T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA FİLLER OLARAK CARBONİFEROUS-TRİASSİC KAYAÇ TOZLARININ KULLANILMASI VE ETKİSİ

SEYFULLAH CEYLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONYA, 2006

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA FİLLER OLARAK CARBONİFEROUS-TRİASSİC KAYAÇ TOZLARININ KULLANILMASI VE ETKİSİ

Seyfullah CEYLAN
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK
2006, 79 sayfa

Trafik hacmi ile beraber dingil yüklerinin de artması ve iklim koşullarının olumsuz etkileri, esnek üstyapı kaplamalarında, bozulmalara sebep olmaktadır. Bu tür sorunları çözmek için esnek üstyapılarda modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılar kullanılabilmektedir. Modifiye bitümlerin kullanımı sürekli bozulan bölgelerde gereken bakım sıklığının seyrekleştirilmesini mümkün kılmakla birlikte, zor alanlarda yapılacak bakım çalışmaları arasında çok daha uzun bir hizmet ömrü sağlamaktadır.

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak kullanılan Carboniferous-Triassic kayaç tozlarının (mor filler) etkisi incelenmiştir. Belirlenen 160 santigrat derecelik optimum karıştırma sıcaklığında Marshall deneme numuneleri hazırlanmıştır. Bu deneme numuneleri % 3,5, 4,0, 4,5 ve 5,0 bağlayıcı oranında ve % 4, 6 ve 8 filler oranında hazırlanmıştır. Her bir bağlayıcı ve filler oranı için 4 er tane numune hazırlanmıştır. Filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu kullanılarak hazırlanan kontrol karışımlar 48 adet ve filler olarak Carboniferous-Triassic kayaç tozları kullanılarak 48 adet olmak üzere toplam 96 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler Marshall deneyine tabi tutularak mor fillerin karışıma etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın giriş bölümü olan birinci bölümde, karayolu taşımacılığından dolayı meydana gelen bozulmalardan ve üstyapıdaki meydana gelen bozulmaların giderilmesi için modifiye edilmiş bitümlü karışımların kullanılabileceğinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, literatür araştırması olarak bitümlü sıcak karışımları oluşturan üç temel malzeme olan agrega, filler ve bitümlü bağlayıcılar ve bunlara uygulanan deneylerden bahsedilmiştir. Filler malzemesi olarak değişik malzemeler kullanılarak yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, yapılan deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, deneysel çalışmanın sonuçları grafikler ile beraber yorumlanmıştır. Beşinci bölümde ise gerekli değerlendirme ve önerilere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Sıcak Karışımlar, Filler, Yol Kaplaması, Marshall Stabilitesi,

ABSTRACT

MSc Thesis

USAGE AND THE EFFECT OF CARBONİFEROUS-TRİASSİC ROCK DUSTS AS FILLER ON HOT BITUMINOUS MIXTURES

Seyfullah CEYLAN
Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK
2006, 79 pages

Increasing axle loads with traffic volumes and adverse effects of climatological conditions cause deformations in flexible superstructure pavements. Modified bituminous binders can be used in flexible superstructures in order to solve such kinds of problems. The use of modified bitumens not only requires less maintenance in frequently deforming zones, but also provides much longer service time in maintenance works in nuisance conditions.

In this study, the effect of Carboniferous-Triassic rock dusts (violet filler) used as filler in bituminous hot mixtures was investigated. Marshall test samples were prepared in the specified optimum mixing temperature, 160 Celsius degrees. These test samples were prepared in binder ratios of 3.5, 4.0, 4.5 and 5.0 percent and in filler ratios of 4, 6 and 8 percent. Four samples were prepared for each binder and filler ratio. 48 control mixtures prepared through the use of limestone dust broken as filler and 48 samples prepared through the use of Carboniferous-Triassic rock dusts as filler, totally 96 samples were prepared. These prepared samples were subjected to Marshall test and the effect of violet filler on the mixture were investigated.

In the first section which is introduction section, it was covered that modified bituminous mixtures can be used for preventing deformation arising from highway transport and deformation in superstructure. In the second section, aggregate, filler and bituminous binders which are three basic material forming bituminous hot mixtures and tests made on these were covered as literature research. Studies performed through the use of different materials as filler material were covered. In the third section, experimental studies conducted were explained. In the fourth section, the results of experimental studies were discussed with graphics. And in the fifth section, necessary evaluations and suggestions were given.

Key Words: Bituminous Hot Mixtures, Filler, Pavement, Marshall Stability.

ÖNSÖZ

Bu çalışmamın konusunu belirleyen, destek ve görüşlerini, büyük ilgi ile yapıcı eleştiri ve önerilerini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK'e şükranlarımı sunuyorum. Ders aşamasında tecrübelerinden faydalandığım Öğr. Gör. Levent AĞIRDIR'a, çalışmalarım esnasında hoşgörüsünü esirgemeyen Arş. Gör. Alpaslan KAYA'ya, bitümlü bağlayıcı ve agregaları Selçuklu Belediyesinden temin eden ve tez çalışmasından faydalanmama yardımcı olan İnş. Yük. Müh. Mevlüt KAYA'ya, çalışmamın her safhasında anlayış ve manevi destek veren Çevre Koruma Daire Başkanı Ali ÖZER'e, Çevre Şube Müdürü Mehmet Ali ÇINAR'a, ve mesai arkadaşlarıma, Deney numunelerinin Marshall Stabilite deney aletinde kırılmasına yardımcı olan Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü Md. Yrd. İnş. Yük. Müh. Hüseyin AYDIN'a, Araştırma Baş Mühendisi İnş. Yük. Müh. Rıza İNAN'a, Laboratuar Teknisyeni Musa KARAKAYA'ya ve ekibine, bugünlerimi borçlu olduğum aileme ve her zaman maddi ve manevi desteğini gördüğüm sevgili eşim Ayşe CEYLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER LİSTESİ vi
TABLOLAR LİSTESİ viii
SİMGELER LİSTESİ ix
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar 4
2.1.1. Agrega 7
2.1.1.1. Doğal agregalar 9
2.1.1.2. Yapay (suni) agregalar 11
2.1.2. Filler 12
2.1.3. Bitümlü bağlayıcılar 18
2.1.3.1. Asfalt 19
2.1.3.1.1. Asfalt çimentoları (AC) 21
2.1.3.1.2. Sıvı petrol asfaltları (Katbek asfaltlar) 21
2.1.3.1.3. Asfalt emülsiyonları 22
2.1.3.2. Katran 24
2.2. Bitümlü Sıcak Karışımlara Uygulanan Deneyler 25
2.2.1. Marshall deneyi 28
2.2.1.1. Deneyde kullanılan aletler 29
2.2.1.2. Deney karışımlarının hazırlanması 30
2.2.1.3 Deney numunelerinin hazırlanması 30
2.2.1.4. Numunelerin sıkıştırılması 31
2.2.1.5. Deneyin yapılışı 31
2.2.1.6. Deney sonuçları ve optimum bağlayıcı oranı tayini 32
2.3. Agregalara Uygulanan Deneyler 32
2.3.1. Elek analizi 33

2.3.2. Aşınma (Los Angeles) deneyi ……..……... 34
2.3.3. Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi ……... 34
2.3.4. Cilalanma deneyi …… 34
2.3.5. Su etkilerine karşı dayanıklılık (soyulma) deneyi …….. 34
2.3.6. Yassılık indeksi deneyi …….. 35
2.3.7. Özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyonu) deneyi …….. 35
2.3.8. Birim hacim ağırlık deneyi …… 35
3. DENEYSEL ÇALIŞMA …… 36
3.1. Kullanılan Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ……. 37
3.1.1. Elek analizi deneyi ……. 37
3.1.2. Özgül ağırlık ve su emme deneyi ……... 41
3.2. Kullanılan Fillerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ……. 42
3.3. Kullanılan Fillerin Kimyasal Analizi ……..... 42
3.4. Kullanılan Bitümün Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ……..…. 43
3.4.1. Penetrasyon deneyi ……..…...…….. 43
3.4.2. Yumuşama noktası deneyi ……..…….... 44
3.4.3. Özgül ağırlık deneyi ……..…….…. 45
3.5.Marshall Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Deneyin Uygulanması 45
4. DENEY SONUÇLARI ……... 50
4.1. Marshall Stabilitesi Değerlerinin Karşılaştırılması ……. 50
4.2. Akma Değerlerinin Karşılaştırılması ……..…… 53
4.3. Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması ..…… 56
4.4. Boşluk Oranı Değerlerinin Karşılaştırılması ……... 59
4.5. Agrega İçerisindeki Boşluk (VMA) Değerlerinin Karşılaştırılması ….. 62
4.6. Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk Değerlerinin Karşılaştırılması …… 65
5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER ……. 69
6. KAYNAKLAR ……... 70
EK-A …… 73
EK-B …… 79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bitümlü sıcak karışımın yapısı 5
Şekil 2.2. Farklı filler malzemelerin mikroskop görüntüleri 18
Şekil 2.3. Bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması 19
Şekil 2.4. Yol üstyapısındaki bir eleman üzerindeki gerilmeler 28
Şekil 2.5. Hareketli bir dingil yükü tarafından oluşturulan gerilmeler 28
Şekil 3.1. Agraganın eleme makinesinde elenmesi …….. 38
Şekil 3.2. Agrega granülometrisine göre tartım işlemi …… 38
Şekil 3.3. Kullanılan agreganın granülometri eğrisi …… 40
Şekil 3.4. Karışımın sıcaklık kontrolünün yapılması ve yerleştirilmesi …..... 47
Şekil 3.5. Sıkıştırma tokmağı 47
Şekil 3.6. Hazırlanan 96 adet numunenin görünümü 48
Şekil 3.7. Numunenin sudaki ağırlığının ölçülmesi 48
Şekil 3.8. Marshall stabilitesi deney aletinde numunin kırılması 49
Şekil 4.1. % 4 filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi 51
Şekil 4.2. % 6 filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi 51
Şekil 4.3. % 8 filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi 52
Şekil 4.4. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi 52
Şekil 4.5. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi 53
Şekil 4.6. % 4 filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi 54
Şekil 4.7. % 6 filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi …….. 54
Şekil 4.8. % 8 filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi …….. 55
Şekil 4.9. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi …….. 55
Şekil 4.10. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi ……... 56
Şekil 4.11. % 4 filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi ……. 57
Şekil 4.12. % 6 filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi ……. 57
Şekil 4.13. % 8 filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi ……. 58

Şekil 4.14. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi …….. 58
Şekil 4.15. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi ……... 59
Şekil 4.16. % 4 filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi ….. 60
Şekil 4.17. % 6 filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi ….. 60
Şekil 4.18. % 8 filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi ….. 61
Şekil 4.19. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi …….. 61
Şekil 4.20. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi ……... 62
Şekil 4.21. % 4 filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi …… 63
Şekil 4.22. % 6 filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi …… 63
Şekil 4.23. % 8 filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi …… 64
Şekil 4.24. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi …….. 64
Şekil 4.25. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi ……... 65
Şekil 4.26. % 4 filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi .. 66
Şekil 4.27. % 6 filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi .. 66
Şekil 4.28. % 8 filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi .. 67
Şekil 4.29. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi ……... 67
Şekil 4.30. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi …….. 68

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Agrega granülometri şartnamesi 8
Tablo 2.2. Emülsiyon sınıfları 23
Tablo 3.1. Filler oranı % 4 olan agregaların granülometri yüzdeleri ve karışım miktarları ……..……. 39
Tablo 3.2. Filler oranı % 6 olan agregaların granülometri yüzdeleri ve karışım miktarları 39
Tablo 3.3. Filler oranı % 8 olan agregaların granülometri yüzdeleri ve karışım miktarları 40
Tablo 3.4. Mor fillerin kıvam limitleri ……. 42
Tablo 3.5. Fillerin kimyasal analizi sonucu elde edilen ana elementlerin değerleri ……... 43

SİMGELER LİSTESİ

AC: Asfalt çimentosu

SC: Yavaş kür olan katbek asfaltlar

MC: Orta hızda kür olan katbek asfaltlar

RC: Çabuk kür olan katbek asfaltlar

SS: Yavaş kesilen asfalt emülsiyonları

MS: Orta hızda kesilen asfalt emülsiyonları

RS: Çabuk kesilen asfalt emülsiyonları

RT: Yol katranı

P_d: d elek boyutundan geçen malzeme yüzdesi

d: Herhangi bir elek boyutu

D: En büyük elek boyutu

F: Filler yüzdesi

n: 0.1 ile 0.7 arasında değişen sabit sayı

BHA: Birim hacim ağırlık

VMA: Agregadaki boşluk oranı

V_b/VMA: Bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk oranı

1. GİRİŞ

Canlıların veya eşyaların herhangi bir yerden başka bir yere taşınması için çeşitli ulaşım sistemlerinden birinin tercih edilmesi gerekir. Ulaşım sistemleri; karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu olarak sınıflandırılabilir. Ülkemizde ve dünyada en çok tercih edilen karayolu taşımacılığıdır. Türkiye'de yük ve yolcu taşımasının yaklaşık % 95'i karayolu taşımacılığı ile yapılmaktadır. Karayolu kaplamalarının yaklaşık % 13'ü Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) olarak yapılmıştır. Ülkemizdeki sosyal ve ekonomik gelişmelere bağlı olarak, son yıllarda karayollarımızdaki araç sayısında hızlı bir artış meydana gelmiştir. Yollarımız mevcut durumda, birkaç yıl öncekinden hem trafik hacmi hem de dingil yükleri bakımından tahmin edilenin çok üzerinde bir zorlamaya maruz bulunmaktadır. Şüphesiz trafik hacmi ve dingil yüklerindeki bu aşırı artış, yol üst yapısını tahrip etmekte ve bu durum daha çok ve ağır araç taşıyabilen yeni yolların yapımını sürekli olarak zorunlu kılmaktadır. Yollarımızın arzu edilen hizmet seviyesinde olmayışı her yıl binlerce insanımızın hayatını kaybetmesine ve ülkemiz ekonomisi için büyük kayıplara neden olmaktadır.

Ülkemiz karayollarında arzu edilen gelişmenin ve güvenliğin sağlanması çeşitli nedenlerle mümkün olmamaktadır. Bu nedenlerin başında, yol inşaatının ekonomik olarak çok büyük yük getirmesi gelmektedir. Bu açıdan bakılınca, yollarımız için uygulanacak en uygun çözümlerden birinin, ihtiyacı karşılayabilen fakat maliyeti daha düşük olan yolların inşa edilmesi olacaktır. Yol maliyetinin azaltılmasında daha ekonomik yol malzemelerinin kullanılması en önemli etkenlerden biridir. İyi bir temel tasarım, düzenli bir yapım aşaması ile zamanında gerçekleştirilen bakım, esnek üstyapıların, yalnızca artan talepleri karşılamasını değil aynı zamanda bitümlü kaplamalar ile eşanlamlı hale gelmiş olan konfor ve güvenlik konusunda yüksek standartlar sağlamasını mümkün kılmaktadır.

Yollarda kaplama tabakası, yolun kullanım konforunu ve ömrünü etkileyen en önemli bölümlerden biridir. Kaplama tabakasının yüzey yapısı ve şeklinin yanı

sıra muhtevasındaki malzemeler de son ürünün dayanımı ve performansı açısından önemlidir. Yolun yapıldığı bölgedeki iklim şartları, trafik yoğunluğu ve dağılımı gibi birçok unsur da yolun ömrünü belirleyici etmenlerdir. Bitümlü sıcak karışımlar, yol kaplamasının teşkilinde en çok kullanılan ve üzerinde yoğun çalışmalar yapılan kaplama türüdür. Karışım, bitüm, agrega ve fillerin belirli oranda karıştırılması ile elde edilmektedir. Bu tür karışımlarda filler olarak sönmüş kireç, portlant çimentosu (Acar ve Tapkın, 1998), kireç taşı tozu ve granit tozu; agrega olarak kum (Knight ve ark., 1979), çakıl ve farklı kırma taş; bitümlü bağlayıcı olarak da penetrasyon dereceli parçalanmış otomobil lastiği ile modifiye edilmiş bitümler (Çelik, 2000) kullanılarak karışımların dayanımını arttırmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır.

Karışıma katılacak bitümlü bağlayıcı ve agreganın seçiminde ve ayrıca karışımın hazırlanıp yola serilmesi esnasında gösterilecek olan özen ve dikkat, şekil değiştirmelere karşı dayanıklı bir bitümlü kaplama elde edebilmek için oldukça önemlidir. Bitümlü karışımların sağlamlığına etki eden faktörler arasında, kullanılan bağlayıcının cinsi ve miktarı, iri ve ince agreganın cinsi ve miktarı ile fillerin cinsi ve miktarı sayılabilir. Ayrıca karıştırma sıcaklığı, sıkıştırmanın derecesi ve karışım hesaplamalarına gösterilen hassasiyet de karışımların dayanıklılığına etki eder. Belirtilen bu faktörlerden her birinin, bitümlü karışımların dayanıklılığına olan etkisinin incelenmesi mümkündür.

Bitümlü bir karışımda kullanılan bağlayıcı miktarı; karışım için en uygun değerin biraz altına düştüğü zaman daha sert, daha yüksek stabiliteye sahip fakat daha az dayanıklı ve daha geçirgen karışımlar elde edilir. En uygun bağlayıcı miktarının biraz aşılması durumunda ise; dayanıklılık, geçirgenlik ve işlenebilirlik yönünden daha iyi özellikte karışımlar elde edilir. Ancak bu defa da bağlayıcının sebep olacağı yağlama etkisi nedeniyle, stabil olmayan karışımlar meydana gelir (Albayrak, 1975).

Trafik hacmi ile beraber yüklerin de artması ve iklim koşullarının olumsuz etkileri, esnek üstyapı kaplamalarında, tekerlek izi oluşumu, yığılma ve ondülasyon

gibi kalıcı deformasyonların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu tür sorunların çözümünde, esnek üstyapının performansını artırmak en uygun yöntem olarak görülmektedir. Bitümlü bağlayıcıların modifiye edilmesiyle, asfalt betonu karışımlarının rijitliğini artırmak, yüksek sıcaklıklardaki ve ağır trafik yükü altındaki kalıcı deformasyonları azaltmak ve yol üstyapısının yorulma ömrünü uzatmak mümkün olmaktadır. Modifiye bitümlerin kullanımı sürekli bozulan bölgelerde gereken bakım sıklığının seyrekleştirilmesini mümkün kılmakla birlikte, zor alanlarda yapılacak bakım çalışmaları arasında çok daha uzun bir hizmet ömrü sağlamaktadır. Modifiye bitümlerden en ekonomik şekilde yararlanmak için, bunlar yüksek kaliteli agregalarla birlikte kullanılmalıdır. Böylelikle poroz asfalt kaplamalar gibi özel uygulamalarda yada yorulma ve deformasyona yüksek direnç gerektiren alanlarda en optimum fayda sağlanacaktır. Bu bakımdan karışımda kullanılacak malzemeyi tanımak ve özelliklerini belirlemek, karışım oranlarını tespit etmek elde edilen karışımın performansını ölçmek gerekir. Bütün bunların yapılabilmesi ise uygulanan deney ve dizayn yöntemlerinin bilinmesi ve titizlikle tatbik edilmesi ile mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak kullanılan Carboniferous-Triassic kayaç tozlarının (mor filler) etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, bitümlü sıcak karışım içerisinde, Konya Sille Tatköy civarındaki mor renkli filler, 50-70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı ve sürekli derecelenmiş granülometriye sahip kırılmış kireçtaşı ile birlikte kullanılmıştır. Laboratuarda standartlara uygun olarak farklı oranlarda bitümlü bağlayıcı ve filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu kullanılarak hazırlanan Marshall numuneleri kontrol karışımlar olarak kullanılmıştır. Daha sonra filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu yerine Carboniferous-Triassic kayaç tozları (bundan sonra mor filler olarak bahsedilecektir) kullanılarak hazırlanan numunelere Marshall deneyi uygulanarak kullanılan mor fillerin bitümlü sıcak karışımlara etkisi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

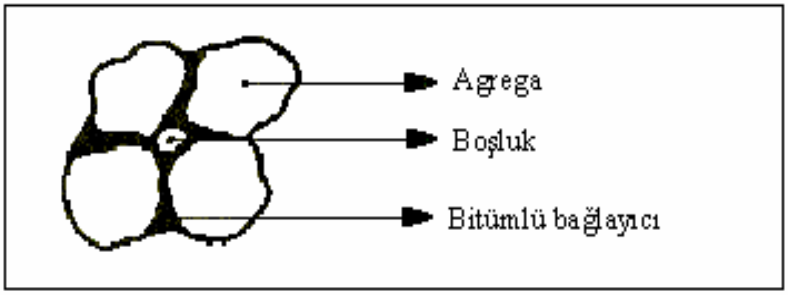
Bu çalışmada, filler olarak kullanılan Carboniferous-Triassic kayaç tozlarının (mor filler) bitümlü sıcak karışımlara etkisini incelemek için öncelikle bitümlü sıcak karışımlar, agregalar ve fillerin daha yakından tanınması amacıyla literatür araştırması yapılmıştır. Bu bölümde, yapılan araştırma konuları hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Bitümlü sıcak karışım, çok dikkatli şekilde oranları saptanmış bitümlü bağlayıcı, agrega ve fillerin sabit karıştırma tesislerinde sıcaklık, nem ve bileşim bakımından çok sıkı bir kontrol altında karıştırılmasıyla elde edilen yol kaplama malzemesidir. Bitümlü sıcak karışım, üç fazdan oluşmuş bir sistem olarak düşünülebilir (Şekil 2.1). Bitümlü sıcak karışımlar kullanılan agrega granülometrisine göre aralıklı derecelenmiş, sürekli derecelenmiş, tek boyutlu ve kesikli derecelenmiş karışımlar olarak adlandırılırlar. İri agregadan fillere kadar her agrega boyutundan yeterli malzeme bulunduracak şekilde granülometriye sahip agregaya sürekli derecelenmiş agrega ve hazırlanan sıcak karışıma da asfalt betonu adı verilir. Asfalt betonu adı verilen karışımlar en gelişmiş kaplama türü olup, ağır trafikli yollarda, otoyollarda, hava alanı pistlerinde uygulanır ve maliyetleri oldukça yüksektir.

İyi bir bitümlü sıcak karışımda bulunması gereken ana özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek stabiliteye sahip olmalıdır,
- Kırılgan olmamalıdır,
- Durabil olmalıdır,
- Yeterli yüzey pürüzlülüğüne sahip olmalıdır,
- Ekonomik olmalıdır.



Şekil 2.1. Bitümlü sıcak karışımın yapısı

Yukarıda belirtilen ana özellikler yanında bitümlü sıcak karışımlarda olması gereken fiziki özellikler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Stabilite: Taşıt trafiğinden gelen sürekli dinamik yükler, uzun süreli statik yükler ve hızlanma veya yavaşlama esnasında tekerlek etkileri ile oluşan basınç, çekme ve kesme kuvvetine karşı bitümlü kaplamanın gösterdiği dirençtir. Bitüm ve agrega karakteristiklerinin stabilite üzerindeki etkileri, karışımın bileşimi kadar önemlidir. Karışımın stabilitesine etki eden diğer bir faktör ise kullanılan bitümün sertliği, bir başka ifade ile penetrasyonudur. Daha düşük penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanıldığı zaman, kaplamanın stabilite değerinin daha yüksek olacağı düşünülebilir. Kaplamanın stabilitesi için yolda görülebilecek en büyük sıcaklık derecesi dikkate alınmalıdır. Bu da ülkemiz için 60°C olarak belirlenmiştir (Kahramangil ve Önal, 1993). Bunların sonucu olarak, trafik, iklim ve zemin durumu gibi koşullar da göz önünde bulundurularak istenen stabilite farklı agrega granülometrisi ve bitüm kullanılarak sağlanabilir.

Dayanıklılık (Durabilite): Bir bitümlü sıcak karışımın durabilitesi, trafik, su, hava ve sıcaklık değişimlerinin etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Yüksek durabilitenin elde edilmesi, yoğun granülometrili ve soyulma direnci yüksek agrega ile yüksek bitüm yüzdesi kullanılarak karışımın yüksek geçirimsizlik verecek şekilde dizayn edilip sıkıştırılması ile mümkündür. Hidroskopik agregalar daha yüksek absorbsiyona sahip oldukları için soyulmaya karşı daha yüksek dirence sahiptirler ve dayanıklılık bakımından da daha fazla öncelik alırlar.

Esneklik (Fleksibilite): Taban zemininde meydana gelen oturma ve hareketlere, çatlamadan karşı koyabilme (uyum sağlayabilme) yeteneğidir. Temel tabakası esnek olursa kaplama tabakasının da esnek olması istenir. Esneklik yetersizliği, yol yüzeyinde çatlamalara sebep olur. Mineral fillerin oranı, bitümün oranı, kıvamı ve sıcaklığa duyarlılığı esnekliğe etki eder. Bitüm yüzdesi yüksek, açık granülometrili karışımlar, bitüm yüzdesi düşük yoğun granülometrili karışımlara göre daha esnektir. Fakat bazen esnekliği yüksek karışımların stabilitesi düşük olabilir (Guirguis ve ark.,1990).

Kayma direnci: Kaplama yüzeyinin sürtünmesi ile araçların emniyetli bir şekilde duruş hareketini sağlaması, kaplamanın kaymaya karşı olan direncidir. Karışımda çok fazla bağlayıcı varsa veya yeterli boşluk yok ise trafiğin oluşturduğu sıkıştırma tesiri ile veya sıcak havalarda agregaların genleşmeleri neticesinde bağlayıcı dışarı çıkar ve düz, kaygan bir yol yüzeyi oluşur. Bu olaya "Kaplamanın Terlemesi" denir. Bu sakıncanın ortaya çıkmaması için bitüm karışımı homojen olmalı, üretim ve kullanma sırasında segregasyona uğramamalıdır. Ayrıca yollarda meydana gelen cilalanma da kayma direnci bakımından büyük sorunlar ortaya çıkarır.

