



**MERMER TOZ ATIKLARIN
ASFALT BETONUNDA
FİLLER MALZEMESİ OLARAK
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

Serdal TERZİ

**Yüksek Lisans Tezi
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
Isparta-2000**

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERMER TOZ ATIKLARIN ASFALT BETONUNDA FİLLER
MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

SERDAL TERZİ

95143

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ISPARTA 2000

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne

Bu çalışma jürimiz tarafından YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

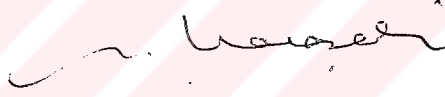
Başkan: Prof.Dr. İlhan SÜTAŞ



Üye : Prof.Dr. Süleyman KODAL

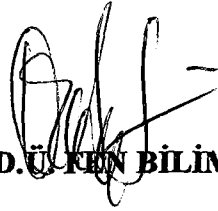


Üye : Doç.Dr. Mustafa KARAŞAHİN



ONAY

Bu tez 07/07/2000 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu' nca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.



.../.../2000

S.D.Ü FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Esnek Üstyapı Tabakaları	2
1.2. Bitümlü Karışımların Tasarımı.....	4
1.3. Esnek Yol Üst Yapılarında Filler Malzemesinin Kullanımı ve Önemi	5
1.4. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol.....	7
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	9
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Materyal	16
3.1.1. Mineral Agregası.....	16
3.1.2. Mineral Filler.....	17
3.1.2.1. Taş tozu	17
3.1.2.2. Mermer Toz Atığı.....	17
3.1.2.3. Mermer Tozu	17
3.1.3. Asfalt Çimentosu	18
3.1.4. Cihazlar	18
3.2. Metot.....	18
3.2.1. Mineral Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	18
3.2.1.1. İri Agregası İçin Özgül Ağırlık Deneyi	18
3.2.1.2. İnce Agregası İçin Özgül Ağırlık Deneyi	19
3.2.2. Mineral Fillerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	20
3.2.2.1. Hidrometre Deneyi.....	20
3.2.3. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	21
3.2.3.1. Penetrasyon Deneyi.....	21
3.2.3.2. Duktilité Deneyi.....	22
3.2.4. Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Agregası Gradasyonunun Belirlenmesi.....	24
3.2.5. Marshall Stabilite Deney Numunelerinin Hazırlanması	25
3.2.6. Çalışmada Kullanılan Diğer Bağlantılar.....	25
3.2.6.1. Farklı Bitüm Miktarlarında Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığı.....	25
3.2.6.2. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Boşluk Hacmi Yüzdesi.....	26
3.2.6.3. Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması	26
3.2.7. Marshall Stabilite Deneyi.....	27
3.2.8. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi.....	28
3.2.9. Plastik Deformasyon Deneyi.....	28
3.2.10. Optimum Filler Yüzdesinin Belirlenmesi.....	30
3.2.10.1. Filler/Bitüm Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesinin Belirlenmesi.....	30
3.2.10.2. Filler Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesinin Belirlenmesi.....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31

4.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri	31
4.2. Hidrometre Deneyi Bulguları	31
4.3. Asfalt Çimentosunun Özellikleri	32
4.4. Numunelerde Kullanılacak Agrega Gradasyonu	32
4.5. Optimum Bitüm Yüzdesi	34
4.6. Optimum Filler Yüzdesi	38
4.6.1. Filler/Bitüm Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesi	38
4.6.2. Filler Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesi	41
4.7. Mermer Atıklarının Tekrarlı İndirekt Çekme Deneyi ile Belirlenen Mekanik Özellikleri	43
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	53
EKLER	54



ÖZET

Bu çalışmada, mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi esnasında ortaya çıkan mermer tozu atıklarının asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Öncelikle aynı granülometri eğrisine sahip taş tozu ve mermer fillerli numuneler % 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 ve 6.0 oranlarında asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen bitüm yüzdesi kullanılarak filler/bitüm oranına göre 4, 5, 6, 7 ve 8 oranlarında, filler oranı kullanılarak % 0, 2, 4, 6, 8 ve 10 oranlarında Marshall numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan numunelere plastik deformasyon deneyine maruz bırakılarak birim deformasyonları belirlenmiştir. Elde edilen deformasyonlar ile filler/bitüm oranına ve filler oranına göre optimum filler yüzdesi tayin edilmiştir. Optimum filler yüzdesi ve optimum bitüm yüzdesi kullanılarak Isparta' da bulunan 2 farklı mermer fabrikasının atığı, taş tozu ve 7 ayrı cins mermerin filler malzemesi olarak kullanıldığı Marshall numuneleri hazırlanmış ve plastik deformasyon deneyi ile birim deformasyonları elde edilmiştir. Elde edilen deformasyonlar karşılaştırılmış ve mermer atıkları kullanılarak hazırlanan karışımların öğütülen mermer parçaları ile hazırlanan karışımlara göre birim deformasyonlarının alt ve üst sınırlar arasında olduğu görülmüştür. Fabrika atığı olarak alınan Burdur Bej türü mermerin birim deformasyonu, aynı tür mermerin öğütülerek kullanıldığı karışımlarla elde edilen birim deformasyon değeri ile karşılaştırıldığında çok yakın sonuçlar verdiği saptanmıştır. Bunun sonucu olarak, atık içerisinde bulunan diğer kimyasal ve metal atıkların birim deformasyon değeri üzerinde fazla bir etkisi olmadığı kanaatine varılmıştır.

Sonuç olarak, özellikle mermer tozunun yaygın olarak bulunduğu bölgelerde, taşıma ve kurutma maliyetlerinin taş tozu filler maliyetini geçmediği kesimlerde, asfalt betonu karışımlarda taş tozu yerine mermer tozunun filler malzemesi olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Mineral Filler, Asfalt Betonu, Mermer Atıkları, Marshall Stabilite Deneyi, Plastik Deformasyon

ABSTRACT

This study deals with the use of the wastes of marble dust, collected during the shaping process of marble blocks, was investigated as mineral filler in asphalt mixtures.

The asphalt mixtures with marble and limestone dust fillers which has the same grading curve were prepared with asphalt cement with ratio of 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, and 6.0 %. Marshall stability test was carried out with the samples and percentage of optimum bitumen was calculated. Considering the ratio to 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 and 8.0 filler/bitumen ratio, and 0, 2, 4, 6, 8, and 10 filler percentage, asphalt mixtures were prepared by means of the bitumen percentage, and unit deformations were determined with the help of plastic deformation test. Optimum filler percentage was determined according to filler/bitumen ratio and filler ratio. From two different marble wastes in Isparta, limestone dust and seven different types of marbles, Marshall samples were prepared with optimum filler and bitumen percentages, and unit deformations were determined with the by of plastic deformation test, and the unit plastic deformation results were compared. It was shown that results of mixtures with the marble wastes were between upper and lower of limits of the ground marbles. When compared the ground Burdur Beige type marble with the collected marble wastes from a marble factory, it showed similar that plastic deformation had almost the same values. As a result of this it was concluded that wastes which is in the form of chemical and metal does not affect the unit plastic deformation.

As a result, it was concluded that marble wastes could be used as mineral filler in asphalt mixtures where they are abundant and transportation and drying cost are lower than alternative materials.

KEY WORDS: Mineral Filler, Asphalt Mixtures, Marble Waste, Marshall Stability Test, Plastic Deformation

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ülkemizde en çok tercih edilen esnek üstyapıların, kullanılan malzemelerin özelliğinden dolayı yapımı ve onarımı çok pahalıdır. Bu derece önemli ve pahalı bir yatırımın, artan araç trafiğini azaltmak üzere her geçen gün artması beklenen bir sonuçtur.

Endüstrinin gelişmesi ile ortaya çıkan ve çevresel problemlere neden olan atıkların değerlendirilmesi, 20. yüzyılda olduğu gibi 21. yüzyılın önemli sorunlarından biri olacaktır. Mermer rezervlerinin buna bağlı olarak fabrikalarının çok sık karşılaştığı ülkemizde mermer atıkları neredeyse hiç değerlendirilememesi nedeniyle önemli bir sorundur.

Bu çalışmada mermer atıklarının esnek üstyapılarda filler malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çalışma boyunca her zaman yanımda olan, destek ve görüşlerini esirgemeyen danışmanım Prof.Dr. Süleyman KODAL'a şükranlarımı sunarım. Çalışmanın konusunu öneren ve en az bir danışmanın öğrencisine gösterebileceği büyük bir ilgi ile yapıcı eleştiri ve önerilerini esirgemeyen Doç.Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e şükranlarımı sunarım. Kendi geliştirdiği deney aletini kullanmama izin veren ve görüşleri ile çalışmama katkıda bulunan Arş.Gör.Dr. Mesut TİĞDEMİR'e ve yine görüş ve desteklerini esirgemeyen Prof.Dr. Ahmet ŞENTÜRK'e, Doç.Dr. S. Nilay KESKİN'e, Arş.Gör.Dr. Mehmet SALTAN'a, çalışmalarım esnasında hoşgörüsünü esirgemeyen ve bana her zaman destek olan bölüm başkanım Yrd.Doç.Dr. Celalettin BAŞYİĞİT' e ve çalışma arkadaşlarıma, laboratuvarlarını kullanmama izin veren ve çalışmalarımda yardımcı olan SDÜ Müh. Mim. Fakültesi İnşaat ve Maden Mühendisliği Bölümlerine ve Teknisyenlerine, ayrıca çalışmanın her safhasında anlayış ve manevi katkı gösteren Arş.Gör. Özlem GENÇER'e, bugünlerimi borçlu olduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Esnek üstyapı enkesiti (Ağar vd., 1998).....	1
Şekil 1.2. Tipik esnek üstyapı tabakaları (Karaşahin vd., 1997).....	2
Şekil 1.3. Tipik bir esnek üstyapı karot numunesi (Saltan, 1999).....	4
Şekil 3.2. Marshall stabilite sıkıştırma aleti	25
Şekil 3.3. Marshall stabilite deney aleti	28
Şekil 3.4. Tekrarlı çekme indirekt yükleme deney aleti	30
Şekil 4.1. Deneyde kullanılan mermer toz atıklarının hidrometre deneyi sonucu	31
Şekil 4.2. Karışımın stabilite-bitüm ilişkisi.....	34
Şekil 4.3. Karışımın birim ağırlık-bitüm ilişkisi.....	35
Şekil 4.4. Taş tozu fillerli karışımın bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu-bitüm ilişkisi	35
Şekil 4.5. Taş tozu fillerli karışımın boşluk-bitüm ilişkisi.....	36
Şekil 4.6. Mermer tozu fillerli karışımın akma-bitüm ilişkisi.....	36
Şekil 4.7. Karışımın birim ağırlık-filler/bitüm ilişkisi	39
Şekil 4.8. Karışımın bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu-filler/bitüm oranı ilişkisi	39
Şekil 4.9. Karışımın boşluk yüzdesi -filler/bitüm oranı ilişkisi.....	40
Şekil 4.10. Filler/bitüm oranına göre hazırlanan karışımın plastik deformasyon değerleri.....	40
Şekil 4.11. Karışımın birim ağırlık-filler oranı ilişkisi	41
Şekil 4.12. Karışımın bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu-filler oranı ilişkisi.....	42
Şekil 4.13. Karışımın boşluk-filler oranı ilişkisi	42
Şekil 4.14. Karışımın plastik deformasyon değerleri.....	43
Şekil 4.15. Farklı filler malzemelerinin birim ağırlık değerleri	44
Şekil 4.16. Farklı filler malzemelerinin bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu değerleri.....	45
Şekil 4.17. Farklı filler malzemelerinin boşluk miktarı değerleri	45
Şekil 4.18. Farklı filler malzemelerinin birim plastik deformasyon değerleri	46
Şekil 4.19. Mermer atıkları ile farklı mermer cinslerine ait atıkların alt ve üst sınır değerlerinin birim plastik deformasyon değerleri	47
Şekil 4.20. Burdur bej mermerine ait birim plastik deformasyon değerleri.....	48
Şekil 4.21. Taştozu ve mermer atıklarına ait birim plastik deformasyon değerleri.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

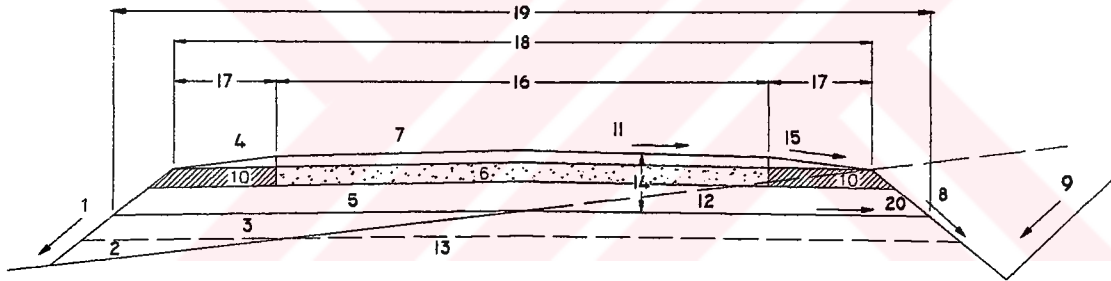
	Sayfa
Çizelge 1.1. Mineral fillerin gradasyon limitleri	5
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan agrega malzemesinin özellikleri (Tığdemir, 1999)	16
Çizelge 3.2. Agreganın gradasyon limitlerine ait şartname sınırları	24
Çizelge 4.1. İri agrega için yapılan deneyler ve sonuçları	31
Çizelge 4.2. İnce agrega için yapılan deneyler ve sonuçları	31
Çizelge 4.3. Mermer toz atıklarının yıkama yoluyla tespit edilen gradasyonu	32
Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan agrega malzemesi için yapılan deneyler ve sonuçları.....	32
Çizelge 4.5. Deneyde kullanılan agreganın mevcut gradasyonu ve seçilen Binder C gradasyonu	33
Çizelge 4.6. Filler/bitüm oranına göre agrega gradasyonu	33
Çizelge 4.7. Filler oranına göre agrega gradasyonu	34



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.

Yolun trafik yüklerini taşıyan ve gerilmeleri dağıtmak üzere, yolun taban yüzeyi üzerine yerleştiren tabakalı sisteme üstyapı adı verilir. Yol üstyapısını esnek ve rijit üstyapılar olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür. Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve Belediyeler tarafından esnek üstyapılar kullanılmaktadır. Esnek üstyapılar, aşınma tabakası, binder tabakası, temel tabakası ve alttemel tabakalarından oluşmaktadır. Tipik bir esnek üstyapı enkesiti Şekil 1.1' de gösterilmiştir.



