

170780



**ATIK MERMER PARÇALARININ BİTÜMLÜ  
YOL KAPLAMALARINDA  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Cahit GÜRER**

Danışman  
Yrd.Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT

**YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

Ocak 2005

“Bu tez çalışması “031.TEF.07” numaralı proje olarak A.K.Ü BAPK tarafından desteklenmiştir.”

**T.C.**  
**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK MERMER PARÇALARININ BİTÜMLÜ YOL**  
**KAPLAMALARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Cahit GÜRER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Yapı Eğitimi Anabilim Dalı**

**Danışman**  
**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT**

Afyon  
Ocak-2005

Cahit Gürer'in yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddesi uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

06 / 01 / 2005

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Osman Ünal  
(Başkan)



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Hüseyin Akbulut  
(Danışman)



Jüri Üyesi : Yrd.Doç. Dr. Ahmet Yıldız



Jüri Üyesi : Yrd.Doç. Dr. İsmail Zorluer



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28.01.2005..... gün ve 2005/1-1..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof.Dr.Recep Aslan

Enstitü Müdürü

# ATIK MERMER PARÇALARININ BİTÜMLÜ YOL KAPLAMALARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

## ÖZET

Dünya nüfusunun devamlı artışına paralel olarak artan tüketim anlayışı, sınırlı olan hammadde kaynaklarının hızla azalmaya başlaması sonucu mevcut kaynaklar daha ekonomik nasıl kullanılır sorusu yüksek sesle sorulmaya başlanmış, bir çok ülkede kamu ve özel sektör de yeni düzenlemelere gidilmiştir. Bu itibarla, “kaynakların optimum şekilde değerlendirilmesi” şüphesiz geleceğin en önemli araştırma konusu olacaktır.

İnşaat sektörü hammadde ihtiyacının en fazla ve dolayısıyla açığa çıkan atık miktarının en yüksek olduğu sektörlerden birisidir. Özellikle mermer sanayisinde ocaklarda blok çıkarma işlemi sırasında blok üretiminin ortalama % 40 ila % 60’ı mermer atığı olarak atılmaktadır. Ortalama bir hesapla Afyon bölgesinde sadece ocaklarda yıllık 86000 m<sup>3</sup> parça atık meydana gelmektedir.

Bu çalışmada Afyon ve civarında bulunan mermer ocaklarında meydana gelen parça atıklardan agrega üretilerek asfalt kaplamalardaki binder tabakasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mermer ve andezit ocağı atıklarından üretilmiş agrega (A ve B) ve iki farklı şahit agrega (C,D) numunelerinde minerolojik-petrografik inceleme, agrega deneyleri ve sıcak karışım deneyleri yapılmış ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda mermer ocağı atıklarından üretilen agregaların hafif ve orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu değerlendirmeye önemli miktarlarda çevresel ve ekonomik yarar sağlanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Mermer, Atık, Agregası, Sıcak karışım asfalt.

## USING WASTE MARBLES WITHIN THE ASPHALT PAVEMENTS

### ABSTRACT

Because of continuously increasing of the world population, consumption trend and rapidly decreasing of raw material resources, the scientists question how existing resource can be used more economically ? In many countries, both private and public sectors have arranged diciplines. So, in the near future, the most important research subject will be the optimization of recycling of the resources

Construction industry leads the first position in point of necessity of raw materials and amount of waste. Particularly in marble industry, in average between 40 % and 60 % of marble blocks is wasted during the production process in quarries. 86000 m<sup>3</sup> waste marble is created in marble quarry industry in Afyon region, alone.

In this study, quarries in Afyon region occured waste that used raw material of aggregate and possible usage of asphalt pavements binder courses was investigated. Minerological-petrographical research, aggregate tests and hot mix asphalt tests were done to the aggregate which is produced from waste of marble and andesite quaary (A-B) and two diffrent control aggregate specimens(C-D) and results compared between A-B and C-D. As a result, the aggregates produced in the waste of marble quarry could be used in recycling in light or medium trafficed asphalt pavements binder courses. This diminish a huge amount of economical and enviromental consumption.

**Key Words:** Marble, Waste, Aggregate, Hot mix asphalt.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
1. GİRİŞ .....	1
2. İNŞAAT SEKTÖRÜ AÇISINDAN GERİ DÖNÜŞÜM .....	6
2.2. Asfalt Kaplamalarda Geri Dönüşüm .....	11
2.3. Beton’da Geri Dönüşüm.....	14
3.ESNEK YOL ÜST YAPILARI VE AGREGALAR.....	16
3.1 Esnek Yol Üst Yapıları .....	16
3.2 Agregalar .....	19
3.2.1 Köken, Tip ve Kaynaklar .....	19
3.2.2 Agreganın Üretimi.....	22
3.3 Esnek Yol Üst Yapılarında Kullanılan Agregaların Özellikleri.....	26
4. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	28
5.AMAÇ VE KAPSAM.....	37
6. MATERYAL VE METOD .....	38
6.1 Materyal .....	38
6.1.1 Jeoloji .....	38
6.1.1.1 İncehisar Bölgesi .....	39
6.1.1.2 Çobanlar Bölgesi.....	41
6.1.1.3 Karacaoğlan Bölgesi .....	41
6.1.2 Asfalt Çimentosu.....	42
6.2 Metod .....	42
6.2.1 Mineral Agreganın Numunelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	42
6.2.1.1 Kaba ve İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyleri .....	43
6.2.1.2 Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyleri.....	45
6.2.1.3 Agreganın Gradasyonu.....	46
6.2.1.4 Çamurlu Madde Miktarı Tayini .....	47
6.2.1.5 Los Angeles Aşınma Dayanımının Tespiti .....	48
6.2.1.6 Agreganın Darbelene Değerinin Tayini .....	49
6.2.1.7. Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri .....	50