İşlenebilirlik: Malzemeyi istenen kıvamda, arzu edilen dağılımda ve sıkıştırma ile kolayca yerleştirebilmektir. Çok fazla kaba agrega içeren karışımlar kolay işlenebilir olmazlar. Karışımda filler yüzdesinin düşük olması, geçirgenliğe yol açar. Filler yüzdesinin yüksek olması ise, karışımın durabilitesinin düşük olmasına ve işlenmesinin çok zor hale gelmesine sebep olur (Kahramangil ve Önal, 1993).

Geçirimsizlik: Karışımdaki hava boşluğu yüzdesi ile belirlenir. Karışımdaki boşlukların birbiri ile bağlantılı olması ve boşlukların yüzeyle irtibatlı olması geçirimsizliği etkileyen başlıca faktörlerdir. Karışım dizaynında boşluk yüzdesinin yüksek olması, su ve havanın kolaylıkla karışım içerisine girerek, oksidasyona ve agregaların ayrışmasına neden olur.

2.1.1. Agrega

Bitümlü sıcak karışımların iki esas malzemesinden birisi agregadır. Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın, kökeni (magmatik, tortul, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri ve granülometrik bileşimi sağlaması gerekir. Kaplamanın ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bakımdan agregaların özellikleri yol mühendisleri için çok önemli olup, değişik agrega tiplerinin karakteristik özelliklerinin bilinmesi yolların projelendirilmesi için gereklidir. En geniş tarifiyle agrega; kum, çakıl, kırmataş, cüruf ve diğer mineral bileşiklerden ibaret olup bağlayıcı bir ortamda, bitümlü bir karışım, portland çimentosu betonu, harç, makadam, mastik ve benzeri uygulamalar için bir araya getirilmiş veya bağlayıcısız bir ortamda kullanılmak üzere (demir yollarında balast malzemesi gibi) bir araya getirilmiş malzeme olarak tanımlanır (Yağız ve ark., 1967). Bitümlü sıcak karışımlardaki mineral agrega miktarı genellikle ağırlıkça % 90 ila 95, hacimce % 75 ila 85 arasındadır. Mineral agrega esas olarak kaplamanın yük taşıma kapasitesinden sorumlu olup, buna bağlı olarak asfalt kaplamasının performansı büyük oranda agregaya bağlıdır (Asfalt El Kitabı, 2002). Agreganın tipi, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, gradasyonu gibi özellikleri bitümlü sıcak karışımların yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Kaplama tabakası, etkiyen yüklerin tesiri altında farklı deformasyonlara maruz kalır. Tabakanın yapımında kullanılan malzemeler, uygulanan yapım metotları ve yapım sonrası maruz kalınan dış yükler; kaplamanın performansını etkileyen başlıca etkenlerdendir. Bir kaplamanın direnci ve yoğunluğu üzerine etki eden en önemli faktör agregadır. Bu bakımdan agregaların sert ve dayanıklı olması, bünyelerinde zararlı maddeler bulunmaması ve yüzey şekillerinin bir kenetlenme yaparak direnci artıracak şekilde olması arzu edilir.

Günümüzün modern karayolu pek çok sayıda araç taşımaktadır. Bu araçların büyük bir kısmını ağır yüklü ticari taşıtlar oluşturmaktadır. Bir başka deyişle, üstyapıyı etkileyen ağır taşıtlardır. Bunun yanında pek çok sayıda da yüksek hızlarda

seyreden araçlar mevcuttur. Bütün bu ağır trafik şartları altında, kuvvetli, yoğun, su geçirmeyen, stabil ve aşınmaya dayanıklı kaplamalar istenir. Değişik oranlarda, değişik tip agrega kullanılmak suretiyle istenen kalite ve özellikte kaplama yapma olanağı vardır. Kaplamanın aşınmaya karşı direnci ve su geçirmezliği aynı derecede önemi olan bir husustur. Karışımlarda kullanılan agregalar ile kullanılan bağlayıcının tam bir uyum içinde, birlikte çalışması gerekir. Türkiye'de kullanılan asfalt betonu agrega şartnamesi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Agrega granülometri şartnamesi (TCK Yollar Fenni Şartnamesi, 1994)

	BİNDER TABAKASI			AŞINMA TABAKASI					
	Ağırlıkça Geçen Yüzde			Ağırlıkça Geçen Yüzde					
Elek Boyutu	Tip A	Tip B	Tip C	Tip A	Tip B	Tip C	Tip D	Tip E	Tip F
1" (25.4mm)	100	100	100						
3/4" (19.0mm)	82-100	80-100	77-100	100	100	100			
1/2" (12.5mm)	68-87	63-81	59-77	89-100	84-100	81-100	100	100	100
3/8" (9.5mm)	60-79	54-72	49-66	80-95	75-91	71-87	87-100	87-100	80-100
No:4 (4.75mm)	46-65	40-58	34-52	64-81	57-75	52-70	66-82	60-77	55-72
No:10 (2.0mm)	34-51	28-45	23-39	48-65	42-59	36-53	47-64	41-58	36-53
No:40 (0.425mm)	17-29	14-25	12-22	26-40	22-35	17-30	24-36	20-32	16-28
No:80 (0.18mm)	9-18	8-16	7-14	15-26	12-22	9-19	13-22	11-19	8-16
No:200 (0.075mm)	2-7	2-7	2-7	4-10	4-10	4-10	4-10	4-10	4-10

Yol inşaatlarında kullanılan agregalar, ya doğal olarak oluşmuş kayalardan ya da metalurji endüstrisinde açığa çıkan cüruflardan elde edilirler. Bu şekilde elde edilen agregaları, köken itibariyle "Doğal Agregalar" ve "Suni (yapay) Agregalar" olarak ikiye ayırmak mümkündür.

2.1.1.1. Doğal agregalar

Doğal olarak oluşmuş kayalardan fiziksel yollarla doğrudan doğruya elde edilen kırma taş, çakıl ve kum malzemeleridir. Doğal agregalar oluştukları doğal kayalar itibariyle sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmanın daha iyi anlaşılabilmesi için birkaç jeolojik tanımın bilinmesinde yarar vardır (Önalp, 1983).

Kaya: Bir veya birkaç çeşit mineralin bir araya gelmesi sonucu oluşmuş katı bir maddedir.

Mineral: Doğal yollarla oluşan, genellikle homojen kristal yapısı olan ve kimyasal formüllerle gösterilebilen inorganik maddedir. Kayalardaki mineraller, oksijen, silisyum, alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum ve daha az miktarda bulunan diğer elementlerdir.

Bir kayanın tanınabilmesi için içindeki minerallerin ve bu minerallerin diziliş şeklinin (doku) bilinmesi gerekir. Doku tipleri, minerallerin dane büyüklüğüne ya da çaplarına göre değişmektedir. Kayanın özellikleri, mineraller, mineraller arasındaki bağın cinsi ve doku gibi kayanın orijinine dayanan hususlara bağlıdır. Doğal kayalar orijinlerine göre magmatik, tortul (sedimanter) ve metamorfik olarak üçe ayrılırlar. Bu gruplardan herhangi birine ait kaya, kitle ya da parçalanmış (çakıl) halde bulunabilir.

a) Magmatik kayalar: Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan magmanın soğuyarak katılaşması ile oluşurlar ve kristal bünyelidirler. Kimyasal yapılarına göre asit ve baz bünyeli olarak ayrılırlar. Asit bünyeli kayalar, birleşimlerinde serbest kuvartz bulunan, oldukça açık renkli ve özgül ağırlıkları 2,75 t/m^3'ten az olan malzemelerdir. Baz bünyeliler ise, birleşimlerinde kuvartz bulunmayan, koyu renkli ve özgül ağırlıkları genelde 2,75 t/m^3'ten fazla olan malzemelerdir. (Diabaz, Grafit, Trakit ve Bazalt gibi) (Keçeciler ve Ark., 1990, Ağar ve Umar, 1991).

Yol agregaların kaba dokulu olması istenmez. Çünkü bu cins dokuya sahip kayalar gevrek olduklarından, silindir altında kolayca kırılabilmektedirler. Çok ince dokulu kaya da aynı biçimde arzu edilmez. Çünkü bunlar agraga yapımı için kırıldığında, kaba ve keskin köşeli parçalar oluşur. Orta büyüklükte dokuya sahip birçok magmatik kaya, kristallerin iç içe karışması nedeniyle en iyi yol agregası olabilmesi özelliklerine sahiptir. Ocaktan alındığı zaman sağlam halde bulunan bir kayanın, yapımında kullanıldığı yolun ömrü boyunca bozulma ihtimali hemen hemen yoktur. Fakat yarı ayrışmış halde iken agrega olarak kullanılan kaya zamanla

özelliklerini kaybedebilir. Böyle bir kaya yol inşaatında kullanılmamalıdır (Kumbasar ve Önalp, 1970).

b) Tortul (sedimanter) kayalar: Mevcut her türlü kayanın dağılması, aşınması ve dağılan parçaların veya eriyiklerin nakledilmesi, deniz veya göl gibi sedimantasyon havzalarında tortulaşması (çökmesi) ve daha sonra bunların katılaşması sonucu oluşan taşlara tortul kayalar denir. Tortul kayaların başlıca özelliği tabakalı ve içlerinde fosil ve canlıların iz ve kalıplarının bulunabilmesidir. Tortul kayalar oluşum tarzlarına göre üç gruba ayrılırlar.

1) Mekanik (klasik) tortul kayalar
2) Kimyasal tortul kayalar
3) Organik tortul kayalar

1) Mekanik (klasik) tortul kayalar: Yer kabuğunda var olan taşların çeşitli nedenlerle ufalanıp parçalanması ve sonra bu parçaların su ve rüzgar gibi etkenlerle çukur yerlerdeki sular içinde birikmesi ve parçaların diyajenetik (çimentolaşma) olaylarla birleşip katılaşması ile oluşurlar. Örneğin kumtaşı, konglomera, kalker, marn birer tortul kayadır.

2) Kimyasal tortul kayalar: Çözünebilen minerallerin, çözeltideki suyun uçması, çöktürücü bir maddenin karışması ile çözeltiden ayrılıp çökmeleri sonucunda oluşurlar. Bu grupta bulunan kayalar daha ziyade kayanın kimyasal bileşimine dayanarak karbonatlı (kalkerler), silisli (kimyasal çörtler), demirli, fosfatlı ve tuzlu olmak üzere gruplara ayrılabilirler.

3) Organik tortul kayalar : Bunların oluşumunda temel rolü canlılar oynar. Organik tortul kayalar, karbonatlı (organik kalkerler), silisli veya karbonik (kömürler) olabilirler.

c) Metamorfik kayalar: Magmatik yada tortul kayaların yüksek ısı, yüksek basınç, su buharı ve çeşitli bileşimdeki gazların etkisi yada mekanik olarak şekil

değiştirmesi ile değişik bir yapı-doku ve mineralojik bileşim kazanması sonucunda oluşur. Metamorfizma sonucunda taşın mineralleri kristal şeklini değiştirir yada eski minerallerin yerine yeni mineraller oluşur. Bütün bu hallerde taşın kimyasal bileşimi aynı kalabilir yada madde eklenmesi ve eksilmesi olabilir. Örnek olarak mermer verilebilir. Önemli bir basınç etkisi olmaksızın, yalnızca ısıyla dönüşen kayalara "Termik metamorfik kayalar" denir. Termik metamorfizma kayanın ilk halinden daha katı ve daha sağlam hale gelmesine neden olur. Daha karmaşık bir yapıya sahip olan magmatik yada karışık bünyeli tortul kayalar, metamorfizma sonucu önemli mineralojik değişimlere uğrarlar ve özgün kayanın karakteristikleri kaybolur. Oluşan yeni kayaya hornfels adı verilir. Mineraller iç içe geçmiş bir halde bulundukları için bu cins kayalar yol inşaatı için elverişlidirler. Yol inşaatında kullanılmaları bakımından kayalar, her zaman termik metamorfizma sonucu daha iyi özelliklere sahip olmaktadırlar. Bir takım hornfels cinsleri bu bakımdan, en iyi yol yapım agregaları arasında yer almaktadır.

2.1.1.2. Yapay (suni) agregalar

Endüstriyel işlemler sunucu elde edilen bu gruba cüruf, klinker ve çimento girmektedir.

a) Cüruf: Demir-çelik endüstrisinde atık madde olarak yüksek fırınlardan elde edilir. Yüksek fırın cürufu ve çelik cürufu olarak yol üst yapısının çeşitli tabakalarında kullanılabilir.

b) Klinker: Fırınların bir atığı olup, küllerin eriyerek topaklar haline gelmesinden oluşur. Klinker çok değişebilen bir malzemedir. Bu nedenle yalnız bu iş için şartnamelere uygun olarak hazırlanmış klinker yol üstyapısı yapımında kullanılabilir.

c) Çimento: Üstyapıda, agrega bileşiminde filler olarak kullanılır. Çimentonun filler olarak kullanılmasında, bağlayıcı malzeme olmasının önemi yoktur. Granülometrik bileşimi, saf olması bitümlü bağlayıcıyla herhangi bir

reaksiyona girmemesi gibi özellikleri nedeniyle filler olarak kullanılmaya elverişlidir.

2.1.2. Filler

Mineral filler, toplam agreganın çok küçük yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar. Mineral filler, 0,075 mm'lik elekten geçen agrega malzemesidir. Ancak 0,075 mm'den daha ince olan tüm malzemeler filler görevi görmezler. Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılmaktadır. Boşluk doldurucu bir özelliğe sahip olduğundan stabiliteyi etkilemektedirler. Mineral filler köşeli olmalı, asfalt betonu içerisindeki boşlukları doldurabilmesi için uygun gradasyona sahip olmalı ve aynı zamanda 0,001 mm'den ince boyutlu daneler de içermelidir. Dane şekli mineral fillerin etkisi üzerinde önemli rol oynar. Köşeli şekiller, ince, düz ve uzun parçacıklardan daha çok arzu edilir. Mineral filler içindeki istenmeyen şekilli parçacıkların oranı artarsa mineral fillerin kalitesi düşer. Toprak, kil, organik ve zararlı maddeler ihtiva etmemeli ve kolayca akacak kadar da kuru olmalıdır. Taş tozu, mermer tozu, kalker tozu, portland çimentosu ve sönmüş kireç çok sık kullanılan mineral filler malzemeleridir.

Fillerin, karışım içerisindeki oranı iyi ayarlanmalıdır. Genellikle bitümlü karışım içinde % 3 ile % 9 oranları arasında kullanılır. Belli bir orana kadar filler, boşlukları doldurduğu için, ince agrega gradasyonunu değiştirir ve böylece agrega danecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak daha yoğun karışımların elde edilmesinde rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, bitüm ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırma ve bağlayıcı etkisi göstererek harç elde etmeyi sağlar. Filler kimyasal bakımdan atıl olmalı, yani bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemelidir. Ayrıca, bitümlü karışımın yapıldığı sıcaklıkta bir değişikliğe uğramamalı, bağlayıcıya karşı iyi bir yüzey adezyonu göstermelidir (Ağar ve Umar, 1991). Mineral fillerlerin asfalt yol karışımlar üzerine etkisi aşıdaki gibi özetlenebilir:

- Farklı mineral filler, asfalt çimentosuna eklendiğinde farklı rijitlik etkileri gösterir.
- Zaman–sıcaklık değişim fonksiyonu, filler-asfalt oranı 1' den az olan asfalt veya mineral filler tarafından etkilenmez.
- Karışımlara eklenen mineral filler, Marshall stabilite ve hava boşluğunu etkilemez.
- Esneklik modülü değeri (kısa-süreli elastik tepki) mineral fillerin katılaşma etkisini yansıtmaz (Dukatz ve Anderson, 1970).

Dukatz ve Anderson (1970), iki farklı kaynaktan elde edilen asfaltın mekanik özelliklerinde sekiz farklı mineral fillerin etkilerini incelemişlerdir. Asfalt-mineral filler karışımları, iki farklı filler-asfalt oranında hazırlanmıştır. Bu karışımlar üzerinde dört sıcaklıkta plaka viskozimetresi deneyleri yapılmıştır. Farklı mineral filler malzemeleri, asfalt çimentosuna karıştırıldığında farklı rijitlik etkileri gösterdiğini, karışımlara eklenen mineral fillerin Marshall stabilite ve hava boşluğunu etkilemediğini bulmuşlardır.

Ishai ve ark. (1980), optimum mekanik davranış ve optimum bitüm içeriği gibi bitümlü karışımların optimal davranışlarını belirlemede mastik ve fillerin temel özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçta, karışımların davranışında diğer etkiler ile ilgili olarak fillerin sınıflandırılması için temel nicel kriter önerilmiştir. Altı çeşit filler araştırmada kullanılmıştır. Bunlar cam parçacıkları, dolomit, kumtaşı, bazalt, kireçtaşı ve hidrate kireçtir.

Puzinauskas (1983), filler-asfalt karışımının özellikleri, yol karışımlarının davranışı ve özellikleri üzerine mineral fillerin etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla dört farklı mineral filler (kireçtaşı tozu, kaolin kili, fuller toprağı ve kısa-lif asbest) kullanmıştır. Bitüm malzemesini sabit tutmuş, üç ayrı agrega (kum, volkanik kaya ve kireçtaşı), kullanmıştır. Dört farklı mineral fillerin etkilerinin değerinin ölçülmesi için yaygın olarak kullanılan Marshall karışım tasarımı, asfalt yol karışımının fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu testler için her bir numunenin

hazırlanmasında Marshall tokmağı ile 50 düşüş kullanılarak numuneler sıkıştırılmıştır. Araştırmacı bu çalışmasında, aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

1. Çoğu kez, yolun yoğunluk ve dayanıklılık gibi özelliklerini iyileştirmek için mineral fillere ihtiyaç duyulur.
2. Mineral filler asfalt karışımlarında iki rol oynar. Birincisi, mineral agregaların bir parçasıdır. İkincisi ise, büyük agrega parçaları arasında temas sağlar ve boşlukları doldurur.
3. Bitüm içerisine normalden daha az mineral filler karıştırıldığı zaman, asfaltın düktilite, penetrasyon ve viskozite özellikleri önemli düzeyde değişiklik gösterir.
4. Gerçek asfalt karışımlarda genellikle kullanılan filler miktarı, çevre sıcaklıklarında filler asfalt karışımlarının düktilitesi sıfır değerine yaklaşır.
5. Viskozite ölçümleri, yol kaplama malzemesi inşası ve kullanımında fillerin güvenilebilirliğinin belirlenmesini sağlar. Filler tipi ve miktarına bağlı olarak, yüksek sıcaklıklarda filler asfalt karışımlarının viskozite değerleri, çok geniş bir alanda değişebilir.
6. Deneyler, yoğun bir asfalt karışımları elde etmek için ihtiyaç duyulan sıkıştırma enerjisi ve binder viskozitesi arasında önemli ve iyi bir korelasyonun varlığını göstermiştir. Bu testler, yüksek viskoziteli filler asfalt karışımları içeren binder tabakasının sıkıştırılabilmesi için aynı zamanda yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir.

Akili ve Courval (1987), üç farklı mineral filler (çimento, hidrate kireç ve ezilmiş kireçtaşı tozu) kullanmışlardır. Yükleme süresi, sıcaklık ve kükürt/asfaltın (K/A) ağırlık oranı değişkenler olarak seçilmiştir. K/A binderleri ile hidrate kireç fillerinin, kireçtaşı tozu veya çimento ile hazırlanan binderlerden daha yüksek dayanım ve viskozite özelliği gösterdiğini bulmuşlardır.

Anderson ve ark. (1992), çalışmalarında No 200 eleği altı (75 mikron) mineral fillerin bir kısmını sıcak karışım asfalt betonu ve fillerli mastik asfaltta

kullanmışlardır. Yedi farklı kaynaktan toz numunesi almışlardır. Mineral filler karışımı içeren farklı oranlarda filler-asfalt karışımı hazırlamışlardır. Genellikle asfalt karışımlarının davranışının yorulma deneyi ile değerlendirildiğini belirtmişlerdir. Bu deneyin eğilme yorulması nedeniyle kırılma meydana gelmesine neden olduğundan başarısız olduğunu ispatlamışlardır.

Suhaibani ve ark. (1992), asfalt betonunda oluşan tekerlek izi derinliğinde filler tipi ve içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Tekerlek İzi Deneyi (Whell Tracking Test) tekerlek izi derinliğinde bu karışımların etkilerinin araştırılmasında kullanılmıştır. Karışımların mekanik özelliklerinin incelenmesinde, esneklik modülü, indirekt çekme dayanımı, Hveem stabilite ve Marshall stabilite deneyleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, tekerlek izi derinliği üzerinde, deneyde kullanılan karışımların portlant çimentosu, hidrate kireç ve kireçtaşı tozunun etkisi olduğunu göstermiştir.

Shahrour ve Saloukeh (1992), karışımlarda seçilen farklı fillerin etkisini değerlendirmişlerdir. Filler olarak kullanılan çimento, hidrate kireç ve sodyum silikat karışımlara eklenmiş ve çalışmada dikkate alınmıştır. Fillerin gradasyon, parçacık şekli, yüzey özellikleri, sıkıştırılmış numunede boşluk oranı, su emme ve özgül ağırlıkları tayin edilmiştir. Değişik filler malzemeleri, bitüme ağırlıkça 0,5 ve 1,5 oranlarında ilave edilmiştir. Filler oranı arttığında yumuşama noktasının ve penetrasyon indeksinin arttığını, penetrasyon değerinin düştüğünü göstermişlerdir. Marshall karışım dizaynı çalışması, bitümlü karışımlarda filler miktarı ve farklı tiplerinin performansını değerlendirmede kullanılmıştır. Değişik filler malzemelerinden farklı sonuçlar elde etmişlerdir.

Tyson (1993), kömür tozunun kullanım alanları hakkında bilgi vermiş ve kömür tozunun bitümlü karışımlarda mineral filler olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Sayed ve ark. (1995), Bahreyn' de kullanılan bitümlü yol karışımlarında mineral filler olarak pissu atığı külünün kullanılmasını araştırmışlardır. Atıkların

kimyasal ve fiziksel özellikleri araştırılmış, atık içeren asfalt betonu karışımlar hazırlanmıştır. Marshall deney metodu asfalt betonunda filler olarak atığın uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Değerlendirme parametreleri, sıkışmış karışım yoğunluğu, karışımda hava katkılarının yüzdesi, mineral agregalarda boşluk yüzdesi, bitüm ile dolu boşluk yüzdesi, Marshall Stabilitesi ve akmadır. Optimum bitüm oranı ile hazırlanan numuneler, Bahreyn'de hakim olan yüksek sıcaklılarda karışımın çevre sıcaklığından etkilenme durumunun belirlenmesinde kullanılmış, 70 ºC ve 80 ºC'de akma ve stabilite değeri belirlenmiştir. Atık madde içeren numunelerin Bahreyn standart şartnamesinin minimum stabilite değerini sağladığı görülmüştür.

Önal ve ark. (1996), çalışmalarında karışımda kil malzemesini filler malzemesi olarak kullanmış ve bitümlü karışımın kohezyonuna etkisini incelemişlerdir. Sonuçta, TS - 1900'e uygun olarak No.40 (0.42 mm) eleği geçen kısmına uygulanan Likit Limit ve Plastik Limit deneyleri ile bulunamayan düşük plastisitelerin, malzemenin No.200 (0.075 mm) eleği geçen kısmına uygulanması ile belirlenebileceği, karışımında kil bulunması durumunda suyla yeterli bir süre temas etmeyen (koşullandırılmamış) numunelerle kilin olumsuz etkisinin gözlenmediği, suyla daha uzun bir süre (çalışmada 60 ºC'de, 72 saat) temas eden karışımlarda ise yüksek plastisitelerde Marshall stabilitesi ve indirekt çekme mukavemetinde azalmalar olduğu görülmüştür.

Mogawer ve Stuart (1996), çalışmalarında üç Avrupa ülkesinden elde edilen ve performansı bilinen sekiz farklı mineral filler kullanmışlardır. Karışımlar için, mastiklerin akması akma deneyi kullanılarak, tekerlek izi deneyleri Fransız yol tekerlek izi deneyi kullanılarak, düşük sıcaklık çatlağı indirekt çekme deneyi kullanılarak, uygulanabilirlik ASTM D 4867 metodu kullanılarak denenmiştir. Deneyler sonucunda kaliteli ve kalitesiz mineral fillerin stone asfalt karışımların performansını etkilemediği ortaya çıkmıştır.