- 1—Dolgu Şevi
- 2—Doğal Zemin
- 3—Seçme Malzeme Tabakası (Gerekli Olduğu Durumda)
- 4—Banket Kaplama
- 5—Alt Temel
- 6—Temel Tabakası
- 7—Kaplama Tabakası
- 8—Hendek Şevi
- 9—Yarma Şevi
- 10—Banket Temeli

- 11—Yolun Enine Eğimi
- 12—Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi)
- 13—Yol Gövdesi (Taban Zeminini)
- 14—Üst Yapı Proje Kalınlığı
- 15—Banket Eğimi
- 16—Trafik Şeritleri Genişliği
- 17—Banket Genişliği
- 18—Yol Genişliği (Platform Genişliği)
- 19—Üst Yapı Taban Genişliği
- 20—Taban Yüzeyinin Enine Eğimi

Şekil 1.1. Esnek üstyapı enkesiti (Ağar vd., 1998)

Türkiye' de KGM sorumluluğunda otoyol, devlet yolları ve il yolları olmak üzere 5659 km uzunluğunda asfalt betonu kaplamalı yol bulunmaktadır. 2006 yılı sonunda 12738 km uzunluğa ulaşılması hedeflenmektedir (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1999).

1.1. Esnek Üstyapı Tabakaları

Aşınma ve binder tabakaları bitümlü karışımlardan oluşmaktadır. Ancak, yoldaki ağır taşıt trafiğine ve trafik hacmine bağlı olarak temel tabakası da bitümlü karışımlardan oluşabilir. Ülkemizde granüler malzeme kaynağı oldukça fazla olduğu için, temel ve alttemel tabakalarında granüler malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik bir esnek üstyapı enkesiti Şekil 1.2' de gösterilmiştir. Dingil yüküne yakın olan üst tabakalar daha büyük gerilmelere maruz kaldığı için daha kaliteli malzemelerin kullanılması gerekir. Bu nedenle, üst tabakalar elastiklik modülü yüksek bitümlü karışımlardan oluşturulmuştur. Bitümlü karışımlar, agrega, bitüm ve hava boşluğundan oluşur. Karışımda agrega oranı % 92, bitüm oranı ise % 7-8 civarındadır.



Şekil 1.2. Tipik esnek üstyapı tabakaları (Karaşahin vd., 1997)

Taban zemini üzerine oturan alttemel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşan esnek yol üstyapısının başarısı, tabakaların ve taban zeminin şartnamelere uygun şekilde projelendirilip, inşa edilmesine bağlıdır (Umar ve Açar, 1991).

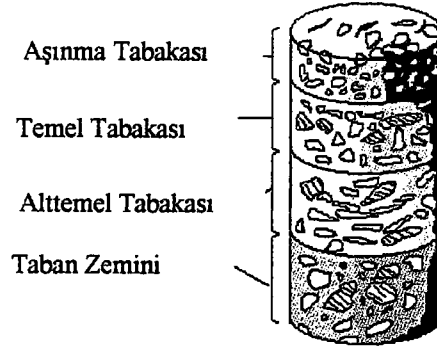
Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek elastisite modülüne sahip olmalıdır. Kaplama tabakasının kalınlığı

artıkça yolun trafik yüklerine karşı direnci de artar. Temel tabakasına iletilen basınç ve kayma gerilmeleri azalır. Yollarda temel tabakası üzerine konan bitümlü kaplama tabakaları, genellikle yapım ve çalışma ilkeleri birbirlerinden oldukça farklı iki tipe ayrılırlar: Yüzeysel (sathi) kaplamalar ve bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamalar (Umar ve Ağar, 1991).

Aşınma tabakasının altında üstyapının oturduğu doğal zemini, yani taban zeminini koruyan temel tabakası bulunur. Temel tabakası bir veya birden fazla tabakadan oluşabilir. Temel tabakasının esas görevi taşıtların geçişlerinden dolayı gerilmeleri taban zemininin taşıma gücü sınırları içerisinde yaymaktır. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş zemin veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Temel tabakasının altında alttemel tabakası bulunur. Alttemelin esas görevi, bitümlü tabakaların inşası için çalışma platformu oluşturmaktır. Bu tabakada kullanılan malzemeler genel olarak temel tabakasına göre daha düşük kalitelidir ve granüler malzemedir. Mümkün mertebe yerel malzemeler ve yol inşaatında kullanılmaya elverişli artık malzemeler (molozlar, cüruflar, inşaat artıkları gibi) kullanılmaya çalışılır.

Taban zemini, sıkıştırılmış doğal zemin ya da dolgu malzemesinden oluşur. Bu tabaka üstyapıya temel görevi yapar. Yapısal olarak en önemli tabakadır. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ihtiyacı vardır (Karaşahin, 1993). Tipik bir esnek üstyapı karot numunesi Şekil 1.3' de görülmektedir.



Şekil 1.3. Tipik bir esnek üstyapı karot numunesi (Saltan, 1999)

1.2. Bitümlü Karışımların Tasarımı

Bitümlü karışımlar agrega ile bitümlü bağlayıcı malzemedен oluşur. Bu karışımlar serbest agrega malzemesine göre çok pahalı olduklarından yol yapımında çoğunlukla, yalnızca kaplama tabakalarının yapımında kullanılır. Bitümlü karışımlar pahalı olmakla beraber birçok yararlı özelliğe sahiptir:

- Yol düzgün yüzeyli olmalıdır. Taşıtların tekerlek sürtünmesi nedeniyle yaptığı gürültü önemli ölçüde azalır, konfor artar. Tekerlekler daha az aşınır.
- Bağlayıcı malzeme agrega danelerini çok iyi şekilde birbirine bağladığı için taşıtların taş fırlatması tehlikesi ortadan kalkar.
- Oldukça geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edilir (Umar ve Ağar, 1991).

Agrega-asfalt karışımlarının yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu koşullar, kaplamalarla ilgili Teknik Şartnamelerde verilmiştir. Karışımların dizayn edilmesi sırasında aşağıdaki özellikler dikkate alınır.

1. Stabilitе,
2. Durabilite (dayamıklılık),
3. Esneklik,
4. Yorulmaya karşı direnç,
5. Kaymaya karşı direnç,
6. Geçirimsizlik,
7. İşlenebilirlik (Önal ve Kahramangil, 1993).

Bir yol üstyapı tasarımında gerekli olan, gerçek yola serilmiş malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesidir. Ancak, 1/1 ölçekli deney yapmak hem zaman alıcı hem de pratik değildir. Buna ilave olarak oldukça pahalıdır. Bu nedenle, çoğunlukla laboratuvar testleri yapılır. Bu testlerden amaç, arazi koşullarını mümkün mertebe temsil edebilmektir. Bitümlü malzemeler, visko-elasto-plastik (özellği sıcaklığa, yükleme süresine ve büyüklüğüne bağlı olarak değişen malzeme) bir davranışa sahip olduğu için sıcaklık, yükleme, gerilme koşulları ve numunenin sıkıştırılması önem kazanır (Karaşahin, 1994).

1.3. Esnek Yol Üst Yapılarında Filler Malzemesinin Kullanımı ve Önemi

Esnek üstyapılarda kullanılan malzemeler, agregalar ve bitüm olarak İki grupta toplanabilir. Kaba ve ince agreganın karışım gradasyonu 0.600 mm (No. 30) elekten geçen malzeme miktarı yetersiz ise, agrega karışımına mineral filler ilave edilebilir.

Mineral filler, genel anlamı ile tamamı 0.600 mm (No. 30) elekten geçip, ağırlıkça en az % 70' i 0.075 mm (No. 200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanır. Çizelge 1.1.' de mineral fillerin gradasyon limitleri verilmektedir (ASTM D 242, 1992):

Çizelge 1.1. Mineral fillerin gradasyon limitleri

Elek Boyutu	% Geçen (Yıkama Yoluyla)
0.600 mm (No. 30)	100
0.300 mm (No. 50)	95-100
0.075 mm (No. 200)	70-100

Asfalt betonu karışımlarda mineral fillerlerin yorulma ve plastik deformasyona etkileri üzerinde, hem literatürde çok az sayıda kaynak vardır hem de asfalt konusunda çalışan bir çok kişi tarafından iyi anlaşılmamıştır (Anderson vd., 1992). Bunun nedeni olarak filler konusunda yeterli araştırma yapılmadığı söylenebilir.

Mineral filler, hidrate kireç, kaya tozu, cüruf tozu, çimento, uçucu kül, lős ve diğer uygun ince mineral maddelerden meydana gelebilir (ASTM D 242, 1992).

Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılır. Filler 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 tanecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak daha yoğun karışımların elde edilmesinde rol oynar. Bunun yanısıra, bitüm ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırma ve bağlayıcı etkisi göstererek harç elde etmeyi sağlar.

Mineral filler, toplam agreganın çok küçük yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar. Mineral filler, 0.074 mm' lik elekten geçen agrega malzemesidir. Ancak 0.074 mm' den daha ince olan bütün malzemeler filler görevini görmezler. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalı ve aynı zamanda 0.001 mm' den ince boyutlu daneler de içermelidir. 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 (Umar ve Ağar, 1991).

Mineral fillerlerin asfalt yol karışımlar üzerine etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

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

1.4. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terkedilmesi çok büyük güçlükler yaratmakta, çevre kirliliği dahil topluma çok büyük sorunlar getirmektedir. Günümüzde, çeşitli ürünlerin üretimi sırasında elde edilen yan ürün veya atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır. Atıkların, yeni ürünlerin elde edilmesinde veya mevcut ürünlerde katkı maddesi olarak kullanılmaları düşünülmektedir. Atık malzeme ve yan ürünlerinin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelecek problemleri en aza indirmektedir.

Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mermer tozu sulu kesim yapıldığından, başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye verilmektedir. Dolayısıyla çevre kirlenmesi söz konusudur.

İnşaatlarda mermer kullanımı her geçen gün artmaktadır. Mermere artan talebi karşılamak amacıyla, ülkemizdeki mermer işleme tesislerinin sayısında bir artış gözlenmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, kamuoyu gözünde çevre ve tabii güzelliği bozması sebebiyle olumsuz bir tepki oluşturan mermer atık sahalarının yoğunlaştığı görülmektedir (Şentürk vd., 1996).

Asfalt betonunda genellikle taş tozu filler malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak özellikle çevre korumanın öneminin anlaşılması ile bazı taş ocakları kapatılmak zorunda kalmıştır. Bu nedenle belediyeler ve Karayolları filler malzemesi bulmakta zorluk çekmektedir. Bu bağlamda atıkların değerlendirilmesinde fayda görülmektedir.

Bu çalışmada, mermer toz atıkların asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Atıkların asfalt betonunda kullanımı ile plastik deformasyona olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada mermer malzemeleri öğütülerek

200 nolu elek altında kalan malzeme ve atık doğrudan bitümlü karışım içerisinde kullanılmıştır.

Birinci bölümde, yol üstyapısı, yol üstyapısını oluşturan tabakalar, mineral fillerin tanımı, kullanımı ve önemi konusunda tanımlamalar ve araştırmalar, atıkların çevresel etkileri, mermer toz atıkların oluşumu, çalışmanın amacı ve önemi hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde ise daha önce konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalar genel olarak asfalt betonunda filler etkisi ve çeşitli malzemelerin filler malzemesi olarak kullanılması durumunda asfalt betonunun özelliklerinde görülen değişiklikleri anlatmaktadır.

Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, seçilen agrega gradasyonu, uygulanan deneylerin özellikleri, numune hazırlanması ve çalışmada kullanılan bağıntılardan bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde ise uygulanan Marshall ve Plastik Deformasyon deneylerine ait sonuçlar ile Marshall numunelerinin boşluk %'si, birim hacim ağırlık ve bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu %'si grafikleri verilmiştir.

Beşinci bölümde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK BİLGİSİ

Fillerin önemini tanımlayan ve farkına ilk varan 1893' lerde Clifford Richardson' dur. Birbiriyle değiştirilebilen filler ve toz terimlerini kullanılmış ve "gerçek toz" un önemini vurgulamıştır. Kum olarak adlandırılan ve büyüklüğü 0.05 mm. den küçük parçacıklar, sadece No 200 eleğinden (o zaman 0.085 mm. günümüzle karşılaştırıldığında 0.074 mm.) parçacıklar geçtiğinde çok değerli parçacıklar veya gerçek toz olduğuna inanılırdı. Richardson tarafından filler olarak önerilen performansı yeterli malzemeler: Portland çimentosu, kireçtaşı, killi şist ve kildir. Tatmin edici olmayan veya değeri sorgulanabilen malzemeler ise: şeker pancarı fabrikaları kireci, marn (yüksek kalsiyumlu kil), silika, kostik veya sönmüş kireç ve doğal hidrolik çimentodur (Tunncliff, 1962).

Dukatze 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 fillerler malzemeleri, asfalt çimentosuna karıştırıldığında farklı rijitlik etkileri gösterdiğini, karışımlara eklenen mineral fillerin Marshall stabilite ve hava boşluğunu etkilemediğini bulmuşlardır.

Ishai vd (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 fillerlerin 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),

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 fillerlere ihtiyaç duyulur.
2. Mineral fillerler 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 duktilite, penetrasyon ve viskozite özellikleri önemli düzeyde değişiklik gösterir.
4. Gerçek asfalt karışımlarda genellikle kullanılan filler miktarı, çevre sıcaklıklarında filler asfalt karışımlarının duktilitesi sıfır değerine yaklaşır.
5. Viskozite ölçümleri, yol kaplama malzemesi inşası ve kullanımında fillerlerin güvenilirliğinin belirlenmesini sağlar. Filler tipi ve miktarına bağlı olarak, yüksek sıcaklıklarda filler asfalt karışımlarının viskozite değerleri, çok geniş bir alanda değişebilir.
6. Deneyle, yoğun bir asfalt karışımı 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 vd. (1992), çalışmalarında No 200 eleği altı (75 mikron) mineral fillerlerin 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 vd. (1992), asfalt betonunda oluşan tekerlek izi derinliğinde filler tipi ve içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Tekerlek İzi Deneyi (Whell Tracking Test LCPC) 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 fillerlerin etkisini değerlendirmişlerdir. Filler olarak kullanılan çimento, hidrate kireç ve sodyum silikat karışımlara eklenmiş ve çalışmada dikkate alınmıştır. Fillerlerin gradasyon, parçacık şekli, yüzey özellikleri, sıkıştırılmış numunede boşluk oranı, su emme ve özgül ağırlıkları tayin edilmiştir. Değişik filler malzemeleri, bitüme ağırlıkta 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 vd. (1995), Bahreyn' de kullanılan bitümlü yol karışımlarında mineral filler olarak pıssu atığı külünün kullanılmasını araştırmışlardır. Atıkların kimyasal ve fiziksel özellikleri araştırılmış, atık içeren asfalt betonu karışımlar hazırlanmıştır.