6.2.1.8 Agregalar İçin Yassılık İndeksi Değeri Tayini .....	52
6.2.1.9 Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi.....	54
6.2.1.10 Vialit Metodu ile Yapışma Deneyi .....	55
6.2.1.11 Cilalanma Deneyi.....	56
6.2.2 Asfalt Deneyleri .....	59
6.2.2.1 Penetrasyon Deneyi.....	59
6.2.2.2 Asfalt Çimentosu İçin Özgül Ağırlık Deneyi.....	59
6.2.3 Kaplama Karışım Hesapları İçin Gerekli Bağlıntılar .....	60
6.2.3.1 Agrega Efektif Özgül Ağırlığının Tayini .....	60
6.2.3.2 Bitüm Absorpsiyon Yüzdesinin Hesaplanması.....	61
6.2.3.3 Kaplama Karışımının Efektif Bitüm Yüzdesinin Hesaplanması.....	61
6.2.3.4 Farklı Bitüm Miktarlarında Hazırlanan Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığının Tayini.....	62
6.2.3.5 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımında Yüzde VMA Hesabı .....	63
6.2.3.6 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması .....	63
6.2.4 Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı.....	64
6.2.4.1 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi .....	67
6.2.4.2 Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi.....	69
6.2.4.2 Dolaylı Çekme (Plastik Deformasyon) Deneyi.....	70
7. BULGULAR .....	73
7.1 Mineraloji .....	73
7.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri .....	73
7.1.1.1 A Numunesi .....	73
7.1.1.2 B Numunesi.....	73
7.1.1.3 C Numunesi.....	74
7.1.1.4 D Numunesi .....	74
7.1.2 Taramalı Elektron Mikroskop İncelemeleri .....	75
7.2 Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleriyle İlgili Deney Sonuçları .....	84
7.2.1 Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonuçları .....	84
7.2.2 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları .....	84
7.2.3 Karışımlarda Kullanılacak Agrega Gradasyonu .....	85

7.2.4 Çamurlu Madde Miktarı Tayini Sonuçları.....	86
7.2.5 Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları .....	87
7.2.6 Agregaya Darbelenme Deneyi Sonuçları.....	88
7.2.7 Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri Sonuçları.....	92
7.2.8 Yassılık İndeksi Deneyi Sonuçları .....	95
7.2.9 Soyulma Deneyi Sonuçları.....	97
7.2.10 Yapışma Deneyi Sonuçları.....	97
7.2.11 Cilalanma Deneyi Sonuçları.....	98
7.3 Asfalt Karışımlarla İlgili Deney Sonuçları.....	101
7.3.1 Asfalt Çimentosu Özellikleri.....	101
7.3.2 Marshall Metodu ile Optimum Bitüm Yüzdelerinin Belirlenmesi.....	101
7.3.3 Dolaylı Çekme (Plastik Deformasyon) Deneyi Sonuçları .....	113
8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	116
TEŞEKKÜR.....	128
ÖZGEÇMİŞ .....	129
EKLER.....	130



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Bir Asfalt Geri Dönüşüm Santrali.....	12
Şekil 2.2 Yerinde Asfalt Kaplama Geri Dönüşüm Ekipmanları .....	13
Şekil 2.3 Bir Beton Agregası Geri Dönüşüm Şantiyesi (RCA).....	15
Şekil 3.1 Esnek Yol Üst Yapı Tabakaları. ....	16
Şekil 3.2 Tipik Bir Esnek Üst Yapı Karot Numunesi. ....	18
Cizelge 3.1 Agregası Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaç Türleri ve bu Kayaçları Oluşturan Mineraller (Tunç 2001). ....	21
Şekil 3.3 Bir Taş Ocağı .....	23
Şekil 3.5 Döner Çeneli ve Çeneli Kırıcılar. ....	25
Şekil 3.6 Döner Çekiçli, Sabit Çarklı ve Dikey Şaftlı Darbeli (Sekonder) Kırıcılar. .....	25
Şekil 3.7 Agregası Geometrileri. ....	27
Şekil 6.1 Numunelerin alındığı yerleri gösteren lokasyon haritası. ....	38
Şekil 6.2 Numunelerin alındığı yerlerin jeoloji haritası. ....	40
Şekil 6.3 Los Angeles Aşınma Cihazı ve Deneye Tabi Tutulmuş Bir Numune. ..	48
Şekil 6.4 Agregası Darbelenme Değeri Tayini için Deney Cihazı. ....	50
Şekil 6.5 Donma ve Çözülme İşlemine Tabi Tutulan Agregası Numuneleri. ....	51
Şekil 6.6 Petri Kabına Aktarılmış Numuneler. ....	54
Şekil 6.7. Mekanik Sericiye Yerleştirilmiş ve Silindirme Esnasındaki Numuneler. ....	56
Şekil 6.8 Hızlandırılmış Cilalanma Makinesi. ....	57
Şekil 6.9 Kayma Direnci Ölçme Cihazı. ....	57
Şekil 6.10 Numune Kalıpları ve Dört Farklı Cilalanma Numunesi. ....	58
Şekil 6.11 Bir Penetrometre Cihazı. ....	59
Şekil 6.12 1200 gr'lık Karışım Tartımı, Aparat ve Karışımların Isıtılması. ....	66
Şekil 6.13 Isıtıcı Mekanik Asfalt Karıştırıcısı ve Bir Karıştırma İşlemi. ....	66
Şekil 6.14 Marshall Deney Numunelerini Hazırlamada Kullanılan Otomatik Tokmak.....	67
Şekil 6.15. Hidrolik Numune Çıkarıcı ve Su Banyosu. ....	68
Şekil 6.16 Deney Numuneleri ve Bir Marshall Deney Cihazı. ....	69

