D., Thesis, University of İllinois, 159p.

GRAY, L. GRAHAM, I., 2015. Yakından Tanıyın-Ulaşım. TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara. 72s.

UZ, V. E. GÖKALP, İ., 2017. Farklı Tür Agregalarla Üretilen Yüzeysel Kaplamaların Kayma Direnci Performanslarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1):109-120.

ÜSTÜNKOL, F.N. TURABİ, A., 2009. Endüstriyel Atıkların Karayolu Üstyapısında Değerlendirilmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1):15-27.

WASILEWSKA, M. MAŁASZKIEWİCZ, D. and IGNATIUK, N., 2017. Evaluation of Different Mineral Filler Aggregates for Asphalt Mixtures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 8s.

XIAO, J. KULAKOWSKI, B. T. and EL-GİNDY, M. 2000. Prediction of Risk of Wet-Pavement Accidents: Fuzzy Logic Model. Transportation Research Record, 1717(1):28-36.

YILDIZ, K., 2018. Şehir İçi Asfalt Kaplamaların Kayma Potansiyelinin Değerlendirilmesi – Bir Durum Çalışması. Politeknik Dergisi, 21(2):513-518.

YILMAZ, A. SÜTAŞ, İ., 2005. Ferrokrom Cürufu Kullanarak Hazırlanan Asfalt Betonu Numunelerinin Mühendislik Özellikleri. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi, 22-24 Eylül, Antalya. 11s.

1.Beton Yollar Kongresi Bildiriler Kitabı. 2019. Ankara. 444s.

URL-1,www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/9Bolge/Harita.aspx .Erişim Tarihi: 27.12.2019

URL-2, www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/9Bolge/Iller/IlSanliurfa.aspx . Erişim Tarihi: 27.12.2019

URL-3,www.simgemat.com.tr/tr/FaaliyetAlanlari/YolVeUstyapiMalzemeUretimleri. Erişim Tarihi: 03.12.2019

URL-4,www.sanalsantiye.com/bitumlu-baglayicilara-uygulanan-deneyler/#.XhO3yVUzbIU. Erişim Tarihi: 06.12.2019

URL-5, http://hubtam.harran.edu.tr/tr/cihazlar/icp-oes/ . Erişim Tarihi: 12.12.2019

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı: Nur Erdem
Soyadı: AKGÜL ŞEKER
Uyruğu: T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi: Şanlıurfa – 11.04.1995
e-mail: nurerdema@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe/İl	Bitirme Yılı
Lise	ÇEAŞ Anadolu Lisesi	Merkez/ŞANLIURFA	2013
Lisans	Harran Üniversitesi	Merkez/ŞANLIURFA	2017
Yüksek Lisans	Harran Üniversitesi	Merkez/ŞANLIURFA	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
07.2018-01.2019	Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

EKLER

EK-1 Bazalt mineral filler ile oluşturulan BSK hesaplamaları

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy.Yüz.K Ağırlık (g)	Hacim (cm^3)	Hac.Özg. Ağ .(g/cm^3)	Mak.Teo.Özg. Ağ. (g/cm^3)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf.Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)
	W_a (%)	(gr)	Sıc. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	Dp	D_T	V_h		V_f		
1	4,5	54	140	64,7	64,8	64,6	64,7	1243,9	744,1	1253,5	509,4	2,44	2,526	4,59	11,96	61,59	3,31	1987
2	4,5	54	140	64,8	64,8	64,7	64,8	1241,5	734,6	1251,1	516,5	2,40					3,30	2002
3	4,5	54	140	65,5	64,6	65,4	65,5	1252,2	741,3	1264,0	522,7	2,39					3,13	2020
				ORTALAMALAR								2,41					3,25	2003
4	5	60	140	63,0	63,0	63,1	63,0	1250,3	746,1	1257,1	511,0	2,45	2,509	3,15	11,65	72,979	3,75	2163
5	5	60	140	65,0	65,2	65,0	65,1	1246,7	740,5	1256,2	515,7	2,42					3,56	1945
6	5	60	140	65,2	65,1	65,0	65,1	1262,8	747,5	1271,6	524,1	2,41					3,39	1976
				ORTALAMALAR								2,43					3,57	2028
7	5,5	66	140	64,2	64,2	64,2	64,2	1265,8	753,3	1269,4	519,1	2,44	2,493	2,13	11,65	81,746	3,42	2560
8	5,5	66	140	62,4	62,3	62,4	62,4	1264,4	752,7	1268,4	518,7	2,44					3,42	2162
9	5,5	66	140	65,1	65,2	65,0	65,1	1261,1	752,4	1266,2	517,8	2,44					4,43	1972
				ORTALAMALAR								2,44					3,76	2231
10	6	72	140	63,6	63,7	63,7	63,7	1272,2	759,3	1275,0	515,7	2,46	2,476	1,06	11,83	91,124	4,71	1662
11	6	72	140	64,7	64,7	64,7	64,7	1260,5	748,3	1266,1	517,8	2,43					3,72	1179
12	6	72	140	64,4	64,5	64,3	64,4	1253,3	749,8	1258,2	508,4	2,46					4,56	1737
				ORTALAMALAR								2,45					4,33	1526
13	6,5	78	140	64,2	64,2	64,2	64,2	1244,7	741,9	1248,2	506,3	2,45	2,460	0,41	12,204	96,665	5,09	1520
14	6,5	78	140	64,5	64,6	64,4	64,5	1269,6	757,0	1273,1	516,1	2,45					5,20	1718
15	6,5	78	140	63,6	63,6	63,7	63,6	1252,5	746,1	1254,5	508,4	2,45					5,39	1664
				ORTALAMALAR								2,45					5,23	1634