Güngör (1996), Afşin Elbistan uçucu külünün esnek yol üst kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Taş tozu, portlant çimentosu ve

uçucu kül fillerli karışımlara Marshall deneyi yapılmış, optimum bitüm yüzdesi, bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve stabilite değerleri elde edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uçucu külün esnek üst yapılarda filler malzemesi olarak kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

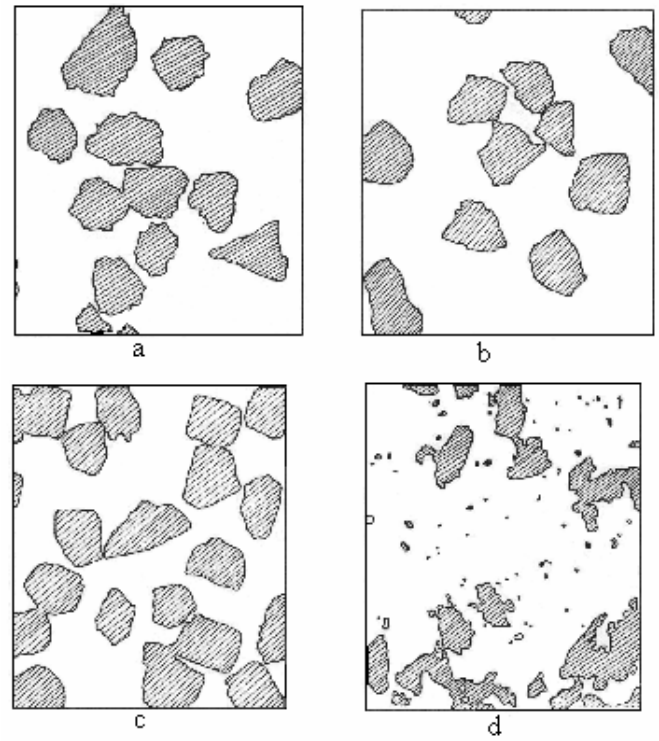
Chen ve ark. (1998), mastik asfalt karışımlar üzerinde deneyler yapmışlardır. Direkt çekme testi deney sonuçlarına göre, karışımın filler içeriği arttığında, çekme dayanımının da arttığını göstermiştir. Buna bağlı olarak, asfalt ile mineral filler arasında iyi bir adezyon oluştuğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, asfalt-mineral filler mastik karışımlarının çekme dayanımı, filler parçacıklarının boyutunun artması ile azaldığını göstermişlerdir.

Şekil 2.2.a-b-c ve d sırasıyla, hafif ağırlıklı fillerin, kireçtaşı fillerinin, oyster kabuk fillerinin ve ince zemin malzemesinin mikroskoptaki görünüşlerini göstermektedir. Bunların dördü de aşağı yukarı aynı granülometriye sahiptir. Laboratuar çalışmaları göstermiştir ki, bu dört malzemeden yapılan karışımlardan elde edilen neticelere göre bu dört malzeme en iyiden en kötüye doğru şu şekilde sıralanmaktadır (Albayrak, 1975);

a) Hafif ağırlıklı filler
b) Kireçtaşı filleri
c) Oyster kabuk filleri
d) İnce zemin malzemesi

Şekillere bakıldığı zaman görülecektir ki, Şekil 2.2.a daki hafif ağırlıklı filler keskin ve köşeli şekillere sahiptir. Şekil 2.2.b de görülen kireçtaşı filleri de yaklaşık olarak aynı şekilde olmasına rağmen parçacıkların çok küçük bir kısmı düz ve incedir. Şekil 2.2.c deki kabuk tozu ise kireçtaşı tozundan daha yüksek oranda ince parçacıklara sahiptir ve bazı parçalar uzundur. Şekil 2.2.d de görülen ince zemin malzemesi ise çok yüksek oranda ince ve düz parçacıklara sahiptir.

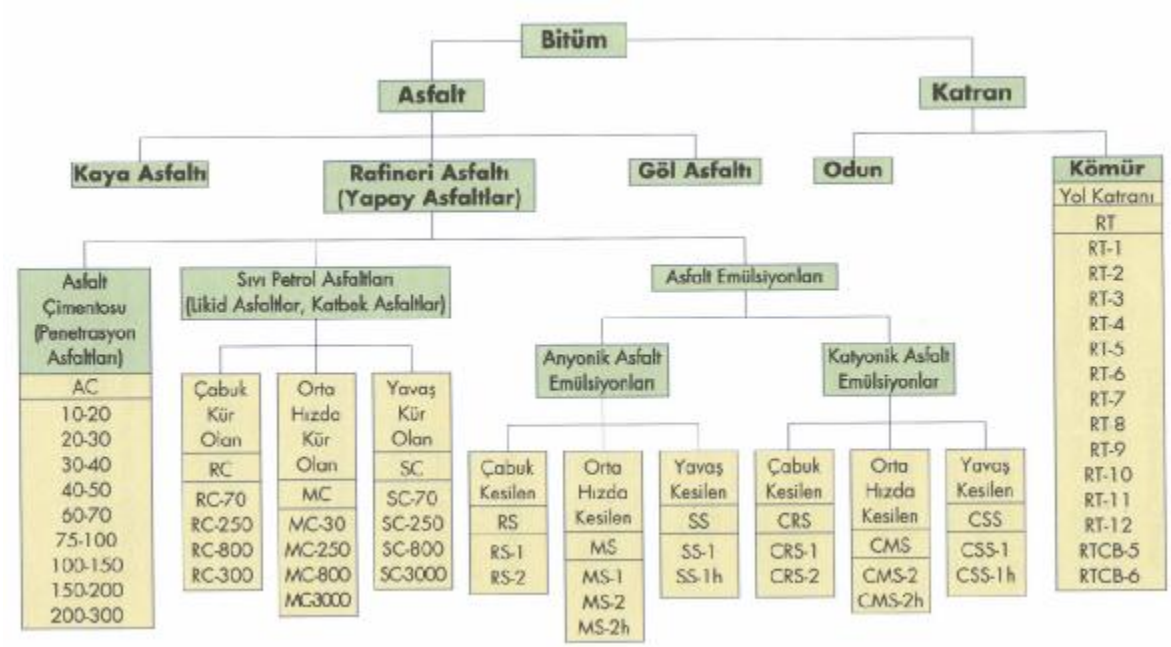
Mineral fillerin diğer bir özelliği ve en önemli özelliği, granülometrisidir. İnce kum oranında lüzumundan fazla artış olduğu takdirde boşluk yüzdesi artmakta, birim ağırlık düşmektedir (Albayrak, 1975).



Şekil 2.2. Farklı filler malzemelerin mikroskop görüntüleri

2.1.3. Bitümlü bağlayıcılar

Yol inşaatında kullanılan bitümlü malzeme temel olarak bitümden oluşmaktadır. Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle oluşan) hidrokarbonların bir karışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çoğunlukla bunların gaz, sıvı, yarı katı veya katı halde olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbondisülfürde tamamen çözünen madde olarak tanımlanır. Bitüm kısaca, bitümlü kaplamaların yapımında kullanılmak üzere kıvamlılık ve kalitesi bakımından özel olarak hazırlanmış olan yumuşatılmış veya yumuşatılmamış bir bağlayıcı olarak tanımlanabilir. Yol üstyapısında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması

2.1.3.1. Asfalt

En eski mühendislik malzemelerinden biri olan asfalt, doğal halde bulunan ya da ham petrolün damıtılması sırasında elde edilen, rengi koyu kahverengiden siyaha kadar değişebilen, katı, yarı katı ve sıvı halde olabilen kuvvetli bağlayıcı özelliğe sahip hidrokarbonlardan oluşan bağlayıcı bir maddedir. Asfaltlar, kökenlerine göre doğal asfaltlar ve yapay (rafineri) asfaltlar olmak üzere iki gruba ayrılabilirler.

Doğal asfaltlar doğada genellikle mineral maddelerle karışık halde bulunurlar. Kullanılabilir hale getirmek için bir takım işlemlerden geçirmek gerekir. Doğal asfaltlar, jeolojik kuvvetlerin tesiriyle petrolden oluşurlar ve genellikle mineral agrega ile karışık halde olurlar. Doğal asfaltlar kaya asfaltı ve göl asfaltı gibi sınıflara ayrılırlar.

Kaya asfaltı oldukça gözenekli kalkerin, daha seyrek olarak da kum taşının doğal olarak asfaltı emmesinden oluşur. Mineral madde oranı genellikle malzemenin % 90'ını oluşturur, bitüm oranı da % 10 kadardır. Memleketimizde bulunan kaya

asfaltları daha çok kum taşı, kalker, kil gibi mineral maddeler ile % 2~12 civarında asfaltın karışımından oluşmaktadır.

Göl asfaltı, doğal asfaltın en geniş çapta kullanılan ve en çok bilinen şeklidir. Mineral malzemenin çok ince daneler halinde bitüm ortamı içinde yayılmış durumdaki asfalt tipidir. Yüzey birikintileri halinde bulunur ve bunların en önemlisi Trinidad göl asfaltıdır. Göldeki malzeme yarı katı bir bitüm ile ince mineral agreganın çok iyi bir karışımıdır. Buradan elde edilen asfalt tipik olarak aşağıdaki bileşime sahiptir:

- Bağlayıcı madde % 54
- Mineral madde % 36
- Organik madde % 10

Çok sert olduğu için uygun bir yumuşatıcı karıştırılarak yol yapımında kullanılabilir.

Yapay asfaltlar, ham petrolün damıtılmasıyla elde edilirler. Bu asfaltlara rafineri asfaltları da denir. Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafineriye gelir. Buradan pompalarla tanklara boşaltılır. Oradan ısıtma kulelerine sevk edilerek sıcaklığı yükseltilen ham petrol daha sonra damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaşarak ayrılır. Bunlar hafif damıtıkları teşkil ederler. Daha az uçucu olanlar aynı şekilde orta damıtıkları, en ağır uçanlar ise ağır damıtıkları oluştururlar. Başlıca asfalt içeren kalıntı maddeleri ise kulenin dibinde birikir. Böylece ham petrolden beş farklı ürün elde edilmiş olur.

1. Benzin (gazolin)
2. Gazyağı (kerosen)
3. Dizel yağlar (mazot)
4. Yağlama yağları
5. Ağır kalıntı maddeleri

Elde edilen bu ürünlerin hepsine gerektiğinde tekrar damıtma işlemi uygulanarak daha değişik petrol ürünleri elde edilebilir.

2.1.3.1.1. Asfalt çimentoları (AC)

Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Koşulların değiştirilmesiyle istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir.

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfalttır. Asfalt çimentosu, kullanılmak üzere akıcı hale getirilebilmesi için mutlaka ısıtılması gerekir. Soğuyunca tekrar sertleşerek bağlayıcılık işlevini yerine getirir. Asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10–300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar. Penetrasyon derecesi yükseldikçe asfalt çimentosu yumuşar dolayısıyla bağlayıcılık gücü azalır. AC 10–20 en sert, AC 200–300 en yumuşak asfalt çimentosunu ifade eder. Asfalt çimentosu, katbek asfaltlar ve asfalt emülsiyonlarının da ana maddesidir.

2.1.3.1.2. Sıvı petrol asfaltları (Katbek asfaltlar)

Temel maddesi asfalt çimentosu olan katbek asfaltlar, penetrasyon derecesi bilinen bir asfalt çimentosunun, içinde eriyebileceği bir yağla karıştırılması suretiyle elde edilirler. Katbek asfaltlar, yüzeysel kaplamalarda ve bitümlü makadamlarda kullanılmak üzere agrega ile soğuk halde veya agrega yüzeyindeki nemin kurumasına yetecek kadar sıcaklıkta karıştırılabilmesi mümkün olan bir akışkan asfalt elde etmek maksadıyla geliştirilmiştir. Yolda bağlayıcı olarak kullanılmalarının yanında astarlama işlerinde de kullanılırlar. Bunlar çabuk kür olan RC sınıfı, orta hızda kür olan MC sınıfı ve yavaş kür olan SC sınıfı olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Ayrıca her sınıfta kendi arasında kıvam derecesini belirten kinematik viskozite değerlerine göre de sınıflara ayrılır. RC, MC ve SC harflerinden sonra gelen sayılar o tipin kinematik viskozite alt sınırını gösterir. Asfaltın viskozitesi yükseldikçe yani kıvamı arttıkça bu sayılar da büyür. Örneğin, MC–30 katbek asfaltı, MC-3000'e göre çok daha ince ve akıcıdır (TS 1083, 1972).

Katbek asfaltlar, yolda kullanıldığında içerisindeki yağların uçması sonucu geriye sadece asfalt çimentosu (AC) kalır. Bu işleme kür olma denir.

Çabuk kür olan katbek asfaltları (RC), asfalt çimentosu ile benzin gibi çok uçucu bir çözücünün karıştırılmasıyla elde edilirler. Bunlar çabuk kurudukları için soğuk iklimlerde ve karışımın çabuk karıştırılması gereken durumlarda kullanılır. Çabuk alev alma durumu söz konusu olduğu için yangına karşı çok dikkatli olmak gerekir.

Orta hızda kür olan katbek asfaltları (MC), asfalt çimentosu ile gazyağı gibi orta derecede uçucu bir çözücünün karıştırılması ile elde edilir. Kuruma süresi RC tipine göre daha hızlıdır.

Yavaş kür olan katbek asfaltları (SC) ise, asfalt çimentosu ile kaynama noktası yüksek bir yağın karıştırılması ile veya doğrudan ham petrolün damıtılmasından elde edilirler.

2.1.3.1.3. Asfalt emülsiyonları

Asfalt emülsiyonları, birkaç mikron çapındaki asfalt çimentosu küreciklerinin birbirinden ayrı olarak su içerisinde dağılmasından elde edilirler. Asfalt çimentosunun su içerisinde dağılması karıştırma işlemi ile sağlanabilir. Fakat bu şekilde elde edilen emülsiyon uzun ömürlü olmaz ve kısa bir süre sonra asfalt kürecikleri birbirlerine yapışarak sudan ayrılırlar. Bu durumu önlemek amacıyla emülgatör adı verilen kimyasal katkı maddeleri kullanılır. Emülgatör asfalt küreciklerinin çevresini bir film halinde sararak kendi aralarında birleşmesine engel olur. Asfalt emülsiyonu yola serildiğinde, emülgatör yoldaki agrega ve tozlar tarafından emilmesi sonucu kaybolur. Bu olaya emülsiyonun kesilmesi denir. Bu kesilme hızlarına göre katbek asfaltlarda olduğu gibi asfalt emülsiyonları da, çabuk kesilen RS, orta hızda kesilen MS ve yavaş kesilen SS olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Bu sembollerin yanına emülsiyonun kıvamını (viskozitesini) gösteren rakamlar ve harfler gelir. Önünde “C” harfi olan emülsiyon tipi katyonik emülsiyon olduğunu

gösterir. Örneğin RS–1 anyonik, CRS–1 katyonik emülsiyondur. MS–2, MS-1'den daha viskozdur. Bazı sınıfların tanımında yer alan "h" harfi daha sert, "s" harfi ise daha yumuşak temel asfalt çimentosunun kullanıldığını ifade eder. Bazı anyonik emülsiyonların önüne gelen "HF" takısı ise yüzme deneyi tarafından ölçülen yüksek yüzme özelliğini göstermektedir.

ASTM ve AASHTO bu emülsiyon sınıfları için standart şartname geliştirmiştir.

Tablo 2.2. Emülsiyon sınıfları (A Basic Asphalt Emulsion Manual)

Anyonik Asfalt Emülsiyonu (ASTM D977, AASHTO M140)	Katyonik Asfalt Emülsiyonu (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
HRS-2	———
MS-1	———
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	———
HFMS-2	———
HFMS-2h	———
HFMS-2s	———
SS-1	CSS-1
SS-1h	CSS-1h

Ayrıca asfalt emülsiyonları kullanılan emülgatörün cinsine bağlı olarak üç kategoride sınıflandırılırlar.

- Anyonik
- Katyonik
- İyonik olmayan

Anyonik ve katyonik terimleri bitüm danelerinin çevresindeki elektrik yükleri ile ilgilidir. İki kutup, anot ve katot, sıvıya daldırıldığında elektrik akımı pozitif yüklü olan anot ve negatif yüklü olan katot arasından geçer. Eğer bir elektrik akımı negatif elektrik yüklü bitüm parçacıkları içeren bir emülsiyondan geçirilirse, bitüm

danecikleri anoda taşınır ve bu emülsiyonlar anyoniktir. Pozitif elektrik yüklü bitüm danecikleri ise katoda taşınır ve bu emülsiyonlar katyoniktir. İyonik olmayan emülsiyonlarda, bitüm danecikleri nötrdür ve her iki kutba da taşınmazlar.

Asfalt emülsiyonları, sathi kaplamalarda, astar uygulamalarında, penetrasyon makadamlı kaplamalarda, zemin stabilizasyonunda ve çok zayıf agregalarda emdirme işleminde kullanılırlar (Terrel ve Wang, 1971).

2.1.3.2. Katran

Katran, kömür, odun gibi doğal organik maddelerin karbonize edilmesi veya havasız bir ortamda damıtılmasıyla elde edilen sıvı için kullanılan bir terimdir (Abraham, 1945). Zift ile hafif ve ağır yağların doğal veya yapay karışımıdır. Katran, genellikle ham olarak değil, damıtıldıktan sonra kullanılır. Kaplamalarda kullanılan katranın kömür kökenli olması tercih edilir. Katran, ya metalürjik amaçlar için kok elde edilmesi veya havagazı üretimi için kömürün kuru olarak damıtılması sırasında bir yan ürün olarak elde edilir. Katranın agregaya yapışma özelliği asfalttan daha fazla olmasına rağmen ömrü asfalttan daha kısadır. Katranlar, yapışma özelliklerinden dolayı asfalt çimentoları içerisinde dop olarak kullanılabilirler.

RT (Road Tar) sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre, RT-1, RT-2, RT-3, RT-4, RT-5, RT-6, RT-7, RT-8, RT-9, RT-10, RT-11, RT-12, RTCB-5 ve RTCB-6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar ve sembollerin yanındaki numaraları yükseldikçe kıvamlılıkları da artar. Katranlar kıvamlılıklarına göre astar uygulamalarında yolda hazırlanan karışım tipi kaplamalarda, sathi kaplamalarda, tesislerde hazırlanan karışım tipi kaplamalarda ve yama işlerinde kullanılırlar (TS 1084, 1972).

Ham katranın içinde fazla miktarda su bulunması ve ince kıvamlı tortulu bir halde olması nedeniyle yol bağlayıcısı olarak kullanılması mümkün değildir. Ayrıca ham katranın yapısında boya, ilaç, plastik ve patlayıcı maddeler gibi çeşitli maddelerin elde edilmesinde kullanılan çok değerli elemanlar mevcuttur. Bu yüzden

ham katranı damıtarak bir takım kısımlara ayırmak mümkündür. Bu kısımlardan bazıları sonradan tekrar birbirlerine karıştırılarak yol katranı elde edilir. Diğer kısımlar ise değişik amaçlarla endüstride kullanılırlar. Damıtma işlemi yapıldıktan sonra geriye kalan çökeleğe zift adı verilir. Bu şekilde elde edilen ziftin sertliği, yol katranı olarak kullanılmasına engeldir. Bu sebeple zift, istenilen kıvamın elde edilinceye kadar, önceden damıtım yoluyla ham katrandan ayrılan yağların bazıları ile karıştırılır. Ziftin kıvamının inceltildiği bu işleme flüksaj denir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen yol katranları, kullanılacağı yere sevk edilmek üzere sıcak olarak saklanacağı depo tanklarına pompalanır.

Katranın agregaya yapışma özelliği asfalta nazaran daha iyi olmasına karşın katranın kıvamı sıcaklığın değişimi ile daha çok değişiklik göstererek daha çabuk bozulur. Bu sakıncayı gidermek maksadıyla katrana mümkün olduğu kadar ağır yağlar katılır. Katranın özelliklerini iyileştirmenin diğer bir yolu ise % 15–20 asfalt ilave etmektir. Böyle katranlara asfaltlı katran adı verilir. Fakat asfalt oranı % 20'yi aşmamalıdır. Aksi taktirde katran dibe çöker.

Katran içerisine su ilave edilmek suretiyle katran emülsiyonları elde edilmesi ve emülsiyon halinde kullanılması da mümkündür. Bu durumda normal sıcaklıkta çok düşük bir viskozite söz konusudur. Katran emülsiyonlarının hazırlanması ve kullanılması oldukça zor olduğu için yol inşaatında hemen hemen hiç kullanılmazlar.

2.2. Bitümlü Sıcak Karışımlara Uygulanan Deneyler

Karayolu üstyapısında genel olarak karışım ve yapısal tasarım olmak üzere iki adet kavram bulunmaktadır. Yapısal tasarımın amacı, bitümlü bağlayıcılı tabakanın tabanında oluşan ve kaplama tabakası içerisinde çatlamalara neden olan çekme gerilmelerine ve taban zemini üzerinde oluşan basınç deformasyonlarına dayanıklı bir üstyapı tasarlamaktır. Karışım tasarımındaki genel düşünce ise karışımı optimize etmek ve yapısal tasarım için gerekli verileri mantıklı ve doğru tahmin etmektir. Bu yöntemlerin matematiksel yöntemlerle desteklenmesi gerekmektedir.

Asfalt üstyapıların işleyişinin ölçülmesi, üstyapıda oluşabilecek tehlikeli üç duruma göre değerlendirilmektedir. Bunlar;

1) Isıl çatlaklar: yüksek ya da düşük sıcaklık çatlakları,
2) Yorulma çatlakları,
3) Tekerlek izi ya da kalıcı deformasyonlardır.

Bunların dışında, nemden ileri gelen bozulmalar, sürtünme katsayısındaki azalma gibi sürüş güvenliğini azaltacak nedenler de üstyapının bozulması açısından tehlikeli olabilir. Ancak bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar genelde yukarıda sıralanan üç tehlikeli durum için yapılmıştır (Kaya, 2004).

Yol üstyapısının analitik olarak tasarlanabilmesi, üstyapı tabakalarında kullanılan malzemelerin ve karışımların özelliklerinin tam olarak belirlenerek bilinmesine bağlıdır. Bu konuda yapılan araştırmalarda laboratuar deneyleri yaygın olarak kullanılmış olup elde edilen sonuçlar bitümlü sıcak karışımların mekanik karışımları hakkındaki temel bilgilerin edinilmesini sağlamıştır.

Analitik üstyapı tasarımında iki grup malzeme özelliği göz önüne alınır: birincisi yapının analizi için gerekli olan yük-deformasyon veya gerilme-şekil değiştirme özellikleri; ikincisi bozulma şeklini (deformasyon) belirleyen özelliklerdir. Başlıca bozulma özellikleri yorulma çatlağı ve kalıcı deformasyondur.

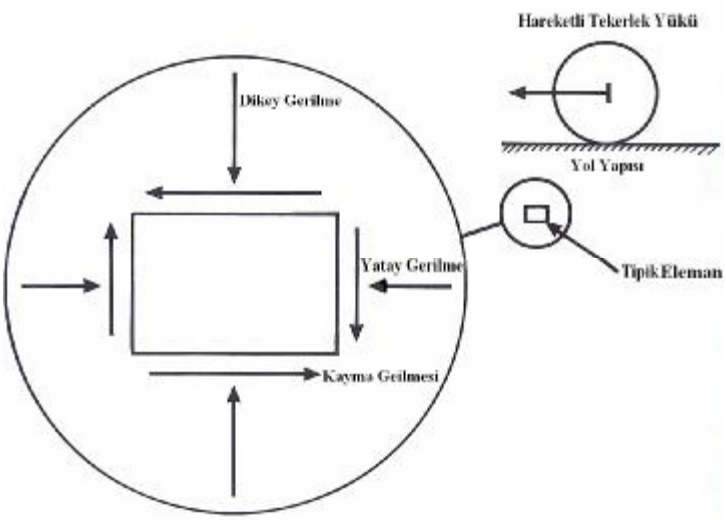
Üstyapı tasarımında ideal olan arazideki malzemenin mekanik özelliklerinin kullanılmasıdır. Fakat tam ölçekli arazi deneyleri genellikle güçtür ve bu yüzden mühendisler laboratuar deneylerine yönelirler. Bu deneylerdeki sıcaklık, yükleme süresi, gerilme durumları, sıkıştırma düzeyi vb. arazi koşulları mümkün olabildiğince benzeştirilmelidir. Fakat arazi şartları sürekli olarak değiştiği için uygun deney koşullarının seçilmesi oldukça güçtür.

Arazideki gerilme şekilleri laboratuarda güçlükle sağlanabilmektedir. Şekil 2.4 dingil yükünden dolayı bir üst yapı elemanı üzerindeki gerilmeleri

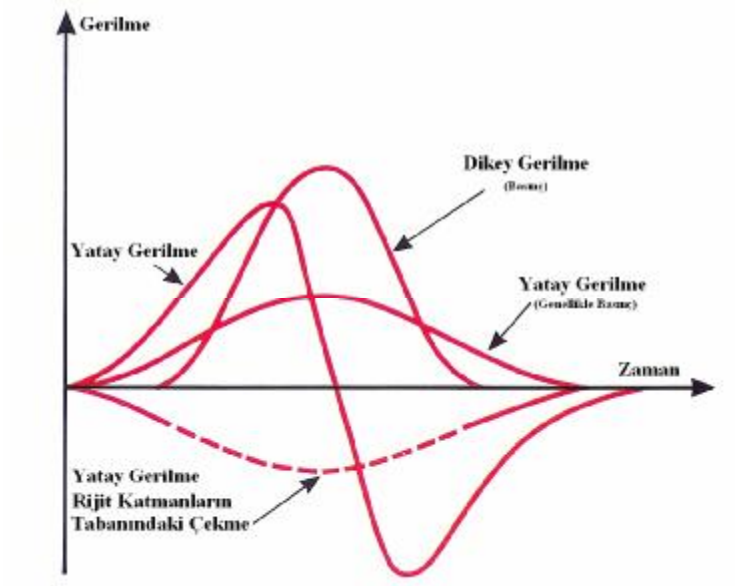
göstermektedir. Bu şekil, gerçek gerilme durumunun oldukça basitleştirilmiş bir halidir. Gerçek gerilme şekli üç boyutludur ve zemin elemanlarının şekil 2.4'te gösterilen düzlemlerine dik düzlemlerde de normal ve kayma gerilmeler mevcuttur. Tekerlek bu zemin elemanı üzerinden geçtikçe gerilmeler zamana bağlı olarak şekil 2.5'te gösterildiği gibi değişmektedir. Bu karmaşık gerilme hali laboratuar ortamında doğru bir şekilde henüz benzeştirilmemekle birlikte dinamik üç eksenli deney sistemi, kayma gerilmelerinin yön değiştirmesi hariç diğer gerilme durumlarını sağlayabilmektedir. Sonuç olarak, arazideki davranışın belirli bazı yönlerinin laboratuar ortamında tekrarlanmasını sağlayabilecek basitleştirilmiş deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler üç gruba ayrılabilir (The Shell Bitumen Handbook, 1990):

1. Temel Deneyler
    - Dinamik üç eksenli basınç deneyi
    - Sünme deneyi
    - Dinamik dolaylı çekme deneyi
    - Dinamik rijitlik ve yorulma deneyleri
2. Simülatif Deneyler
    - Tekerlek izi deneyi
3. Ampirik Deneyler
    - Marshall deneyi
    - Hubbard-Field deneyi
    - Hveem deneyi

Bu laboratuar deneylerinden burada bahsedilmeyecektir. Fakat bu çalışmada yapılacak numunelere Marshall deneyi uygulanacağından sadece ondan bahsedilecektir. Diğer deneyler için kapsamlı açıklamalar bu çalışmaya da önemli ışık tutan "Shell Bitüm El Kitabı" adlı kitapta bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Yol üstyapısındaki bir eleman üzerindeki gerilmeler



Şekil 2.5. Hareketli bir dingil yükü tarafından oluşturulan gerilmeler

2.2.1. Marshall deneyi

Bitümlü karışımlar için en uygun bağlayıcı oranı Marshall deneyi ile bulunur. Marshall deneyi deneme numunelerinin hazırlanması ile başlar. Bu iş için her şeyden önce aşağıdaki koşullar sağlanmış olmalıdır;

a. Kullanılacak malzeme kalite bakımından ilgili şartnamelere uygun olmalıdır.
b. Hazırlanmış agrega karışımları elek analizi şartnamesine uygun olmalıdır.
c. Yoğunluk ve boşluk analizi için, karışımda kullanılan bütün agregaların özgül ağırlıkları tayin edilmiş olmalıdır.