Şekil 6.17 Dolaylı Çekme Deney Cihazı. ....	71
Şekil 6.18 Dolaylı Çekme Cihazı Kabini İçerisindeki Numune ve Transdüşerler. .....	72
Şekil 7.1 A numunesinde poligonal kalsit kristalleri. ....	75
Şekil 7.2 B numunesinin SEM görüntüleri; .....	76
Şekil 7.3 B numunesinde feldspat kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu. .....	77
Şekil 7.4 B numunesinde biyotit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu. ....	78
Şekil 7.5 Mikrokristalin kalsit mineralleri içerisinde iri kalsit kristalleri. ....	79
Şekil 7.6 Düzensiz sınırlı kalsit kristalleri. ....	79
Şekil 7.7 Mikrokristalin kalsit kristalleri.....	80
Şekil 7.8 Mikrokristalin kalsit kristalleri.....	80
Şekil 7.9 A numunesinde kalsit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu. ....	81
Şekil 7.10 C numunesinde kalsit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu. ....	82
Şekil 7.11 D numunesinde kalsit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu. ....	83
Şekil 7.12 A Numunesine Ait Granülometri Eğrisi. ....	85
Şekil 7.13 B Numunesine Ait Granülometri Eğrisi.....	85
Şekil 7.14 C Numunesine Ait Granülometri Eğrisi.....	86
Şekil 7.15 D Numunesine Ait Granülometri Eğrisi. ....	86
Şekil 7.16 Los Angeles Aşınma Dayanımı Sonuçları. ....	87
Şekil 7.17 Agregada Darbelenme Değerleri. ....	88
Şekil 7.18 Agregada Darbelenme ve Los Angeles Kaybı İlişki. ....	88
Şekil 7.19 Kristal Boyutu ve Ortalama AIV Arasındaki İlişki. ....	89
Şekil 7.20 Kristal Boyutu ve Ortalama LAV Arasındaki İlişki. ....	90
Şekil 7.21 Ca Oranları ile Ortalama LAV Arasındaki İlişkiler.....	91
Şekil 7.22 Ca Oranları ile Ortalama AIV Arasındaki İlişki. ....	92
Şekil 7.23 Agregaların Donma-Çözülme Sonrası LA Aşınma Direnç Kaybı.....	93
Şekil 7.24 Donma-Çözülme Sonrası LAV ve Ortalama LAV İlişki. ....	94
Şekil 7.25 % Ca ile (LAV) <sub>s</sub> arasındaki İlişki. ....	95
Şekil 7.26 Yassılık İndeksi Değerleri.....	95
Şekil 7.27 Los Angeles Aşınma Kaybı ve Yassılık İndeksi Arasındaki İlişkiler..	96
Şekil 7.28 Darbelenme Değerleri ve Yassılık İndeksi Arasındaki İlişki.....	96

Şekil 7.29 Soyulmadan Kalan Bitüm Tabakası Oranları. ....	97
Şekil 7.30 Yapışma Deneyi Sonuçları.....	98
Şekil 7.31 Cilalanma Deneyi Sonuçları. ....	98
Şekil 7.32 Ortalama Kayma Direnci ve % Ca Arasındaki İlişkiler.....	100
Şekil 7.33 Kayma Direnci (PSV) ve Kristal Boyutları Arasındaki İlişkiler. ....	100
Şekil 7.34 A Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi. ....	102
Şekil 7.35 B Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi.....	102
Şekil 7.36 C Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi.....	103
Şekil 7.37 D Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi. ....	103
Şekil 7.38 A Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	104
Şekil 7.39 B Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	104
Şekil 7.40 C Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	105
Şekil 7.41 D Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	105
Şekil 7.42 A Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	106
Şekil 7.43 B Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.....	106
Şekil 7.44 C Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.....	107
Şekil 7.45 D Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	107
Şekil 7.46 A Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	108
Şekil 7.47 B Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	108
Şekil 7.48 C Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	108
Şekil 7.49 D Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	109
Şekil 7.50 A Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.....	109
Şekil 7.51 B Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	110
Şekil 7.52 C Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. ....	110
Şekil 7.53 D Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.....	110
Şekil 7.54 A Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	111