EK-2 Kalker mineral filler ile oluşturulan BSK hesaplamaları

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy.Yüz.K Ağırlık (g)	Hacim (cm^3)	Hac.Özg. Ağ .(g/cm^3)	Mak.Teo.Özg. Ağ. (g/cm^3)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf.Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)
	W_a (%)	(gr)	Sıc. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	Dp	D_T	V_h		V_f		
1	4,5	54	140	64,7	64,7	64,6	64,7	1243,9	744,1	1253,5	509,4	2,44	2,524	4,479	11,765	61,929	3,23	1871
2	4,5	54	140	64,2	64,3	65,9	64,8	1241,5	734,6	1251,1	516,5	2,40					2,42	1811
3	4,5	54	140	65,0	64,9	66,6	65,5	1252,2	741,3	1264,0	522,7	2,40					3,48	1874
ORTALAMALAR												2,41					3,04	1852
4	5	60	140	65,0	65,0	65,1	65,0	1234,5	737,3	1240,3	503,0	2,45	2,506	3,033	11,559	73,761	3,85	2085
5	5	60	140	65,3	65,7	65,8	65,6	1260,4	747,1	1268,3	521,1	2,42					4,07	2090
6	5	60	140	64,2	63,7	63,5	63,8	1255,5	744,6	1261,0	516,4	2,43					3,78	2068
ORTALAMALAR												2,43					3,90	2081
7	5,5	66	140	63,3	63,2	63,4	63,3	1247,4	742,6	1251,2	508,6	2,45	2,489	1,567	11,172	85,974	4,74	1754
8	5,5	66	140	63,2	63,2	63,1	63,2	1247,7	742,8	1253,1	510,3	2,45					4,56	1864
9	5,5	66	140	63,6	63,5	63,7	63,6	1252,0	747,0	1257,4	510,4	2,45					4,59	1699
ORTALAMALAR												2,45					4,63	1772
10	6	72	140	68,9	67,1	64,4	66,8	1236,9	728,1	1238,9	510,8	2,42	2,473	1,334	12,018	88,899	4,55	1758
11	6	72	140	67,8	68,3	69,4	68,5	1205,6	712,1	1207,1	495,0	2,44					4,95	1776
12	6	72	140	64,4	64,4	64,4	64,4	1275,7	761,3	1278,6	517,3	2,47					4,78	1782
ORTALAMALAR												2,44					4,76	1773
13	6,5	78	140	65,0	64,8	64,0	64,6	1272,8	760,0	1278,6	518,6	2,45	2,457	0,692	12,391	94,415	5,93	1839
14	6,5	78	140	63,1	63,2	63,0	63,1	1252,0	745,5	1258,0	512,5	2,44					5,87	1669
15	6,5	78	140	63,6	63,5	64,6	63,9	1258,7	750,9	1265,8	514,9	2,44					4,11	1895
ORTALAMALAR												2,44					5,30	1801

EK-3 Volkanik cüruf mineral filler ile oluşturulan BSK hesaplamaları

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy.Yüz. K Ağırlık (g)	Hacim (cm^3)	Hac.Özg. Ağ. (g/cm^3)	Mak.Teo.Öz g. Ağ. (g/cm^3)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf.Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)
	W_a (%)	(gr)	Sıc. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	Dp	D_T	V_h		V_f		
1	4,5	54	140	64,7	64,9	64,6	64,7	1239,7	736,8	1253,9	517,1	2,40	2,528	5,459	12,72	57,090	2,79	2406
2	4,5	54	140	65,1	65,1	65,0	65,1	1254,9	739,5	1264,6	525,1	2,39					3,37	2485
3	4,5	54	140	64,9	65,3	64,9	65,0	1249,1	740,9	1261,5	523,6	2,39					2,99	1863
ORTALAMALAR												2,39					3,05	2251
4	5	60	140	64,6	65,1	64,2	64,6	1253,7	742,9	1261,4	518,5	2,42	2,511	3,226	11,75	72,545	3,32	2427
5	5	60	140	64,6	64,8	64,7	64,7	1252,5	743,4	1260,2	516,8	2,42					3,52	2409
6	5	60	140	63,2	63,0	63,8	63,3	1243,3	740,3	1249,4	509,1	2,44					3,62	2997
ORTALAMALAR												2,43					3,49	2611
7	5,5	66	140	64,4	64,6	64,9	64,6	1252,0	757,3	1258,2	500,9	2,50	2,494	1,363	10,98	87,590	3,50	1821
8	5,5	66	140	63,9	64,7	65,1	64,6	1256,9	748,0	1262,5	514,5	2,44					3,27	2278
9	5,5	66	140	64,5	63,5	63,9	64,0	1251,8	745,7	1257,8	512,1	2,44					3,77	2130
ORTALAMALAR												2,46					3,51	2076
10	6	72	140	63,5	63,7	63,4	63,5	1250,0	746,0	1255,7	509,7	2,45	2,478	1,130	11,83	90,449	4,27	1967
11	6	72	140	64,0	64,3	64,3	64,2	1262,5	754,3	1267,2	512,9	2,46					3,88	1988
12	6	72	140	64,2	64,5	64,7	64,5	1262,0	750,3	1266,6	516,3	2,44					3,83	1851
ORTALAMALAR												2,45					3,99	1935
13	6,5	78	140	64,9	65,1	65,1	65,0	1273,6	757,9	1279,4	521,5	2,44	2,462	0,810	11,83	99,315	5,17	1622
14	6,5	78	140	63,8	64,6	64,4	64,3	1266,6	754,8	1270,5	515,7	2,46					3,69	1985
15	6,5	78	140	63,8	64,0	64,8	64,2	1264,6	755,6	1268,3	512,7	2,47					3,76	1751
ORTALAMALAR												2,46					4,21	1786