

Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregata Olarak Değerlendirilmesi

Hüseyin AKBULUT*
Cahit GÜRER**

ÖZ

Asfalt kaplama yollarda kullanılan malzemelerin ortalama % 95'i agregalardan oluşmaktadır. Yol inşaatında tüketilen bu agregalar civardaki agrega ocaklarından veya doğal agrega kaynaklarından temin edilmektedir. Dolayısı ile her geçen gün yeni agrega ocaklarına olan talep giderek artmakta ve bu ocaklardan dolayı yeryüzünün genel yapısı bozulmakta, çevremizde hoş olmayan görüntüler oluşmaktadır. Mermer ocaklarında önemli miktarlarda açığa çıkan parça mermer atıkları yol kaplamalarında agrega olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada Afyon-İscehisar bölgesindeki homojen bir mermer ocağı atıklarından agrega üretilmiş ve bu numuneyi karşılaştırmak için şehir içi asfalt karışımlarda kullanılan bir şahit agrega numunesi alınmıştır. Agregata numuneleri üzerinde standart agrega, Marshall stabilite-akma ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları mermerden üretilen agregaların mekanik özelliklerinin ve asfalt karışımındaki stabilite ve akma değerlerinin sınır şartlar içinde kaldığını ve bu malzemelerin orta ve düşük trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir.

ABSTRACT

Use of Waste Marble as Aggregate in Asphalt Pavement

Asphalt pavements consist of 95 percent of aggregates. Aggregates that are used pavement construction, are obtained from aggregates quarries or natural aggregate resources. As a result of huge aggregate demand which is gradually increasing, has been causing a huge environmental deterioration and rapid destruction on the landscape. Waste marble produced in marble quarry has a potential of using in road pavement construction as aggregate. In this study, recycled aggregates were produced from homogeneous marble quarry wastes in Afyon-İscehisar region and these aggregates specimens were compared with different aggregate specimens which are used in Afyon city asphalt pavements currently. Standard aggregate tests, Marshall stability-flows test and indirect tensile tests were carried out on the specimens. The test results showed that physical properties of aggregates and Marshall

Not: Bu yazı

-
- Yayın Kurulu'na 03.12.2004 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2006 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyon

** Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyon – cgurer@aku.edu.tr

stability-flow values in hot mixes are within the specification limits and this waste materials can be securely used as aggregate within the light and medium trafficked asphalt binder pavement layers.

1.GİRİŞ

Günümüzde insan nüfusunun hızla artması ve mevcut kaynakların tükenmeye başlamasıyla, meydana gelen atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır.

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi inşaat sektörüdür. İnşaat sektörü, imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, hammadde, enerji tüketimini, emisyonları ve mekan kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır. Bu nedenlerden dolayı inşaat sanayisindeki en önemli sorunlardan birisi hammaddedir. Özellikle mermer vb. malzemelerin atıklarının değerlendirilmesi yoluna gidilerek önemli miktarlarda hammadde ve ekonomik kazanç sağlanabilir.

Esnek kaplamaların önemli bir kısmını oluşturan agregalar yol dizayn hayatı boyunca büyük rol oynarlar. Farklı yol katmanlarında farklı agregata özellikleri aranır. Yollardaki aşınma tabakası (en üst tabaka) yol güvenliği açısından en önemli parametrelerden birini oluşturur. Yolun servis süresini güvenli bir şekilde tamamlaması için, kullanılan agregaların sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanım sağlaması istenir. Bunu sağlamak için asfalt karışımlarda kullanılan agregaların mekanik özellikleri oldukça iyi olmalıdır. Bununla beraber ülkemizde bol miktarda bulunan kalker türü mineraller aşınma tabakasında kullanılmaktadır. Mermer türü agregaların cilalanma dirençlerinin düşük olmasından dolayı sürtünme tabakasında kullanılması şartnamelerle sınırlansa da asfalt kaplamalardaki bir alt tabaka olan binder tabakasında kullanılabilir[11]. Özellikle ağır trafiğe maruz olmayan şehir içi ve köy yollarının temel, alt temel ve binder tabakalarında kullanılmasıyla ekonomik bir agregata kaynağı da elde edilmiş olacaktır.

Esnek ve rijit kaplamaya sahip yollarda kullanılan malzemelerin % 95'i agregalardan oluşmaktadır.1 km'lik bir otoyolun yapımı için yaklaşık olarak 32200 kg agreganın tüketildiği bilinmektedir[7]. Yol inşaatında tüketilen bu agregata kaynakları civardaki agregata ocaklarından veya doğal agregata kaynaklarından temin edilmektedir, dolayısı ile her geçen gün yeni agregata ocaklarına olan talep giderek artmakta ve bu ocaklardan dolayı yeryüzünün genel yapısı bozulmakta, çevremizde hoş olmayan görüntüler oluşmaktadır[8].

Mermer ocaklarında ortalama olarak, üretimin % 40-60'ı mermer atığı olarak atılmaktadır. Bu atıkların önemli bir kısmı ocaklarda blok alınma sırasında ortaya çıkmaktadır. Mermer ocaklarında blok alınmasını sınırlayan en önemli unsur mermer yatağındaki kırık ve çatlakların durumudur. Bu tür atıklarının miktarına, ocağın jeolojik yapısının yanı sıra yanlış üretim metodu uygulamak da sebep olabilir. Ocaklarda mermer atıklarının oluşmasına sebep olan bir diğer etken de sayalama işlemidir. Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük şekilsiz kütleler, çeşitli yöntemlerle istenilen ebatlarda alt, üst ve yanlarından kesilirler. Kesim sonucu ortaya çıkan bu atıklar ve blok elde edilmesi sonucu oluşan diğer tüm atıklar bir tarafta biriktirilir. Bu atıklar yükleyiciler vasıtasıyla kamyonlara yüklenerek pasa döküm sahasına dökülmekte ve yığınlar oluşturularak çevrede istenmeyen görüntüler oluşmaktadır. Bu tip ocak işletmeleri, çevrenin özelliğine bağlı olarak olumsuz etki yaratmaktadırlar. Her işletme bazı estetik kayıpların yanı sıra çevrenin

kendine özgü niteliklerinin de yok olmasına neden olur. Mermer ve taş ocaklarının potansiyel görsel etki kaynakları çizelge 1.'de verilmiştir [9].