Marshall deney metodu asfalt betonunda filler olarak atığın uygunluğu değerlendirmede kullanılmıştır. Değerlendirme parametreleri, sıkışmış karışım yoğunluğu, karışımda hava katkılarının yüzdesi, mineral agregalarda boşluk yüzdesi, bitüm ile dolu boşluk yüzdesi, Marshall Stabilitesi ve akmasıdır. Optimum bitüm oranı ile hazırlanan numuneler, Bahreyn' de hakim olan yüksek sıcaklıklarda karışımın çevre sıcaklığından etkilenme durumunun belirlenmesinde kullanılmış, 70 C° ve 80 C° de akma ve stabilite değeri belirlenmiştir. Atık madde içeren numunelerin Bahreyn standart şartnamesinin minimum stabilite değerini sağladığı görülmüştür.

Önal vd. (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 kısma uygulanan Likit Limit ve Plastik Limit deneyleri ile bulunamayan düşük plastisitelerin, malzemenin No.200 (0.074 mm) eleği geçen kısma 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 °C' 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 fillerlerin stone asfalt karışımların performansını etkilemediği ortaya çıkmıştır.

Okuyucu (1996), tarafından yapılan çalışmada hidrolik yapılarda kullanılan asfalt betonunun geçirgenliği incelenmiştir. İlk olarak, bütün dünyada kullanılan hidrolik asfalt betonları için tasarım prensipleri, şartnameler ve gereksinimler araştırılmıştır. Bununla birlikte, asfalt karışımlarının geçirgenliğini etkileyen faktörler de incelenmiştir. Bu faktörler agrega gradasyonu, bitüm oranı ve sıkıştırma miktarıdır.

Bulunan şartnameler ve prensipler kullanılarak çeşitli laboratuvar numuneleri hazırlanmıştır. Birçok geçirgenlik testi yapılmış, filler/bitüm oranı, bitüm yüzdesi, filler yüzdesi ve sıkıştırma oranının etkileri bulunmuş ve sonuçlar grafikler üzerinde gösterilmiştir.

Harris ve Stuart (1996), çalışmalarında mineral filler karakteri için yöntem geliştirmişlerdir. Asfalt karışımlarında mineral fillerin performans alanı ve mineral filler özelliklerinin laboratuvar ölçümleri üzerinde araştırmalar ve ilişkiler anlatılmıştır.

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.

Karşahin vd. (1997), Isparta Belediyesi' nin asfalt betonu üretiminde kullandığı kaba agregalar, ince agregalar ve filler malzemeleri kullanarak Marshall numuneleri hazırlamış, Marshall stabilite deney aletinde kırmışlardır. Benzer olarak ISBAS şirketinden pomza numunesi alınmış ve Isparta Belediyesi' nin kullandığı normal filler yerine pomzadan elde edilen filler kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, pomza filler olarak kullanıldığında bağlayıcı olarak daha fazla bitüm kullanılması gerektiği halde, normal fillere göre daha büyük stabilite değeri elde edilmiştir.

Chen vd. (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.

Acar ve Tapkın (1998), tarafından yapılan çalışmada, esnek kaplamalarda aşınma tabakası olarak kullanılan standart karışım özelliklerini taşıyan laboratuvar Marshall numuneleri ile, karışımdaki filler yerine çeşitli oranlarda Portland Çimentosu kullanılarak hazırlanmış numuneler test edilerek, stabilite ve akma özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Aynı gradasyon ve optimum bitüm muhtevsındaki sınırlı sayıda numuneler üzerinde yapılan Marshall ve indirekt yorulma testlerinden, agrega içerisinde doğal filler bulunan numunelerin doğal filler yerine Portland Çimentosu kullanılarak hazırlanan numunelerden önemsenecek düzeyde farklı davranışlar sergiledikleri gözlenmiştir. Numune içerisindeki çimento miktarı arttıkça Marshall stabilitesinde artış gözlenmiş, bu artış % 5-7 Portland Çimentosu için % 12 mertebesine ulaşmıştır. Yorulma açısından da, Portland Çimentolu numunelerin normal numunelere göre, laboratuvar da yorulma ömrü belirlemede kullanılan kritere bağlı olarak, % 15 ile % 22 arasında fazla ömür gösterdikleri kaydedilmiştir.

Kandhal vd. (1998), özellikle 0.075 mm (No. 200 eleği) boyutundan geçen malzemelerin (genellikle filler malzemeleri olarak adlandırılan), kalıcı deformasyon, yorulma çatlağı ve nem etkilenmesi süresinde asfalt yol karışımlarının performansında önemli etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Bununla beraber, araştırmalarda filler malzemelerinin değerlendirilmesi için farklı deneyler kullanılmıştır. Bu çalışmada, asfalt yol karışımlarının performansı ile çok ilgili olan filler deneyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Dane boyutu ve mineralojik yapısı farklı altı filler malzemesi kullanılmıştır. Karışımlar ağırlıkça 0.8 ve 1.5 asfalt oranlarında hazırlanmıştır. Kalıcı deformasyon için Superpave kesme deneyi ve yorulma deneyi, farklı filler malzemeleri ve asfalt oranında ince malzemeler ile 12 karışım içeriğinde nem etkilenmesi değerlendirmesi için AASHTO T283 ve Hamburg tekerlek izi deneyi kullanılmıştır.

Tayebali vd. (1998), agrega parçacık nitelik ve şekil sınıflandırması için üç metod (AASHTO TP33, ASTM D 3389, ve akma oranı metodu) kullanmışlardır. Bu metodlar, her bir metod tarafından saptanan kriterlerin zayıftan iyiye performansının esası için kırılmış granit ve dört doğal nehir kumu dizisinde kullanılmıştır. Deney sonuçları, tüm metodların doğal nehir kumundan kırılmış agregaların kolayca

ayrıldığını göstermektedir. AASHTO TP33 ve akma oranı metodu parçacık nitelik ve sınıflandırmasında ASTM D 3398' den oldukça düşük duyarlılıkta küçük farklılıkları olduğu bulunmuştur. Tüm deney metodları, test edilen çeşitli düşük katsayılara sahip tüm agregaların her birinin tekrar edilebilir olduğunu göstermiştir. Kalıcı deformasyonda karışım performansında mineral filler içeriği, parçacık şekli ve yapısının etkisini değerlendirmede ortalama çalışma olarak bir doğal kum dizisi % 20 doğal kumun oranında ezilmiş granit ve % 80 ezilmiş granit seçilmiş ve karıştırılmıştır. Yüzde 4, 6, 8, ve 12 mineral filler içeren asfalt-agrega karışımları numuneleri; Marshall stabilite deneyi ve sabit gerilmeli tekrarlı kesme deneyinde test edilmiştir. Sonuç olarak mineral filler içeriğindeki artışın, karışımın kesme esnek modülünü artırırken, karışımda tekerlek izi derinliğini azalttığı gözlenmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu bölümde, deney numunelerinin hazırlanabilmesi için kullanılan mineral agrega, mineral filler, asfalt çimentosu ve deneyler sırasında kullanılan cihazlar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1.1. Mineral Agrega

Çalışmada, Isparta civarındaki karayollarında kullanılan ve Gümüşgün taşocağından sağlanan 25 mm altında olan kırmataş kireçtaşı mineral agrega olarak kullanılmıştır. No. 40 elek üstü malzemeler, üzerindeki tozların uzaklaştırılması için yıkanarak kullanılmıştır. Daha ince malzemeler ise olduğu gibi karışımlarda kullanılmıştır.

Mineral agrega malzemesinin özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak yapılmış olan deneylerin Tığdemir, 1999' dan alınarak düzenlenen sonuçları Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan agrega malzemesinin özellikleri (Tığdemir, 1999)

Deney Adı	Ölçülen Özellik	İlgili Standart/Kaynak	Ölçülen Değer
İri agrega için özgül ağırlık deneyi	Hacim özgül ağırlık	(ASTM C 127-88, 1992)	26,91 kN/m ³
	Suya doymun özgül ağırlık		26,96 kN/m ³
	Su emme yüzdesi		% 0,2
İnce agrega için özgül ağırlık deneyi	Hacim özgül ağırlık	(ASTM C 128-88, 1992)	25,80 kN/m ³
	Suya doymun özgül ağırlık		26,24 kN/m ³
	Su emme yüzdesi		% 2,3
Los Angeles Aşınma Deneyi	Aşınma yüzdesi	(ASTM C 131-89,1992)	%17<%35
Donma ve Çözülme Deneyi	Malzeme Kaybı	(Umar ve Ağar, 1991)	%6.8<%12
Nicholson Metodu ile Soyulma Deneyi	Soyulma Yüzdesi	(Umar ve Ağar, 1991)	%24<%50

3.1.2. Mineral Filler

Çalışmada mineral filler olarak taştuzu (kireçtaşı tozu) , mermer tozu ve mermer toz atıkları kullanılmıştır.

3.1.2.1. Taş tozu

Deney numunelerinin hazırlanmasında, mineral agrega olarak da kullanılan Isparta Gümüşgün taş ocağına ait malzeme, 200 nolu elekten elenerek mineral filler olarak kullanılmıştır.

3.1.2.2. Mermer Toz Atığı

Çalışmada, Isparta yöresinde faaliyet gösteren iki mermer fabrikasından alınan mermer toz atıkları doğrudan ve 200 nolu elekten elenerek kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi, hangi cins mermer atığı olduğu bilinmeyen karışık mermer atığıdır. Diğeri ise, Burdur Bej cinsi mermere ait fabrika atığıdır. Ayrıca bu mermere ait bir parça da fabrikadan alınarak bir sonraki bölümde açıklandığı şekilde laboratuarda toz haline getirilerek 200 nolu elekten elenmiş ve bu şekilde mineral filler olarak kullanılmıştır.

3.1.2.3. Mermer Tozu

Çalışmada, 7 ayrı cins mermer, mineral filler olarak kullanılmıştır. Bunlar;

1. Afyon Gri
2. Burdur Bej
3. Dolomit
4. Elazığ Vişne
5. Rozalya
6. Suprensadene
7. Traverten

Bu mermer parçaları Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarında öğütülmüş ve 200 nolu elekten elenerek mineral filler elde edilmiştir.

3.1.3. Asfalt Çimentosu

Çalışmada, Isparta Belediyesi asfalt şantiyesinde kullanılan bitüm malzemesinden yararlanılmıştır. Bu malzeme 90-100 penetrasyonlu asfalt çimentosudur.

3.1.4. Cihazlar

Deney numunelerinin hazırlanabilmesi ve ilgili deneylerin yapılabilmesi için Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne ait Ulaştırma ve Zemin Mekaniği laboratuvarlarında bulunan Marshall deney aleti, indirekt çekme deney aleti, Marshall sıkıştırıcısı, Marshall numune kalıpları, su banyosu, etüv, penetrasyon deney aleti, penetrasyon numune kapları, duktilite deney aleti, hassas terazi, elek serisi, hidrometre deney aleti kullanılmıştır.

3.2. Metot

Bu bölümde, deney numunelerini oluşturan malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve deney numunelerinin test edilmesi için kullanılan deney metotları hakkında bilgiler verilmiştir.

3.2.1. Mineral Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan mineral agreganın fiziksel özelliklerinin tayininde iri ve ince agregalar için özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

3.2.1.1. İri Agreganın İçin Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık değeri, portlant çimentosu betonu, asfalt betonu ve diğer karışımlarda kullanılan iri agreganın özelliklerini belirlemede genellikle kullanılır (ASTM C 128-88, 1992).

Kullanılan agrega örneğinden yaklaşık 1 kg alınır, 24 saat suda bırakılır. Sonra yüzeyleri bezle kurutulur ve tartılır. Bir tel sepete konarak suya batırılır ve suda tartılır. Daha sonra malzeme etüvde 105 °C' de 24 saat kurutulur ve havada tartılır (Umar ve Ağar, 1991).

$$\text{Hacim özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{A}{B-C} \quad (3.1)$$

$$\text{Doygun esasa göre hacim özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{B}{B-C} \quad (3.2)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{A}{A-C} \quad (3.3)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.4)$$

A= Kuru ağırlık (gr)

B=Doygun yüzey kuru ağırlık (gr)

C=Sudaki ağırlık (gr)

3.2.1.2 İnce Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi

İnce agrega 24 saat suda bırakılır. Ertesi gün kohezyonunu kaybedinceye kadar kurumaya terk edilir. Sonra, bu haldeki malzemedan 500 gr alınır ve piknometreye konur ve üzerine piknometre doluncaya kadar su ilave edilir. Piknometre içindeki malzeme alınır ve etüvde kurutulur, sonra da tartılır. İnce agreganın özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır (Umar ve Ağar, 1991).

$$\text{Hacim özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{A}{V-W} \quad (3.5)$$

$$\text{Doygun esasa göre hacim özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{500}{V-W} \quad (3.6)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{A}{V-W-(500-A)} \quad (3.7)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{500-A}{A} \times 100 \quad (3.8)$$

A= Kuru ağırlık (gr)

V =Piknometre hacmi (cm^3)

W =Su ağırlığı (gr)

3.2.2. Mineral Fillerin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.2.1. Hidrometre Deneyi

Arazi dane büyüklüğü analizinde, çökme hızı, hazırlanan sıvının üst kısmının, daha büyük çaplı danelerin çökmesi sebebiyle yoğunluğunun azalması ile tayin olunur. Yoğunluk, hidrometre ile ölçülür (Kumbasar vd., 1969).

Bu methodda esas, suspansiyonun özgül ağırlığının çökme başladıktan sonra, değişik zamanlarda, bir hidrometre vasıtası ile ölçülmesidir. Burada, hidrometre gövdesinin hacim merkezinin, sıvının hakiki yüzü altındaki derinliği, özgül ağırlığın ölçüldüğü seviye olarak kabul edilir (Capper ve Cassie, 1973).