Şekil 7.55 B Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	111
Şekil 7.56 C Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	112
Şekil 7.57 D Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi. .....	112
Şekil 7.58 Karışım Numunelerine Ait Ortalama Yorulma Ömürleri. ....	113
Şekil 7.59 Yorulma Ömürleri ve Eksenel Şekil Değiştirme İlişkisi. ....	114
Şekil 7.60 İndirekt Çekme Deneyinde İkiye Bölünerek Kırılan Numuneler. ....	114
Şekil 7.61 Karışımların Yorulma Ömrü ve Ortalama LAV ilişkisi. ....	115
Şekil 8.1. Karşılaştırmalı Stabilitate –Bitüm %, Akma-Bitüm % İlişkileri. ....	119



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Ülkemizde halen devam eden. belediye geri kazanım projelerinde toplanan atık kompozisyonunun ortalaması.....	3
Çizelge 2.1. Mermer ve Taş Ocaklarında Görsel Etkinin Potansiyel Kaynakları.....	8
Çizelge 3.1. Agregada Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaç Türleri ve bu Kayaçları Oluşturan Mineraller.....	21
Çizelge 6.1. Yassılık İndeksi Deneyine Alınacak Malzeme Miktarları.....	53
Çizelge 6.2. Trafik Durumuna Göre Eşdeğer Dingil Yükleri.....	67
Çizelge 6.3. Marshall Metodu ile Binder Tabakası Dizayn Kriterleri.....	70
Çizelge 6.4. Minimum VMA Değerleri.....	70
Çizelge 7.1. Hacim Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdeleri.....	84
Çizelge 7.2. Gevşek ve Sıkışık BHA Deneyi Sonuçları.....	84
Çizelge 7.3. Agregaların Hacimce Çamurlu Madde Oranları.....	87
Çizelge 7.4. Agregada Numunelerinin Donma-Çözülme Kayıpları.....	93
Çizelge 7.6. Asfalt Çimentosuna Ait Özellikler.....	101
Çizelge 7.5. Kaplamalar İçin Önerilen Yanal Sürtünme Kuvveti Katsayıları.....	99

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklamalar
AC	(Asphalt Cement ) Asfalt Çimentosu
RCA	(Recycled Concrete Aggregate) Geri dönüştürülmüş beton agregası.
CBR	(California Bearing Ratio) Kaliforniya taşıma oranı.
LDPE	(Low Density Polyethylene) Düşük yoğunluklu polietilen.
HDPE	(High Density Polyethylene) Yüksek yoğunluklu polietilen.
W/C	(Water/Cement) Su/Çimento
RAP	(Recycled Asphalt Pavement) Geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması.
RPCC	(Recycled Portland Cement Concrete) Geri dönüştürülmüş portland çimentosu betonu.
HMA	(Hot Mix Asphalt) Sıcak karışım asfalt.
LAV	(Los Angeles Value) Los Angeles Aşınma Değeri.
F	Donma-Çözülme deneyi sonucundaki kütle yüzde kaybı.
K	İnce malzeme yüzdesi.
$\Delta S_{LA}$	Donma-çözülme sonrası LA direnç kaybı.
$G_{ef}$	Agrega efektif özgül ağırlığı.
Pba	Bitüm absorpsiyon yüzdesi.
Pbc	Kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesi.
Wa	Agreganın ağırlıkça yüzdesi.
DT	Karışımın maksimum özgül ağırlığı.
Gb	Bitüm özgül ağırlığı.
VMA	Agregalar arası boşluk yüzdesi.
VFA	Asfaltla dolu boşluk yüzdesi.

## 1. GİRİŞ

Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün bu kaynakların tükeneceği şüphesizdir. Tüm canlılar gibi insanında yaşaması, gelişmesi ve mutluluğu yaşadığı ortamın gelişmesine ve dengesine bağlıdır. İnsanlar olayları genellikle salt günlük çıkarları açısından değerlendirerek, geleceği pek fazla dikkate almamaktadır. Ancak son yıllarda çevre sorunlarının tüm canlıların sağlık ve yaşamını tehlikeye sokacak boyutlara ulaşması bu bakış açısında bazı değişmelere yol açmıştır. Nitekim çevre sorunlarının boyutlarındaki genişleme, bazı doğal kaynakları tükenme sınırına ulaştırırken, içilen sudan solunan havaya kadar sağlıklı bir ortam yaratmıştır. Doğal çevrenin tehlikeli bir biçimde bozulmaya başlaması, insanları bu tehlikelerin nedenlerini anlamaya ve araştırmaya yöneltmiştir(Ertürk 1996).

Kaynakların sınırlı olduğu, tüketimin hızla arttığı dünyamızda son yıllarda üzerinde önemle durulan konulardan birisi de geri dönüşüm veya daha çok bilinen adıyla recycle'dır. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi ile bu gerçeği gören gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Ne yazık ki ülkemizde diğer gelişmiş ülkelere nazaran inşaat endüstrisinde geri dönüşüm miktarı yok denecek kadar azdır. Geri dönüşüm bir yana, atıkların bertaraf edilmesi bile hala çoğu sanayi işletmesinde göz ardı edilmektedir. 1998 yılı nüfus verilerine göre yılda 13 milyon ton evsel atık, 19-20 milyon ton civarında ise belediye atığı oluşmaktadır. Genel olarak cam, alüminyum, kağıt gibi ürünlerde geri dönüşüm yaygın olarak yapılmaktadır. Bunun yanında diğer gelişmiş ülkelerde asfalt, beton, agrega, ahşap vb. yapı malzemeleri geri dönüştürülerek yeniden hammaddeye dönüştürülmekte hem ekonomiye hem de çevreye olan zararlı etkileri en aza indirilmektedir.