Çizelge 1. Mermer ve Taş Ocaklarında Görsel Etkinin Potansiyel Kaynakları [8].

| | |
|---------------------|---|
| 1.Ocak Yapısı | Toprak ve dekapaj yığıını (döküm sahası), Kullanılmayan boyuttaki mermer artıkları, Stok alanları, Ocak içi nakliyat yolları ve rampalar, Ocak basamak şevleri, Ocak içi su havuzu ve göleti, Kullanılmayan ayna yüzeyleri, |
| 2.Hareketli Alanlar | Ocak bağlantı yolları ve ana yollar. |
| 3.Çeşitli Kaynaklar | Hava kirliliği (toz ve gaz emisyonları), Toz birikintileri, Yollardaki çamurlar, |
| 4.Diğer Kaynaklar | Topografyadaki uzun sürede gerçekleşen değişimler. |

Uluslararası kabullere göre açık ocak işletmeciliğinin yarattığı çevre zararları: Her tarafta bilinen, genellikle yöresel, zamanla sınırlı, korunma yöntemleri iyi bilinen zararlar olarak tanımlanmaktadır. Buna rağmen açık ocak işletmeciliğinin çevre tahribatının herkes tarafından görülebilme özelliğinden dolayı önemli ve tehlikeli olarak kabul edilir [10].

Afyon bölgesi mermercilik sektörü açısından 70 milyon m³'lük rezervi ile Türkiye'de önemli bir konumdadır. Afyon-İncehisar bölgesinde 17 adet mermer ocağı işletmesinde 2002 yılında 172 050 m³'lük blok mermer üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu üretim Türkiye blok mermer üretiminin % 12'sini karşılamaktadır [1,2]. Mermer blokların çıkarılması ve blokların işlenmesi sırasında parça ve toz halinde olmak üzere iki tür atık oluşmakta ve bu atıklar çevrede çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Parça (pasa) ve toz artıklar çeşitli şekillerde bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilip, ekonomik katma değeri olan bir malzemeye dönüştürülebilir. Toz mermer artıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen özellikle ocaklarda blokların çıkarılması sırasında meydana gelen parça mermer atıkları yalnızca yollarda temel ve alt temel malzemesi olarak değerlendirilmektedir [3;4;5]. De Rezende vd. taş ocağı atıklarının düşük trafik hacimli esnek kaplamaların temel tabakalarında inşaat malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bunun dışında parça mermer atıkları az miktarlarda suni mermer plağı, karosiman ve mermer süsleme sanatı olan antik taş yapımında kullanılmaktadır.

Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregata Olarak Değerlendirilmesi

Ortalama bir hesap yapılırsa bu tip mermer ocaklarda meydana gelen yıllık parça atık 86000 m³'dür. Afyon Belediyesinin temel ve kaplama için tükettiği yıllık agregata miktarı yaklaşık 35000 m³'dür. Dolayısıyla atık malzeme miktarı bu rakamı rahatlıkla karşılayabilir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Agregata ve Asfalt Çimentosu

Çalışmada mermer atığı (A) diğeri kireçtaşı (B) kökenli iki farklı agregata kullanılmıştır. Afyon şehir içi asfalt kaplamalarının binder ve aşınma tabakalarında kireçtaşı kökenli agregata kullanıldığından, B numunesi kontrol numunesi olarak belirlenmiştir ve halihazırda kullanılan agregatardan alınmıştır. Agregata için kimyasal bileşimleri oluşturan elementlerin yüzdesi çizelge 2.'de verilmiştir.

Bağlayıcı olarak 60-70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır. Asfalt çimentosunun mühendislik özellikleri çizelge 3.'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Agregata için Kimyasal Bileşimleri Oluşturan Elementlerin %'si.

| Özellikler | % (A) | % (B) |
|------------|-------|-------|
| Kalsiyum | 32,01 | 19,94 |
| Silisyum | 1,06 | 0,51 |
| Oksijen | 66,35 | 79,13 |
| Magnezyum | 0,18 | 0,42 |
| Sodyum | 0,22 | - |
| Alüminyum | 0,18 | - |

Çizelge 3. Asfalt Çimentosu Özellikleri.

| Özellikler | Değerler | Kullanılan standart |
|---------------------------------|---------------|---------------------|
| Kaynak | Aliğa/Türkiye | |
| Penetrasyon Derecesi | 60/70 | |
| Penetrasyon Derecesi (25 °C'de) | 63 | ASTM D 5 |
| Özgül Ağırlık | 1,060 | ASTM D 70 |
| Yumuşama Noktası (°C) | 49 | ASTM D 36 |
| Isıtma Kaybı (%) | 2 | ASTM D 6 |
| Parlama Noktası (°C) | 296 | ASTM D 92 |
| Düktilite (5 cm/dk) | >100 cm | ASTM D 113 |
| Viskozite (135 °C'de) | 0,420 Pa s | ASTM D 4402 |
| Viskozite (165 °C'de) | 0,114 Pa s | ASTM D 4402 |

2.2. Deneysel Program ve Yöntem

Bu çalışma aşağıdaki adımları içermektedir:

1. Agregaların fiziksel özelliklerinin tespit edilmesi: Bu kısım elek analizi (ASTM C 136); kaba-ince ve filler agregaların özgül ağırlıklarının tespit edilmesi (ASTM C127, C128,

D854); Los Angeles Aşınma (CEN EN 1097-2), Agregat Darbelenme Değeri (CEN EN 1097-2), Donma-Çözülme (CEN EN 1367-1), Yassılık İndeksi (CEN EN 933-3), Cilalanma deneylerini içermektedir.

2. Asfalt çimentosunun özelliklerinin tespit edilmesi: Bu kısım özgül ağırlık deneyi (ASTM D 70), penetrasyon testi (25°C'de) (ASTM D 5), yumuşama noktası testi (ASTM D 36), ısıtma kaybı testi (ASTM D 6), parlama noktası testi (ASTM D 92), düktilite testi (ASTM D 113) ve viskozite testi (135 ve 165 °C'de) (ASTM 4402) deneylerini içermektedir.

3. Marshall stabilite ve akma deneyleri: Belirli bir gradasyona sahip agregaların optimum asfalt çimentosu miktarını tespit etmek için Marshall metodu ile karışım dizayn yöntemi uygulanmıştır (ASTM D 1559). Agregaların mekanik özellikleri tespit edildikten sonra, Marshall yöntemiyle karışımların optimum bitüm oranları tespit edilmiştir. Deneylerde bitüm oranları % 0,5 oranlarında artırılmış ve doğru bilgileri almak için her bitüm içeriğinde üç deney numunesi hazırlanmıştır. Böylece her agregat numunesinde sıcak karışım asfalt dizaynı için altı farklı bitüm oranında 18 deney numunesi kullanılmıştır.