Bu hususlar bütün şartnamelerin gerekleri olarak yapılması şart koşulan koşullar olup, kullanılan hesap metoduna göre değişen durumlar değildir. Marshall numuneleri, bitüm-agrega karışımlarının belirli bir ısıtma, karıştırma ve sıkıştırma işlemi sonunda hazırlanır. Bu metodun başlıca iki özelliği sıkıştırılmış numunelerde, yoğunluk-boşluk analizi ve stabilite-akma denemesidir.

2.2.1.1. Deneyde kullanılan aletler

- Tepsiler ve kaplar: Agrega ve bitümlü bağlayıcıyı ısıtmak ve karıştırmak için,
- Etüv ve elektrikli ısıtma kabı: Agregayı, bitümlü bağlayıcıyı ve aletleri ısıtmak için,
- Kürek, spatula: Karıştırma işleri için,
- Termometre: Cam veya metal gövdeli 10-232ºC sınırlarını taşımalıdır,
- Terazi: Agrega ve bitümlü bağlayıcıyı tartmak için,
- Mekanik karıştırıcı: 2,5 kg kapasiteli, Bitüm ve agregayı karıştırmak için,
- Su banyosu: Numuneleri ısıtmak için,
- Sıkıştırma tablası: Numuneleri sıkıştırmak için,
- Sıkıştırma kalıbı: Bir taban levhası, şekil verme kalıbı ve bir üst parçadan oluşur,
- Kriko: Deney numunelerini kalıptan çıkartmak için,
- Stabilite ölçüm kalıbı: İç eğrilik yarıçapları 5 cm olacak şekilde hassasiyetle işlenmiş alt ve üst dairesel parçalardan oluşmuştur.

2.2.1.2. Deney karışımlarının hazırlanması

a. Agrega ve mineral filler sıcaklıkları karıştırma sıcaklığına gelinceye kadar ısıtılır.
b. Bitümlü bağlayıcının sıcaklığı da karıştırma sıcaklığına gelinceye kadar ısıtılır. Bağlayıcının uzun müddet ve tekrar tekrar ısıtılmasından kaçınılmalıdır.
c. Bitümlü bağlayıcı ve agregalar bir mala veya mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılır ve bu işlem mümkün olduğu kadar çabuk tamamlanmalıdır. Karıştırma işleminin 2 dakika içinde bitmesi gerekir.
d. Karıştırmanın sonucunda, karışımın sıcaklığı grafikle bulunacak sıkıştırma sıcaklığı alt limit değerinin altına düşmemelidir. Şayet sıcaklık, bu değerin altına düşmüşse karışım atılmalı ve işlem tekrarlanmalıdır. Karıştırma sırasında ve karıştırmadan sonra malzemenin yeniden ısıtılmasına müsaade edilmemelidir.

2.2.1.3. Deney numunelerinin hazırlanması

Özel bir karışım veya agrega granülometrisi için Marshall metodu ile optimum bağlayıcı miktarı tayininde, çeşitli bağlayıcı oranlarına sahip numune serileri hazırlanır. Bu numunelerin belirli bazı deneylere tabi tutulması sonucu saptanan değerlere dayanılarak çizilen deney eğrilerinden bir optimum değer bulunur. Deney numuneleri, bitüm oranını her numune serisinde % 0,5 artırarak ve tahmin edilen optimum bitüm oranının en az % 2 aşağısından başlayarak, yine tahmin edilen optimum değeri % 2 aşacak şekilde değişik yüzdelerde hazırlanır.

Optimum bitüm oranını tayin etmek için, daha önce tahmini optimum bitüm oranının yaklaşık olarak saptanması gerekir. Yeterli deney neticeleri elde etmek için her bir bağlayıcı oranında genellikle 3 numune hazırlanır. Bu durumda 9 değişik bitüm oranı ile yapılacak bir sıcak karışım dizaynında en az 27 numuneye gereksinim olacaktır. Her bir numune için yaklaşık olarak 1200 gr agregaya ihtiyaç vardır.

2.2.1.4. Numunelerin sıkıştırılması

a. Karışım hazırlanmadan önce, sıkıştırma tokmağı ve sıkıştırma kalıbının iç yüzü temizlenmeli ve bir etüvde 93–147 ºC ye kadar ısıtılmalıdır.
b. Isıtılmış kalıp taban levhası üzerine yerleştirilerek içine 10,16 cm çapında filtre kâğıdı konulmalıdır.
c. Karışım, sıkıştırma kalıbı içine yerleştirilerek ısıtılmış bir demir çubuk ile 25 defa şişlenir, kalıp içindeki numune üzerine 10,16 cm çapında filtre kâğıdı konulur ve sıkıştırmaya geçilir.
d. Sıkıştırma tokmağı ile numuneye, trafik değeri 100 psi lastik basıncı olması için 50 darbe, trafik değeri 200 psi lastik basıncı olması için 75 darbe vurulur.
e. Numuneler sıkıştırıldıktan kısa bir müddet sonra kalıptan çıkarılarak, düz bir satıh üzerine dikkatlice konur ve oda sıcaklığında bir gece soğumaya bırakılır.
f. Sıkıştırılmış numunelerin yüksekliği 6,35 ± 0,8 cm olmalıdır.
g. Numuneler, birim ağırlığının tayin edilebilmesi için havada ve suda tartılır.
h. Tartılmış ve ölçülmüş numuneler 60 ºC lik su banyosu içinde 30 dakika bekletilerek, deneye hazır hale getirilir.

2.2.1.5. Deneyin yapılışı

a. Deneye başlamadan önce, deney kalıbının alt ve üst çenelerinin iç yüzleri ve kılavuz çubukları ince bir yağ tabakası ile yağlanmalıdır.
b. Numune su içinden dikkatlice çıkarılarak, kurutulur ve aletin çenesi içine deney vaziyetine uygun şekilde konur.
c. Numune deney makinesine uygun şekilde yerleştirilir, flowmetre de deney durumuna uygun konulduktan sonra alet çalıştırılır. Numunenin üzerinde bulunduğu çene, numunede kırılma oluşuncaya kadar dakikada 2 inçlik bir hızla yükseltilir.
d. Stabiliteyi saptayan kırılma, yük ölçme göstergesinde varılan en

yüksek değerde meydana gelir. Bu değer o numunenin stabilitesi olarak kaydedilir.

e. Numunede meydana gelen akma ise akma göstergesinde mm olarak okunur. Örneğin göstergede herhangi bir numune için 0,16 inç değeri okunuyorsa, onun akma değeri 16 olarak kaydedilir.

2.2.1.6. Deney sonuçları ve optimum bağlayıcı oranı tayini

Deney sonucunda;

a. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-stabilite,
b. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-akma,
c. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-birim ağırlık,
d. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-boşluk yüzdesi,
e. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-Vb/VMA,
f. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-VMA, eğrileri çizilmektedir.

Bu eğrilerden hareket edilerek optimum bitüm oranı saptanır. Aşağıdaki beş koşulu gerçekleştiren bitüm oranlarının ortalaması optimum bitüm oranı olarak kaydedilir;

a. Maksimum stabilitenin verdiği bitüm oranı,
b. Maksimum birim ağırlığının verdiği bitüm oranı,
c. % 4 boşluk oranının verdiği bitüm oranı,
d. % 80 Vb/VMA değerinin verdiği bitüm oranı,
e. Minimum VMA değerinin verdiği bitüm oranı.

2.3. Agregalara Uygulanan Deneyler

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarının performansına doğrudan etki eden agreganın görevi yük taşıma kapasitesini sağlamaktır. Agregaların yol yapımında kullanılabilmesi için aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık, su

absorbsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve dane şekillerinin, sürtünme etkileri ile meydana gelecek cilalanmaya karşı olan dirençlerinin bilinmesine gerek vardır. Ancak bu özelliklerin hepsinin her zaman bilinmesine gerek yoktur. Örneğin; temel tabakasında kullanılacak bir agregaya cilalanma deneyinin uygulanmasına gerek yoktur.

Yukarıda adı geçen bütün deneylerin, agregaların değerlendirilmesinde güvenilir olabilmesi için denenecek numunelerin çok özenle alınmış temsili numuneler olması gerekir. Aksi halde o numune için yanlış değerler bulunacaktır. Bitümlü sıcak karışım kaplamalarında kullanılacak agreganın özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıda verilen kalite kontrol deneyleri uygulanır.

1. Elek Analizi
2. Aşınma (Los Angeles) Deneyi
3. Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık Deneyi
4. Cilalanma Deneyi
5. Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi
6. Yassılık İndeksi Deneyi
7. Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorbsiyonu) Deneyi
8. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

2.3.1. Elek analizi

Bu deney yöntemi, standartlarda nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın dane büyüklüğü dağılımının saptanmasını amaçlar. Elek analizi yapılacak malzemelerin boyutları taş ve kömür gibi çok büyük parçalardan, boya maddeleri ve kil gibi çok ince malzemelere kadar değiştiği, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olduğu için, bütün malzemelere uygulanabilecek tek bir elek analizi deneyi yönteminden bahsetmek mümkün değildir.

2.3.2. Aşınma (*Los Angeles*) deneyi

Bu deney, agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını belirler (TS 3694). Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanılarak *Los Angeles* makinesi ile tayin edilir. *Los Angeles* deneyi, aynı mineral kompozisyona sahip çeşitli agrega kaynaklarının birbirine göre kalitesinin veya uygunluğunun bir göstergesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sonuçlar, oldukça farklı yapı, kompozisyon veya orijine sahip agrega kaynakları arasında otomatik olarak geçerli karşılaştırmalar yapılmasına izin vermez.

2.3.3. Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi

Bu deney metodu agregaların doygun sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat ($MgSO_4$) çözeltileri ile ufalanmaya karşı dayanıklılığının tayin edilmesini sağlar (TS 3655). Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuarda kısa süre içinde bir karar verebilmek amacı ile uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

2.3.4. Cilalanma deneyi

Bu deneyin amacı, agregaların trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuarda kısa bir zamanda tayin etmektir. Yol yüzeyinin cilalanan bir taştan yapılmış olması, yolun kaymaya karşı direncini etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Agregaların cilalanma değeri ile kaymaya karşı direnç arasındaki ilişki trafik koşulları, kaplamanın tipi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir.

2.3.5. Su etkilerine karşı dayanıklılık (soyulma) deneyi

Soyulma deneyi su ve trafik etkilerine karşı bir dayanıklılık deneyidir. Bazı bitümlü karışımlarda, suyun etkisiyle agrega ile bitüm arasındaki bağ kaybolur ve böylece kaplama bozulur. Bunun önüne geçebilmek için bu bağın kaybolmasını yani

soyulmayı önleyecek bir takım katkı malzemeleri ile bağlayıcının agregaya daha iyi yapışması sağlanır.

2.3.6. Yassılık indeksi deneyi

Bu deney metodu, kalınlığı, nominal boyutunun 0,6 sından daha küçük olan agrega danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasını esas alan bir metottur. İki elek arasında kalan danenin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik ortalamasıdır. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney, 6,3 mm den büyük ve 63 mm den küçük malzemeye uygulanır (Ilıcalı ve ark. 2001).

2.3.7. Özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyonu) deneyi

Özgül ağırlık belirli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki +4 ºC'deki suyun ağırlığına oranıdır. Bu deneyin amacı, bitümlü karışımın teorik özgül ağırlığını, karışımdaki boşluk yüzdesini ve yine karışımın asfaltla doldurulmuş boşluk yüzdesini hesaplamak, agreganın hacim–ağırlık ilişkilerini tayin etmektir (TS 3526).

2.3.8. Birim hacim ağırlık deneyi

Bu deney agregaların sıkışık ya da gevşek birim ağırlıklarını belirleyebilmek için yapılır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bitümlü karışımlarda katkı maddelerinin kullanım amacı, bitümlü bağlayıcı ve karışımların davranışlarının iyileştirilmesidir. Son yıllarda hız kazanan modifiye bitüm ve modifiye karışım çalışmaları, farklı katkı maddelerinin BSK üzerindeki performans etkilerini tespit etme konusunda yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlara filler olarak kullanılan Carboniferous-Triassic kayaç tozlarının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, bitümlü sıcak karışım içerisinde, Konya Sille Tatköy civarındaki mor renkli filler, 50-70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı ve sürekli derecelenmiş granülometriye sahip kırılmış kireçtaşı ile birlikte kullanılmıştır. Laboratuarda öncelikle standartlara uygun olarak farklı bağlayıcı oranlarına sahip olarak hazırlanan Marshall numuneleri üzerinde filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu kullanılarak kontrol karışımlar hazırlanmıştır. Daha sonra filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu yerine mor filler kullanılarak hazırlanan Marshall numunelerine standart deneyler uygulanarak kullanılan mor fillerin bitümlü sıcak karışımlara etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Laboratuarında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan agregalar ve bitümlü bağlayıcı Selçuklu Belediyesi asfalt şantiyesinden temin edilmiştir. Laboratuar imkanlarında gerekli deneyler yapılarak agreganın ve bağlayıcının özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu özelliklerden penetrasyon ve yumuşama noktasına göre optimum karıştırma sıcaklığı tespit edilmiştir (EK-B). Belirlenen 160 ºC lik optimum karıştırma sıcaklığında % 3,5, 4,0, 4,5 ve 5,0 bağlayıcı oranında, % 4, 6 ve 8 filler oranında Marshall deneme numuneleri hazırlanmıştır. Her bir bağlayıcı ve filler oranı için 4 er tane numune hazırlanmıştır. Filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu kullanılarak en uygun bağlayıcı oranını belirlemek amacıyla kontrol karışımlar 48 adet ve filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu yerine mor filler kullanılarak 48 adet olmak üzere toplam 96 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler Marshall deneyine tabi tutularak mor fillerin bitümlü sıcak karışımlara etkisi incelenmiştir.

3.1. Kullanılan Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agreganın fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için bölüm 2.3'te bahsedilen agregalara uygulanan deneylerden elek analizi, aşınma deneyi ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

3.1.1. Elek analizi deneyi

Yol inşaatında kullanılacak agraga granülometrisinin belirlenebilmesi için agrega danelerinin büyüklüğü ile bunların kuru ağırlık olarak agrega içerisindeki yüzdelerinin bilinmesi gerekir. Agrega granülometrisinin saptanması için elek analizi yapılır. Deneyde kullanacağımız agregaların, granülometrisinin belirlenmesi amacıyla 20 mm, 14 mm, 10 mm, 6,30 mm, 3,35 mm, 1,18 mm, 0,30 mm ve 0,075 mm nolu eleklerden elenmiştir (Şekil 3.1). Agregalar üzerinde kaldığı eleklere göre gruplara ayrılmıştır. Cooper ve ark., (1985) tarafından beton asfalt tipi sıcak karışımların hazırlanması için ortaya konmuş olan 3.1'deki eşitlikten elde edilen karışım yüzdelerine göre 2400 gramlık 2 numune hazırlanabilecek karışımlar hazırlanmıştır (Şekil 3.2).

$$P_d = \frac{(100-F).\left(d^n - 0{,}075^n\right)}{\left(D^n - 0{,}075^n\right)} + F \qquad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

P_d: d elek boyutundan geçen miktarı (%),

d: Herhangi bir elek boyutunu (mm),

D: En büyük elek boyutunu (mm),

F: Filler miktarını (%),

n: 0.1 ile 0.7 arasında değişen sabit sayıyı göstermektedir.

Bu çalışmada D en büyük elek boyutu 20 mm, F filler oranı % 4, 6, 8, n sabit sayısı 0,5 olarak alınmıştır. Buna göre bulunan P_d elekten geçen malzeme yüzdeleri 3.1'deki eşitlikten bulunmuştur ve Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Agraganın eleme makinesinde elenmesi



Şekil 3.2. Agrega granülometrisine göre tartım işlemi

Tablo 3.1. Filler oranı % 4 olan agregaların granülometri yüzdeleri ve karışım miktarları

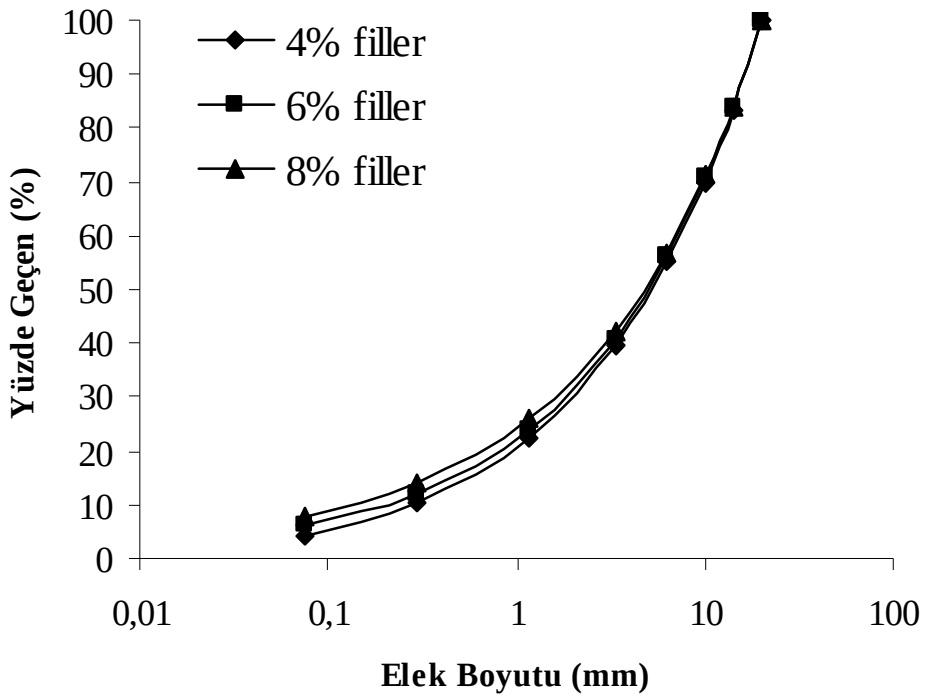
Geçen Elek No	Elek Aralığı (mm)	Yüzde Geçen (%)	Yüzde Kalan (%)	Karışım Miktarı (gr)
P_{20}	20-14	100	16,704	400,896
P_{14}	14-10	83,296	13,248	317,952
P_{10}	10-6,30	70,048	14,916	357,984
$P_{6,30}$	6,30-3,35	55,132	15,542	373,008
$P_{3,35}$	3,35-1,18	39,590	17,013	408,312
$P_{1,18}$	1,18-0,30	22,577	12,315	295,560
$P_{0,30}$	0,30-0,075	10,262	6,262	150,288
$P_{0,075}$	0,075 altı	4	4	96
Toplam			**100**	**2400**

Tablo 3.2. Filler oranı % 6 olan agregaların granülometri yüzdeleri ve karışım miktarları

Geçen Elek No	Elek Aralığı (mm)	Yüzde Geçen (%)	Yüzde Kalan (%)	Karışım Miktarı (gr)
P_{20}	20-14	100	16,356	392,544
P_{14}	14-10	83,644	12,972	311,328
P_{10}	10-6,30	70,672	14,605	350,520
$P_{6,30}$	6,30-3,35	56,067	15,218	365,232
$P_{3,35}$	3,35-1,18	40,849	16,659	399,816
$P_{1,18}$	1,18-0,30	24,190	12,058	289,392
$P_{0,30}$	0,30-0,075	12,132	6,132	147,168
$P_{0,075}$	0,075 altı	6	6	144
Toplam			**100**	**2400**

Tablo 3.3. Filler oranı % 8 olan agregaların granülometri yüzdeleri ve karışım miktarları

Geçen Elek No	Elek Aralığı (mm)	Yüzde Geçen (%)	Yüzde Kalan (%)	Karışım Miktarı (gr)
P_{20}	20-14	100	16,008	384,192
P_{14}	14-10	83,992	12,696	304,704
P_{10}	10-6,30	71,296	14,294	343,056
$P_{6,30}$	6,30-3,35	57,002	14,895	357,480
$P_{3,35}$	3,35-1,18	42,107	16,304	391,296
$P_{1,18}$	1,18-0,30	25,803	11,802	283,248
$P_{0,30}$	0,30-0,075	14,001	6,001	144,024
$P_{0,075}$	0,075 altı	8	8	192
Toplam			**100**	**2400**



Şekil 3.3. Kullanılan agreganın granülometri eğrisi

3.1.2. Özgül ağırlık ve su emme deneyi

Agreganın özgül ağırlığını tespit etmek için yaklaşık 1000 gram temsili numune alınmıştır. Numune öncelikle suda biraz bekletilerek toz ve yabancı maddelerin yüzeyine çıkması sağlanmıştır. Daha sonra yıkanarak 110 ºC de etüve konmuştur. Yıkanmış ve kurutulmuş numune özgül ağırlık piknometresine konup, numunenin üzerini geçecek şekilde su ile doldurularak 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda piknometre 15–30 dakika sallanarak su ve numunenin içinde hava kalmaması sağlanmıştır. Sonra kendi haline bırakılarak iyice çökmesi beklenmiştir. Üstte tamamen berrak su oluşunca, piknometre damıtık su ile taşıncaya kadar doldurularak kapağı hava kabarcığı kalmayacak şekilde kapatılmıştır. 25 °C deki su banyosunda 1–1.5 saat bekletildikten sonra piknometre yumuşak bir havlu ile iyice kurulanarak en az 0,1 grama duyarlı terazide tartılmıştır (B). Numune suyu süzüldükten sonra piknometreden çıkartılarak danelerin üzerinde gözle görülebilen su tabakası kalmayıncaya kadar kurutulmuştur. Kurutma biter bitmez numune hemen tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı bulunmuştur (A). Bu işlem gerçekleştirilirken numunenin fazla kurumamasına ve danelerinin kaybolmamasına özen gösterilmiştir. Numune piknometreden çıkartıldıktan sonra piknometre tekrar su ile doldurularak hava kabarcıkları kalmayacak şekilde kapağı kapatılarak tartılmıştır (C). Doygun kuru yüzey ağırlığı ölçülen numune tekrar kuruması için 110 ºC de etüve konarak 24 saat bekletilmiştir. Numune etüv kurusu durumuna getirildikten sonra oda sıcaklığına kadar soğutularak havadaki kuru ağırlığı ölçülmüştür (D).

Formüllerde kullanılacak olan harfler ve ölçülen değerler;

A: Numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı = 994,2 gr
B: Piknometre, su ve numunenin toplam ağırlığı = 2912,0 gr
C: Piknometrenin su dolu ağırlığı = 2287,6 gr
D: Numunenin etüv kurusu ağırlığı = 991,4 gr

Yapılan ölçümler sonunda agreganın kuru özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey ağırlığı, zahiri özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$\text{Kuru özgül ağırlık} = \frac{D}{A-(B-C)} = 2{,}681$$

$$\text{Doygun kuru yüzey özgül ağırlık} = \frac{A}{A-(B-C)} = 2{,}688$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{D}{D-(B-C)} = 2{,}701$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{A-D}{D} * 100 = 0{,}282$$

3.2. Kullanılan Fillerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmamızda kullanmış olduğumuz mor fillerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan plastik limit ve likit limit deneyleri yapılarak 3.2'de verilen bağıntıdan plastisite indisi bulunarak sonuçlar Tablo 3.4'te verilmiştir.

$$I_p = W_L - W_P \qquad (3.2)$$

Tablo 3.4. Mor fillerin kıvam limitleri

Likit Limit (W_L)	Plastik Limit (W_P)	Plastisite İndisi (I_p)
39,054	0	39,054

3.3. Kullanılan Fillerin Kimyasal Analizi

Çalışmamızda kullanmış olduğumuz kireçtaşı tozundan oluşan fillerin ve mor fillerin kimyasal analizi sonucu elde edilen ana elementlerin değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Fillerin kimyasal analizi sonucu elde edilen ana elementlerin değerleri (Çelik ve Karakaya, 1999)

Elementler	Kireçtaşı Filler	Mor Filler
$Si0_2$	0.83	56.70
$A1_2O_3$	0.20	21.85
TiO_2	0	0.94
Fe_20_3	0.05	8.26
MnO	0	0.20
CaO	94.57	0.90
MgO	0.25	1.36
Na_2O	0	1.80
K_2O	0	2.91
P_2O_5	0	0.05
$CaCO_3$	4.18	0
LiO	2.84	0

3.4. Kullanılan Bitümün Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Kullanılacak bağlayıcının özelliklerinin belirlenmesi için, bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneylerden penetrasyon deneyi, yumuşama noktası deneyi ve özgül ağırlık deneyi yapılmıştır.