Deneyde, No. 200 eleğinden geçen 50 gr etüvde kurutulmuş numuneye ihtiyaç vardır. Ayrıştırıcı sıvıda numune birkaç gün bekletilir. Daha sonra karışım bir mezüre alınır ve 1000 cm^3 işaretine kadar su ile tamamlanır. Ağzına lastik tapa geçirilmiş olan mezür şiddetle çalkalanır ve bu iş bittikten sonra düz bir yere oturtularak kronometre çalıştırılır. Hidrometre karışıma dikkatle daldırılır ve 15 sn. sonra ilk okuma alınır. Okumalar 30 sn, 1. ve 2. dakikada tekrarlanır ve hidrometre dışarı alınır. Hidrometre okumaları 4, 8, 15, 30 dakikalar ile 1, 2, 4, 8, ve 24 saatlerde tekrarlanmalıdır. Deney boyunca sıcaklık mümkün olduğu kadar hassasiyetle kontrol edilmeli, mezür, süspansiyonda konveksiyon hareketlerine meydan vermemek için güneş ışığından ve herhangi bir ısı kaynağından uzak tutulmalıdır. Buharlaşmayı önlemek için mezürün üstüne bir kapak kapatmak fayda sağlayabilir. Süspansiyonun sıcaklığı her okuma için kontrol edilmeli ve deney boyunca ortalama süspansiyon sıcaklığı $2 \text{ }^\circ\text{C}$ den fazla bir fark göstermemelidir, bu dane büyüklüklerinde % 2'den fazla hatanın olmamasını sağlar. Bu şart, oda sıcaklığında $8 \text{ }^\circ\text{C}$ den fazla bir fark olmadığı zaman yerine gelmiş olur (Kumbasar vd., 1969).

Hidrometre deneyi sonrası alınan okumalara göre dane büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D = k \frac{\sqrt{R_h}}{t} \quad (3.9)$$

D = Dane boyutu (mm)

k = 0.0134

R_h = Menisküsün üst seviyesinde hidrometre okuması. Okuma alınırken tamsayı okumaları ihmal edilir ve ondalık noktası üçüncü ve dördüncü ondalıklar arasına koyulur, yani yoğunluk 1.0325 okuması 32.5 olarak kaydedilmelidir.

t = Okuma süresi (dakika)

Alınan numuneye göre geçen dane yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P = \frac{R_h}{50} \quad (3.10)$$

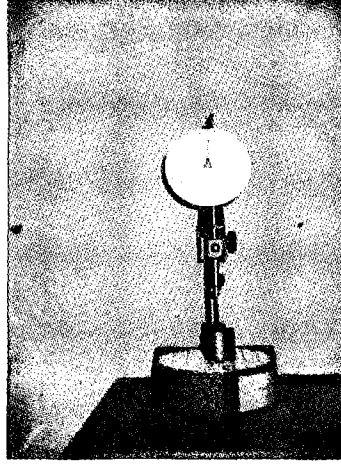
P = Alınan numuneye göre geçen tane yüzdesi (%)

3.2.3. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.3.1. Penetrasyon Deneyi

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir.

Deney yapılışı ise, penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Numune istenen sıcaklıkta olmalıdır (genellikle 25 °C'de). İstenen ağırlıkta (genellikle 100 gr) numune yüzeyine ancak degecek şekilde ayarlanır. İğne belirli bir zaman aralığında serbest bırakılır. Genellikle 5 sn'lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kabın kenarından ve birbirinden 1'er cm' lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetra klorür, tri klor etilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir (TS 118, 1998).



Şekil 3.1. Penetrasyon deney aleti

Viskozite ve penetrasyon derecesi benzer sayılarla verilir. Örneğin 80-100 penetrasyonlu asfalt, 50-100 viskoziteli asfalt gibi. Fakat bunlar farklı şeylerdir. Bunların benzer şekilde ifade edilmesi yanlışlara yol açar.

Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusudur. Buna karşılık viskozitede durum terstir. Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcağa daha dayanıklıdır (Umar ve Ağar, 1991).

3.2.3.2. Düktilite Deneyi

Bitümlü karışımlar genişleme ve büzölmeler doğuran ısı değışikliklerine maruz kaldıklarından, bağlayıcıların belli bir düktilite özelliğine sahip olması gerekir. Bir asfaltın düktilitesi, belirtilen koşullar altında standart bir briketin kopmadan uzayabileceği (cm) cinsinden uzaklık olarak belirtilir. Düktilite, yavaş etkiyen yükler altında bağlayıcının esneme kabiliyetinin bir ölçüsüdür (Umar ve Ağar, 1991).

Deneyde, eritilmiş numune “ 8 ” şeklindeki kalıp içine doldurulur ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Briketin min. kesit alanı 1 cm^2 dir. Soğuyan kalıplar deney sıcaklığındaki su banyosuna bırakılır. Kalıba yapışan fazla kısımlar sıcak bir bıçakla alınır, kalıbın yan parçaları çıkarılır, deney briketi düktilometreye yerleştirilir. Burada 5 cm/dak lık sabit bir hızla çekilir. Asfalt ipliğinin kopmasına kadar

katedilen yol, düktilite ölçülür (cm). Deney 25 °C sabit sıcaklıktaki su banyosu içinde yapılır.

Normal bir deneyde kopma, çekilmekte olan maddenin muayyen bir noktada ayrılması veya iplik şeklinde uzamakta olan numunenin kesit alanının sıfıra inmesi anıdır. Böyle üç normal deney sonuçlarının ortalaması, numunenin düktilitesi olarak bildirilir. Deney esnasında bitümlü madde suyun üst yüzeyine veya banyonun tabanına değerse bu normal bir deney olarak kabul edilemez (TS 119, 1964).

3.2.3.2. Özgül Ağırlık Deneyi

Bir bağlayıcının özgül ağırlığı bunun belli bir hacminin ağırlığının aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir. Birincisi; çok defa ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır (Umar ve Ağar, 1991).

Özgül ağırlık tayini için piknometre metodu kullanılır. Bu metotta, önce boş piknometre kabı kuru olarak tartılır, daha sonra su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Piknometre kabı boşaltılır, kurutulur, içine uygun miktarda bağlayıcı genellikle 2/3 yüksekliğine kadar ya küçük parçalar halinde veya eritilmiş malzeme akıtılarak konur. Eğer ısıtılmış malzeme akıtılacak ise malzeme içinde hava kabarcıkları kalmamasına dikkat edilmesi gereklidir. Piknometre içinde kalan boşluk su ile doldurulur ve tartılır. deneyde kullanılacak su saf su olmalıdır. Deney, genellikle 25 °C 'de yapılır. Farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C 'ye çevirmek için çeşitli abaklardan yararlanılır (Umar ve Ağar, 1991).

$$\text{Özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{C - A}{B - A - (D - C)} \quad (3.11)$$

A= Piknometre ağırlığı (gr)

3.2.5. Marshall Stabilite Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri 63.5 ± 1.27 mm (2.5 inç \pm 0.05 inç) yüksekliğinde briket hazırlayabilecek miktarda (yaklaşık 1200 gr) agrega numunesi ile önceden belirlenmiş miktarda bitüm ile hazırlanır (Önal ve Kahramangil, 1993).



Şekil 3.2. Marshall stabilite sıkıştırma aleti

Asfalt çimentosu ve sıvı petrol asfaltın 170 ± 20 °C viskozite oluşacak şekilde ısıtılacağı sıcaklık, karıştırma sıcaklığıdır. Numuneler 101.6 mm (4 inç) çapında ve 76.2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kalıbında, 457.2 mm (18 inç) den düşen 4536 g (10 lb) ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılır. Numunenin her iki yüzüne trafik durumuna göre orta trafik için 50, yüksek trafik için ise 75 darbe vurulur.

3.2.6. Çalışmada Kullanılan Diğer Bağıntılar

3.2.6.1. Farklı Bitüm Miktarlarında Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığı

Bitüm miktarının değişmesi, bitüm absorpsiyonunu önemli ölçüde değiştirmedikinden, her bir bitüm yüzdesi için maksimum özgül ağırlık aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (3.12)$$

D_T = Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı (kN/cm^3)

W_a =Agrega ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)

G_{ef} =Agreganın efektif özgül ağırlığı (kN/cm^3)

G_b =Bitüm özgül ağırlığı (kN/cm^3)

3.2.6.2. Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Boşluk Hacmi Yüzdesi

Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA), efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımının agrega daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak hesaplanır.

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + W_a} \times 100 \quad (3.13)$$

VMA =Agregalar arası boşluk yüzdesi (%)

D_p =Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm^3)

G_{sb} =Agreganın hacim özgül ağırlığı (kN/cm^3)

W_a =Agrega ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)

3.2.6.3. Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu, kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir.

$$V_h = \frac{D_T - D_p}{D_T} \times 100 \quad (3.14)$$

$$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} \times 100 \quad (3.15)$$

V_h =Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki agrega boşluğu (%)

V_f =Asfaltla dolu boşluk yüzdesi (%)

D_T = Kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı (kN/cm^3)

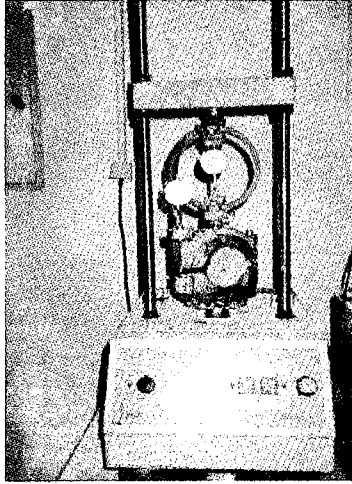
D_p = Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm^3)

3.2.7. Marshall Stabilite Deneyi

Bu metod, Marshall Stabilite deney aleti yardımıyla bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yaparak plastik akmaya karşı direncin ölçümünü kapsar (ASTM D 1559-89, 1992). Ülkemiz karayollarında bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyidir. Bu deney esas olarak bir serbest basınç deneyi olup numune yüklendiği sırada tamamen sınırlanmaz (Umar ve Ağar, 1991).

Marshall deney numuneleri en az bir gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doymuş-yüzey kuru ağırlıkları tartılır ve deneye alınır. Numuneleri istenilen sıcaklığa getirmek için 30-40 dakika su banyosunda veya 2 saat etüvde bekletilir. Banyo veya etüv sıcaklığı asfalt çimentolu briketler için 60°C 'dir. Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Akma ölçer (flowmeter) yerleştirilerek sıfırlanır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50.8 mm lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Maksimum yük kaydedilir. Akmaölçer boşaltılır ve akma değeri ölçülür. Deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 s.' den fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63.5 mm'den (2 1/2 inç) farklıysa Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır (ASTM D 1559-89, 1992).

Deneyde; üst segman sabittir. Alt segman yükleme hızı ise 50.8 mm/dakikadır. Basınç arttıkça stabilometrede okunan değer artarak maksimuma ulaşır, daha sonra düşmeye başlar. Bu anda numune kırılır. Stabilometrede okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü karışımın stabilitesi saptanır. "Marshall Stabilitesi" adı verilen bu değer örneğin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Kırılma sırasında örneğin çökme ya da hareket miktarı da ölçülür. Buna "Akma" denir. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agrega boşluğu yüzdesi de saptanır (Umar ve Ağar, 1991).



Şekil 3.3. Marshall stabilite deney aleti

3.2.8. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin tayin edilebilmesi için çeşitli bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait Marshall stabilite, birim ağırlık, bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi ve boşluk oranını grafiklerinin çizilmesi gerekir. Asfalt çimentosunun Marshall stabilite değerini maksimum yaptığı değer, maksimum birim ağırlığı veren asfalt çimentosu oranı, şartnameye uygun olarak bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranı grafiklerden bulunur. Bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir (Umar ve Ağar, 1991).

Bu orana tekabül eden akma değeri akma-bitüm grafiğinden bakılarak, şartnamede belirtilen değerlerin (10-20) arasında olup olmadığı kontrol edilir. Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır (Umar ve Ağar, 1991).

3.2.9. Plastik Deformasyon Deneyi

Yollardaki bozulma nedenlerinden biri, yol yüzeyinde taşıt tekerleğinin ilerlediği kısımlarda oluşan düşey yöndeki plastik deformasyondur. Genellikle kendini yol

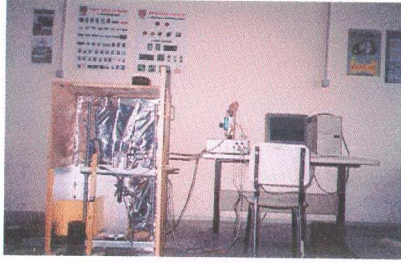
yüzeyinde oluşan ondüle şeklinde gösterir (Karaşahin, 1994). Trafığe maruz her üstyapıda, her bir taşıtın geçmesiyle oluşan deformasyonların çoğunluğunun elastik olmasına rağmen çok küçük de olsa plastik deformasyon oluşmaktadır. Kanalize olmuş trafikte plastik deformasyon genellikle tekerlek izi derinliği ile ölçülür. Pek çok ülkede trafik yoğunluğunun, yük seviyesinin ve yasal dingil ağırlıklarının artması, dikkatleri plastik deformasyona çekmiştir. Yüzey deformasyonu üstyapının her tabakasındaki düşey deformasyonların bileşenidir (Tığdemir, 1999)

Plastik deformasyon deneylerinde Marshall briketleri kullanılmıştır. Silindir şeklindeki (101,6 mm çapında ve 63,5 mm yüksekliğinde) deney numunesi yüksekliği boyunca tekrarlı basınç gerilmesine maruz bırakılır. Buradaki tekrarlı yükleme bu yol kesitinden geçen araçların o yol kesitine uyguladığı yüke karşılık gelmektedir. Normal yoldaki yüklemeden farkı ise frekansıdır. Bu deneyde kullanılan yükleme frekansı 0,5 seçilmiştir. Yani teorik olarak 2 saniyede bir araç geçmektedir. Böylece bir günde sabit aralıklarla 43200 araç geçmiş gibi düşünülmektedir (Tığdemir vd., 1998).

Marshall deney prosedürlerine göre hazırlanan numuneler deneye tabi tutulmadan önce deney sıcaklığındaki su banyosunda 30 dakika tutularak deney sıcaklığına getirilir. Sıcaklığı deney sıcaklığına ulaşan numunelerin altına ve üstüne dairesel yükleme plakaları yerleştirilir. Bu yükleme plakalarının çapı 6.67 cm, kalınlığı yaklaşık 1 cm' dir (Tığdemir, 1999). Daha sonra bilgisayardan uygulanacak yük, oluşturulacak veri dosyası ismi girilir ve bilgiler ekranda onay alınmak üzere görüntülenir. Daha sonra deney başlatılır. Deney başladıktan sonra deneyin sonuna kadar kontrol tamamen bilgisayardadır. Gerekli tüm işlemler bilgisayar tarafından yapılır. Aynı anda deney sonuçları otomatik olarak data dosyasına yüklenir. Numune kırıldığı anda deney bilgisayar tarafından durdurulur (Tığdemir vd., 1998)

Bu testlerde transdüserler düşey deformasyonu ölçmektedir. Bilgisayar otomatik olarak transdüserlerin ilk konumunu algılar. Plastik deformasyon testleri 5000 yük tekrar ile yapılmıştır. Şartlandırma yükü olarak, normal yükleme 100 tekrar

uygulanmıştır. Uygulanan gerilme 100 kPa' dır. İstenen yükleme sonucunda deney bitirilmektedir. Deney sıcaklığı 40 °C' dir (Tığdemir, 1999)



Şekil 3.4. Tekrarlı çekme indirekt yükleme deney aleti

3.2.10. Optimum Filler Yüzdesinin Belirlenmesi

Çalışmada optimum filler yüzdesinin tayini için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisi filler/bitüm oranına göre tespit edilen filler yüzdesidir. Diğeri ise filler oranına göre tespit edilen filler yüzdesidir.