Karışımlar hazırlanmadan önce, yaklaşık 1200 gr agregat karışımı ve filler alınarak sıcaklığı 175-190 °C'ye ulaşıncaya kadar ısıtılmıştır. Deneme yüzdesindeki bitüm (agregat ağırlığının %4, % 4,5 .. oranlarında) ise 135-140 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve ısıtılan agregat ile 160-165 °C sıcaklıkta agregat yüzeyi tamamen bitüm ile kaplanana kadar karıştırılmıştır. Karışım önceden ısıtılmış kalıplara yerleştirilmiş ve otomatik Marshall kompaktör vasıtasıyla 50 darbe (düşük trafik hacimli yolların binder tabakası için) uygulanarak sıkıştırılmış ve ardından sıkıştırılan karışım numuneleri oda sıcaklığında 24 saat soğumaya bırakılmıştır.

Stabilite ve akma deneylerine geçmeden önce numuneler 60 ± 1 °C 'lik su banyosunda 30 ila 40 dakika bekletilmiştir. Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına sabitlenmiş ve akma ölçer yerleştirilerek sıfırlanmıştır. Deneyde; üst segman sabittir. Maksimum yüke erişinceye kadar, alt segmanın hareket etmesiyle dakikada 50,8 mm lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılmıştır. Numuneler kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilmiş ve Marshall Stabilite değerleri kaydedilmiştir. "Marshall Stabilitesi" adı verilen bu değer numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Ayrıca numunenin çökme yada hareket miktarı olan akma değerleri de ölçülmüştür. Deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre en fazla 30 sn'de tamamlanmıştır. Numune yüksekliği 63.5 mm'den (2 1/2 inç) farklı olanlara Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanmıştır [12,13].

Bu deneyler farklı asfalt çimentosundaki her bir numune için tekrar edilerek ortalama asfalt çimentosu miktarı tayin edilmiştir. Optimum bitüm yüzdesinin hesaplamak için farklı bitüm yüzdeslerinde hazırlanmış olan numunelere ait;

- (a) Marshall stabiliteye karşılık asfalt içeriği.
- (b) Marshall akmaya karşılık asfalt içeriği.
- (c) Boşluğa (V_h) karşılık asfalt içeriği.
- (d) Pratik özgül ağırlığa (D_p) karşılık asfalt içeriği.
- (e) Bitüm ile dolu boşluğa (VFA) karşılık asfalt içeriği.
- (f) Mineral agregatlar içindeki boşluğa (VMA) karşılık asfalt içeriği grafikleri çizilmiştir.

Daha sonra yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdesleri, asfaltla dolu boşluğu % 65-78 arasına karşılık gelen, boşluk oranı % 3-5 arasına

Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregata Olarak Değerlendirilmesi

karşılık gelen bitüm yüzdeleri grafiklerden okunarak bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınmış ve optimum bitüm yüzdeleri tayin edilmiştir. Bu şekilde belirlenen bitüm oranına göre üretilen sıcak asfalt karışımı, şartnamelerde belirtilen özellikleri sağlamıştır. Daha sonra kontrol için optimum bitüm miktarlarının şartnamelerde belirtilen akma ve % VMA'ları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

4. Plastik deformasyon deneyi: Her bir karışımdan optimum bitüm oranlarına sahip numunelerde plastik deformasyon deneyi ile yorulma ömürleri ve meydana gelen deformasyonlar tespit edilmiştir.

Bu deneyde Marshall briketleri kullanılmıştır. Silindir şeklindeki deney numunesi yüksekliği boyunca tekrarlı basınç gerilmesine maruz bırakılmıştır. Buradaki tekrarlı yükleme bu yol kesitinden geçen araçların o yol kesitine uyguladığı yüke karşılık gelmektedir. Normal yoldaki yüklemeye farkı ise frekansıdır. Bu deneyde kullanılan yükleme frekansı 0,5'dir. Yani teorik olarak 2 saniyede bir araç geçmektedir. Böylece bir günde sabit aralıklarla 43200 araç geçmiş gibi düşünülmektedir. Deney sıcaklığı 40 °C'dir. Uygulanan gerilme 100 kPa'dır. Marshall deney prosedürlerine göre hazırlanan numuneler deneye tabi tutulmadan önce deney sıcaklığındaki su banyosunda 12 saat tutularak deney sıcaklığına getirilmiştir. Sıcaklığı deney sıcaklığına ulaşan numunelerin altına ve üstüne çapı 6.67 cm, kalınlığı yaklaşık 1 cm olan dairesel yükleme plakaları yerleştirilmiştir ve daha sonra gerekli tüm işlemler bilgisayar tarafından yapılmıştır [15].

3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Deneysel çalışma kısmı agregata ve sıcak karışım deneyleri olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

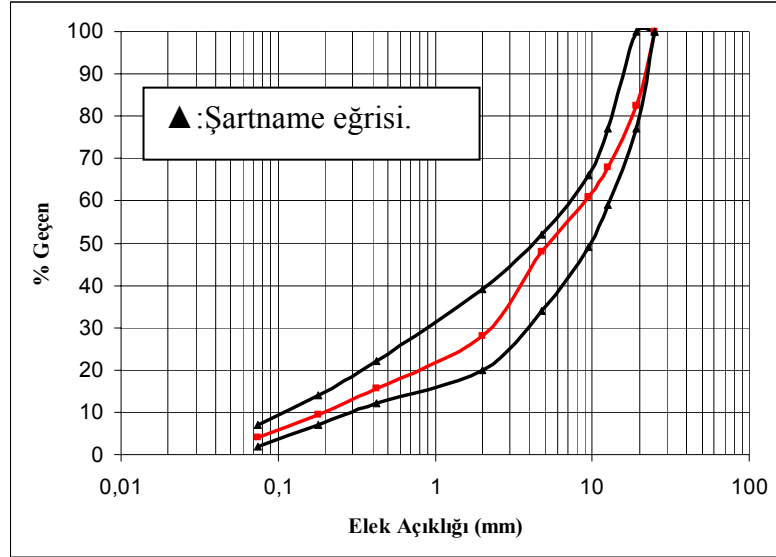
3.1 Agregata Deneyleri Sonuçları

Bu kısımda numuneler üzerinde yol agregalarına uygulanan standart agregata deneyleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan agregata numunelerinin özgül ağırlıkları ise çizelge 4.'de sunulmuştur. Agregata numunelerine ait gradasyon eğrileri ise şekil 1.'de görülmektedir. Agregaların fiziksel özellikleriyle ilgili deney sonuçları ise çizelge 5'de verilmiştir.