3.4.1. Penetrasyon deneyi

Bitümlü bağlayıcının sertlik ve kıvamlılığını tayin etmek amacıyla yapılan penetrasyon deneyi için önce numunenin 25 ºC de yapılabilmesi için su banyosu hazırlanarak sıcaklığın 25 ºC ye ulaşması sağlanmıştır. Isıtılan numune, Numune kabına dökülerek elle tutulacak dereceye gelince 25 ºC deki su banyosuna konmuştur. Bir süre suda bekletilen numune, Numune kabını taşıyan ve su ile dolu olan taşıma kabı penetrasyon cihazının tablasına yerleştirilmiştir. Zaman ayarı 5

saniye olarak ayarlanmıştır. İstenilen ağırlıkla yüklenen iğne, numunenin yüzeyine ancak değecek şekilde ayarlanmıştır. 5 saniye içerisinde iğne serbest bırakılarak zaman bitiminde penetrasyon değeri göstergeden okunmuştur. Kabın farklı noktalarından aynı işlem gerçekleştirilerek 5 okuma yapılmıştır. Bu okumalar yapılırken en kısa zamanda arka arkaya yapılmasına ve iğnenin her seferinde silinerek temiz olmasına dikkat edilmiştir.

Okunan değerler:

1. okuma: 70
2. okuma: 62
3. okuma: 64
4. okuma: 56
5. okuma: 60

Ortalama penetrasyon: 62 olarak hesaplanmıştır.

3.4.2. Yumuşama noktası deneyi

Yumuşama noktası, bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilye bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü bağlayıcının belli bir hızla ısıtılmasıyla, yumuşayan bağlayıcının tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır.

Fırında eritilen bitüm yağlanmış bir cam levha üzerine yerleştirilen halkanın üst düzeyini aşacak şekilde doldurulmuştur. Bir saat süre ile soğutularak, taşan kısım ısıtılmış bir spatula ile kesilip alınmıştır. Beher 5 ºC'ye kadar soğutulmuş saf su ile doldurulmuştur. Numuneyi taşıyan halkanın alt yüzü banyonun tabanından 2,5 cm yukarıda ve bilye numunenin tam ortasında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Isıyı ölçmek için behere ucu halkanın alt yüzü ile aynı düzeyde olacak şekilde termometre sarkıtılmıştır. Su sıcaklığı dakikada 5 ºC artacak şekilde ısıtılmıştır. Sıcaklığın

artması ile yumuşayan bitümün, beherin tabanına değdiği anda termometreden okunan sıcaklık yumuşama noktası olarak kaydedilmiştir. Aynı deney ikinci numune ile tekrar yapılarak sıcaklık değeri kaydedilmiştir.

Okunan değerler:

1. okuma: 49,9 °C
2. okuma: 49,4 °C

Ortalama yumuşama noktası 49,65 °C olarak bulunmuştur.

3.4.3. Özgül ağırlık deneyi

TS 1087'ye göre yapılan ölçümler sonucunda bitümün özgül ağırlığı 1.02 gr/cm^3 bulunmuştur.

3.5. Marshall Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Deneyin Uygulanması

Marshall deneyi deneme numunelerinin hazırlanması için agregaların ve bitümlü bağlayıcının fiziksel özellikleri, ilgili şartnamelere göre belirlenerek uygunlukları tespit edilmiştir. Karışım için Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilen granülometri yüzdelerine göre hazırlanmış olan 2400 gram agrega ve bitümlü bağlayıcı belirlenen karıştırma sıcaklıklarına gelinceye kadar ısıtılmıştır. Isıtılan malzemeler bir karıştırıcıda ara vermeden 2 dakika içinde karıştırılmıştır. Yaklaşık 2400 gram olan bitümlü karışım ikiye bölünerek sıkıştırma kalıplarına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen karışımın sıcaklığı grafikle bulunan sıkıştırma sıcaklığı alt limit değerinin altına düşmeyecek şekilde soğutulması sağlanmıştır. Sıkıştırma sıcaklığına gelen numuneler 25 kez bir demir çubuk ile şişlenmiştir (Şekil 3.4). Altına ve üstüne 10,16 cam çapında filtre kâğıdı konarak sıkıştırma tokmağına yerleştirilmiştir. Şekil 3.5'te görülen sıkıştırma tokmağında her iki tarafına 50'şer

darbe vurularak sıkıştırma yapılmıştır. Sıkıştırılan numuneler 24 saat oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra kalıplardan çıkartılarak düz bir satıh üzerine dikkatlice konarak tüm numunelerin hazırlanması yapılmıştır (Şekil 3.6). Şekil 3.6'da arkadaki numuneler kireçtaşı filler ile yapılan, öndeki numuneler ise mor filler ile yapılan karışımlardan elde edilmiştir. Mor filler ile hazırlanan numuneler renk olarak kontrol karışımlardan farklı olduğu görülmektedir. Bütün numuneler hazırlandıktan sonra kumpas yardımıyla üç yerinden yükseklikleri ölçülmüştür. Numunelerin birim ağırlığının tespit edilebilmesi için havada ve suda tartılmıştır (Şekil 3.7).

Üniversitemiz Ulaştırma Laboratuarında bulunan Marshall Stabilitesi deney aletinin arıza yapmasından dolayı numunelere deney yapmak için Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü Laboratuarı kullanılmıştır. Tartılan ve ölçülen numuneler deneye hazır hale getirmek için 60 ºC lik su banyosu içinde 30 dakika bekletilmiştir. Alt ve üst çenesi iç yüzeyleri yağlanan Marshall Stabilitesi deney aletine numuneler yerleştirilerek çalıştırılmıştır. Alt çenenin 51 mm/dak. sabit bir hızla yükselmesiyle numunenin kırılması sağlanmıştır (Şekil 3.8). Marshall Stabilitesinin belirlenmesi için kırılma yükü ve akma değerleri okunarak kaydedilmiştir. Gerekli bilgiler kaydedilerek oluşturulan tablolar EK-A da verilmiştir.



Şekil 3.4. Karışımın sıcaklık kontrolünün yapılması ve yerleştirilmesi



Şekil 3.5. Sıkıştırma tokmağı



Şekil 3.6. Hazırlanan 96 adet numunenin görünümü



Şekil 3.7. Numunenin sudaki ağırlığının ölçülmesi



Şekil 3.8. Marshall stabilitesi deney aletinde numunenin kırılması

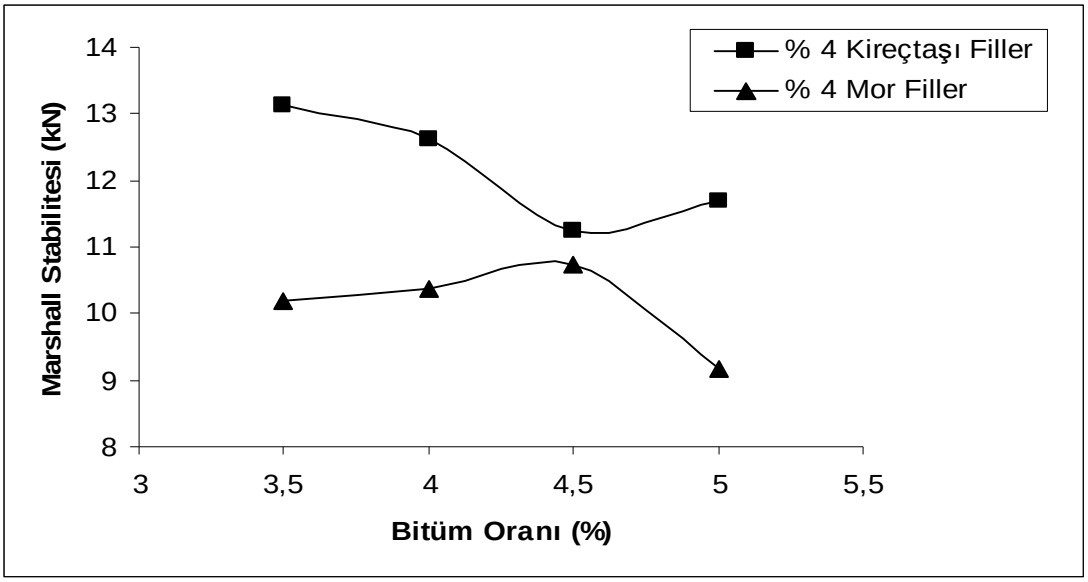
4. DENEY SONUÇLARI

Değişik iklim koşullarının yanında sürekli ve direkt olarak trafik yüklerinin etkisine maruz kalan bitümlü kaplamanın, istenilen şartları ve kendisinden beklenen özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu itibarla, iyi bir kaplamanın teşkili, dolayısıyla iyi bir sonuç alınabilmesi için kaplama karışımında kullanılan malzemelerin çok iyi tanınması, karışım oranlarının iyi ayarlanması ve ilgili prosedürün titizlikle uygulanması gerekmektedir.

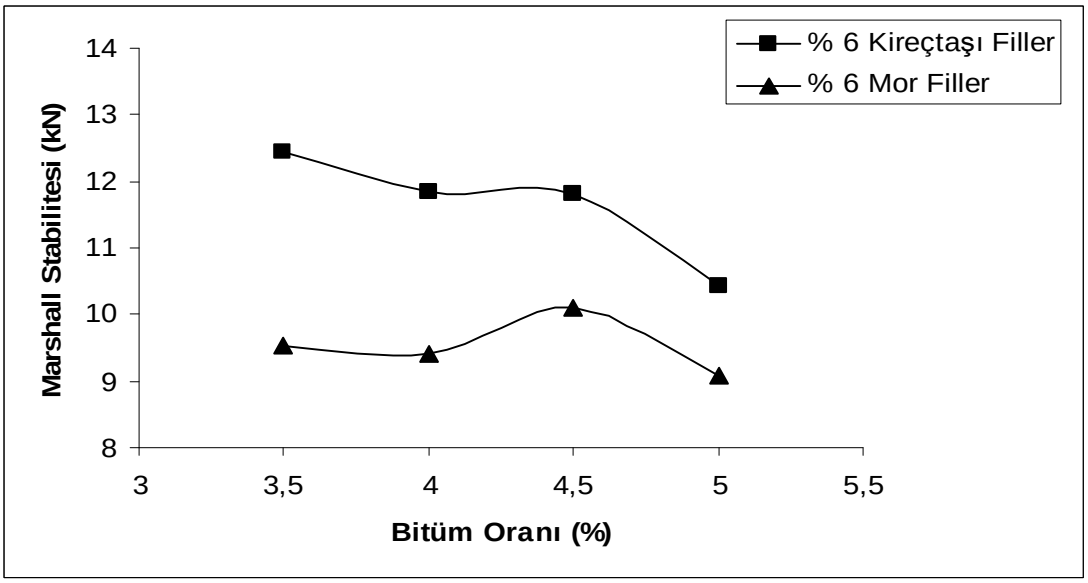
Bu çalışmada, Konya Sille Tatköy civarındaki Carboniferous-Triassic kayaçlarından elde edilen mor renkli filler malzemesinin, değişik oranlarda bağlayıcı ile kullanılarak karışım içerisindeki etkisini belirlemek amacıyla, pratikte yaygın olarak kullanılmakta olan Marshall metoduna göre karışım dizaynı hazırlanmış, elde edilen sonuçlar kireçtaşı tozu ile hazırlanmış olan kontrol karışımlar ile karşılaştırılmış ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

4.1. Marshall Stabilitesi Değerlerinin Karşılaştırılması

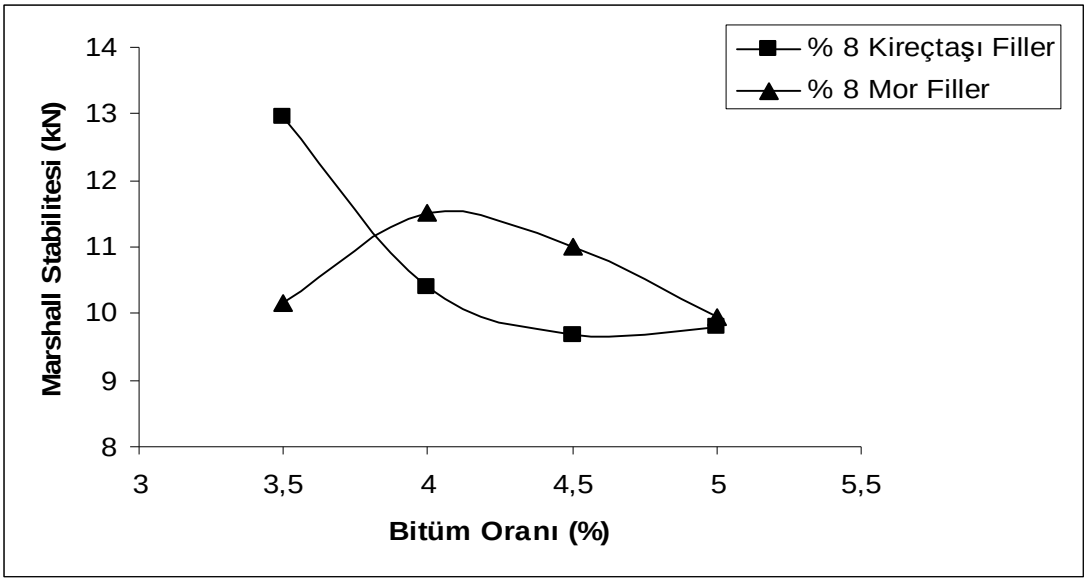
Elde edilen sonuçlara göre % 4, % 6 ve % 8 filler içeren karışımlar incelendiğinde mor filler ile yapılan karışımın stabilitesinin kireçtaşı filler ile yapılan karışımın stabilitesinden daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3). Aynı zamanda bitüm yüzdesinin artmasıyla her iki filler ile yapılan karışımlarda da stabilitenin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.4 ve 4.5). Mor filler ile yapılan karışımlarda bitüm oranı arttıkça Marshall stabilitesi artmakta ve bir maksimumu geçtikten sonra düşmektedir (Şekil 4.5). Ancak incelemiş olduğumuz bitüm oranlarında % 4 ve % 8 kireçtaşı filler ile yapılan karışımların stabilitesinin maksimum yaptığı değeri bulmak için farklı bitüm oranı içeren karışımların hazırlanması gerektiği anlaşılmıştır.



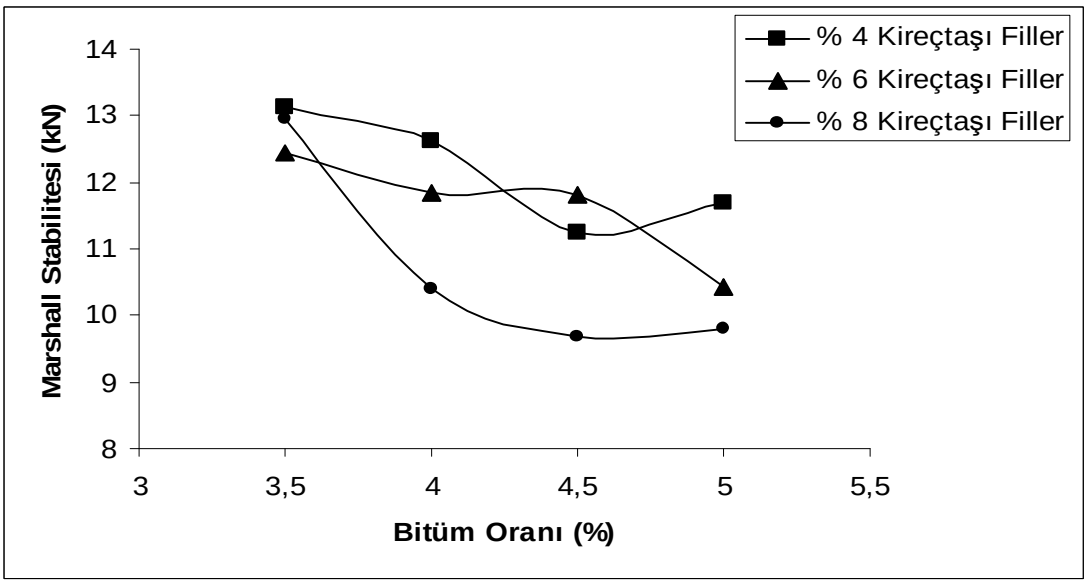
Şekil 4.1. % 4 filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi



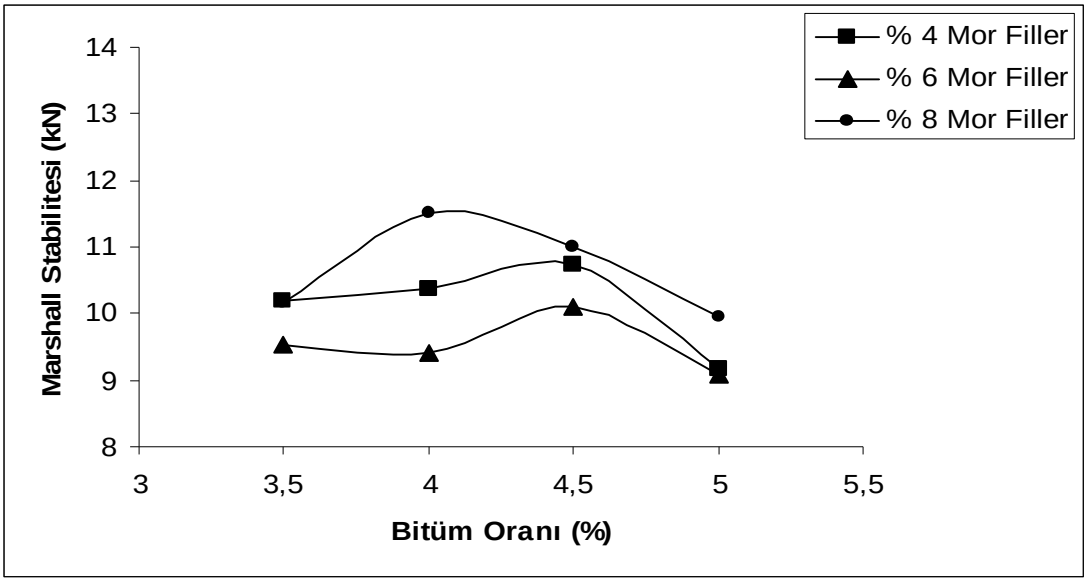
Şekil 4.2. % 6 filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.3. % 8 filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.4. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi

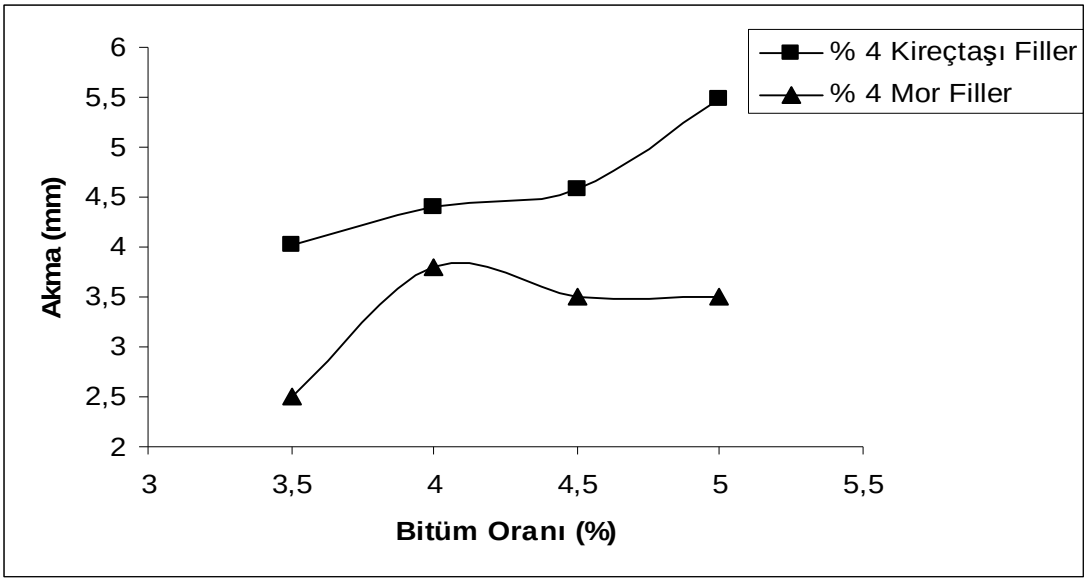


Şekil 4.5. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların stabilite-bitüm oranı ilişkisi

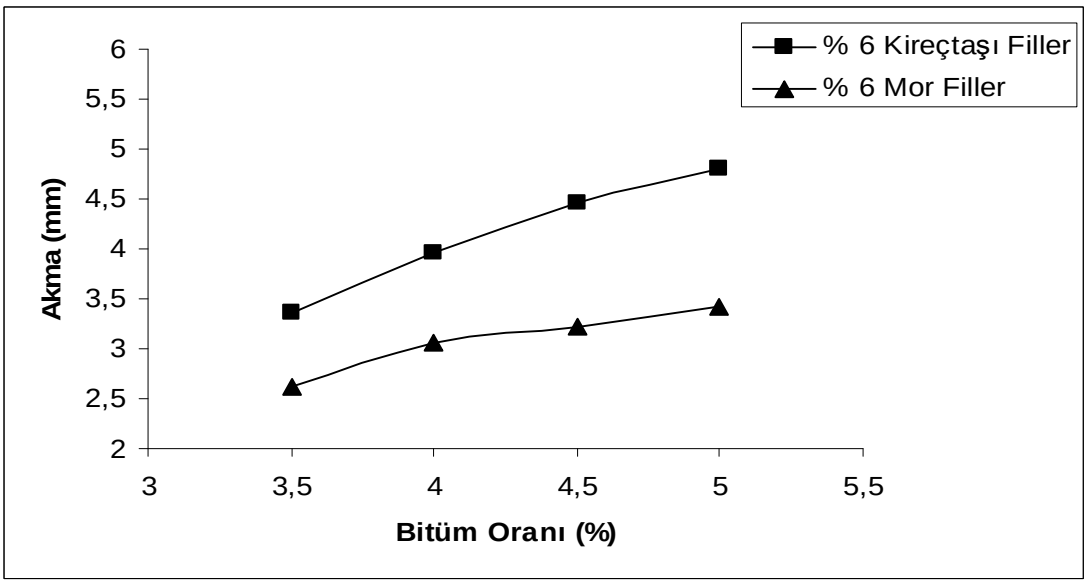
4.2. Akma Değerlerinin Karşılaştırılması

Akma değeri beton asfalt kaplamaların trafik yükleri altındaki davranışlarını belirleyen, beton asfaltların plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan bir değeridir. Marshall numunelerinin kırıldığı yüke tekabül eden deformasyonunu temsil eden akmanın değeri sıkışmış karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır. Şartnamelerde belirtilen en yüksek akma değeri, karışımın plastikliğini ve kullanılabilecek en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değeri ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını kontrol eder. Şartnamelerde akmanın 10-20 (1/100 inç' lik akma 1 birim sayılır) arasında olması istenir (Umar ve Ağar, 1991).

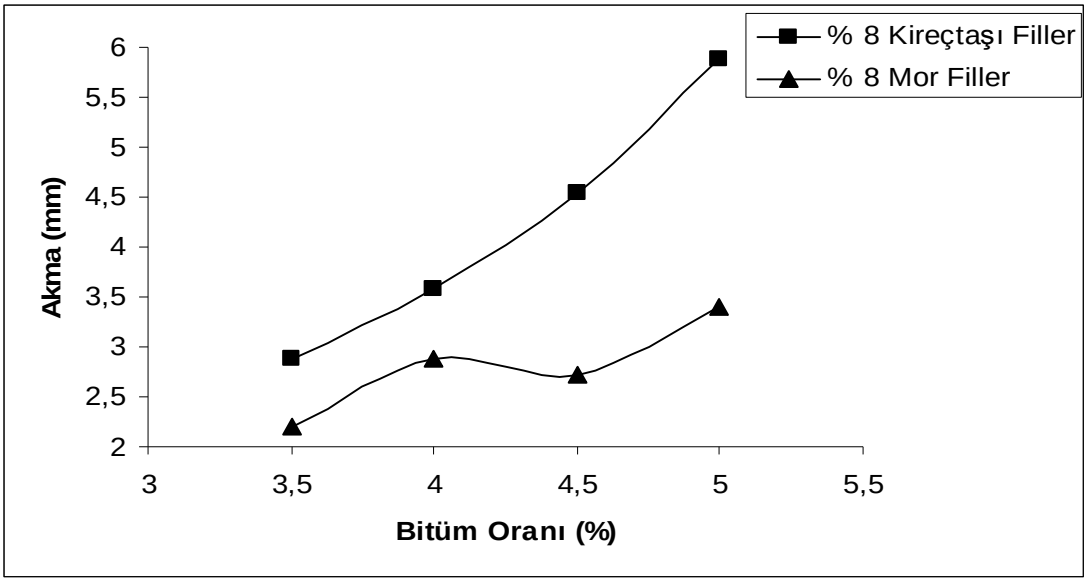
Elde edilen sonuçlara göre % 4, % 6 ve % 8 filler içeren karışımlar incelendiğinde mor filler ile yapılan karışımın akma değeri kireçtaşı filler ile yapılan karışımın akma değerinden daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8). Aynı zamanda bitüm yüzdesinin artmasıyla her iki filler ile yapılan karışımda da akmanın arttığı görülmektedir (Şekil 4.9 ve 4.10). Mor filler ile yapılan karışımlarda akma değerleri şartname sınırları içerisinde kalmaktadır.