3.2.10.1. Filler/Bitüm Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesinin Belirlenmesi

Marshall stabilite deneyi sonucunda tespit edilen optimum bitüm yüzdesi sabit tutularak filler/bitüm oranı 0,4, 0,5, 0,6, 0,7 ve 0,8 oranlarında (hacimce) değiştirilmiştir.

3.2.10.2. Filler Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesinin Belirlenmesi

Uygulanan bir diğeri yöntem ise, filler oranının toplam agrega oranına göre belirlenmesidir. Çalışmada filler % 0, 2, 4, 6, 8 ve 10 oranlarında değiştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri

Isparta civarındaki Gümüşgün taşocağından alınan kırmataş mineral agreganın özgül ağırlık tayini için yapılan deneyler ve sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İri agrega için yapılan deneyler ve sonuçları

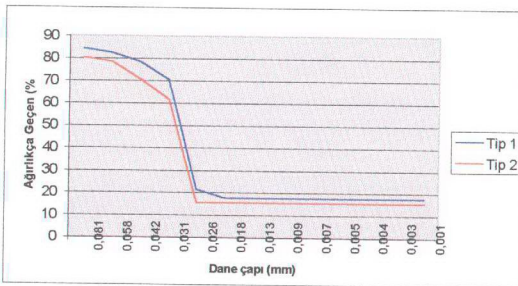
Deney Adı	İlgili Standart	Ölçülen Değer
Hacim özgül ağırlık	(ASTM C 127-88, 1992)	26,97 kN/m ³
Suya doygun özgül ağırlık		27,03 kN/m ³
Su emme yüzdesi		% 0,2

Çizelge 4.2. İnce agrega için yapılan deneyler ve sonuçları

Deney Adı	İlgili Standart	Ölçülen Değer
Hacim özgül ağırlık	(ASTM C 128-88, 1992)	26,03 kN/m ³
Suya doygun özgül ağırlık		26,45 kN/m ³
Su emme yüzdesi		% 2,2

4.2. Hidrometre Deneyi Bulguları

Çalışmada değerlendirilmesi düşünülen mermer toz atıklarının hidrometre deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılan mermer toz atıklarının hidrometre deneyi sonucu Şekil 4.1' de görülmektedir Burada Tip 1 Modülmer Mermer Fabrikasının, Tip 2 ise İşmer Mermer Fabrikasının atıklarını göstermektedir.



Şekil 4.1. Deneyde kullanılan mermer toz atıklarının hidrometre deneyi sonucu

Mermer toz atıklarının ASTM C 117-90, 1992' ye göre yıkama yoluyla tespit edilen gradasyonu Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Mermer toz atıklarının yıkama yoluyla tespit edilen gradasyonu

Elek Boyutu	% Geçen (Yıkama Yoluyla)
2,000 mm (No 10)	100,00
0.600 mm (No. 30)	99,40
0.300 mm (No. 50)	95,10
0.075 mm (No. 200)	91,20

4.3. Asfalt Çimentosunun Özellikleri

Çalışmada, Isparta Belediyesi asfalt şantiyesinde kullanılan bitüm malzemesi kullanılmıştır. Bitüm özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler ve sonuçları Çizelge 4.4. de verilmiştir. Duktilitite deneyinde, deney aletinin boyu olan 150 mm' de kopma olmadığından deney sonucu 150+ şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan agrega malzemesi için yapılan deneyler ve sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	İlgili Standart/Kaynak	Ölçülen Değer
Penetrasyon Deneyi	Penetrasyon değeri	ASTM D 5, 1992 ve TS 118, 1998	0.93 mm (90 –100 penetrasyonlu asfalt)
Duktilitite Deneyi	Duktilitite değeri	ASTM D 113-86, 1992 ve TS 119, 1977	150+ mm
Asfalt çimentosu özgül ağırlık deneyi	Özgül ağırlık değeri	Umar ve Ağar, 1991	1,07

4.4. Numunelerde Kullanılacak Agrega Gradasyonu

Deneyde kullanılan agreganın elek analizi ASTM C 136-84a, 1992' ye göre yapılmıştır. Mevcut agreganın elek analizi sonuçları ve deneyler için seçilen agrega granülometrisi Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deneyde kullanılan agreganın mevcut granülometrisi ve seçilen Binder C granülometrisi

Elek Boyutu	Doğal Agregra Granülometrisi	Marshall Deneyi Granülometrisi (Ortalama Binder Tip C)
1"	100,00	100,00
3/4"	97,27	88,50
1/2"	80,50	68,00
3/8"	66,77	57,50
No:4	38,42	43,00
No:10	22,73	31,00
No:40	14,33	17,00
No:50	5,70	13,75
No:80	3,63	10,50
No:200	1,90	4,50

Optimum filler yüzdesinin tespiti için plastik deformasyon deneyinde kullanılan filler/bitüm oranına göre agregra gradasyonu Çizelge 4.6.' de verilmiştir.

$$\frac{\text{Filler}}{\text{Asfalt}} = 0,4 \sim 0,8 \text{ (hacimce) olarak seçilmiştir.}$$

Çizelge 4.6. Filler/bitüm oranına göre agregra gradasyonu

Elek Boyutu	Filler/Bitüm Oranı				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	81,95	85,37	88,90	92,40	95,63
3/8"	71,85	74,68	77,67	80,60	83,32
No:4	52,90	39,91	59,50	62,80	65,86
No:10	36,85	56,14	43,10	46,20	49,09
No:50	17,65	19,99	22,42	24,80	27,01
No:80	9,50	11,30	13,17	15,00	16,70
No:200	4,30	5,40	6,50	7,60	8,60

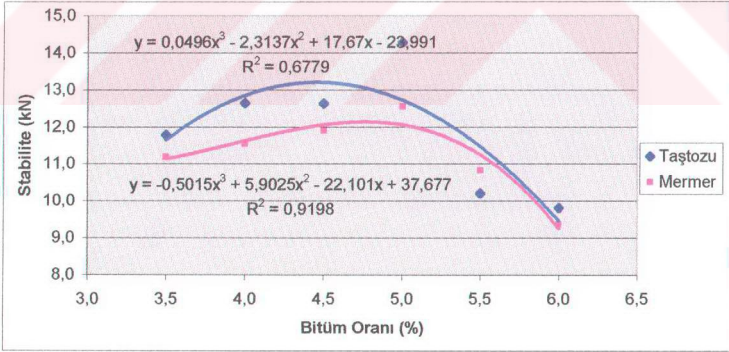
Optimum filler yüzdesinin tespiti için kullanılan filler oranına göre agregra gradasyonu Çizelge 4.7.' da verilmiştir. Bu gradasyon daha sonra tüm filler tipleri için plastik deformasyon değerinin tespitinde kullanılmıştır.

Çizelge 4.7. Filler oranına göre agrega gradasyonu

Elek Boyutu	Filler Oranı (%)					
	% 0	% 2	% 4	% 6	% 8	% 10
1"	100	100	100	100	100	100
3/4"	97	97	97	97	97	97
1/2"	81	81	81	81	81	81
3/8"	67	67	67	67	67	67
No:4	43	43	43	43	43	43
No:10	23	23	23	23	24	25
No:40	14	15	15	16	17	19
No:50	5	6	7	9	11	13
No:80	3	4	5	7	9	11
No:200	0	2	4	6	8	10

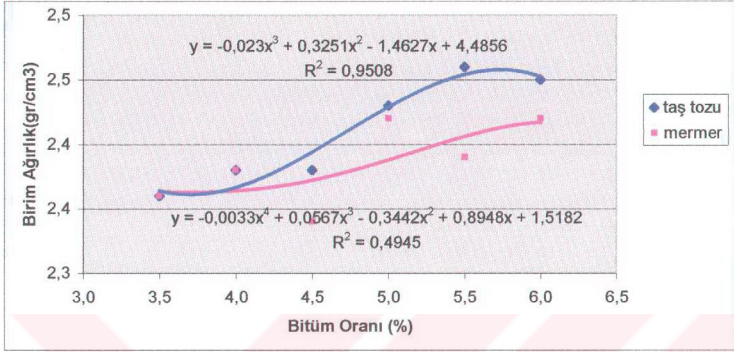
4.5. Optimum Bitüm Yüzdesi

Optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi için Marshall deney metodu ve numuneleri hazırlanmış, agrega gradasyonu sabit tutularak % 3,5-4,0-4,5-5,0-5,5 ve 6,0 oranlarında bitüm oranı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına ilişkin grafikler Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6' da görülmektedir. Deney sonuçlarına ilişkin çizelgeler ise Ek Çizelge 1 ve 2 ' de verilmiştir.



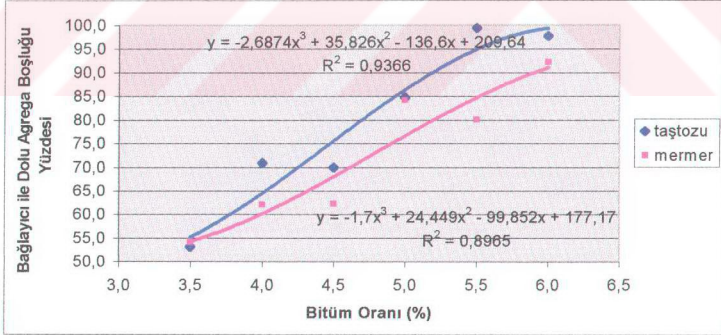
Şekil 4.2. Karışımın stabilite-bitüm ilişkisi

Deney sonucunda taştözünün mermere göre daha fazla kararlılık gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.2).



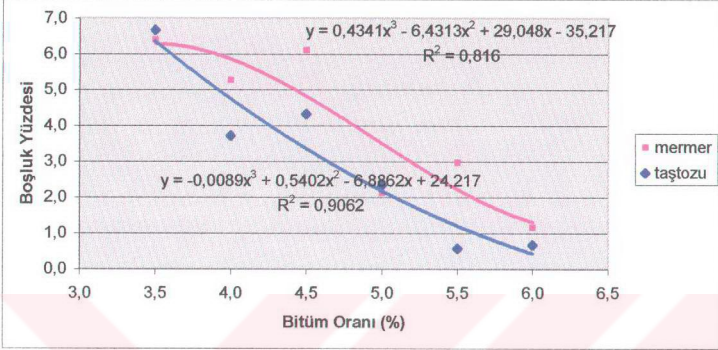
Şekil 4.3. Karışımın birim ağırlık-bitüm ilişkisi

Deney sonucunda taştözü fillerli karışımın mermer fillerli karışıma nazaran birim ağırlığının daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4.3).



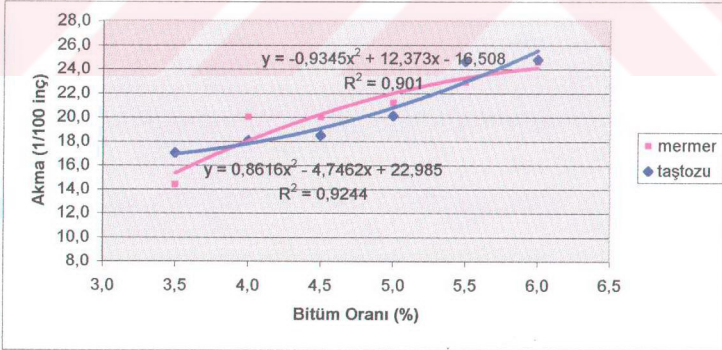
Şekil 4.4. Taştözü fillerli karışımın bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu-bitüm ilişkisi

Deney sonucunda taştozu fillerli karışımın mermer fillerli karışıma nazaran daha fazla bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yzdesine sahip olduğu gcrmlmüştür (şekil 4.4).



şekil 4.5. Taştozu fillerli karışımın boşluk-bitüm ilişkisi

Deney sonucunda taştozu fillerli karışımların mermer fillerli karışımlara nazaran daha az boşluk yzdesine sahip olduğu gcrmlmüştür (şekil 4.5).



şekil 4.6. Mermer tozu fillerli karışımın akma-bitüm ilişkisi

Deney sonucunda karışımların akma-bitüm ilişkisi birbirine yakın değerler vermiştir (Şekil 4.6).

Asfalt çimentosu oranı arttıkça Marshall stabilite değeri artmakta ve bir maksimumdan geçmekte, daha sonra düşmektedir (Şekil 4.2). Birim ağırlık, taş tozu ile hazırlanmış numunelerde bitüm %' sine bağlı olarak artmıştır (Şekil 4.3.). Bunun yanında, bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi değerleri asfalt çimentosu oranının artması ile artmaktadır (Şekil 4.4). Benzer olarak, boşluk oranı da asfalt çimentosu oranının artmasıyla azalmaktadır. Akma değerleri asfalt çimentosu oranının artması ile artmaktadır (Şekil 4.3).

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 kullanılabilir 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).

Asfalt çimentosunun taştozu fillerli karışımlarda % 4.5, mermer fillerli karışımlarda 5.0 olması halinde Marshall stabilite değeri maksimum olmaktadır (Şekil 4.2.).Maksimum birim ağırlık taştozu fillerli karışımlarda % 5.7, mermer fillerli karışımlarda 6.0 görölmektedir (Şekil 4.3). Şartnameye uygun olarak, bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı taştozu fillerli karışımlarda % 4.75, mermer fillerli karışımlarda 5.2 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.4). % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranının taştozu fillerli karışımlarda % 4.3, mermer fillerli karışımlarda 4.7 olduğu görölmektedir (Şekil 4.5). Bu şekilde bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir.

$$\text{Taştozu için optimum bağlayıcı oranı : } \frac{4.5+5.7+4.75+4.3}{4} = 4,8$$

Bu orana tekabül eden akma değeri Şekil 4.6' dan bakıldığında 20,5 olup, şartnamede belirtilen maksimum değer olan 20' ye yakın bir değerdir. Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır.

$$\text{Mermer için optimum bağlayıcı oranı : } \frac{5.0+6.0+5.2+4.7}{4} = 5.2$$

Bu orana tekabül eden akma değeri Şekil 4.6' dan bakıldığında 22 olup, şartnamede belirtilen maksimum değer olan 20' nin üzerinde bir değerdir. Şartnamede istenen koşulların sağlanabilmesi için 20 akma değerine tekabül eden asfalt çimentosu yüzdesi 4.6 olarak görülmektedir. Bu şekilde saptanan bağlayıcı oranına göre gerçekleştirilen bir beton asfalt karışımı şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır.