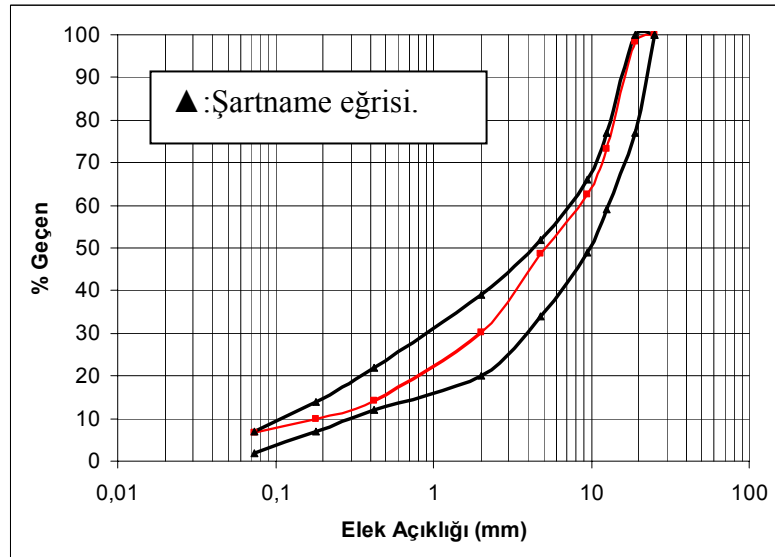
Çizelge 4. Agregaların Özgül Ağırlıkları

| Agregata Derecesi | Özgül Ağırlıklar (gr/cm ³) | | | | Standart |
|--|--|-------|---------------------|-------|-------------|
| | Zahiri Özgül Ağırlık | | Hacim Özgül Ağırlık | | |
| Numune Adı | A | B | A | B | |
| Kaba agregata | 2,705 | 2,693 | 2,695 | 2,674 | ASTM C127 |
| İnce agregata | 2,724 | 2,685 | 2,684 | 2,612 | ASTM C128 |
| Filler agr. | 2,742 | 2,705 | - | - | ASTM C128 |
| Agregata karışımı efektif özgül ağırlığı | 2,703 | 2,671 | - | - | ASTM D 2041 |
| Agregata karışımı hacim özgül ağırlığı | 2,692 | 2,650 | - | - | - |
| Agregata karışımı zahiri özgül ağırlığı | 2,714 | 2,691 | - | - | - |

Yapılan elek analizleri sonucu bütün numunelerin, Türkiye Yollar Fenni Şartnamesine göre C tipi binder gradasyonu sınır eğrileri arasında kaldığı görülmüştür [17].



(a)



(b)

Şekil 1. A ve B numunelerine ait gradasyon eğrileri [Sırasıyla (a), (b)].

Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi

Agrega numunelerinin LAV, yassılık indeksi, donma çözülme kaybı değerleri şartname limitleri içerisinde. Yalnızca A numunesinin AIV değeri şartname değerinden düşüktür. Donma-çözülme sonrası LAV direnç kaybı A numunesinde B numunesine göre yüksek olmakla birlikte, binder tabakasında kullanılması planlandığından bu durum çok fazla sakınca meydana getirmeyeceği düşünülmektedir. PSV değerleri her iki numunede de yaklaşık eşit seviyededir.

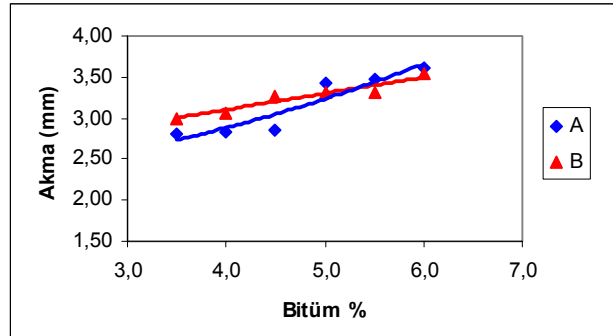
Çizelge 5. Agrega Numunelerinin Fiziksel Özellikleri İlgili Deney Sonuçları.

| Agrega Özelliği | Kullanılan Standart | Numune | Deney Sonuçları | Sınır Değer |
|--|---------------------|--------|-----------------|-------------|
| (LAV) LA Aşınma Kaybı (%) | CEN EN 1097-2 | A | 27,44 | ≤ 35 |
| | | B | 25,60 | ≤ 35 |
| (AIV) Darbelenme Kaybı (%) | CEN EN 1097-2 | A | 18,66 | ≤ 18 |
| | | B | 16,83 | ≤ 18 |
| Yassılık İndeksi (%) | CEN EN 933-3 | A | 9,41 | ≤ 35 |
| | | B | 3,54 | ≤ 35 |
| Donma Çözülme Kaybı (%) | CEN EN 1367-1 | A | 2,85 | ≤ 12 |
| | | B | 2,75 | ≤ 12 |
| Donma Çöz. Sonrası LA Aşınma Kaybı (%) | CEN EN 1367-1 | A | 34,74 | - |
| | | B | 11,80 | - |
| (PSV) Cilalanma Değeri | BS 812 kısım 114 | A | 0,44 | $\geq 0,5$ |
| | | B | 0,45 | $\geq 0,5$ |

3.2 Sıcak Karışım Deneyleri Sonuçları

3.2.1.Marshall Yöntemiyle Karışım Dizaynı Sonuçları

Orta trafik hacminde binder tabakasında kullanılacak karışımlar için 600 kg olan minimum stabiliteyi bütün numunelerin sağlamasıyla birlikte en yüksek stabilite değeri 1345 kg ile mermerden üretilen A numunesinde kaydedilmiştir. A karışımında stabilitenin yüksek olması, trafik hacmi düşük bir yol dizaynı için sorun oluşturmayacaktır. Kaplama yapımında çok yüksek stabilite ve düşük akma değeri arzu edilmez, bu tip karışımlarda ağır trafik yükünden dolayı çatlamalar oluşur. Şekil 2'de karşılaştırmalı akma-bitüm % ilişkileri görülmektedir.