Atıkların hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesine geri dönüşüm veya recycle denir. Geri dönüşüm süreci; kaynaktan ayırma, değerlendirilebilir atıkları ayrı toplama, sınıflama, değerlendirme ve yeni ürünü

ekonomiye kazandırma olmak üzere beş önemli basamaktan oluşmaktadır. Geri kazanım ise atıkların yeniden kullanılarak, enerji elde etmek (yakma vb.) veya fiziksel yada kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir ürün elde etmek amaçları ile toplanmasıdır. Ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan ve kalkınmakta olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir. Ülkemizde de nüfus artışına paralel olarak atık miktarı ve ambalajlı ürün kullanımı da artmış, geri kazanımı ekonomik bir değer haline getirmiştir. Çevre Bakanlığı tarafından 1991 yılında yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile geri kazanım yasal zorunluluk haline dönüşmüştür (çevko web site). Geri dönüşümü bu kadar önemli duruma getiren sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

Geri dönüşüm ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanır. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmak zorundayız. Dolayısıyla geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir. Örneğin; kağıdın geri dönüşümü ile ormanlarda ağaçların daha az kesilmesi sağlanmış olur. Benzer şekilde plastik atıklarının geri dönüşümü ile petrolden tasarruf sağlanabilir. Ülkemizde 150-200 bin ton civarında atık plastik geri kazanılmaktadır. Atık kağıt geri kazanım oranı ise % 32'dir. 2002 yılında ülkemizdeki bazı yerel yönetimler tarafından geri kazanım projeleri kapsamında düzenli olarak toplanan malzeme miktarı 15795 ton'a ulaşmıştır(çevko web site).

Kullanılan malzemelerin veya atıkların hammaddeye dönüştürülmesi malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünde bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Kullanılan alüminyumun % 30'u hurdaların



geri kazanılmasından elde edilmektedir. Elektrik, inşaat ve taşıt araçları sektörlerinde kullanılan alüminyumun % 70'i, defalarca geri kazanılır. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden % 96 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kağıdın yeniden işleme sokulması için gerekli olan enerji normal işlemler için gerekli olanın % 50'si kadardır. Aynı şekilde cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir. Türkiye'de yılda yaklaşık 2 milyon ton civarında hurda metal toplanarak geri kazanılmaktadır. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkabilecek ve işte bu noktada geri dönüşüm ekonomisi üzerinde olumlu etki yapacaktır. Yeni iş imkanları sağlayacak ve gelecek kuşaklara doğal kaynaklardan yararlanma olanağı sunacaktır.

Günümüzde şu üç kelime slogan haline gelmiştir; tüketimi azalt-yeniden kullan-geri dönüştür. Dünya'da geri dönüştürülebilen atıkların en önemlilerini kağıt, alüminyum, cam, plastik malzemeler oluşturmaktadır. Ülkemizde de bu malzemeler geri dönüşümde ilk sıraları almaktadır. AB ülkelerinin tamamında atık geri dönüşüm oranı % 45, geri kazanım oranı ise % 50'dir. Türkiye, bu tip malzemelerin geri kazanımında İtalya ve İngiltere gibi ülkelerin ortalamasını geçmiş AB ortalamasına yaklaşmıştır.

Çizelge 1.1. Ülkemizde halen devam eden belediye geri kazanım projelerinde toplanan atık kompozisyonunun ortalaması.

MALZEME CİNSİ	YÜZDESİ (%)
Kağıt-Karton	42
Cam	28
Metal	7
Plastik	23
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>

Özellikle son yıllarda ülkemizde geri kazanılabilir atıkların ekonomik değer kazanması ve bu konudaki yasal zorunlulukların yürürlüğe girmesiyle bu tür

malzemeleri toplayan veya geri dönüşümünü yapan işletmeler ve sanayi kuruluşları oluşmaya başlamıştır. Türkiye’de atık yönetimi konusu özellikle son beş yıl içinde artan nüfus ve göç ile birlikte çoğu kez şehir sınırlarının çok içine kadar giren çöp dökme alanlarının yarattığı sorunla birlikte gündeme gelmiştir. Öncelikle düzensiz depolama sahalarının rehabilitasyonu ve yeni düzenli çöp depolama sahalarının açılması düşünülmeye başlanmış ve daha sonra kompostlama ve geri kazanım konuları tartışılmaya başlanmıştır. Ülkemizin mevcut koşulları dikkate alındığında yakma yönteminden ziyade düzenli depolama sahalarının kurulması ve bu alanlara gidecek atık miktarının azaltılması için önlemler alınması (değerlendirilebilir atıkların ayrı toplanması ve geri kazanım bu aşamada önem kazanmaktadır) Türkiye için öncelikli seçenekler olarak görünmektedir (çevko web site; Akbulut ve Gürer 2003).