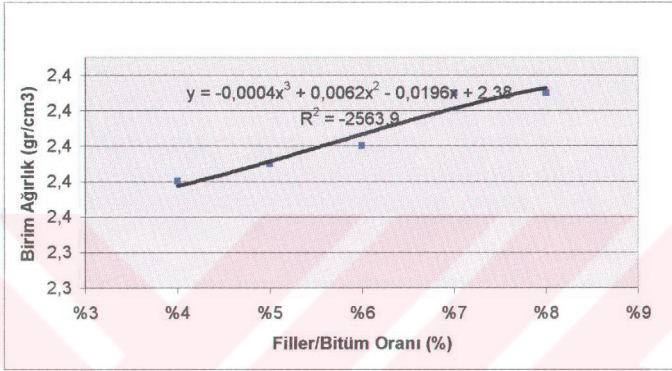
4.6. Optimum Filler Yüzdesi

Daha önce yapılan bir çalışmada (Puzinauskas, 1983), karışımdaki fillerler miktarlarının artması ile adezyon kuvvetlerinin azalma eğiliminde olduğu bulunmuştur. Fillerin fazla miktarlarda kullanımı veya uygunsuz fillerin seçimi ile, böyle zayıf adezyon, özellikle yol karışımı, sıvı su veya su buharının hareketine maruz kaldığında kritik olabilir. Binder filmleri ile mineral agrega arasında böyle bir bağ, zayıflatılabilir ve hatta koparılabilir. Bu zayıflık, kötü performansa ve tutarsız yol karışımına sebep olur.

4.6.1. Filler/Bitüm Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesi

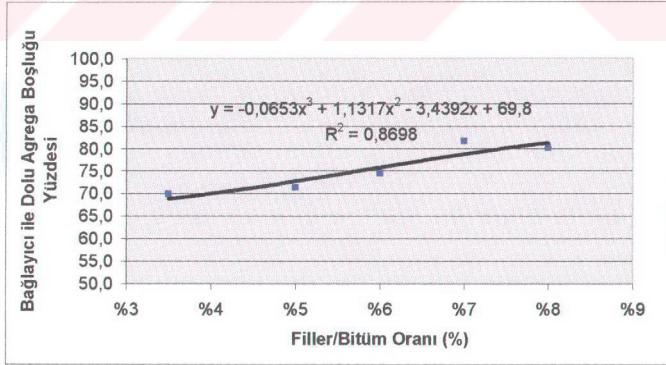
Deneysel çalışmada kullanılacak olan filler miktarının belirlenmesi için öncelikle bitüm ve miktarı ile agrega ve gradasyonu sabit tutulmuştur. Bitüm oranı olarak optimum bitüm miktarı olarak tespit edilen % 4.7, agrega gradasyonu olarak ise Çizelge 4.6' da bulunan gradasyon kullanılmıştır. Filler/bitüm oranı % 4, 5, 6, 7 ve 8 oranlarında (hacimce) değiştirilerek plastik deformasyon deneyi yapılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında taş tozu filler olarak kullanılmıştır.

Hazırlanan Marshall numunelerine ait, birim ağırlık değerleri, bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi ve boşluk yüzdesi değerleri ile filler/bitüm oranı arasındaki ilişkilere ait grafikler Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9' da çizelgeler ise Ek Çizelge 3' de, filler/bitüm oranına göre hazırlanan karışımların birim plastik deformasyon değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 4.10' da verilmiştir



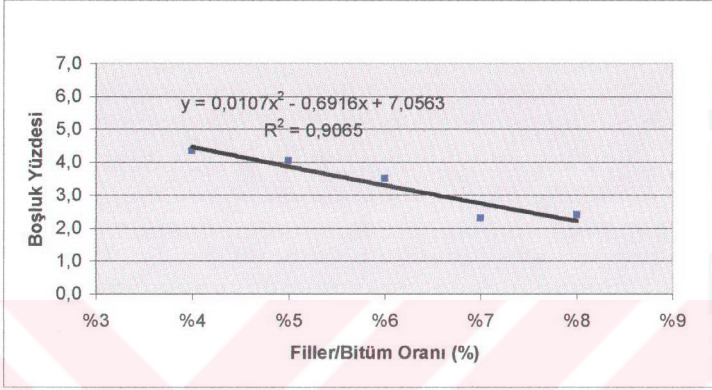
Şekil 4.7. Karışımın birim ağırlık-filler/bitüm ilişkisi

Şekil 4.7' de görüldüğü gibi filler/bitüm oranının artması ile birim ağırlık artmaktadır.



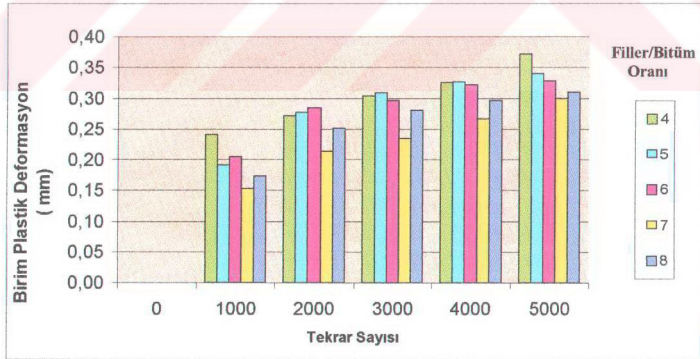
Şekil 4.8. Karışımın bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu-filler/bitüm oranı ilişkisi

Hazırlanan karışımın bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi karışımdaki filler/bitüm oranının artması ile artmaktadır (Şekil 4.8)



Şekil 4.9. Karışımın boşluk yüzdesi -filler/bitüm oranı ilişkisi

Şekil 4.9' da görüldüğü gibi karışımdaki filler/bitüm oranının artması ile boşluk miktarı azalmaktadır.



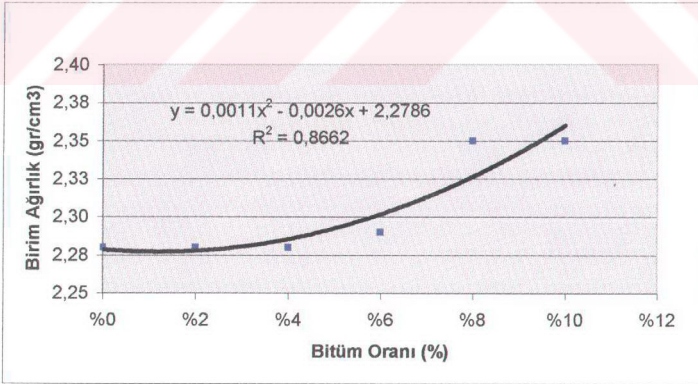
Şekil 4.10. Filler/bitüm oranına göre hazırlanan karışımın plastik deformasyon değerleri

Karışımdaki filler/bitüm oranı artışı ise birim plastik deformasyon % 7 filler/bitüm oranına kadar azalmaktadır. Fakat % 8 filler/bitüm oranında bir artma görülmüştür. Dolayısıyla filler/bitüm oranına göre hazırlanan karışımlarda elde edilen optimum filler/bitüm oranı % 7 olarak söylenebilir (Şekil 4.10).

4.6.2. Filler Oranına Göre Optimum Filler Yüzdesi

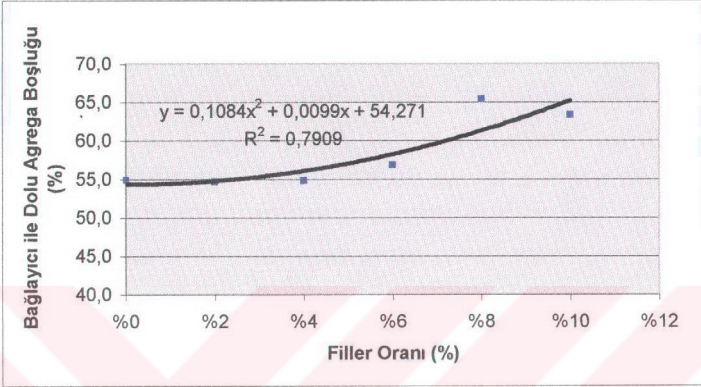
DeneySEL çalışmada kullanılacak olan filler miktarının belirlenmesi için bitüm ve miktarı ile agrega ve gradasyonu sabit tutulmuştur. Bitüm oranı olarak optimum bitüm miktarı olarak tespit edilen % 4.7, agrega gradasyonu olarak ise Çizelge 4.7' de bulunan gradasyon kullanılmıştır. Numunelerde filler malzemesi olarak taştuzu kullanılmıştır. Filler oranı % 0, 2, 4, 6,8 ve 10 oranlarında (ağırlıkça) değiştirilerek plastik deformasyon deneyi yapılmıştır.

Hazırlanan marshall numunelerine ait, birim ağırlık, bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi ve boşluk yüzdesi değerleri ile filler malzemeleri arasındaki ilişkiye ait grafikler Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13' de, çizelgeler ise Ek Çizelge 4' de verilmiştir. Karışımın birim plastik deformasyon değerlerine ait grafik ise Şekil 4.14' de verilmiştir.



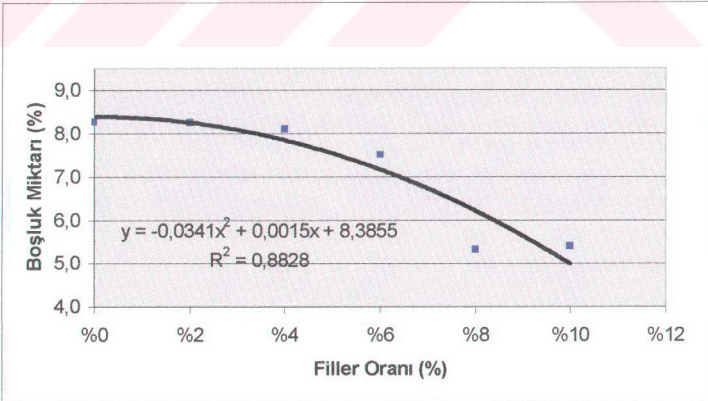
Şekil 4.11. Karışımın birim ağırlık-filler oranı ilişkisi

Şekil 4.11' de görüldüğü gibi karışımda filler oranının artması ile birim ağırlık artmaktadır.



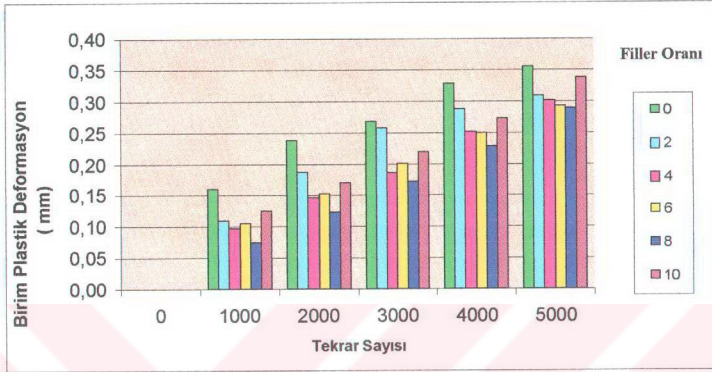
Şekil 4.12. Karışımın bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu-filler oranı ilişkisi

Filler oranına göre hazırlanan karışımdaki filler oranının artması ile bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi de artmaktadır (Şekil 12).



Şekil 4.13. Karışımın boşluk-filler oranı ilişkisi

Şekil 4.13' de görüldüğü gibi karışımdaki filler oranının artması ile boşluk miktarı azalmaktadır.



Şekil 4.14. Karışımın plastik deformasyon değerleri

Karışımdaki filler oranı artışı ise birim plastik deformasyon % 8 filler oranına kadar azalmaktadır. Fakat % 10 filler oranında bir artma görülmüştür. Dolayısıyla filler oranına göre hazırlanan numunelerde elde edilen optimum filler oranı % 8 olarak söylenebilir (Şekil 4.14).

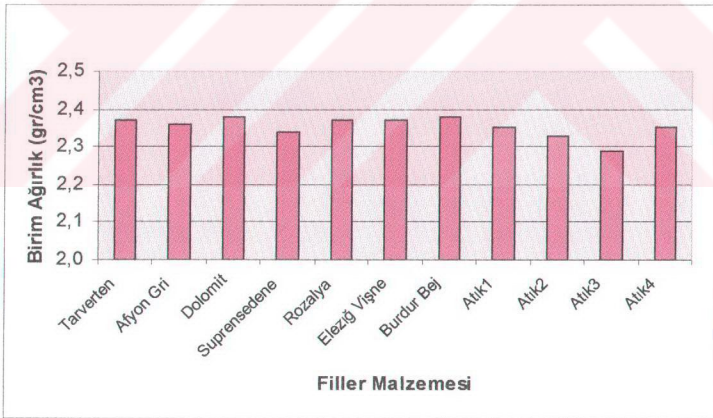
4.7. Mermer Atıklarının Tekrarlı İndirekt Çekme Deneyi ile Belirlenen Mekanik Özellikleri

Fabrikalardan alınan atıkların hangi cins mermer ait olduğu çoğunlukla bilinemez. Bu nedenle mermer cinslerinin asfalt betonuna etkileri de araştırılmış, bu amaç doğrultusunda 7 ayrı cins mermer (Afyon Gri, Burdur Bej, Dolomit, Elazığ Vişne, Rozalya, Suprensenedene ve Traverten) 0.75 mikron (No 200 eleği) boyutuna indirgenmiştir. Ayrıca değişik mermer fabrikalarından alınan mermer atıklar, No 200 eleğinden elenerek ve doğrudan karışımlarda kullanılmıştır.