Şekil 2. Karşılaştırmalı Akma-Bitüm % İlişkileri.

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. Tüm karışımlarda akma-bitüm ilişkilerinde kararlılık vardır. Bitüm oranı arttıkça akma değeri de yükselmektedir. Şekil 2'deki karşılaştırmalı akma-bitüm % ilişkilerinden de görüldüğü gibi B karışımının A karışımına göre daha plastik bir davranış sergilediği görülmektedir. Bu şekil 5'de görülen ortalama yorulma ömürleri ve plastik deformasyon ilişkilerinden de anlaşılmaktadır.

Optimum bitüm oranları A karışımı için % 4,68 B karışımı için % 4,30 olarak bulunmuştur. Bu değerler ekonomik sınırları içerisindedir. Karışımların optimum bitüm oranları akma değeri bakımından, orta trafik hacimli yollar için en düşük 4 mm en yüksek 6 mm olan, şartname değerlerini sağlayıp sağlamadığı açısından incelendiğinde optimum bitüm oranına karşılık gelen değerin bu şartname aralığında olduğu görülmüştür. En büyük dane çapı 3/4" olan agregalar için % VMA değeri 14'den büyük olmamalıdır [12].

Her iki karışım da optimum bitüm oranı bu değer için şartname sınırları içerisindedir. Şekil 3 ve 4'de Marshall karışım dizaynlarının sonuçları görülmektedir. Asfaltla dolu boşluk yüzdesinin en fazla B karışımındadır.

Karışımlardaki boşluk oranı stabilite, geçirimsizlik ve kaplamanın bitüm kusması gibi özellikleri etkiler. Deney sonucunda Boşluk oranının B karışımında A karışımına nazaran daha az olduğu görülmüştür. Optimum bitüm oranına tekabül eden boşluk oranı A karışımında % 3-5 arasında iken, B karışımında bu oran % 3 değerinden küçüktür. Boşluk oranını tüm karışımlarda bitüm yüzdesi arttıkça azalmaktadır.

3.2.2. Plastik Deformasyon Deneyi

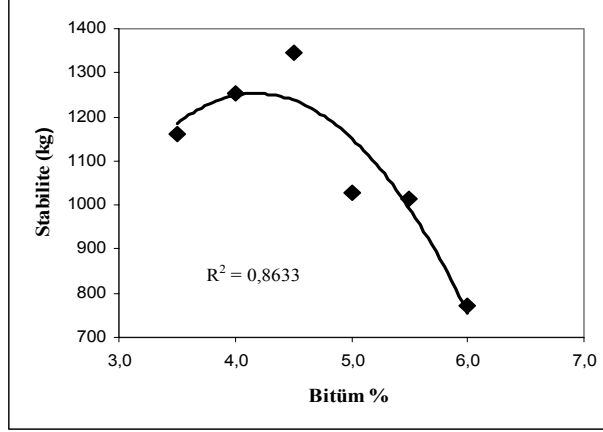
Trafığe maruz her üst yapıda, taşıtların geçmesiyle oluşan deformasyonların çoğunluğunun elastik olmasına rağmen çok küçük de olsa plastik deformasyon oluşmaktadır.

Numunelerin birim plastik deformasyon değerleri ve yorulma ömürleriyle ilgili deney sonuçları şekil 5.'de görülmektedir. Kırılmalar numunenin ortadan ikiye ayrılması şeklinde gerçekleşmiştir. Numuneler plastik deformasyon deneyine tabi tutulmadan önce ilk boyları ölçülerek kaydedilmiştir. Birim plastik deformasyon,

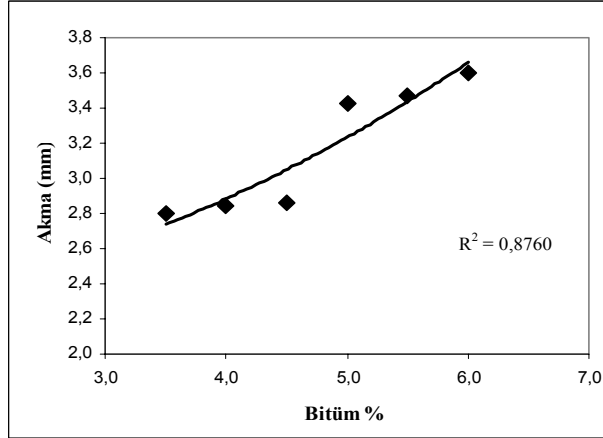
$$\epsilon = \frac{\Delta L(mm)}{L(mm)} \quad (1)$$

(1) ifadesiyle hesaplanır. Burada L ilk boy, ΔL ise belirli tekrar sayılarında ölçülen deformasyon değeridir. Elde edilen sonuçlara göre A agregasından oluşan karışım B agregasına göre daha fazla birim plastik deformasyon meydana gelmiştir. Dolayısıyla A numunesinin yorulma ömrü B numunesine nazaran oldukça düşüktür. A numunesinin düşük ve orta trafik hacimli kaplamalarda kullanılması planlandığından binder tabakası için kısa vadede bir sakınca yaratmayacağı düşünülmektedir. Yorulma ömrü kaplamanın kalınlığı ile artış gösterdiğinden dolayı A karışımının kaplama kalınlığı artırılırsa yorulma ömrü de artış gösterecektir.