1960’lı yılların sonlarında ve 70’lerin başlarında çevre ve yerleşme sorunlarına karşı artan ilgi nedeniyle, Birleşmiş Milletler Örgütü önderliğinde 5-16 Haziran 1972 tarihleri arasında Stochholm’de “Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı” toplanmıştır. Türkiye ile birlikte 113 ülkenin katıldığı konferans, çevre konusunda kamuoyunun bilincinin gelişmesinde ve uluslar arası düzeyde çevre konusundaki tartışmaların yoğunlaşmasında önemli bir konuma sahip bulunmaktadır. Bugün çevre sorunlarının etkili bir şekilde çözümü uluslararası düzeyde çok disiplinli ortak çalışmaları gerektirmektedir. Stockholm konferansının temel amacı ise, siyasi ve sınır tanımayan sorunlar karşısında ülkelerin birlikte karar alma ve uygulama yapmalarını sağlamak şeklinde belirlenmiştir. Konferans sonunda , katılan ülkelerce kabul edilen “Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Deklarasyonu” yayımlanmıştır. Deklarasyonda, insan-çevre ilişkileri, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri; ülkelerin ekonomik gelişme sorunları; yaşam koşullarının iyileştirilmesinin gerekliliği; uluslararası örgütlenmeler ve hukuk konuları ele alınmıştır. Özellikle çevre konusunda uluslar arası işbirliği ve dayanışmanın önemi vurgulanmıştır. Böylece de ilk kez insanlığın bir bütün halinde çalışması gerekliliği ve çevre korumanın uluslar arası bir nitelik taşıdığı ortaya konulmuştur. Stockholm konferansının en önemli sonucu, farklı siyasi rejimlere ve gelişmişlik düzeyine sahip ülkelerin, çevre konusunda ortak sorumluluklarını kabul eden bir yaklaşım benimsemeleri

ve bunu insan sağlığının devamı için bir ön koşul olarak kabul etmeleridir. Nitekim konferansta kabul gören sağlıklı ve insan onuruna yaraşır bir çevrede yaşama ilkesi, bir çok ulusal ve uluslararası düzenlemede dikkate alınan bir ilke haline gelmiştir. Bu bağlamda da Stockholm Deklarasyonu “çevre hakkı” konusunda uluslararası düzeydeki ilk ve en önemli belge olma niteliği taşımaktadır (Ertürk 1996).

Bütün bu çalışmaların amacı, atık yönetimi konusunu yaygınlaştırarak, atık seviyelerini düşürmek, dolayısı ile çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak, yeni hammadde kaynağı arayışlarını azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamaktır.

Hammadde ihtiyacı ve dolayısı ile ortaya çıkan atık emisyonu açısından baktığımız zaman inşaat sanayisi tüm sanayi dalları arasında ilk sırayı aldığı görülmüştür. Örneğin 1 km’lik bir otoyolun yapımı için yaklaşık olarak 32200 kg agreganın tüketildiği bilinmektedir (Zoorop ve Suparma 2000). Yol inşaatında tüketilen bu agrega kaynakları civardaki agrega ocaklarından veya doğal agrega kaynaklarından temin edilmektedir, dolayısı ile her geçen gün yeni kırmataş ocaklarına olan talep giderek artmakta ve bu ocaklardan dolayı yeryüzünün genel yapısı bozulmakta çevremizde hoş olmayan görüntüler oluşmaktadır. Afyon ili ve çevresinde bulunan 685 adet irili ufaklı mermer ocağı, fabrika ve işleme tesisleri ile Türkiye’de mermer endüstrisinin en önemli merkezlerinden biridir. Afyon-İscehisar bölgesinde 17 adet mermer ocağı işletmesinde 2002 yılında 172 050 m<sup>3</sup>’lük blok mermer üretimi gerçekteştirilmiştir. Ocaklarda blok çıkarma işlemi sırasında blok üretiminin ortalama % 40 ila % 60’ı kadar mermer atığı oluşmaktadır. Ortalama bir hesapla Afyon bölgesinde sadece ocaklarda yıllık 86025 m<sup>3</sup> parça atık meydana gelmektedir.

Bu çalışmada ocak atığı parça mermerlerin, orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceği halihazırda kullanılan malzemelerle karşılaştırılarak araştırılmıştır. Araştırma deneyleri petrografik ve minerolojik analiz, agrega deneyleri ve sıcak karışım deneyleri olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

## 2. İNŞAAT SEKTÖRÜ AÇISINDAN GERİ DÖNÜŞÜM

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi de 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 asfalt, mermer gibi malzemeler geri dönüştürülmesi yoluna gidilerek önemli miktarlarda ekonomik kazanç sağlanabilir. Petrol türevi olan asfalt malzemelerin yeniden kullanılması yoluna gidilmesinin sağlayacağı ekonomik kazanç göz ardı edilemez.