Çalışmanın bu kısmında değişik filler malzemeleri ile aynı filler oranı ve bitüm yüzdesi kullanılarak Marshall numuneleri hazırlanmış ve dinamik deformasyon testine tabii tutulmuştur

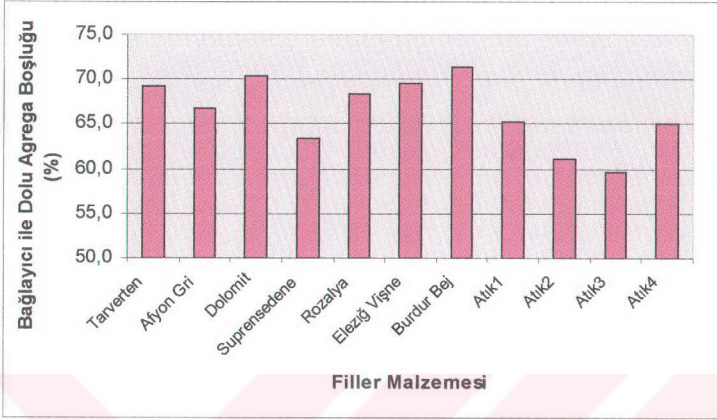
Burada Tip1 ve Tip2, iki farklı mermer fabrikasından alınan ve No 200 eleğinden elenen mermer atıklarının kullanıldığı karışımları temsil etmektedir. Tip3 ve Tip4 ise aynı fabrikalarının atıklarının No 200 eleğinden elenmeden doğrudan kullanıldığı karışımlardır. Bu malzemelerin doğrudan karışımında kullanılabilmesi için mermer atıklarının daha önce yapılan elek analizi deneyinde No 30 ve No 100 eleklerinden geçmeyen miktarları agrega gradasyonundan çıkarılmıştır.

Hazırlanan marshall numunelerine ait bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi, boşluk yüzdesi ve birim ağırlık değerleri ile filler malzemeleri arasındaki ilişkiye ait grafikler Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17' de, çizelgeler ise Ek Çizelge 5' de verilmiştir. Farklı filler malzemelerinin birim plastik deformasyon değerleri ise Şekil 4.18' de verilmiştir.



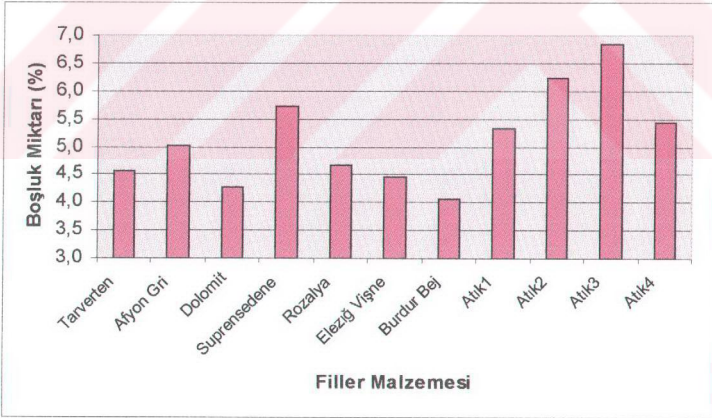
Şekil 4.15. Farklı filler malzemelerinin birim ağırlık değerleri

Şekil 4.15' de görüldüğü gibi farklı filler malzemelerinin birim ağırlık değerleri 2.29 ile 2.38 aralığında değişme göstermiştir.



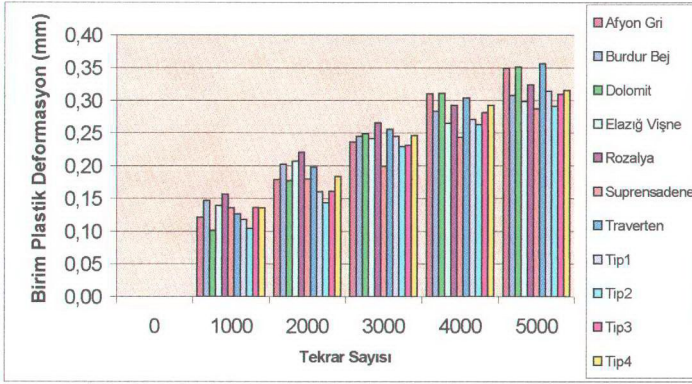
Şekil 4.16. Farklı filler malzemelerinin bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu değerleri

Farklı filler malzemelerine ait bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu değerleri (%) 59.6 ile 71.3 değerleri arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.17. Farklı filler malzemelerinin boşluk miktarı değerleri

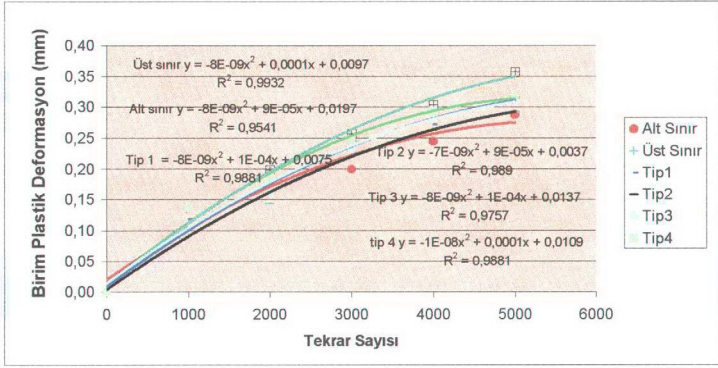
Şekil 4.17' de görüldüğü gibi farklı filler malzemelerine ait karışımları boşluk miktarı değerleri (%) 4.1 ile 6.8 değerleri arasında değişiklik göstermiştir.



Şekil 4.18. Farklı filler malzemelerinin birim plastik deformasyon değerleri

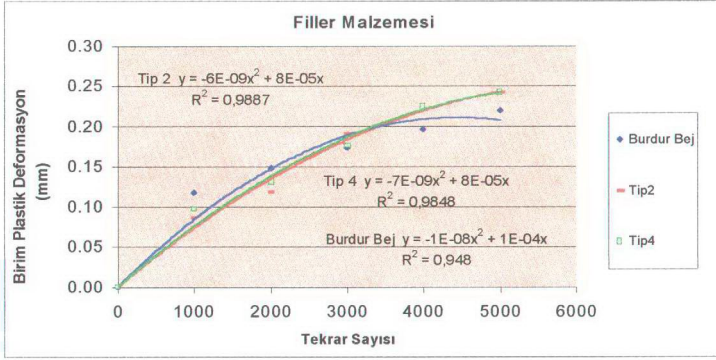
Farklı filler malzemelerine ait birim plastik deformasyon değerleri 0,29 ile 0,36 (mm) değerleri arasında değişmiştir. En fazla deformasyon Traverten cinsi mermer aittir. En az deformasyon ise Suprensadene ve Tip2 cinsi mermerlere aittir (Şekil 4.18).

Mermer atıkları ile farklı mermer cinslerine ait atıkların alt ve üst sınır değerlerinin birim plastik deformasyon değerleri Şekil 4.19' da görülmektedir. Mermer atıkları ister doğrudan kullanılsın ister No 200 eleğinden elensin alt ve üst sınır arasında kalmaktadır. Atık mermerlerin kullanılması ile elde edilen numunelerin, diğer mermer cinsi mermerle hazırlanan numunelere benzer bir davranış gösterdiği görülmüştür.



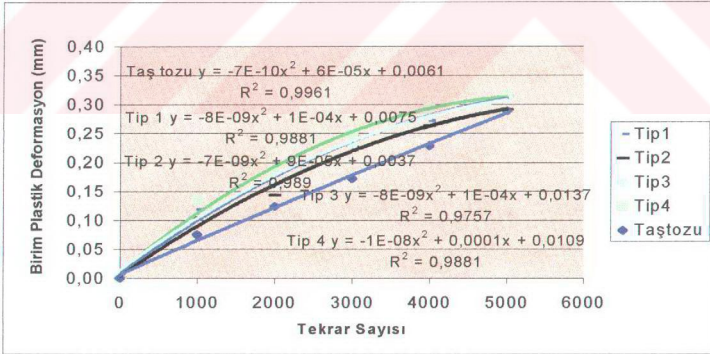
Şekil 4.19. Mermer atıkları ile farklı mermer cinslerine ait atıkların alt ve üst sınır değerlerinin birim plastik deformasyon değerleri

Daha önce de belirtildiği gibi, çalışmada Burdur Bej cinsi mermerine ait fabrika atığı doğrudan ve elenerek kullanılmış, ayrıca yine aynı fabrikadan alınan parça mermer laboratuarda öğütülerek No 200 eleğinden elenmiştir. Bu üç tip karışıma ait birim plastik deformasyon değerleri Şekil 4.20' de görülmektedir. Doğrudan fabrikadan alınarak kullanılan Tip 2 ile fabrikadan alınan atığın No 200 eleğinden elenerek kullanıldığı Tip 4 karışımlarına ait birim plastik deformasyon eğrileri birbirine çok yakın çıkarken, fabrikadan alınıp öğütülen ve No 200 eleğinden elenerek hazırlanan Burdur Bej karışımına ait birim plastik deformasyon eğrisi çok az farklılık göstermiştir.



Şekil 4.20. Burdur bej mermerine ait birim plastik deformasyon değerleri

Optimum filler oranının tayin edilmesi esnasında kullanılan taştuzu filler fillerli karışımlar ile yine filler atıklarının doğrudan ve No. 200 eleğinden elenerek kullanıldığı karışımların birim deformasyonları karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Taştuzu ve mermer atıklarına ait birim plastik deformasyon değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mermer toz atıkları özellikle mermer işleme fabrikalarının civarında önemli çevre sorunları oluşturmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin yol üstü yapı inşaatında değerlendirilmesi ekonomiye ve çevreye önemli bir katkı getirecektir.

Deneysel çalışma sonuçları göstermiştir ki, taş tozu yerine mermer tozu kullanılması hem Marshall deney sonuçları hem de plastik deformasyon deney sonuçları dikkate alındığında önemli bir farklılık göstermemektedir. Dolayısıyla, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceği kanaati oluşmuştur. Ancak, ekonomik olan mermer toz atıklarının doğrudan bitümlü karışımlarda kullanılmasıdır. Karışımlara direkt olarak mermer tozu ilave edildiğinde sonuçların diğer mermer malzemelerin sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Bu bağlamda mermer toz atıklarının doğrudan kullanılmasının mümkün olduğu kanaatini gündeme getirmektedir.

Özellikle mermer işleme fabrikalarına yakın olan yerleşimlerde mermer tozunun bitümlü karışımlarda kullanılması çevre kirliliğini azaltacaktır. Ancak, fabrikaların mermer atıklarını düzenli bir şekilde stok etmeleri ve mermer tozlarını kurutma sistemlerine sahip olmaları kullanımı mermer toz atıklarının kullanılmasını daha da kolaylaştıracaktır. Aksi takdirde, nemli mermer tozlarının karışımlarda direkt olarak kullanılması mümkün olmadığından, kurutma için bir enerji harcanması söz konusudur. Bu da maliyeti artırıcı bir unsurdur.

KAYNAKLAR

- Acar, S. O., Tapkın, S., 1998. Portland Çimentosu Kullanılarak Hazırlanan Marshall Numunelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Asfalt' 98, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, s 105-117, Ankara
- Ağar, E., Süttaş, İ., Öztaş, G., 1998. Beton Yollar, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- 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,
- Al-Sayed, M. H., Madany I. M., Buali R. M., 1995. Use of Sewage Sludge Ash in Asphaltic Paving Mixtures in Hot Regions, Construction and Building Materials. v 9 , p 19-23
- 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
- ASTM C 117-90. 1992. Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM C 127-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM C 128-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM C 131-89. 1992. Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregates by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM C 136-84a. 1992. Standard Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM D 5-86. 1992. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM D 113-86. 1992. Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM D 1559-89. 1992. Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards. USA
- ASTM D 242. 1992. Standard Specification for Mineral Filler For Bituminous Paving Mixtures. Annual Book of ASTM Standards. USA
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1994. Yollar Fenni Şartnamesi (Yol Alt Yapısı, Sanat Yapıları, Köprü, Tünel ve Üst Yapı İşleri), Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1999. Bayındırlık ve İskan Bakanı Koray AYDIN' ın 2000 Mali Yılı Bütçe Kanunu Tasarısını TMMM Genel Kuruluna Sunuş Konuşması, Ankara

- Capper, P. L., Cassie, W. F. (çeviren Kumbasar, V., Kip, F.), 1973. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitapevi, İstanbul
- Chen, J. S., Shih, P., 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
- 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
- Güngör, M. M., 1996. Afşin Elbistan Uçucu Külünün Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ
- Harris B. M., Stuart K. D., 1996. Analysis of Mineral Fillers and Mastics Used in Stone Matrix Asphalt, Asphalt Paving Technology, Association of Asphalt Paving Technologists Proceeding of the Technical Sessions. v 64, Assoc of Asphalt Paving Technologists, Maplewood, MN, USA. P 54-95
- Ishai, I., Graus, J., Sides, A., 1980. A Model for Relating Filler Properties to Optimal Behavior of Bituminous Mixtures, Proc.Association of Asphalt Paving Technologists. Vol:49:416-436
- Kandhal, P. S., Lynn, C., Parker, F., 1998. Characterization Tests for Mineral Fillers Related to Performance of Asphalt Paving Mixtures, Transportation Research Record, pp. 101-110, Auburn Univ. Auburn, AL, USA
- Karaşahin, M., 1993. Resilient Behavior of Granular Materials of Analysis of Highway Pavements. PhD Thesis. Department of Civil Engineering. University of Nottingham. England. 312p.
- Karaşahin, M., 1994. Bitümlü Karışımların Mekanik Özelliklerinin Laboratuarda Ölçülmesi, 15. Yıl Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Adana
- Karaşahin, M., Tığdemir, M., Fincanoğlu, A., Saltan, M., 1997. Asfalt Betonu Karışımında Pomzanın Filler Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, I. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta
- Kumbasar, V., Kumbasar, F., Önalp, A., 1969. Yol Mühendisleri için Zemin Mekaniği, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- 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
- Okuyucu, H., 1996. The Permeability of Asphaltic Concrete Mixtures Under Pressure and The Effect of Filler/Bitumen Ratio on Permeability, A Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Sciences of The Middle East Technical University, Ankara
- Önal, M. A., Aray, S., Aşık, İ., 1996. Yüksek Plastisiteli Fillerin Bitümlü Sıcak Karışımların Kohezyonuna Etkisi, I. Ulusal Asfalt Sempozyumu, s.90-102, Ankara
- Önal, M. A., Kahramangil, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara
- Puzinauskas, V. P., 1983. Filler in Asphalt Mixtures, The Asphalt Institute, Research Report No: 69/2, Maryland, USA
- Saltan, M., 1999. Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, s.202, Isparta