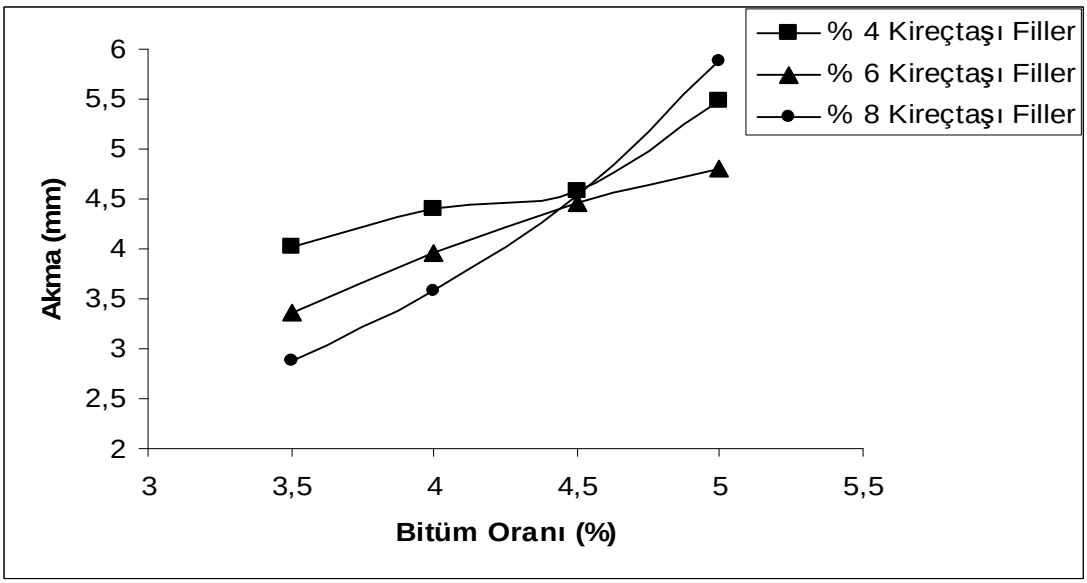
Şekil 4.6. % 4 filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi



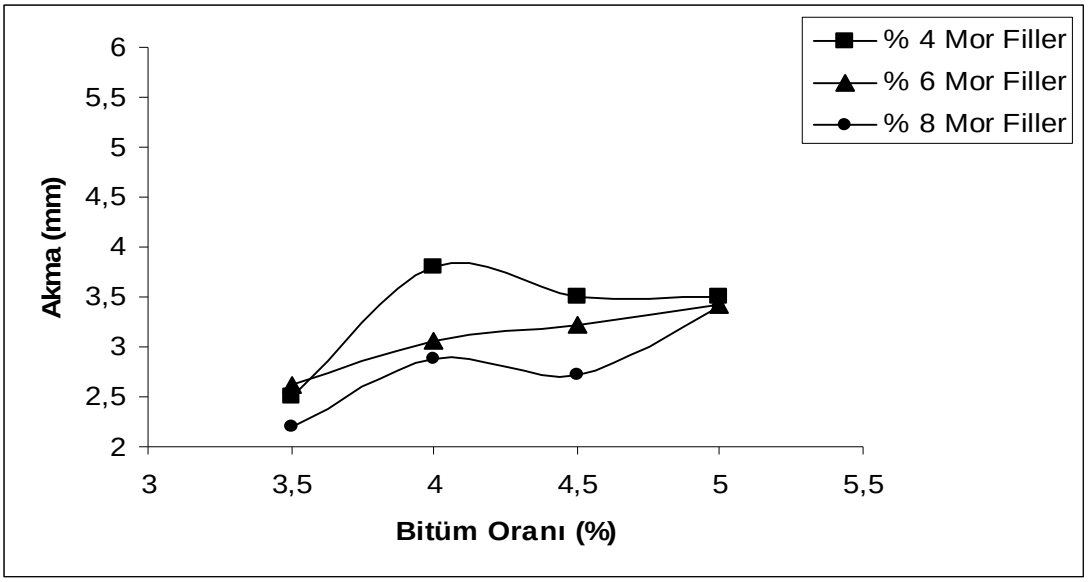
Şekil 4.7. % 6 filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.8. % 8 filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi



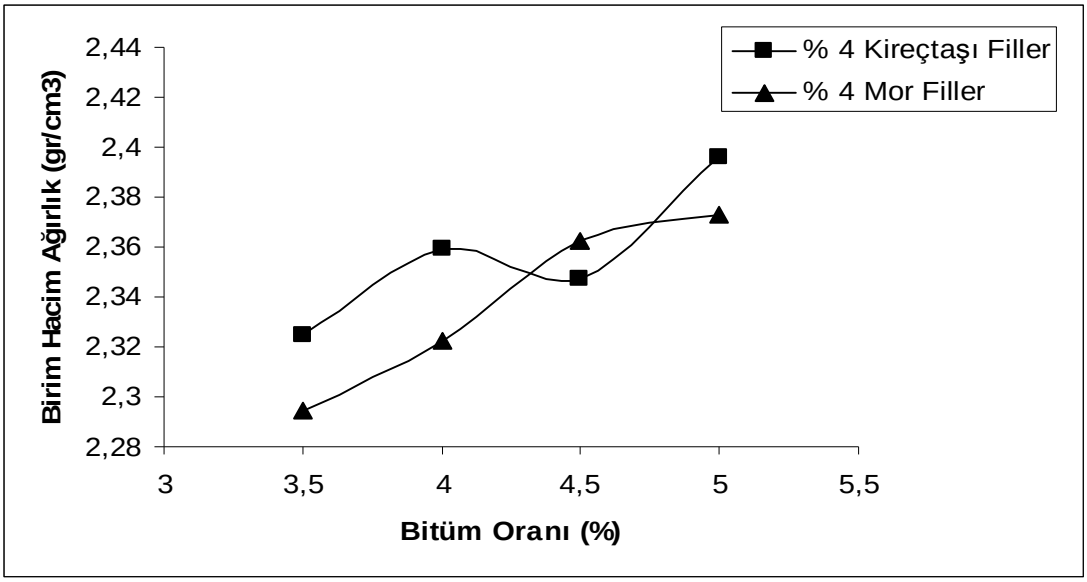
Şekil 4.9. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi



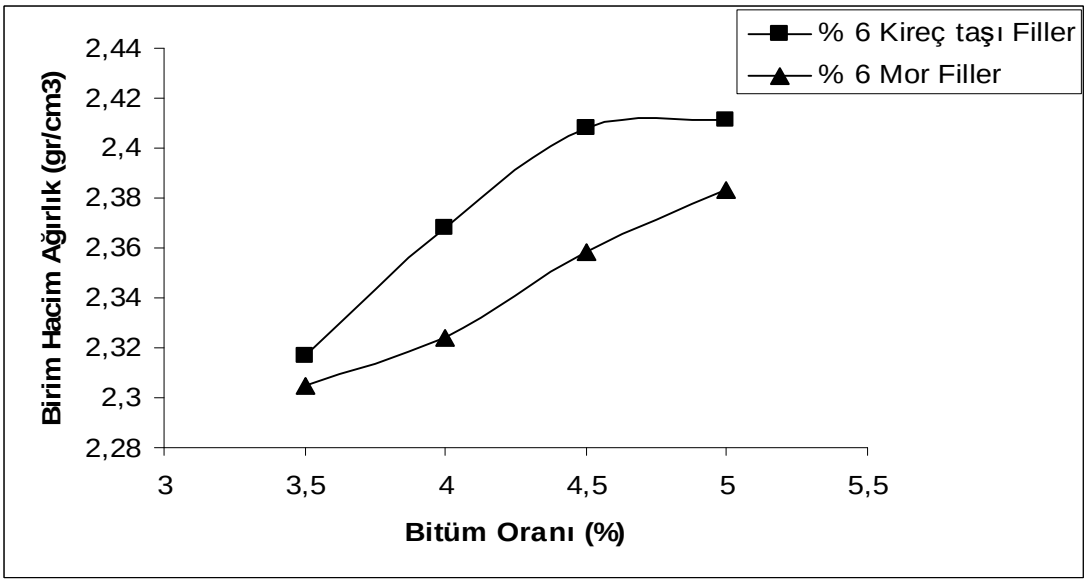
Şekil 4.10. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların akma-bitüm oranı ilişkisi

4.3. Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması

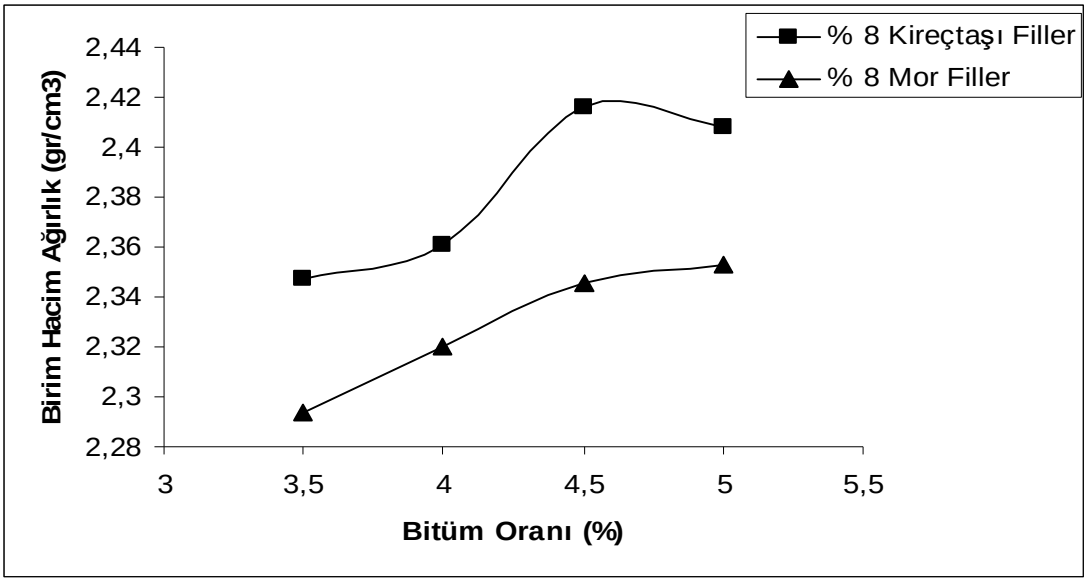
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kireçtaşı filler ile yapılan karışımın mor filler ile yapılan karışıma nazaran birim hacim ağırlığının daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13). Birim hacim ağırlık değeri bitüm oranı ile artmakta ve maksimum yaptıktan sonra tekrar düşmesi gerekmektedir. Grafiklere genel olarak bakıldığında % 4 kireçtaşı filler ile yapılan karışım hariç diğer karışımlardaki değerlerin belli bir değerde maksimuma ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.14 ve 4.15). Bitüm oranı % 5,5-6 olan karışımların hazırlandığında maksimumdan sonra düşüş olabileceği görülmektedir.



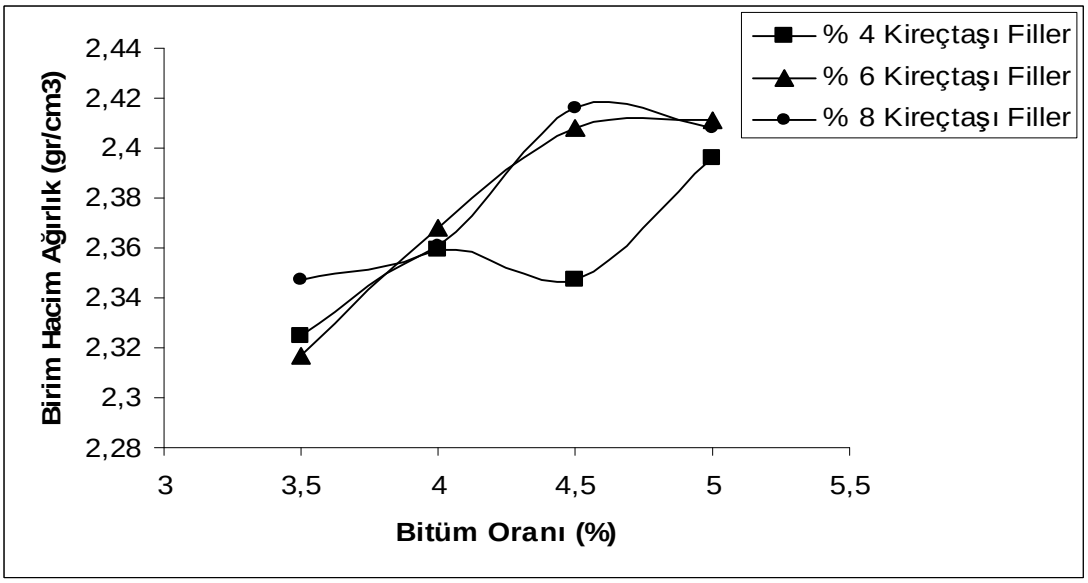
Şekil 4.11. % 4 filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi



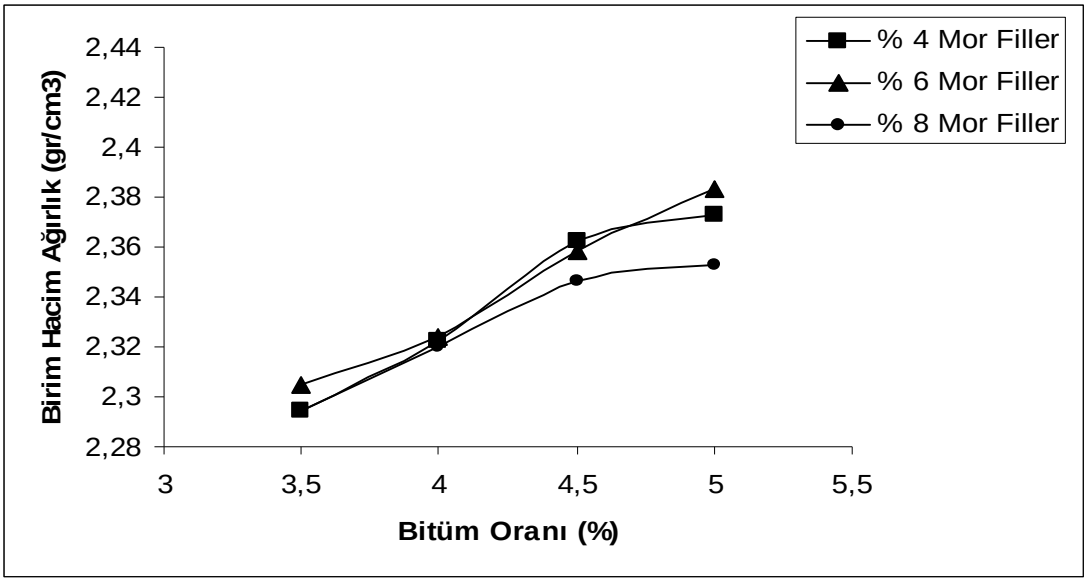
Şekil 4.12. % 6 filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.13. % 8 filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi



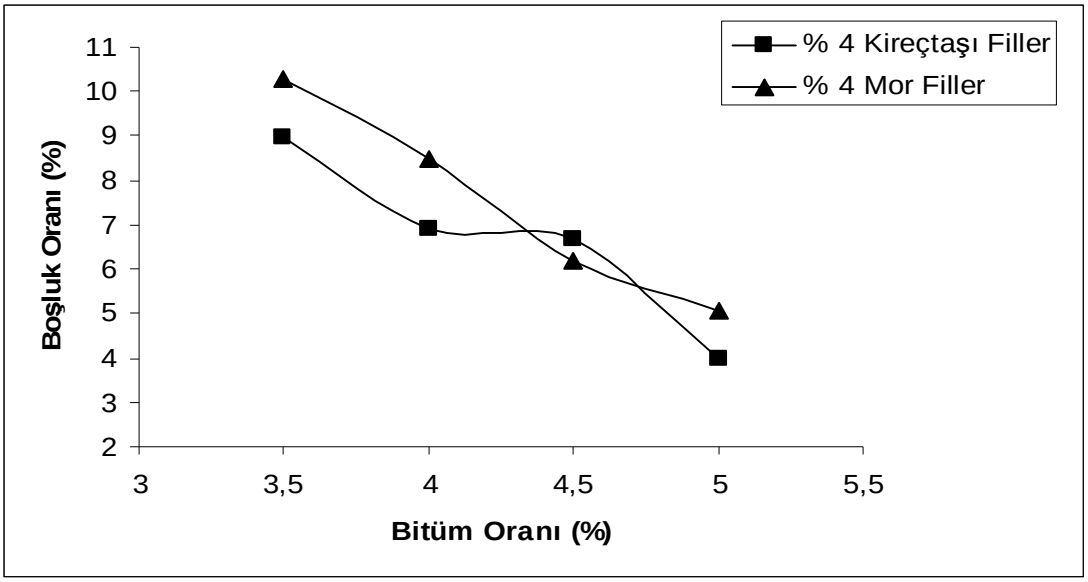
Şekil 4.14. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi



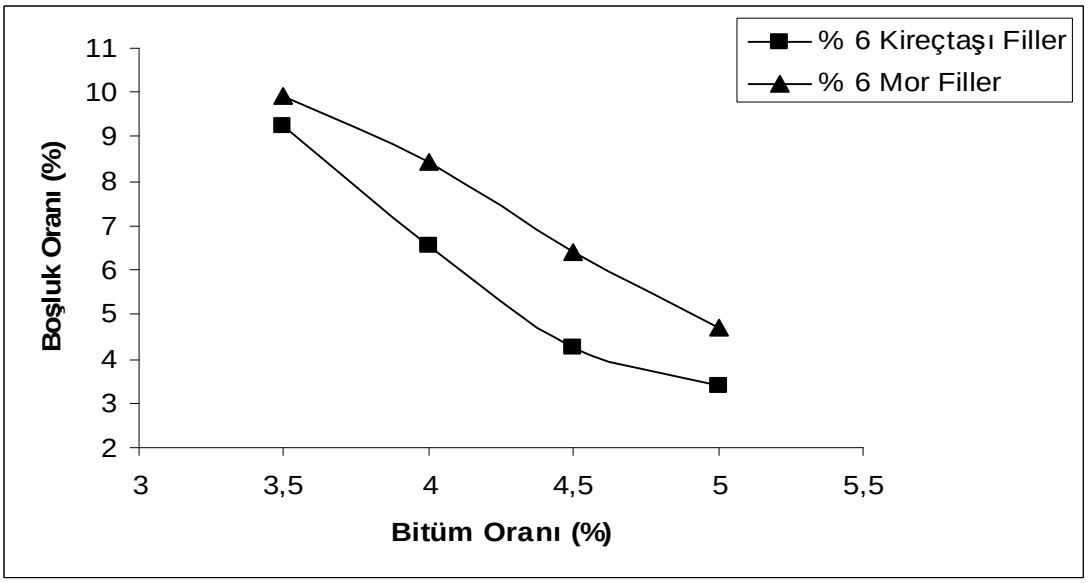
Şekil 4.15. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların BHA-bitüm oranı ilişkisi

4.4. Boşluk Oranı Değerlerinin Karşılaştırılması

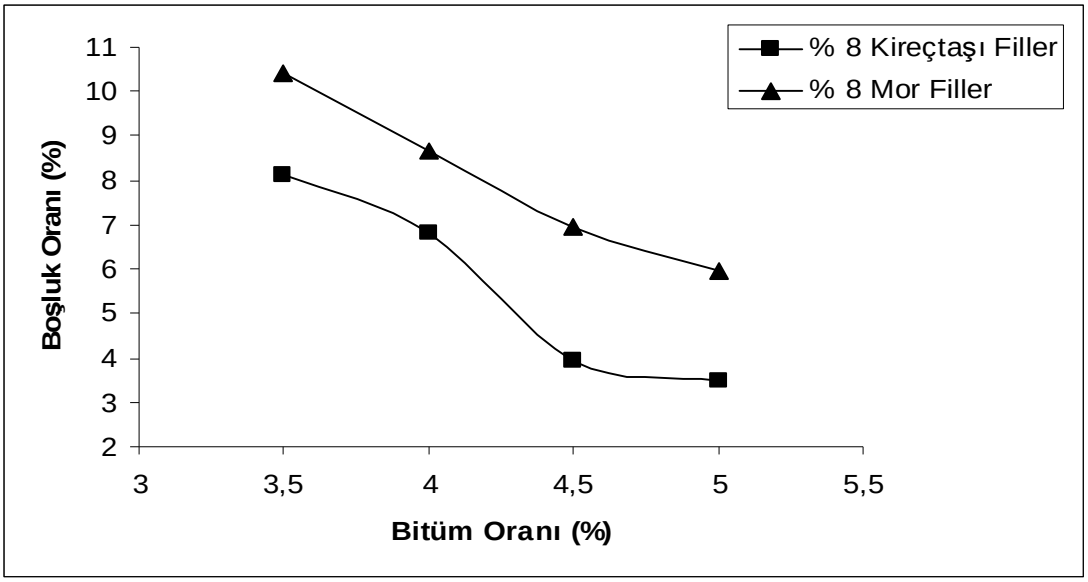
Boşluk yüzdesi bitüm oranının artmasıyla azalma göstermekte ve en sonunda minimum boşluk oranına yaklaşmaktadır. Şartname dizayn kriterlerine göre boşluk oranı yüzdesi 4 ila 6 arasında olması istenilmektedir. Grafikler incelendiğinde şartnameye uygun olan değerler % 5 bitüm içeren karışımlarda sağlanmaktadır. Mor filler ile yapılan karışımlar daha fazla boşluk yüzdesine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18). Genel grafiklerde bakıldığında ise değişik filler oranlarındaki karışımlarda boşluk yüzdeleri çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.19 ve 4.20).



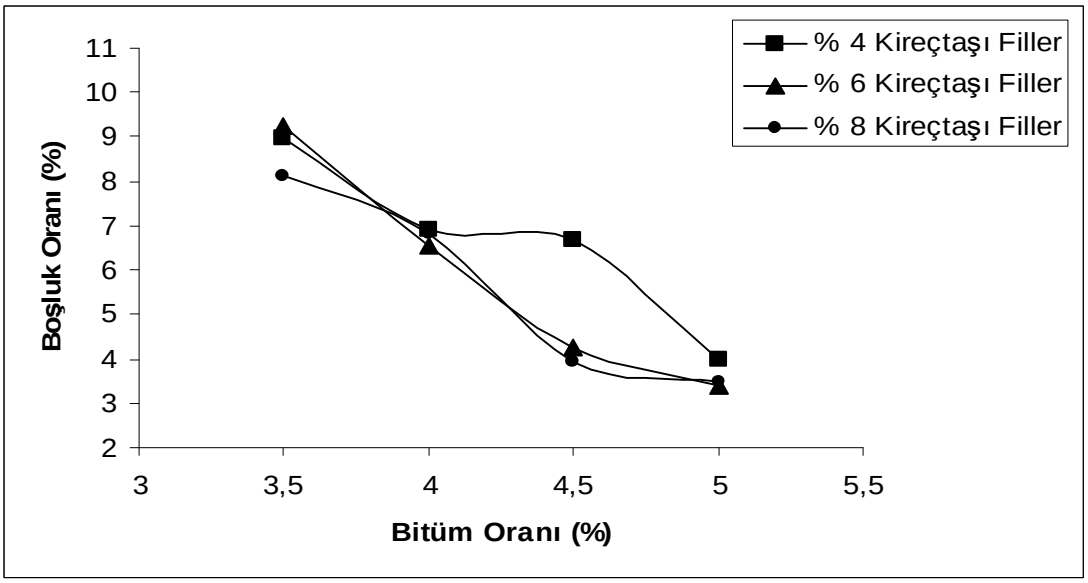
Şekil 4.16. % 4 filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi



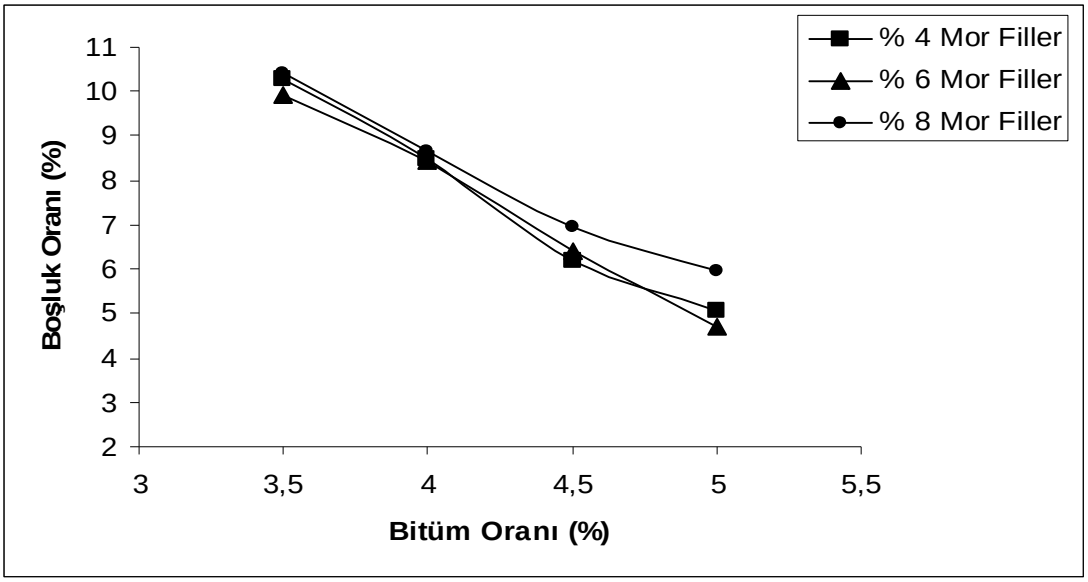
Şekil 4.17. % 6 filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.18. % 8 filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi



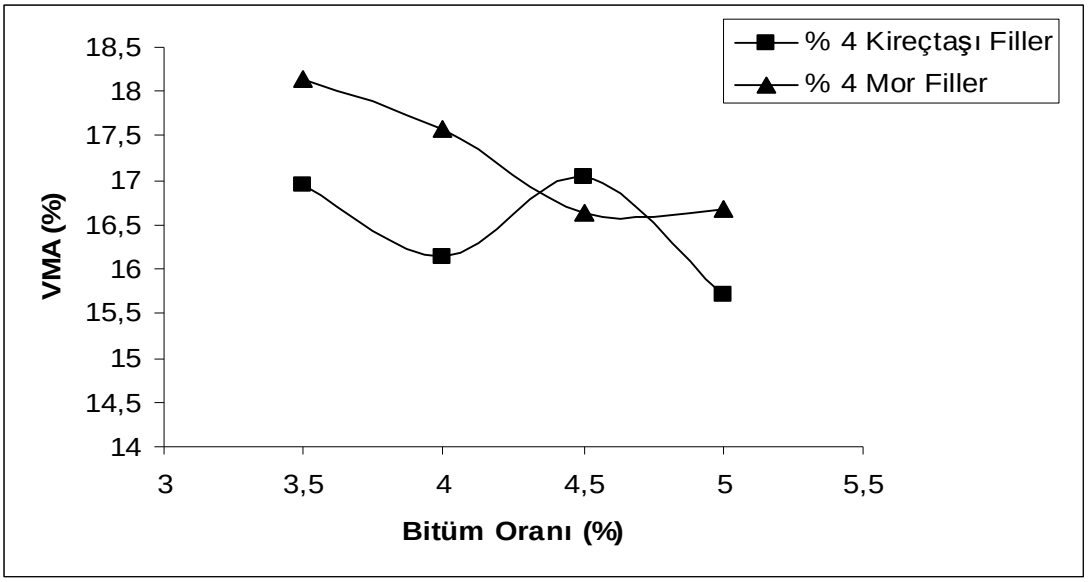
Şekil 4.19. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi



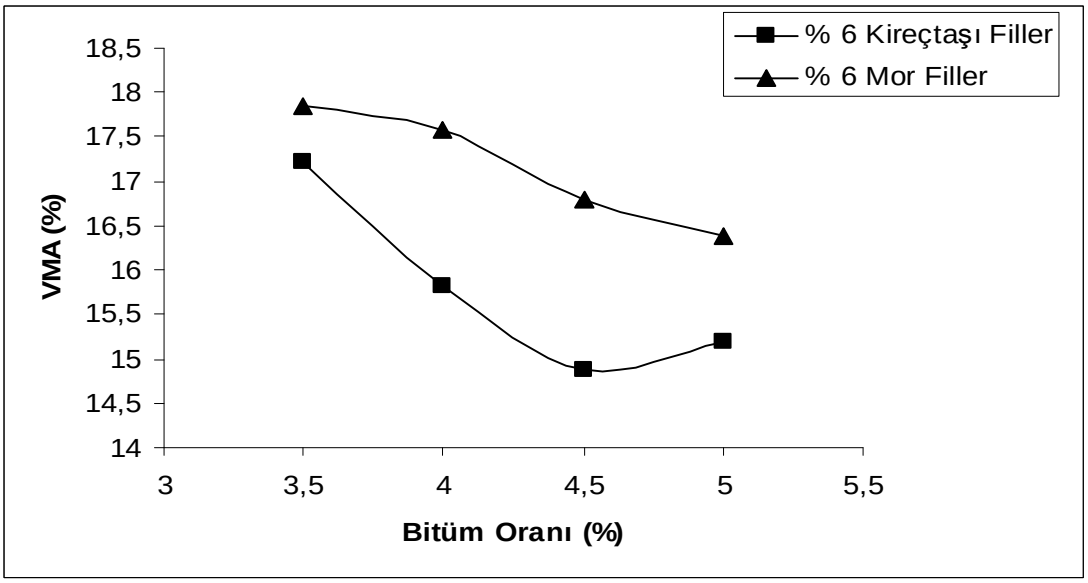
Şekil 4.20. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların boşluk-bitüm oranı ilişkisi

4.5. Agrega İçerisindeki Boşluk (VMA) Değerlerinin Karşılaştırılması

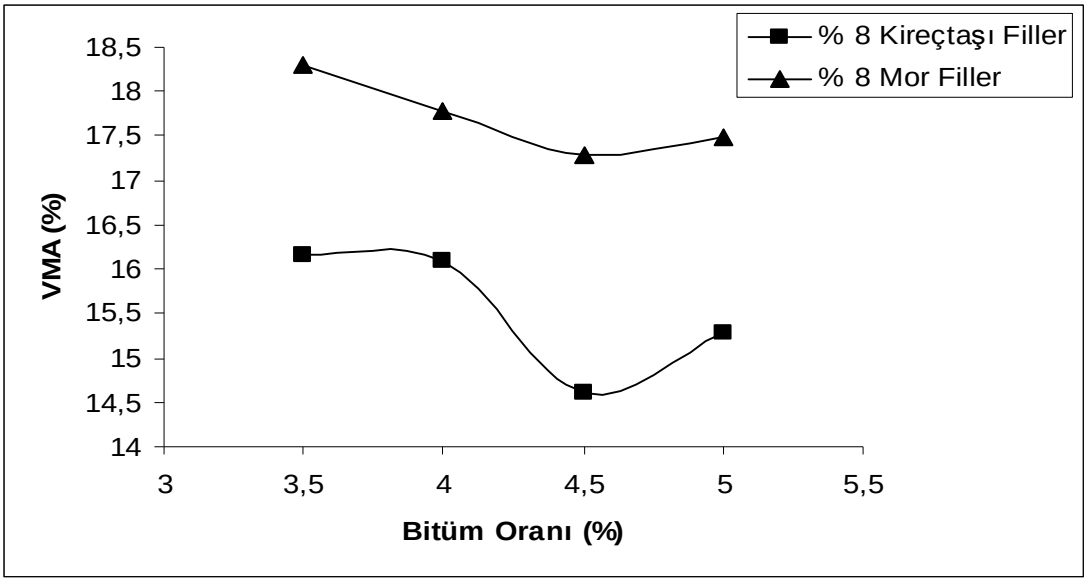
Agrega içerisindeki boşluklar, VMA, toplam hacmin bir yüzdesi olarak ifade edilen, efektif bitüm içeriği ile hava boşluklarını içeren sıkıştırılmış bir kaplama karışımı içerisindeki agrega daneleri arasında bulunan danecikler arası boş alanlar olarak tanımlanmaktadır (Asfalt El Kitabı, 2002). VMA genellikle bir minimum değere inmekte ve daha sonra bitüm içeriğiyle birlikte artış göstermektedir. Elde edilen değerlere göre mor filler ile yapılan karışımların VMA yüzdesi kireçtaşı filler ile yapılan karışımların VMA yüzdesine nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. % 6 ve % 8 filler ile yapılan karışımlar incelendiğinde % 4,5 bitüm oranında VMA değeri minimum değerine ulaşmaktadır (Şekil 4.22 ve 4.23). Ancak % 4 kireçtaşı filler ile yapılan karışımda net olmamakla birlikte % 5 bitüm oranına sahip karışımda minimum yaptığı görülmektedir (Şekil 4.21). Değişik filler oranındaki karışımlarda VMA değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.24 ve 4.25).



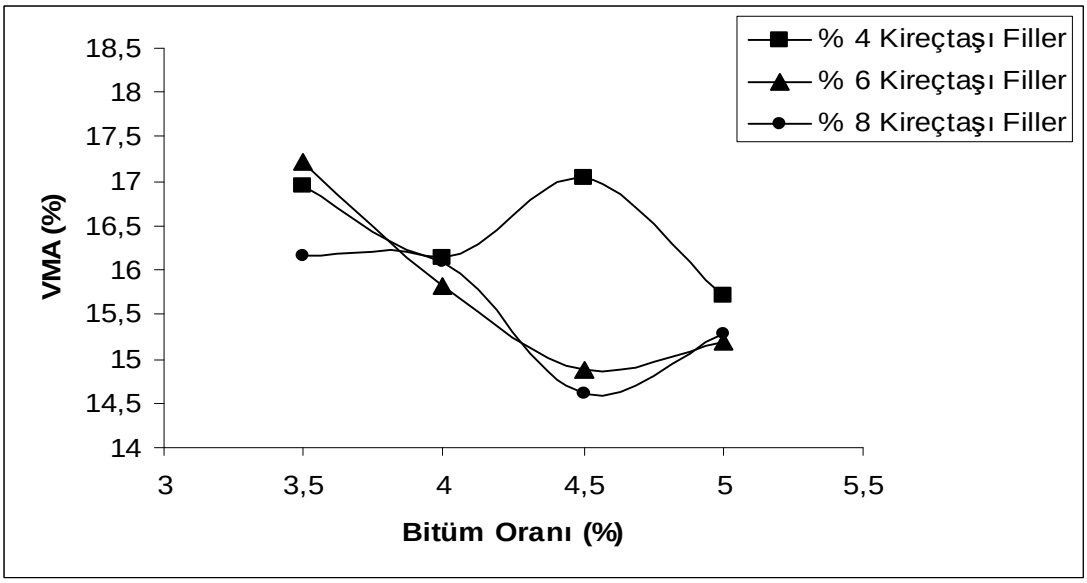
Şekil 4.21. % 4 filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi



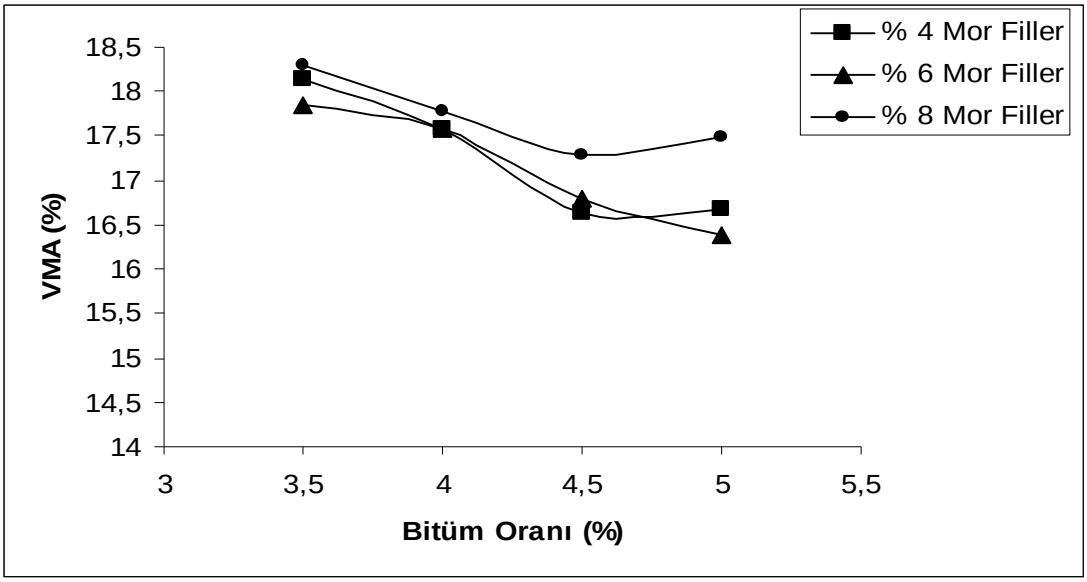
Şekil 4.22. % 6 filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.23. % 8 filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi



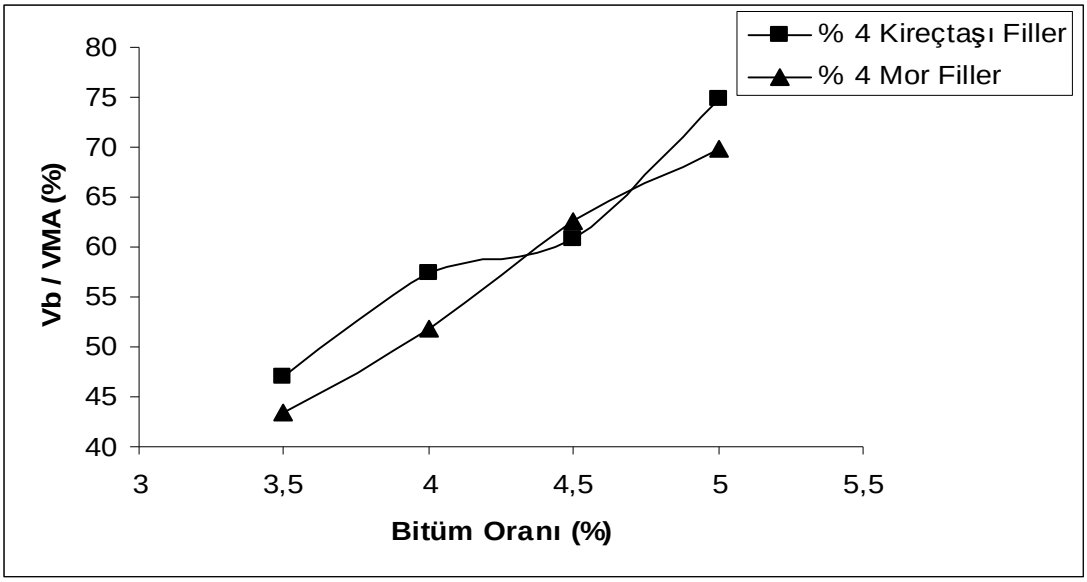
Şekil 4.24. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi



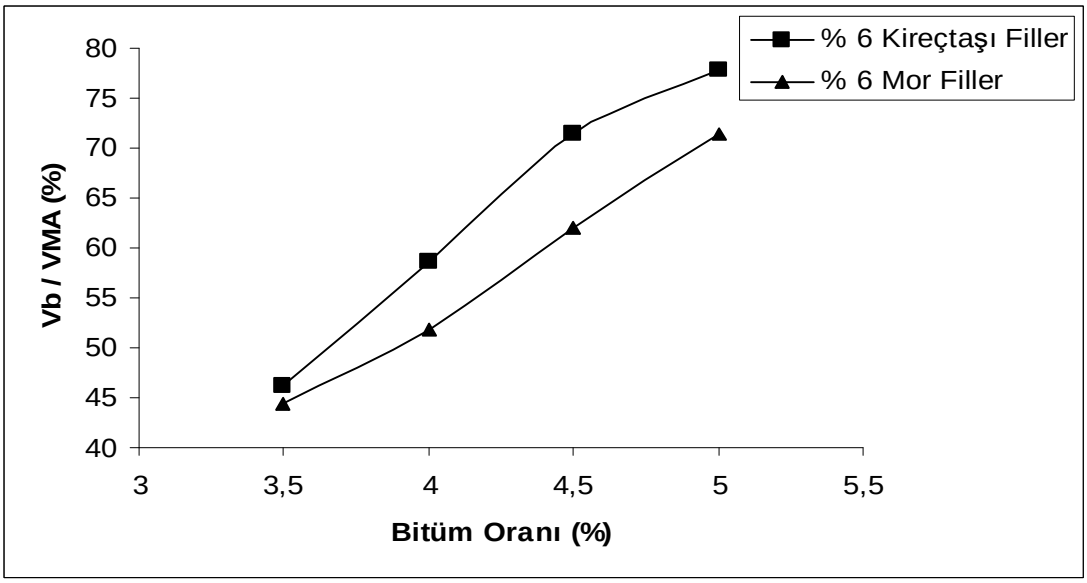
Şekil 4.25. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların VMA-bitüm oranı ilişkisi

4.6. Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (V_b/VMA) Değerlerinin Karşılaştırılması

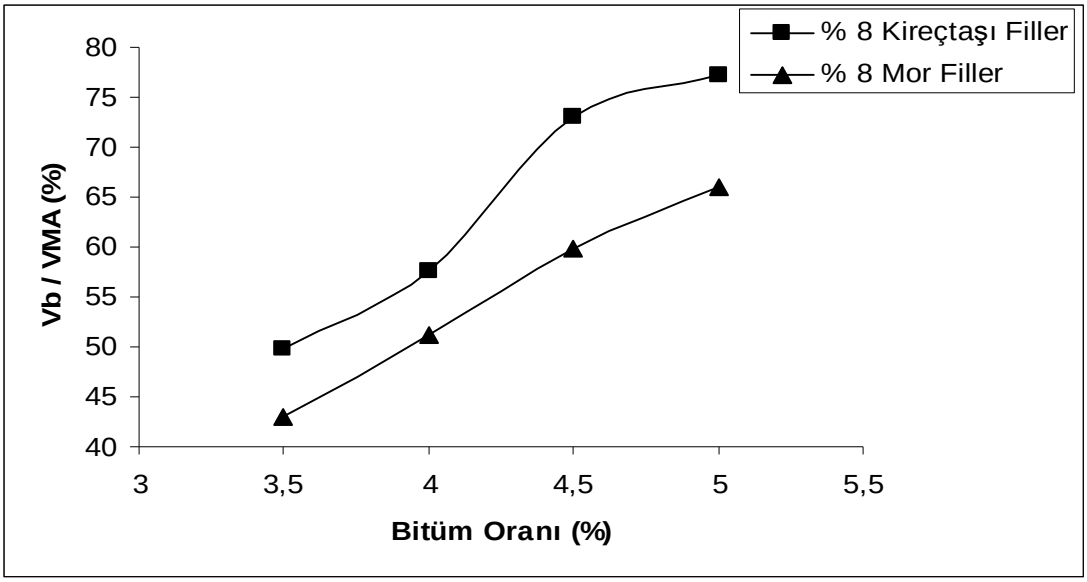
Bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk, daneler arası boşluğun bitümlü bağlayıcı ile dolu yüzdesidir. Elde edilen sonuçlara göre kireçtaşı filler ile yapılan karışımların mor filler ile yapılan karışımlara nazaran daha fazla bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28). Aynı zamanda her iki filler ile yapılan karışımlarda da bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdeleri, bitüm yüzdesinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Mor filler ile yapılan karışımların bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdeleri her üç filler oranında da çok yakın değerler gösterirken (Şekil 4.30) kireçtaşı filler ile yapılan karışımlarda ise % 4 filler oranına sahip karışımın diğer ikisinden farklı değerler aldığı görülmektedir (Şekil 4.29).



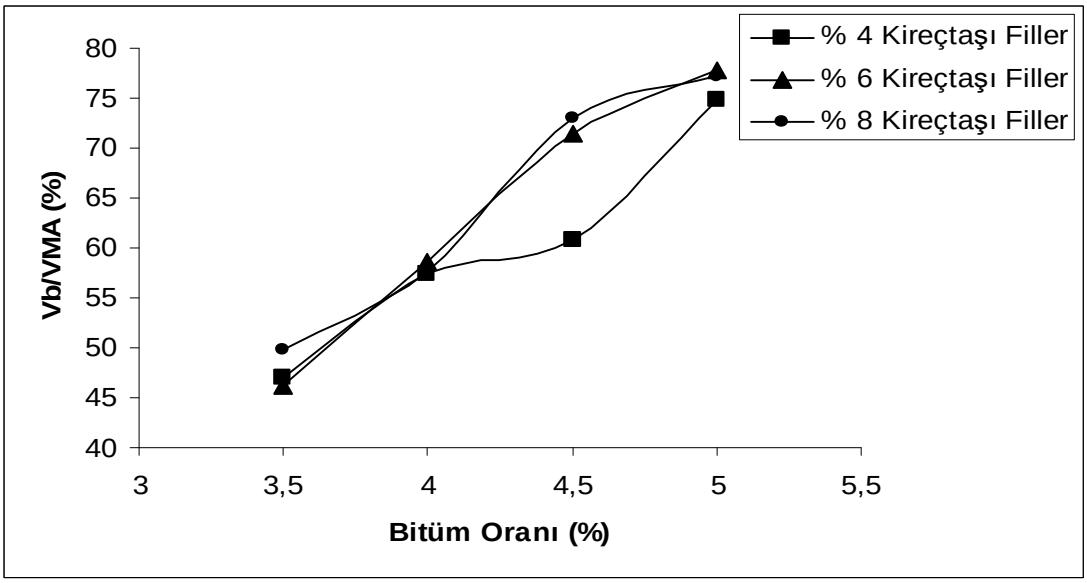
Şekil 4.26. % 4 filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi



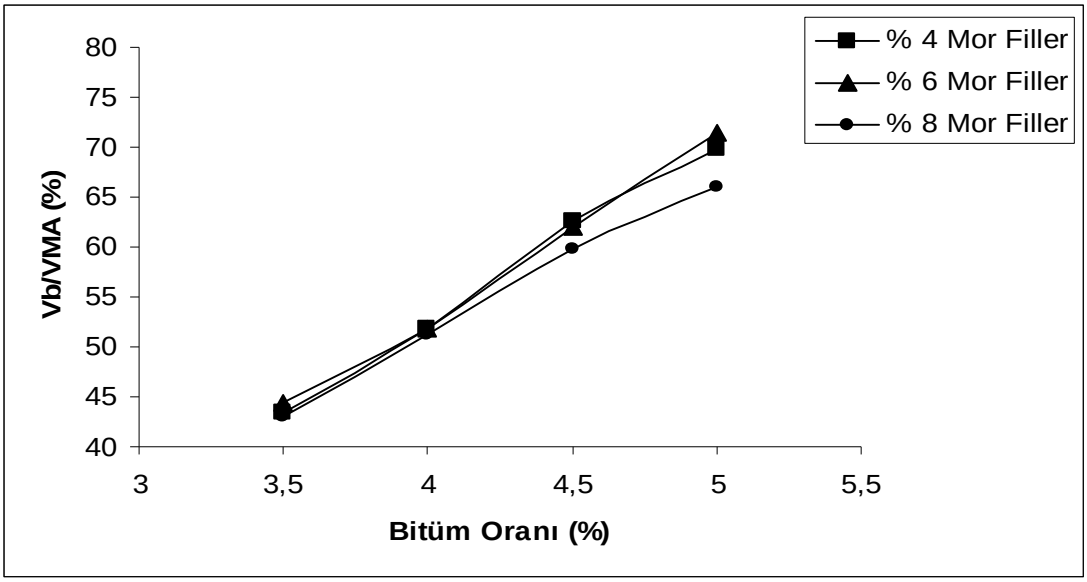
Şekil 4.27. % 6 filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.28. % 8 filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.29. % 4, 6 ve 8 kireçtaşı filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi



Şekil 4.30. % 4, 6 ve 8 mor filler oranına sahip karışımların V_b/VMA-bitüm oranı ilişkisi

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmanın sonuçları maddeler halinde şu şekilde özetlenebilir.

- Filler olarak kireçtaşı tozu yerine mor fillerin kullanılması Marshall deney sonuçları dikkate alındığında farklılık olduğu görülmektedir.
- Farklı oranlardaki mor filler ile yapılan karışımlarda Marshall stabilitesi değerleri, kireçtaşı filler ile yapılan karışımlara nazaran düşük olmasına rağmen kararlılık göstermekte ve şartname kritelerine uymaktadır.
- Akma, kaplamadaki deformasyonu ifade ettiği için mor filler ile yapılan karışımların akma değerindeki düşme istenilen bir durumdur.
- Mor filler ile yapılan karışımlarda boşluk yüzdesi daha fazladır. Bu durum karışım sırasında mor fillerin bitümü daha çabuk absorbe etmesinden kaynaklanmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Carboniferous-Triassic kayaçları doğada bol miktarda bulunmasından dolayı kireçtaşı yerine kullanılabilir.
- Çalışmada kullanılan filler ve bitüm oranlarında bazı değerlerin tam elde edilememesinden dolayı % 3, % 5,5, % 6 ve % 6,5 bitüm oranlarda karışımlar hazırlanarak yeni çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.
- Mor fillerin bitümlü sıcak karışıma kimyasal reaksiyon açısından etkisi incelenebilir.
- Mor fillerin bitümlü sıcak karışımların dayanıklılığına etkilerinin değerlendirilmesine yönelik yeni ve geniş kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

6. KAYNAKLAR

1. Abraham, H. (1945), Asphalts and Allied Substances, Their Occurrence, Modes of Production, Uses in the Arts and Methods of Testing, Fifth edition, vol 1, D van Nostrand Company.

2. Acar, S.O., Tapkın, S., (1998), Portland Çimentosu Kullanılarak Hazırlanan Marshall Numunelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Asfalt' 98, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara

3. Ağar, E. ve Umar, F., (1991), Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbası, İstanbul.

4. Akili, W., Courval, D.J., (1987), Rheological Properties of Sulfur Asphalt Binders with Fillers Determined by The Sliding Plate Rheometer, ASTM Special Technical Publication 941. Publ by ASTM, Philadelphia, PA, USA, p 166-178.

5. Albayrak, A., (1975), Beton Asfalt Karışımlarının Deformasyona Karşı Dirençlerine Etkiyen Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karayolları Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü, Ankara.

6. Anderson, D,A., Dongre, R., Christensen, D,W III, and Dukatz, E.L., (1992), Effect of Minus No. 200-sized Aggregate on Fracture Behavior of Dense-Graded Hot-Mix Asphalt, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance: ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, s 154-158.

7. Chen, J.S., Shiuh, P. ve Chun. H., (1998), Analyses of Tensile Failure Properties of Asphalt-Mineral Filler Mastics, Journal of Materials in Civil Engineering, Natl Cheng-Kung Univ, Tainan, Taiwan.

8. Cooper, K.E., Brown, S.F. ve Pooley, G.R., (1985), The Design of Agrega Grandings for Asphalt Basecourses, V.54, Journal of the AAPT, From Proceedings of Technica Sessions.