### 2.1. Mermer Atıkları, Çeşitli Şekillerde Değerlendirilme İmkanları ve Çevresel Etkileri

Özellikle Afyon bölgesi mermercilik sektörü açısından 70 milyon m<sup>3</sup>'lük rezervi ile Türkiye'de önemli bir konumdadır. Afyon-İscehisar bölgesinde 17 adet mermer ocağı işletmesinde 2002 yılında 172 050 m<sup>3</sup>'lük blok mermer üretimi gerçekleştirilmiştir(Kuşcu ve Bağcı,2003). Bu üretim Türkiye blok mermer üretiminin % 12'sini karşılamaktadır (Kuşcu ve Bağcı,2003). 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 atıklar çeşitli şekillerde bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilip, ekonomik katma değeri olan bir malzemeye dönüştürülebilir. Üniversitelerde ve sanayide toz mermer artıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen özellikle ocaklarda blokların çıkarılması sırasında meydana gelen parça mermer atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışma literatürde bulunmamaktadır. Mermer ocaklarında ortalama olarak, üretimin % 40-60'ı mermer atığı olarak atılmaktadır. Mermer ocaklarında blok alınmasını sınırlayan en önemli unsur mermer yatağındaki kırık ve çatlakların durumudur. Bu tür atıkların 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 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 2.1'de verilmiştir. Ocak işletilme süresinde doğal çevrede meydana gelen değişimler bariz bir şekilde izlenebilmektedir. Mermer ocak işletmelerinde çevresel etkinin en bariz örnekleri, yeryüzü görünümünün bozulması, atıkların toplanma sahaları ve buna bağlı olarak oluşan görsel etkidir. Yeryüzü görünümünü bozan çalışmalar dekapaj ve üretim faaliyetleri sonucunda oluşan çukurluklar ile ocakta oluşan mermer atıklarının döküldüğü döküm sahalarıdır. Uluslararası kabullere göre açık ocak işletmeciliğinin yarattığı çevre zararları:

- Her tarafta bilinen
- Genellikle yöresel
- Zamanla sınırlı
- Korunma yöntemleri iyi bilinen zararlar olarak tanımlanmaktadır.

Bu nedenle açık ocak madenciliği 1982 Stockholm Dünya Konferansında en çok tahribat yapan endüstriler grubundan çıkarılmıştır. Buna rağmen açık ocak işletmeciliğinin sosyal kabulü biraz farklıdır. Herkesin çıplak gözle tüm tahribatı görebilme özelliğinden dolayı, bu tahribat halk tarafından son derece önemli ve tehlikeli olarak kabul edilir. Halbuki gerçek çevre kirliliği yaratan kalıcı etki bırakan unsurlar (havaya karışan gazlar gibi) toplum tarafından daha az bilinir ve daha az tehlikeli olarak kabul edilir (Çelik vd. 2003).

Ortalama bir hesap yapılırsa bu tip mermer ocaklarda meydana gelen yıllık parça atık 86025 m<sup>3</sup>'dür. Afyon Belediyesinin temel ve kaplama için tükettiği yıllık agrega miktarı yaklaşık 35000 m<sup>3</sup>'dür. Dolayısıyla atık malzeme miktarı bu rakamı rahatlıkla karşılayabilir.

Çizelge 2.1. Mermer ve Taş Ocaklarında Görsel Etkinin Potansiyel Kaynakları.

1.Ocak Yapısı	Toprak ve dekapaj yağımı (döküm sahası), Kullanılmayan boyuttaki mermer artıkları, Stok alanı, Ocak içi nakliyat yolları ve rampalar, Ocak basamak şevleri, Ocak içi su havuzu ve göleti, Kullanılmayan ayna yüzeyleri,
2.Hareketli Alanlar	Ocakta çalışan iş makineleri, Vinçler, Ocak bağlantı yolları ve ana yollar, Hareketli kırma ve eleme tesisi,
3.Bina ve İnşaat Alanları	Şantiye binaları, Ambarlar, Kırma ve eleme tesisi Bant konveyörler, Yakıt ve su tankları,
4.Çeşitli Kaynaklar	Hava kirliliği (toz ve gaz emisyonları), Toz birikintileri, Yollardaki çamurlar, Gece çalışmalarında aydınlatmalar,
5.Diğer Kaynaklar	Topoğrafyadaki uzun sürede gerçekleşen değişimler, Planlanan proje sınırlarına uyulmaması,

Asfalt kaplamaların yaklaşık % 94'ünün agregalardan oluştuğu göz önüne alınırsa, ocaklarda meydana gelen bu parça atıklar kurulacak olan bir kırma eleme tesisinde kırmataşa dönüştürülerek Afyon ili şehir içi ve köy yollarında agrega olarak değerlendirilebilecek ve bu suretle yeni kırmataş ocaklarına olan talep de azaltılmış olacaktır. Bu malzemelerin yol üst yapı inşaatında değerlendirilmesi ekonomiye ve çevreye önemli bir katkı getirecektir. Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını arttırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda

asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını arttırmak için kullanılır.Yapılan araştırmalar asfalta katılan mermer tozunun asfalt yaşlanmasını önemli oranlarda geciktirdiğini göstermiştir. Eklenen mermer tozu asfalt çimentosunun viskozitesinin artmasını sağlayarak teker izi deformasyonlarının azalmasında faydalı olmaktadır (Little and Epps 2001). Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar, taş tozu filler malzemesinin az bulunduğu veya bulunmadığı yerlerde, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceğini göstermiştir (Çetin 1997; Terzi ve Karaşahin 2003). Bunun dışında mermer toz atıkları sıva katkı malzemesi, çimento üretiminde katkı malzemesi, kireç üretiminde, kalsine dolamit üretiminde, refrakter malzeme olarak inşaat sanayinde çeşitli şekillerde kullanılmaktadır (şentürk 1996).