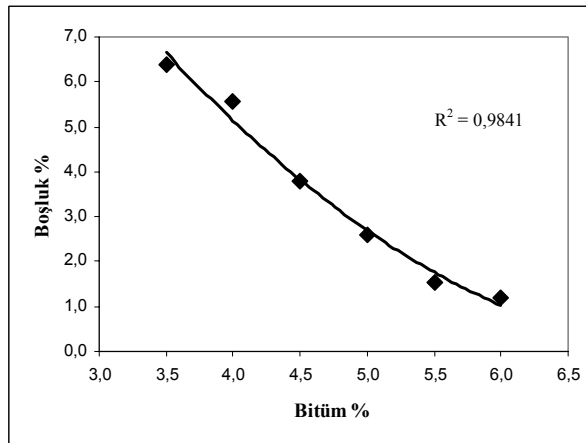
Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi



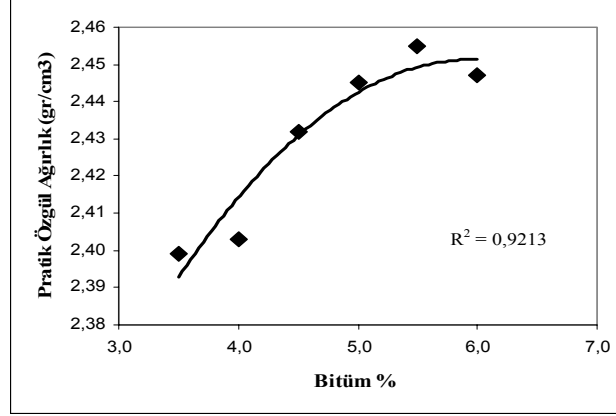
(a)



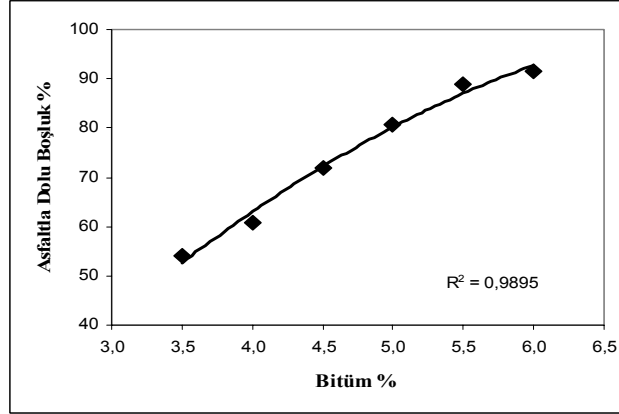
(b)



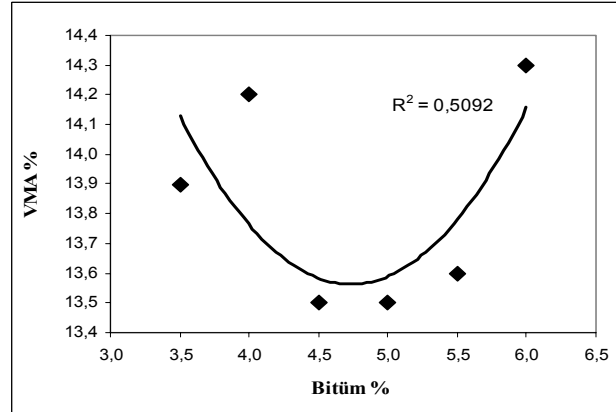
(c)



(d)



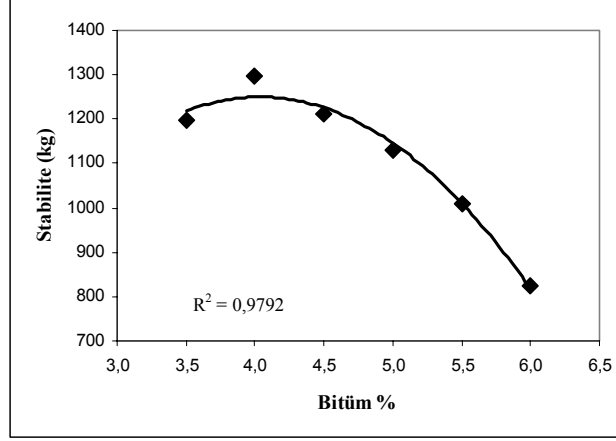
(e)



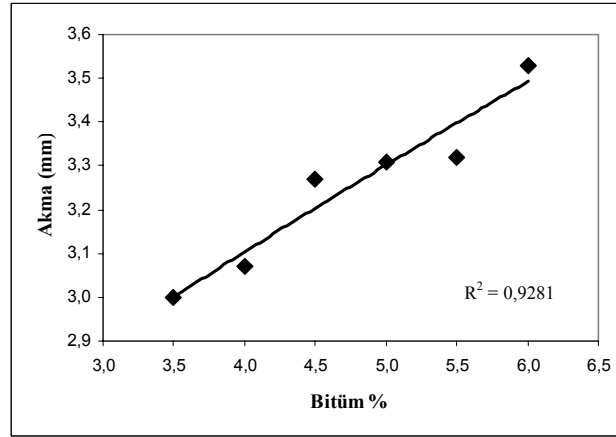
(f)

Şekil 3. A numunesine ait Marshall Karışım Dizaynı Değerleri.

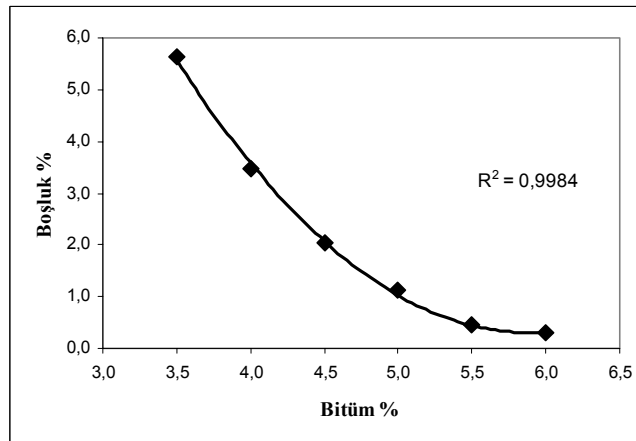
Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi



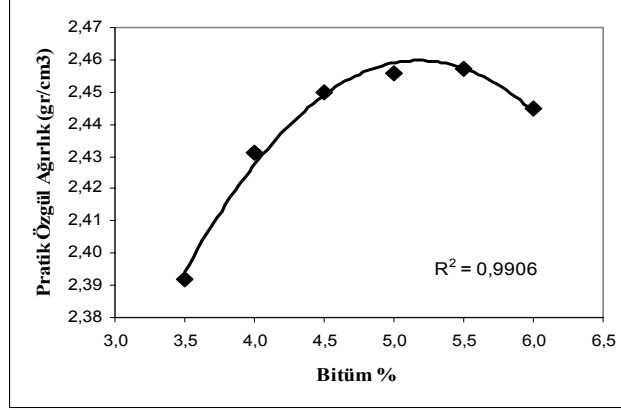
(a)