9. Çelik, M. and Karakaya N., (1999), Mineralogy ana Geochemistry of Carboniferous-Triassic Detrital Rocks of Kadınhanı, Berichte Der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Selçuk University, Department of Geology Engineering, Konya, s. 49.

10. Çelik, O.N., (2000), Atık Parçalanmış Otomobil Lastiği ile Modifiye Edilmiş Bağlayıcılarla Yapılmış Asfalt Betonunun Sünme Davranışı, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, IV. Uluslararası Kongre, 1-3 Kasım, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimagusa, KKTC.

11. Dukatz, E.L., Anderson, D.A., (1970), The Effect of Various Fillers on The Mechanical Behavior of Asphalt and Asphaltic Concrete, Vol:38:46-58.

12. Guirguis, H.R., Daoud, O.E.K. ve Hamdani, S.K., (1990), Asphalt Concrete Mixtures Made With Cement-Coated Aggregates, Transportation Research Record.

13. Güngör, M.M., (1996), Afşin Elbistan Uçucu Külünün Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi Elazığ.

14. Ilıcalı, M., Tayfur, S. ve Sönmez, İ., (2001), Karayolu Üstyapısında Kullanılan Malzemeler ve Uygulanan Deneyler, Asfalt ve Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı, İstanbul.

15. Ishai, I., Graus, J., Sides, A., (1980), A Model for Relating Filler Properties to Optimal Behavior of Bituminous Mixtures, Proc.Assosiation of Asphalt Paving Technologists. Vol:49:416-436.

16. İsfalt A.Ş., (2002), Asfalt El Kitabı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.

17. Kahramangil, M., Önal, M. A., (1993), Deneyler, Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı, Karayolları Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

18. Kaya, A. (2004), Bitümlü Sıcak Karışımlara Uygulanan Deneyler, Yüksek Lisans Semineri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.

19. Keçeciler, A.F., Akkol, G., Gümrükçüoğlu, A., ve Gökçe, A.F., (1990), Bitümlü Malzemeler Laboratuar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

20. Knight, V.A., Dowdeswell, D.A. ve Brien, D., (1979), Designing Rolled Asphalt Wearing Courses to Resist Deformation, In Rolled Asphalt Road Surfacings, ICE, Londra.

21. Kumbasar, V., Kumbasar F. ve Önalp A., (1970), Yol Mühendisleri için Zemin Mekaniği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbası, İstanbul.

22. Mogawer, W. S., Stuart, K.D., (1996), Effect of Mineral Fillers on Properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures, Transportation-Research-Record. N 1530, P 86-94.

23. Önal, M.A., Aray, S. Ve Aşık, İ., (1996), Yüksek Plastisiteli Fillerin Bitümlü Sıcak Karışımların Kohezyonuna Etkisi, I. Ulusal Asfalt Sempozyumu, s.90-102, Ankara.

24. Önalp, A.; (1983), İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

25. Puzinauskas, V.P., (1983), Filler in Asphalt Mixtures, The Asphalt Institute, Research Report No: 69/2, Maryland, USA.

26. Sayed, M.H., Madany, İ.M. ve Buali, R.M., (1995), Use of sewage sludge ash in asphaltic paving mixtures in hot regions, Construction and Building Materials. V9 n1, pp 19-23.

27. Shahrour, A. M., Saloukeh, G,B., (1992), Effect of Quality and Quantity of Locally Produced Filler (Passing Sieve No. 200) on Asphalt Mixtures in Dubai, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance: ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, s 187-208.

28. Suhaibani, A., Mudaiheem. J., Fozan, F., (1992), Effect of Filler Type and Content on Properties of Asphalt Concrete, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance: ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, s 107-130.

29. TCK Yollar Fenni Şartnamesi, (1994), Agrega Granülometri Şartnamesi, Karayolları Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

30. Terrel, R.L., Wang, C.K., (1971), Early Curing Behaviour of Cement Modified Asphalt Emulsion Mixtures, Proc., AAPT, Vol. 40, pp. 108-125.

31. The Shell Bitumen Handbook, (1990), Mechanical Testing Of Bituminious Mixes, Part 14.

32. TS 1083, (1972), Yol Üstyapılarında Kullanılan Sıvı Petrol Asfaltları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

33. TS 1084, (1972), Yol Üstyapılarında Kullanılan Katranlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

34. TS 3526, (1980), Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Ankara.

35. TS 3655, (1981), Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini, Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Ankara.

36. TS 3694, (1981), Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Tayini, Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Ankara.

37. Tyson, S.S. PE., (1993), Present and Future Use of Coal Ash in Construction, Utilization of Industrial By Products for Construction Materials Proc. ASCE Natl. Conc. Expo., Publ be ASCE, New York, NY, USA. p 1-14.

38. Yağız, F., Keçeciler, A.F., Işıksalan, C. ve Akkol, G., (1967), Bitümlü Malzemeler, İş Matbacılık ve Ticaret, Ankara.

EK - A

% 4 Kireçtaşı filler içeren karışımlar

Numune No	Filler Oranı	Bitüm Oranı	Numune Yükseklileri (cm)				Havadaki Ağırlığı	Sudaki Ağırlığı	Birim Hacim Ağırlığı		Agrega Özgül Ağırlığı	Teorik Birim Hacim Ağırlık	Boşluk Oranı (%) (V)	Bitümlü Bağlayıcı Hacmi Yüzdesi (Vb)	Agrega Hacmi Yüzdesi (Vag)	Agrega İçindeki Boşluk (%) (VMA)	Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (%) (Vb/VMA)	Akma (mm)	Okunan Marshall Stabilitesi (kN)	Düzeltme Katsayısı	Düzeltilmiş Marshall Stabilitesi (kN)
			h_1	h_2	h_3	h_{ort}			D_1	D_2											
1	4	3,5	6,48	6,50	6,50	6,49	1234,0	727,0	2,434	2,344								4,37	14,72	0,96	14,13
2	4	3,5	6,49	6,42	6,43	6,45	1221,5	715,0	2,412	2,337								2,85	12,67	0,97	12,29
3	4	3,5	6,60	6,61	6,60	6,60	1243,5	731,0	2,426	2,323								4,79	14,14	0,94	13,29
4	4	3,5	6,53	6,46	6,50	6,50	1209,5	703,0	2,388	2,296								4,08	13,28	0,96	12,75
Ortalama									2,415	2,325	2,701	2,554	8,963	7,978	83,069	16,941	47,093	4,02	13,70		13,12
1	4	4	6,41	6,41	6,44	6,42	1241,0	732,0	2,438	2,384								4,50	13,67	0,98	13,40
2	4	4	6,49	6,44	6,43	6,45	1232,0	722,5	2,418	2,355								4,70	13,07	0,97	12,68
3	4	4	6,60	6,59	6,54	6,58	1244,0	733,0	2,434	2,333								4,89	13,31	0,95	12,64
4	4	4	6,52	6,50	6,49	6,50	1247,0	729,5	2,410	2,365								3,56	12,28	0,96	11,79
Ortalama									2,425	2,359	2,701	2,534	6,893	9,252	83,856	16,145	57,307	4,41	13,08		12,63
1	4	4,5	6,59	6,48	6,59	6,55	1246,0	731,5	2,422	2,345								5,06	11,68	0,95	11,10
2	4	4,5	6,37	6,36	6,35	6,36	1193,5	698,5	2,411	2,315								5,59	11,06	1,00	11,06
3	4	4,5	6,47	6,47	6,50	6,48	1246,5	736,5	2,444	2,373								4,45	12,40	0,97	12,03
4	4	4,5	6,51	6,48	6,59	6,53	1246,5	729,5	2,411	2,356								3,20	11,28	0,96	10,83
Ortalama									2,422	2,347	2,701	2,515	6,677	10,355	82,986	17,032	60,796	4,58	11,61		11,25
1	4	5	6,61	6,51	6,52	6,55	1256,0	738,5	2,427	2,366								5,37	10,55	0,95	10,02
2	4	5	6,49	6,45	6,43	6,46	1252,5	736,5	2,427	2,393								5,83	11,42	0,97	11,08
3	4	5	6,37	6,43	6,40	6,40	1248,5	738,0	2,446	2,406								4,50	11,75	0,99	11,63
4	4	5	6,42	6,35	6,42	6,40	1254,5	744,0	2,457	2,419								6,26	14,15	0,99	14,01
Ortalama									2,439	2,396	2,701	2,495	3,964	11,746	84,276	15,710	74,767	5,49	11,97		11,69

% 6 Kireçtaşı filler içeren karışımlar

Numune No	Filler Oranı	Bitüm Oranı	Numune Yükseklileri (cm)				Havadaki Ağırlığı	Sudaki Ağırlığı	Birim Hacim Ağırlığı		Agrega Özgül Ağırlığı	Teorik Birim Hacim Ağırlık	Boşluk Oranı (%) (V)	Bitümlü Bağlayıcı Hacmi Yüzdesi (Vb)	Agrega Hacmi Yüzdesi (Vag)	Agrega İçindeki Boşluk (%) (VMA)	Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (%) (Vb/VMA)	Akma (mm)	Okunan Marshall Stabilitesi (kN)	Düzeltme Katsayısı	Düzeltilmiş Marshall Stabilitesi (kN)
			h_1	h_2	h_3	h_{ort}			D_1	D_2											
1	6	3,5	6,72	6,69	6,72	6,71	1235,0	733,0	2,460	2,270								3,63	12,02	0,92	11,06
2	6	3,5	6,53	6,56	6,50	6,53	1246,5	729,5	2,411	2,355								3,08	12,95	0,96	12,43
3	6	3,5	6,54	6,55	6,46	6,52	1238,5	731,5	2,443	2,344								3,32	14,55	0,96	13,97
4	6	3,5	6,56	6,59	6,62	6,59	1229,0	715,0	2,391	2,300								3,42	13,07	0,94	12,29
Ortalama									2,426	2,317	2,701	2,554	9,267	7,952	82,792	17,219	46,180	3,36	13,15		12,44
1	6	4	6,50	6,57	6,50	6,52	1246,0	739,0	2,458	2,356								4,03	12,86	0,96	12,35
2	6	4	6,42	6,38	6,37	6,39	1235,0	726,0	2,426	2,384								5,41	12,72	0,99	12,59
3	6	4	6,40	6,50	6,45	6,45	1244,0	734,5	2,442	2,379								3,67	12,18	0,97	11,81
4	6	4	6,57	6,48	6,49	6,51	1243,0	731,0	2,428	2,354								2,74	11,03	0,96	10,59
Ortalama									2,438	2,368	2,701	2,534	6,543	9,287	84,171	15,830	58,666	3,96	12,20		11,84
1	6	4,5	6,44	6,39	6,44	6,42	1246,0	739,0	2,458	2,393								3,81	11,29	0,98	11,06
2	6	4,5	6,38	6,41	6,45	6,41	1259,0	745,5	2,452	2,421								3,37	12,06	0,98	11,82
3	6	4,5	6,45	6,36	6,40	6,40	1248,0	741,5	2,464	2,404								5,45	11,71	0,99	11,59
4	6	4,5	6,39	6,39	6,39	6,39	1250,0	739,5	2,449	2,413								5,16	12,95	0,99	12,82
Ortalama									2,455	2,408	2,701	2,515	4,265	10,622	85,131	14,888	71,350	4,45	12,00		11,82
1	6	5	6,40	6,37	6,37	6,38	1254,5	746,0	2,467	2,425								3,36	11,07	0,99	10,96
2	6	5	6,38	6,33	6,37	6,36	1244,5	735,5	2,445	2,414								4,66	10,40	1,00	10,40
3	6	5	6,45	6,49	6,48	6,47	1257,5	745,0	2,454	2,396								6,03	11,55	0,97	11,20
4	6	5	6,41	6,44	6,41	6,42	1253,0	739,5	2,440	2,407								5,18	9,31	0,98	9,12
Ortalama									2,451	2,411	2,701	2,495	3,383	11,817	84,786	15,200	77,743	4,81	10,58		10,42

% 8 Kireçtaşı filler içeren karışımlar

Numune No	Filler Oranı	Bitüm Oranı	Numune Yükseklileri (cm)				Havadaki Ağırlığı	Sudaki Ağırlığı	Birim Hacim Ağırlığı		Agrega Özgül Ağırlığı	Teorik Birim Hacim Ağırlık	Boşluk Oranı (%) (V)	Bitümlü Bağlayıcı Hacmi Yüzdesi (Vb)	Agrega Hacmi Yüzdesi (Vag)	Agrega İçindeki Boşluk (%) (VMA)	Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (%) (Vb/VMA)	Akma (mm)	Okunan Marshall Stabilitesi (kN)	Düzeltme Katsayısı	Düzeltilmiş Marshall Stabilitesi (kN)
			h_1	h_2	h_3	h_{ort}			D_1	D_2											
1	8	3,5	6,61	6,60	6,54	6,58	1236,0	728,5	2,435	2,316								3,29	13,99	0,95	13,29
2	8	3,5	6,49	6,49	6,47	6,48	1240,0	729,5	2,429	2,359								3,45	13,76	0,97	13,35
3	8	3,5	6,58	6,52	6,52	6,54	1233,5	732,0	2,460	2,326								2,51	12,03	0,95	11,43
4	8	3,5	6,39	6,46	6,38	6,41	1240,0	730,5	2,434	2,386								2,28	14,03	0,98	13,75
Ortalama									2,439	2,347	2,701	2,554	8,111	8,053	83,847	16,164	49,820	2,88	13,45		12,95
1	8	4	6,48	6,44	6,47	6,46	1243,0	735,0	2,447	2,372								3,31	12,01	0,97	11,65
2	8	4	6,48	6,43	6,41	6,44	1241,0	730,0	2,429	2,377								3,44	11,03	0,98	10,81
3	8	4	6,49	6,55	6,50	6,51	1242,0	735,0	2,450	2,352								3,15	10,59	0,96	10,17
4	8	4	6,61	6,52	6,56	6,56	1246,5	730,5	2,416	2,343								4,44	9,45	0,95	8,98
Ortalama									2,435	2,361	2,701	2,534	6,831	9,258	83,912	16,089	57,544	3,59	10,77		10,40
1	8	4,5	6,34	6,36	6,33	6,34	1244,5	738,5	2,459	2,420								5,03	10,38	1,00	10,38
2	8	4,5	6,37	6,40	6,40	6,39	1253,0	739,0	2,438	2,419								4,09	9,27	0,99	9,18
3	8	4,5	6,40	6,40	6,38	6,39	1244,5	738,5	2,459	2,401								4,59	10,09	0,99	9,99
4	8	4,5	6,42	6,40	6,43	6,42	1261,0	744,0	2,439	2,424								4,46	9,42	0,98	9,23
Ortalama									2,449	2,416	2,701	2,515	3,941	10,658	85,419	14,599	73,006	4,54	9,79		9,69
1	8	5	6,38	6,37	6,37	6,37	1252,5	744,0	2,463	2,424								6,02	9,90	0,99	9,80
2	8	5	6,37	6,38	6,47	6,41	1252,5	741,5	2,451	2,411								6,56	10,33	0,98	10,12
3	8	5	6,48	6,47	6,45	6,47	1253,0	741,5	2,450	2,390								5,89	10,74	0,97	10,42
4	8	5	6,45	6,47	6,43	6,45	1259,0	745,5	2,452	2,408								5,03	9,08	0,97	8,81
Ortalama									2,454	2,408	2,701	2,495	3,477	11,805	84,704	15,282	77,249	5,88	10,01		9,79

% 4 Mor filler içeren karışımlar

Numune No	Filler Oranı	Bitüm Oranı	Numune Yükseklileri (cm)				Havadaki Ağırlığı	Sudaki Ağırlığı	Birim Hacim Ağırlığı		Agrega Özgül Ağırlığı	Teorik Birim Hacim Ağırlık	Boşluk Oranı (%) (V)	Bitümlü Bağlayıcı Hacmi Yüzdesi (Vb)	Agrega Hacmi Yüzdesi (Vag)	Agrega İçindeki Boşluk (%) (VMA)	Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (%) (Vb/VMA)	Akma (mm)	Okunan Marshall Stabilitesi (kN)	Düzeltme Katsayısı	Düzeltilmiş Marshall Stabilitesi (kN)
			h_1	h_2	h_3	h_{ort}			D_1	D_2											
1	4	3,5	6,62	6,61	6,65	6,63	1235,0	723,0	2,412	2,299								2,80	11,00	0,94	10,34
2	4	3,5	6,57	6,60	6,52	6,56	1238,5	721,5	2,396	2,328								2,36	12,21	0,95	11,60
3	4	3,5	6,76	6,80	6,73	6,76	1236,0	725,5	2,421	2,254								2,26	9,78	0,91	8,90
4	4	3,5	6,65	6,59	6,65	6,63	1234,5	718,5	2,392	2,297								2,52	10,55	0,94	9,92
Ortalama									2,405	2,294	2,705	2,557	10,274	7,873	81,848	18,147	43,382	2,49	10,89		10,19
1	4	4	6,69	6,69	6,69	6,69	1238,5	727,5	2,424	2,283								4,86	9,76	0,92	8,98
2	4	4	6,67	6,62	6,58	6,62	1249,0	727,0	2,393	2,326								3,63	10,30	0,94	9,68
3	4	4	6,52	6,58	6,50	6,53	1242,0	732,0	2,435	2,345								4,38	13,08	0,96	12,56
4	4	4	6,59	6,55	6,52	6,55	1240,0	724,0	2,403	2,334								2,36	10,80	0,95	10,26
Ortalama									2,414	2,322	2,705	2,537	8,473	9,106	82,409	17,579	51,802	3,81	10,99		10,37
1	4	4,5	6,47	6,52	6,53	6,51	1244,5	731,0	2,424	2,359								3,09	10,74	0,96	10,31
2	4	4,5	6,54	6,52	6,50	6,52	1249,0	729,5	2,404	2,363								2,40	9,70	0,96	9,31
3	4	4,5	6,54	6,47	6,52	6,51	1245,5	731,0	2,421	2,360								5,58	14,16	0,96	13,59
4	4	4,5	6,48	6,49	6,53	6,50	1246,5	730,0	2,413	2,365								2,92	10,17	0,96	9,76
Ortalama									2,415	2,362	2,705	2,518	6,202	10,420	83,384	16,622	62,686	3,50	11,19		10,74
1	4	5	6,54	6,60	6,54	6,56	1264,5	743,5	2,427	2,378								4,48	10,90	0,95	10,36
2	4	5	6,44	6,44	6,46	6,45	1239,5	726,5	2,416	2,372								2,59	8,96	0,97	8,69
3	4	5	6,50	6,51	6,56	6,52	1254,5	737,5	2,426	2,372								2,92	9,23	0,96	8,86
4	4	5	6,50	6,49	6,53	6,51	1250,0	731,5	2,411	2,370								4,02	9,20	0,96	8,83
Ortalama									2,420	2,373	2,705	2,499	5,054	11,631	83,330	16,685	69,710	3,50	9,57		9,18

% 6 Mor filler içeren karışımlar

Numune No	Filler Oranı	Bitüm Oranı	Numune Yükseklileri (cm)				Havadaki Ağırlığı	Sudaki Ağırlığı	Birim Hacim Ağırlığı		Agrega Özgül Ağırlığı	Teorik Birim Hacim Ağırlık	Boşluk Oranı (%) (V)	Bitümlü Bağlayıcı Hacmi Yüzdesi (Vb)	Agrega Hacmi Yüzdesi (Vag)	Agrega İçindeki Boşluk (%) (VMA)	Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (%) (Vb/VMA)	Akma (mm)	Okunan Marshall Stabilitesi (kN)	Düzeltme Katsayısı	Düzeltilmiş Marshall Stabilitesi (kN)
			h_1	h_2	h_3	h_{ort}			D_1	D_2											
1	6	3,5	6,63	6,64	6,68	6,65	1229,0	717,5	2,403	2,280											
2	6	3,5	6,59	6,58	6,52	6,56	1239,5	722,5	2,397	2,329								2,38	10,93	0,95	10,38
3	6	3,5	6,61	6,63	6,65	6,63	1221,0	717,5	2,425	2,272								2,56	9,97	0,94	9,37
4	6	3,5	6,50	6,54	6,49	6,51	1235,0	717,5	2,386	2,340								2,52	10,66	0,96	10,23
Ortalama									2,403	2,305	2,707	2,559	9,921	7,910	82,174	17,830	44,361	2,62	10,07		9,53
1	6	4	6,68	6,69	6,70	6,69	1240,5	726,0	2,411	2,287								3,31	8,65	0,92	7,96
2	6	4	6,59	6,52	6,60	6,57	1235,5	718,5	2,390	2,320								3,25	8,29	0,95	7,88
3	6	4	6,47	6,50	6,52	6,50	1237,5	727,5	2,426	2,350								3,24	11,66	0,96	11,19
4	6	4	6,59	6,50	6,57	6,55	1244,0	726,0	2,402	2,341								2,44	11,13	0,95	10,57
Ortalama									2,407	2,324	2,707	2,539	8,452	9,115	82,432	17,567	51,889	3,06	9,93		9,40
1	6	4,5	6,59	6,58	6,62	6,60	1246,0	733,5	2,431	2,330								4,61	10,91	0,94	10,26
2	6	4,5	6,52	6,56	6,50	6,53	1244,5	729,0	2,414	2,352								2,61	10,02	0,96	9,62
3	6	4,5	6,42	6,42	6,52	6,45	1251,0	738,0	2,439	2,391								3,23	10,74	0,97	10,42
4	6	4,5	6,54	6,50	6,51	6,52	1246,0	731,0	2,419	2,358								2,47	10,47	0,96	10,05
Ortalama									2,426	2,358	2,707	2,519	6,399	10,402	83,181	16,801	61,913	3,23	10,54		10,09
1	6	5	6,53	6,50	6,60	6,54	1254,0	739,0	2,435	2,364								3,28	9,50	0,95	9,03
2	6	5	6,54	6,52	6,56	6,54	1255,0	736,5	2,420	2,367								4,66	9,87	0,95	9,38
3	6	5	6,45	6,41	6,47	6,44	1262,0	745,0	2,441	2,416								3,32	9,58	0,98	9,39
4	6	5	6,49	6,46	6,47	6,47	1251,0	737,5	2,436	2,384								2,42	8,77	0,97	8,51
Ortalama									2,433	2,383	2,707	2,500	4,696	11,679	83,615	16,376	71,322	3,42	9,43		9,07

% 8 Mor filler içeren karışımlar

Numune No	Filler Oranı	Bitüm Oranı	Numune Yükseklileri (cm)				Havadaki Ağırlığı	Sudaki Ağırlığı	Birim Hacim Ağırlığı		Agrega Özgül Ağırlığı	Teorik Birim Hacim Ağırlık	Boşluk Oranı (%) (V)	Bitümlü Bağlayıcı Hacmi Yüzdesi (Vb)	Agrega Hacmi Yüzdesi (Vag)	Agrega İçindeki Boşluk (%) (VMA)	Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk (%) (Vb/VMA)	Akma (mm)	Okunan Marshall Stabilitesi (kN)	Düzeltme Katsayısı	Düzeltilmiş Marshall Stabilitesi (kN)
			h_1	h_2	h_3	h_{ort}			D_1	D_2											
1	8	3,5	6,66	6,60	6,62	6,63	1225,5	716,0	2,405	2,281								1,42	10,65	0,94	10,01
2	8	3,5	6,62	6,62	6,57	6,60	1225,0	711,5	2,386	2,288								2,77	9,66	0,94	9,08
3	8	3,5	6,54	6,63	6,61	6,59	1228,5	715,0	2,392	2,298								2,00	10,60	0,94	9,96
4	8	3,5	6,59	6,55	6,60	6,58	1232,0	712,0	2,369	2,309								2,59	12,17	0,95	11,56
Ortalama									2,388	2,294	2,709	2,561	10,416	7,872	81,726	18,288	43,046	2,20	10,77		10,15
1	8	4	6,58	6,50	6,58	6,55	1234,0	719,5	2,398	2,323								2,11	11,90	0,95	11,31
2	8	4	6,68	6,74	6,65	6,69	1249,0	727,5	2,395	2,303								3,32	12,53	0,92	11,53
3	8	4	6,55	6,59	6,64	6,59	1236,0	723,5	2,412	2,312								3,34	12,23	0,94	11,50
4	8	4	6,60	6,53	6,57	6,57	1248,0	728,0	2,400	2,344								2,76	12,39	0,95	11,77
Ortalama									2,401	2,320	2,709	2,541	8,679	9,100	82,232	17,779	51,184	2,88	12,26		11,52
1	8	4,5	6,50	6,54	6,49	6,51	1244,0	731,0	2,425	2,357								2,75	12,62	0,96	12,12
2	8	4,5	6,51	6,53	6,55	6,53	1249,0	730,0	2,407	2,359								2,41	11,06	0,96	10,62
3	8	4,5	6,52	6,55	6,51	6,53	1246,5	732,5	2,425	2,356								2,19	11,74	0,96	11,27
4	8	4,5	6,63	6,69	6,64	6,65	1247,0	728,5	2,405	2,312								3,54	10,75	0,93	10,00
Ortalama									2,415	2,346	2,709	2,521	6,944	10,350	82,701	17,294	59,848	2,72	11,54		11,00
1	8	5	6,58	6,57	6,52	6,56	1253,0	735,5	2,421	2,357								3,25	10,89	0,95	10,35
2	8	5	6,60	6,56	6,61	6,59	1257,0	735,5	2,410	2,353								3,12	10,41	0,94	9,79
3	8	5	6,60	6,54	6,52	6,55	1256,5	741,0	2,437	2,365								2,46	10,90	0,95	10,36
4	8	5	6,58	6,64	6,60	6,61	1252,0	731,5	2,405	2,337								4,75	9,90	0,94	9,31
Ortalama									2,419	2,353	2,709	2,502	5,952	11,535	82,519	17,487	65,963	3,40	10,53		9,95

EK - B

Optimum karıştırma sıcaklığının tespiti