- Sayed, M.H., Madany, İ.M., 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
- Shahrou, 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
- 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
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y. İ., Sarışık, A., 1996. *Mermer Teknolojisi*, SDÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta
- Tayebali, A. A., Malpass, G. A., Khosla, N. P., 1998. Effect of Mineral Filler Type and Amount on Design and Performance, *Transportation Research Record*. N 1609, pp 36-43
- Tıgdemir, M., 1999. *Bitümlü Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Parametrik İncelenmesi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 105s, Isparta
- Tıgdemir, M., Kardeş, M., Kurbanoglu, C., 1998. *Asfalt Betonu Testi İçin Devirli Bir İndirekt Çekme Aletinin Geliştirilmesi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, sayfa:43-51, Isparta
- TS 118. 1998. *Petrol Ürünleri-Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Penetrasyonu Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara
- TS 119. 1977. *Bitümlü Maddelerin Duktilitite Deneyi İçin Metot*. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara
- Tunnicliff, D. G., 1962. A Review of Mineral Fillers. *Proc.Association of Asphalt Paving Technologists*. Vol:34:214-236
- 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
- Umar, F., Açar, E., 1991. *Yol Üstyapısı*, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serdal TERZİ

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1977

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1990-1994 Ankara İnşaat Teknik Lisesi

Lisans 1994-1998 SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

1999-..... (Arş.Gör) SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi

EKLER



Ek-1 Mermer Fillerli Karışımların Marshall Stabilite Deneyi Sonuçları

Bitüm Oranı	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	MARSHALL						Ortalama Akma (1/100 inç)
				Basınç (kN)	Akma (1/100 inç)	Düzeltilme Katsayısı	Düzeltilmiş Basınç (kN)	Ortalama Basınç (kN)	Düzeltilmiş Akma (1/100 inç)	
% 3,5	1	66,4	1229,4	13,42	11,5	0,936	12,56		10,764	14,320
	2	66,5	1240,9	12,56	14,6	0,934	11,73	11,18	13,636	
	3	66,8	1433,5	9,98	20,0	0,928	9,26		18,560	
% 4,0	1	66,5	1247,4	14,40	21,3	0,934	13,45		19,894	20,014
	2	67,1	1238,7	11,40	20,7	0,920	10,49	11,53	19,044	
	3	66,3	1241,8	11,35	22,5	0,938	10,65		21,105	
% 4,5	1	66,7	1231,2	11,46	20,5	0,930	10,66		19,065	20,009
	2	66,7	1215,0	14,65	18,9	0,930	13,62	11,89	17,577	
	3	66,8	1230,2	12,26	25,2	0,928	11,38		23,386	
% 5,0	1	66,0	1238,6	13,93	21,8	0,943	13,14		20,557	21,164
	2	65,1	1242,1	11,74	20,4	0,960	11,27	12,55	19,584	
	3	64,6	1241,7	13,62	24,0	0,973	13,25		23,352	
% 5,5	1	65,4	1225,6	10,19	23,1	0,954	9,72		22,037	22,912
	2	66,5	1243,4	12,13	26,3	0,934	11,33	10,82	24,564	
	3	66,7	1253,4	12,26	23,8	0,930	11,40		22,134	
% 6,0	1	68,0	1273,7	9,49	31,5	0,898	8,52		28,287	24,579
	2	65,0	1245,2	10,45	23,0	0,963	10,06	9,36	22,149	
	3	65,6	1249,1	9,98	24,5	0,951	9,49		23,300	

Ek-1 Devam

Bitüm Oranı	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	Sıkıştırılmış Karışımın Boşluk Oranı (%)	Ortalama Boşluk Oranı (%)	Numunenin BHA (gr/cm ³)	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)	Ortalama Bağlayıcı ile Dolu Agregat Oranı (%)
% 3,5	1	66,4	1229,4	6,55	6,39	2,36	2,36	53,48	54,08
	2	66,5	1240,9	5,82		2,38		56,37	
	3	66,8	1233,5	6,80		2,35		52,39	
% 4,0	1	66,5	1247,4	4,70	5,26	2,39	2,38	64,61	62,11
	2	67,1	1238,7	6,22		2,35		57,71	
	3	66,3	1241,8	4,85		2,39		64,00	
% 4,5	1	66,7	1231,2	5,62	6,11	2,35	2,34	63,15	62,26
	2	66,7	1215,0	6,87		2,32		58,40	
	3	66,8	1230,2	5,84		2,35		62,23	
% 5,0	1	66,0	1238,6	3,44	2,12	2,39	2,42	75,87	84,17
	2	65,1	1242,1	1,81		2,43		85,70	
	3	64,6	1241,7	1,10		2,45		90,93	
% 5,5	1	65,4	1225,6	2,98	2,96	2,39	2,39	80,13	80,04
	2	66,5	1243,4	3,20		2,38		78,70	
	3	66,7	1253,4	2,71		2,39		81,28	
% 6,0	1	68,0	1273,7	2,43	1,15	2,38	2,42	83,82	92,12
	2	65,0	1245,2	0,21		2,44		98,41	
	3	65,6	1249,1	0,82		2,43		94,12	

Ek-2 Taştozu Fillerli Karışımların Marshall Stabilite Deneyi Sonuçları

Bitüm Oranı	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	MARSHALL							Ortalama Basınç (kN)	Ortalama Akma (1/100 inç)
				Basınç (kN)	Akma (1/100 inç)	Düzeltilmiş Basınç (kN)	Düzeltilme Katsayısı	Düzeltilmiş Basınç (kN)	Düzeltilmi Akma (1/100 inç)			
% 3,5	1	66,6	1227,7	11,35	19,1	10,58	0,932	10,58	17,801	11,78	17,027	
	2	65,4	1209,2	12,77	19,2	12,18	0,954	12,18	18,317			
	3	66,1	1226,1	13,36	15,9	12,57	0,941	12,57	14,962			
% 4,0	1	65,6	1242,7	12,26	18,0	11,66	0,951	11,66	17,118	12,64	18,038	
	2	66,8	1444,2	13,67	22,8	12,69	0,928	12,69	21,159			
	3	65,4	1261,8	14,24	16,6	13,58	0,954	13,58	15,837			
% 4,5	1	67,0	1242,7	13,16	19,9	12,15	0,923	12,15	18,368	12,63	18,471	
	2	67,1	1257,0	13,49	19,4	12,41	0,920	12,41	17,848			
	3	66,1	1246,8	13,11	20,4	13,34	0,941	13,34	19,196			
% 5,0	1	64,7	1251,6	13,93	21,0	13,51	0,970	13,51	20,370	14,27	20,096	
	2	65,2	1196,3	10,27	20,8	9,84	0,958	9,84	19,926			
	3	66,0	1270,8	11,95	21,2	11,27	0,943	11,27	19,992			
% 5,5	1	66,0	1263,7	10,32	11,6	9,73	0,943	9,73	20,369	10,20	24,642	
	2	65,0	1252,0	9,77	17,4	9,41	0,963	9,41	26,386			
	3	64,0	1246,7	11,61	17,5	11,47	0,988	11,47	27,170			
% 6,0	1	66,0	1285,6	10,53	30,0	9,93	0,943	9,93	28,290	9,81	24,775	
	2	65,3	1243,8	10,37	23,0	9,91	0,956	9,91	21,988			
	3	66,0	1260,1	10,17	25,5	9,59	0,943	9,59	24,047			

Ek-2 Devam

Bitüm Oranı	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	Sıkıştırılmış Karışımın Boşluk Oranı (%)	Ortalama Boşluk Oranı (%)	Numunenin BHA (gr/cm ³)	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)	Ortalama Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)
% 3,5	1	66,6	1227,7	6,96		2,35		51,89	
	2	65,4	1209,2	6,68	6,67	2,36	2,36	53,36	53,17
	3	66,1	1226,1	6,38		2,36		54,25	
% 4,0	1	65,6	1242,7	3,76		2,41		69,83	
	2	66,8	1444,2	5,38	3,71	2,37	2,38	61,40	70,90
	3	65,4	1261,8	1,99		2,46		81,48	
% 4,5	1	67,0	1242,7	5,17		2,36		64,99	
	2	67,1	1257,0	4,22	4,32	2,39	2,38	69,42	69,20
	3	66,1	1246,8	3,56		2,40		73,20	
% 5,0	1	64,7	1251,6	0,47		2,46		95,92	
	2	65,2	1196,3	5,60	2,33	2,38	2,43	66,19	84,72
	3	66,0	1270,8	0,93		2,45		92,06	
% 5,5	1	66,0	1263,7	0,87		2,44		93,16	
	2	65,0	1252,0	0,28	0,10	2,45	2,46	97,74	99,44
	3	64,0	1246,7	-0,85		2,48		107,43	
% 6,0	1	66,0	1285,6	-1,46		2,48		112,69	
	2	65,3	1243,8	0,78	-0,04	2,43	2,45	94,37	97,67
	3	66,0	1260,1	0,55		2,43		85,94	

Ek-3 Filler/Bitüm Oranına Göre Hazırlanan Karışımların Deneysel Sonuçları

Filler/Bitüm Oranı	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	Sıkıştırılmış Karışımın Boşluk Oranı (%)	Ortalama Boşluk Oranı (%)	Numunenin BHA (gr/cm ³)	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)	Ortalama Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)
4	1	6,65	1241,0	4,38	4,47	2,38	2,37	69,66	69,55
	2	6,64	1240,1	4,30		2,38		70,05	
	3	6,80	1259,1	4,73		2,36		68,94	
5	1	6,64	1243,5	4,04	3,82	2,39	2,39	71,35	73,22
	2	6,69	1259,7	3,12		2,40		77,39	
	3	6,77	1258,9	4,32		2,37		70,93	
6	1	6,50	1229,8	3,05	3,17	2,41	2,40	77,00	76,67
	2	6,60	1237,2	3,95		2,39		71,95	
	3	6,62	1254,2	2,52		2,41		81,05	
7	1	6,56	1250,9	2,29	2,71	2,43	2,41	81,64	79,60
	2	6,65	1254,7	2,92		2,40		78,61	
	3	6,68	1254,6	2,93		2,40		78,56	
8	1	65,1	1248,9	1,55	2,45	2,45	2,46	86,92	81,29
	2	65,0	1239,0	2,33		2,43		81,54	
	3	6,70	1256,9	3,48		2,39		75,40	

Ek-4 Filler Oranına Göre Hazırlanan Karışımların Deneysel Sonuçları

Filler Oranı	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	Sıkıştırılmış Karışımın Boşluk Oranı (%)	Ortalama Boşluk Oranı (%)	Numunenin BHA (gr/cm ³)	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)	Ortalama Bağlayıcı ile Dolu Agregat Oranı (%)
% 0	1	6,64	1188,6	8,275	10,51	2,28	2,22	54,86	50,48
	2	6,80	1124,1	14,95		2,10		41,27	
	3	6,94	1236,8	8,31		2,27		55,34	
% 2	1	6,73	1205,0	8,25	8,00	2,28	2,28	54,60	56,05
	2	6,92	1249,8	7,07		2,30		59,33	
	3	6,94	1231,7	8,68		2,26		54,23	
% 4	1	6,80	1219,5	8,10	7,65	2,28	2,29	54,79	57,04
	2	6,88	1235,4	7,61		2,29		57,70	
	3	6,98	1258,6	7,23		2,30		58,62	
% 6	1	6,75	1218,4	7,51	6,85	2,29	2,30	56,86	60,27
	2	6,70	1224,7	5,95		2,32		64,18	
	3	6,78	1224,3	7,09		2,30		59,77	
% 8	1	6,65	1228,7	5,32	5,87	2,35	2,34	65,36	63,18
	2	6,84	1249,3	6,03		2,33		63,41	
	3	68,7	1256,6	6,27		2,33		60,78	
% 10	1	68,6	1257,1	6,10	5,24	2,33	2,36	61,48	65,87
	2	67,1	1247,2	4,75		2,37		67,66	
	3	6,75	1248,0	4,87		2,36		68,47	

Ek-5 Değişik Filler Malzemeleri İle Hazırlanan Karışımların Deneysel Sonuçları

Filler Malzemesi	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	Sıkıştırılmış Karışımın Boşluk Oranı (%)	Ortalama Boşluk Oranı (%)	Numunenin BHA (gr/cm ³)	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)	Ortalama Bağlayıcı ile Dolu Agregat Oranı (%)
Traverten	1	67,5	1237,7	6,04	4,56	2,34	2,37	62,09	69,17
	2	67,0	1246,9	4,63		2,37		68,25	
	3	65,5	1239,7	3,01		2,41		77,17	
Afyon Gri	1	67,2	1240,4	5,42	5,01	2,35	2,36	64,72	66,66
	2	66,7	1243,1	4,50		2,37		68,99	
	3	66,6	1233,4	5,10		2,36		66,27	
Dolomit	1	67,0	1242,0	5,01	4,28	2,36	2,38	66,54	70,43
	2	67,1	1244,5	4,96		2,36		66,73	
	3	65,6	1243,5	2,88		2,41		78,02	
Supresedene	1	67,7	1242,0	5,99	5,74	2,34	2,34	62,20	63,33
	2	68,3	1245,7	6,54		2,32		59,91	
	3	67,0	1245,9	4,71		2,37		67,89	
Rozalya	1	67,6	1250,7	5,20	4,68	2,36	2,37	65,54	68,40
	2	67,5	1244,2	5,55		2,35		64,07	
	3	65,8	1242,0	3,28		2,40		75,58	
Elazığ Vişne	1	67,4	1245,5	5,31	4,46	2,35	2,37	65,11	69,48
	2	67,0	1242,3	4,99		2,36		66,65	
	3	65,7	1242,5	3,09		2,41		76,67	
Burdur Bej	1	66,2	1243,7	3,73	4,06	2,39	2,38	72,99	71,33
	2	66,0	1237,6	3,91		2,39		72,11	
	3	66,4	1237,0	4,54		2,37		68,90	

Ek-5 Devam

Bitüm Oranı	Tip	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	Sıkıştırılmış Karışımın Boşluk Oranı (%)	Ortalama Boşluk Oranı (%)	Numunenin BHA (gr/cm ³)	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)	Ortalama Bağlayıcı ile Dolu Agregat Boşluk Oranı (%)
Atık (Tip 1)	1	67,6	1242,6	5,81	5,34	2,34	2,35	62,97	65,16
	2	66,5	1240,5	4,41		2,38		69,47	
	3	67,5	1240,9	5,80		2,34		63,05	
Atık (Tip 2)	1	68,0	1244,6	6,21	6,24	2,33	2,33	61,25	61,17
	2	68,0	1248,4	5,93		2,34		62,37	
	3	68,1	1241,7	6,57		2,32		59,89	
Atık (Tip 3)	1	69,0	1238,7	8,01	6,83	2,29	2,29	54,72	59,57
	2	68,4	1228,6	7,96		2,29		55,09	
	3	66,4	1237,0	4,54		2,37		68,90	
Atık (Tip 4)	1	68,2	1240,7	6,78	5,43	2,32	2,35	59,09	65,13
	2	66,0	1241,4	3,62		2,40		73,66	
	3	67,5	1239,6	5,90		2,34		62,65	