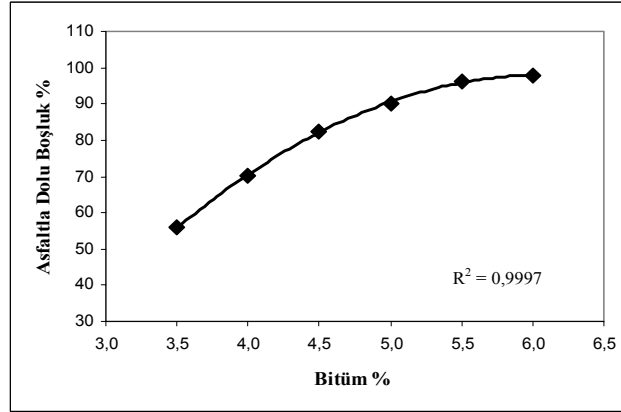
(b)



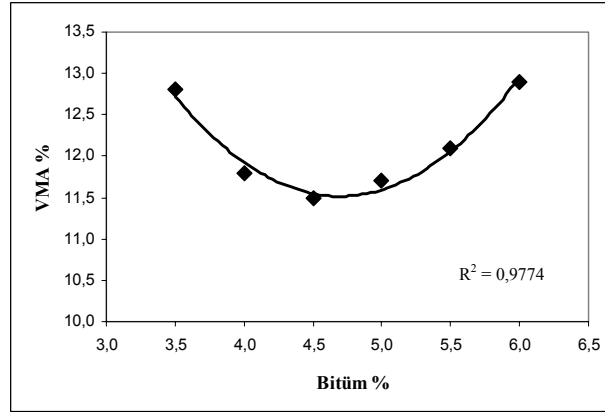
(c)



(d)



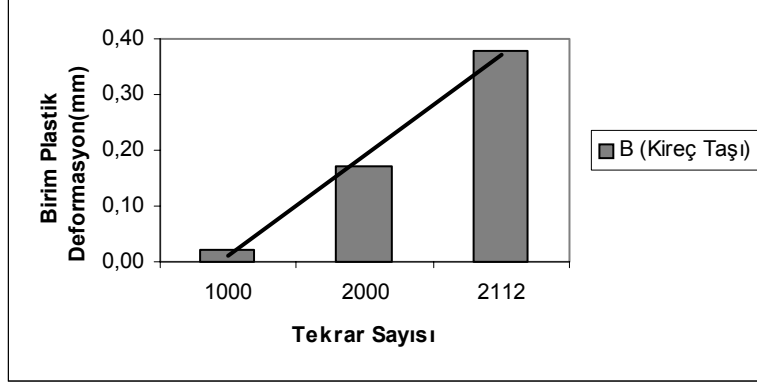
(e)



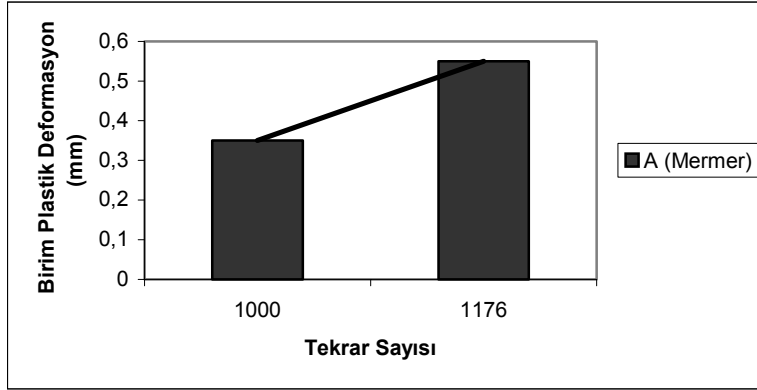
(f)

Şekil 4.B numunesine ait Marshall Karışım Dizaynı Değerleri.

Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregata Olarak Değerlendirilmesi



(a)



(b)

Şeki 5. A ve B Karışım Numunelerine Ait Plastik Deformasyon Değerleri ve Ortalama Yorulma Ömürleri.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan ve gözlemlerden atık mermerden üretilen agregaların özellikleri şahit agregalarla karşılaştırılmıştır. Bunun için standart kaplama agregası deneyleri ve Marshall stabilite ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde değerlendirilebilir:

1. Aşınma tabakasında kullanılacak agregaların fiziksel özellikler bakımından diğer tabakalarda kullanılacak agregalara üstün olması gerekirken temel, alt temel ve binder tabakalarında ki agregaların fiziksel özelliklerinin aşınma tabakasındaki kadar iyi olması gerekmez. Bununla birlikte binder tabakasında kullanılacak agregalarda da belirli özellikler aranır. Los Angeles Aşınma deneyine göre A numunesi % 27,44

aşınma kaybı ile şartnamede yol agregalarında aranan özellikleri sağlamıştır. Buna karşın darbelenme kaybı değeri şartnamelerde belirtilen % 18 değerinden büyüktür. B şahit numunesinin darbelenme kaybı 16,83 iken A numunesinin % 18,66'dır.

2. Donma-Çözülme deneylerinin sonuçlarına göre her iki agrega numunelerinde kayıp % 12 sınır değerinden küçüktür. A numunesini donma-çözülme kaybı B şahit numunesine göre yüksektir. A numunesinin binder tabakasında kullanılması planlandığından donma-çözülme çevriminden aşınma tabakası kadar etkilenmeyeceği aşıkardır. Donma-çözülme sonrası direnç kaybı A numunesinde B numunesine göre oldukça yüksektir. Fakat A numunesi binder tabakasında kullanılacağından sürtünme, aşınma, çarpma, atmosferik vb. etkilere aşınma tabakası kadar maruz kalmayacağı düşünülmektedir.
3. Yassı ve silindirik danelerin çekme dayanımları düşük oldukları için asfalt betonu içerisinde zayıf bölgeler oluşturarak üst yapıda hasarın oluşmasına neden olabilirler. Deney sonuçlarına göre yassılık indeksi değeri her iki numunede de şartnamelerde belirtilen değerlerin altındadır. Bununla birlikte konkasör şantiyesindeki kırıcı türünü değiştirmek ve farklı eleme yöntemleri kullanmakla yassı dane miktarını azaltabilmek mümkün olacaktır. Yapılan çalışmalar yassı dane indeksinin aşınma gibi bazı fiziksel özellikleri, doğru orantılı olarak, etkilediğini göstermiştir[18,19]. Bundan dolayı, yassı dane miktarının azaltılması aşınma özelliklerinin de iyileşmesine katkı sağlayacaktır.
4. Marshall Metodu ile dizayn için yapılan stabilite ve akma deneyi sonuçlarına göre en yüksek stabilite değeri A karışımında elde edilmiştir. Bütün karışımlardaki stabilite değeri şartnamelerin belirttiği sınır değerinin üzerindedir. A karışımından elde edilen yüksek akma ve stabilite değerleri mermerden üretilen kaplamaların performansının en az kireçtaşı kökenli kayalardan üretilen kaplamalar kadar iyi sonuç vereceğini göstermektedir.
5. Afyon ve civarındaki ocaklarda üretilen mermer blokların % 40-60 'nın atığa çıktığı düşünülürse bu da yılda yaklaşık 86000 m³'lük bir rakama tekabül eder. Mermer ocak artıklarının konkasör şantiyelerinde agrega haline dönüştürülerek, şehir içi gibi orta trafik hacimli yollarda değerlendirilmesiyle, bu atıklar hem ekonomiye kazandırılmış olacak hem de alternatif ve hesaplı bir agrega kaynağı elde edilecektir.
6. Mermerden oluşan karışımın diğer karışıma nazaran yorulma ömrünün % 45 daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat deney düzeneğinde "her iki sn'de araç geçiyor" şeklinde tekrarlı yük uygulandığı için elde edilen yorulma ömrü hafif ve orta trafik yüklü yollar için yeterli olacağı düşünülmektedir.
7. Bu çalışma kapsamında agregalar ve sıcak karışımlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda mermer'den üretilen agregaların şartname değerlerini sağladığı düşük ve orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.
8. Devlet ve yerel yönetimlerin yaptırımlarıyla bu tip atık faydalanılması yolları geliştirilebilir. Uygulanacak cezai tedbirlerle atıkları boş arazilere bırakmak atık geri dönüşümünden daha masraflı hale getirilerek, geri dönüşüm teşvik edilebilir.

5. SEMBOLLER

| | |
|----------------|---------------------------------------|
| A | : Mermer agregata numunesi. |
| B | : Kireçtaşı agregata numunesi. |
| LAV | : Los Angeles aşınma kaybı değeri. |
| AIV | : Agregata darbelenme kaybı değeri. |
| PSV | : Agregata cilalanma değeri. |
| D _p | : Karışımın pratik özgül ağırlık. |
| V _h | : Sıcak karışımındaki boşluk oranı. |
| VFA | : Bitüm ile dolu boşluk oranı. |
| VMA | : Mineral agregatlar içindeki boşluk. |

Kaynaklar

1. Kuşçu, M., Bağcı, M., Afyon mermer sektörü ve Türkiye mermer sektöründeki yeri”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, ss. 127-137, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2003.
2. Kibici, Y., Yıldız, A. ve Bağcı, M., Afyon kuzeyinin jeolojisi ve mermer potansiyelinin araştırılması. Türkiye III. Mermer Sempozyumu, 73 - 85, 2001 Afyonkarahisar.
3. Okagbue, C.O., Onyeobi, T.U.S., Potensial of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction, Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:53, pp 371-380, 1999.
4. Terzi, S., Karşahin, M., Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonuna Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt:14 Sayı:2,ss. 2903-2923, 2003.
5. Çetin, A., Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 1997.
6. De Rezende, R.L., and De Carvalho, J., C., The use of quarry waste in pavement construction, Resources Conservation & Recycling, Elsevier Science, Vol:39, pp 91-105, 2003.
7. Zoorob, S.E., Suparna, L.B., Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), Cement & Concrete Composites, Elsevier Science, Vol.22 pp 233-242, 2000.
8. Drew, L. J., Langer, W. H., Sach, Janet, S., Environmentalism and Natural Aggregate Mining”, Natural Resources Research, Vol.11, No:1, pp.19-28, 2002.
9. Nicholson, D. T., The visual impact of quarrying, Quarry Management, 22 (7), pp.39-42, 1995.
10. Libicki, J., Enviromental facts of open quarry mining and social effects, 15. World Mining Congress, Madrid, Spain, 1992.
11. Akbulut, H., İçağa, Y., Gürer, C., Atık Agregatların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları ve CEN Standartları, III.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, ss. 271-277, İstanbul, 2003.

12. Annual Book of ASTM Standards D 1559-89. Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus, USA, 1992.
13. Mix designs methods for asphalt concrete and other hot mix types. The Asphalt Institute, MS-2, 1993.
14. The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, Manuel Series No:4 (MS-4), Edition 1989.
15. Tığdemir, M., Karaşahin, M., Kurbanoğlu, C., 1998. "Asfalt Betonunu Testi İçin Devirli Bir İndirekt Çekme Aletinin Geliştirilmesi", S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, sayfa:43-51, Isparta.
16. Annual Book of ASTM Standards C 136-84a. Standard method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, USA, 1992.
17. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yollar Fenni Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1994.
18. Gürer, C., Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 2005.
19. Woodside, A.R., Lyle, P., Woodward, W.D.H., Perry, M.J., Possible problems with high psv aggregate of the gritstone trade group, Advances in Aggregates and Armoustone Evaluation, Geological Society, Engineering Geology Special Publications, vol:13, p:159-167, London, England, 1998.
20. ASTM D5-97 Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
21. ASTM D70-03 Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method), Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
22. ASTM D36-95(2000)e1 Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
23. ASTM D6-95(2000)e1 Standard Test Method for Loss on Heating of Oil and Asphaltic Compounds, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
24. ASTM D92-02b Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
25. ASTM D113-99 Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
26. ASTM D4402-02 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
27. ASTM C 127-88. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. Annual Book of ASTM Standards USA, 1992.
28. ASTM C 128-88. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards USA, 1992.
29. ASTM D2041-03a Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
30. CEN, European Committee for Standardisation, EN 1367-1: Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing, Brussels, 1999.

Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregat Olarak Değerlendirilmesi

31. CEN, European Committee for Standardisation, EN 933-3, Tests for general properties of aggregates: Part 3, Determination of particle shape, Flakiness index, , pp 7.Brussels, 1997.
32. CEN, European Committee for Standardisation, EN 1097-2, Test for mechanical and physical properties of aggregates- Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation, Brussels, 1998.
33. BSI, British Standards Institution, BS 812, part 114 “Method for the determination of polished stone value”, London, England, 1989.
34. ASTM D 1559-89. Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards USA, 1992.