Mermer toz atıklarından yararlanılan diğer önemli alanlardan biriside bozuk zemin özelliklerinin iyileştirilmesinde kimyasal katkı maddesi olarak kullanımıdır. İlk çağlardan günümüze kadar insanlar, barınma, savunma vb. amaçlarla inşa ettikleri yapıları, zemin üzerine yada zeminin içine inşa etmişlerdir. Böylece zeminin temel yada inşaat malzemesi olarak kullanılmasıyla çeşitli problemlerle karşılanmaya başlanmıştır. Karşılaşılan problemlerde zeminlerin stabilizasyonu çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır. Zeminin özelliklerinin iyileştirilmesinde katkı maddeleri olarak ilk uygulamalarda bitki köklerinden yararlanılmıştır. Günümüzde değişik kimyasal maddelerle farklı uygulamalarda bulunulmaktadır (Zorluer ve Usta 2003).

Geçirimlilik, kayma direnci, oturma ve benzeri özelliklerden dolayı kullanım amacına uygun olmayan zeminlerin ortaya çıkardığı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan üç yöntem bulunmektedir. Bunlardan birincisi istenen zemini kazıyarak yerine istenen özellikleri taşıyan bir malzeme koymaktır. Ancak yapılacak kazı hacminin çok yüksek olduğu durumlarda yöntem ekonomik olmamaktadır. Bu durumda akla gelen ikinci çözüm, zemini olduğu gibi kabul edip, üst yapıdaki taşıyıcı elemanların boyutlarının ve kullanılan malzemenin kalitesinin arttırılmasıdır ki bu durumda maliyet oldukça yüksek olabilmektedir. Üçüncü bir yöntem ise zemin içerisine çimento, kireç, mermer tozu, uçucu kül

gibi çeşitli kimyasal maddeler katılarak zemin özelliklerinin iyileştirilmesidir. Kimyasal stabilizasyonda kullanılan kireç orta, ince ve çok ince daneli zeminlerle reaksiyona girerek plastisitenin düşmesine, işlenebilirliğin ve mukavemetin artmasına, şişmenin azalmasına neden olmaktadır. Zemin sınıfı, CH, CL, MH, ML, ML-CL, SC, SM-SC, SM, GC, GM-GC, GM olan ve silt, kil içeren ince gradasyonlu zeminlerin kireç ile stabilize edilerek ıslah edilmeleri mümkündür. Dolayısı ile kireç stabilizasyonu killi zeminlere uygulanan bir metottur ve amacı zeminin deformasyona olan direncini arttırmaktır. Mermer tozunun killi zeminlerde kirece benzer bir iyileştirme yaptığı yapılan literatür taramasından bilinmektedir(Zorluer ve Usta, 2003; Watson, 1989). Dolayısıyla mermer sanayisinde meydana gelen toz atıkları killi yol alt yapılarında kimyasal stabilizasyon malzemesi olarak hızlı bir şekilde değerlendirilmesiyle çevre kirliliğinin azaltılması ve bu atıl malzemenin ekonomiye bir inşaat malzemesi olarak kazandırılması sağlanabilir.

Mermer tozunun filler katkı malzemesi olarak kullanıldığı bir diğer yapı malzemesi de betondur. Yapılan araştırmalar beton üretiminde ince malzeme oranının yaklaşık % 10'nun mermer tozu ile değiştirilmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış olduğunu göstermiştir(Ünal, 2003).

Mermerin gerek üretimi sürecinde gerekse işleme tesislerinde işlenmesi sürecinde açığa çıkan iri boyutlu parça mermer atıkları, belirli bir boyutta kırıldıktan sonra farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Bunlar; beton ve asfalt karışımlarda agrega, yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi, suni mermer plağı, karosiman ve bir mermer süsleme sanatı olarak antik taş yapımında kullanılmasıdır. Betonda basınç dayanımını belirleyen önemli özelliklerden biriside agregaların özellikleridir (Şentürk, 1996). Mermer kökenli agregaların aşınma ve dane dayanımlarının düşük olmasının bilinmesine karşın belirli beton sınıflarında mermer kökenli agregalar kullanılabilir. Özellikle mermer ocaklarında açığa çıkan mermer parça atıklarının agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili özel girişim örnekleri Afyon çevresinde görülmektedir. Bu sayede doğal kaynakların korunması sağlandığı gibi aynı zamanda atık azaltılması ve faydalanılması gerçekleştirilmiş olur.



Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin % 90 dan fazlasını agregalar teşkil eder. Bu nedenle yol dizayn hayatı boyunca agregalar büyük rol oynarlar. Farklı yol katmanlarında farklı agrega 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 yüksek dayanımlı olması en çok arzu edilen özelliklerdendir. Bununla beraber ülkemizde bol miktarda bulunan kalker türü mineraller (bir tür mermer) yüzey kayma tabakasında kullanılmaktadır (Akbulut ve Gürer, 2003). Cilalanma direncinin düşük olmasından dolayı sürtünme tabakasında kullanılması şartnamelerle sınırlansa da asfalt kaplamalardaki bir alt tabaka olan binder tabakasında kullanılabilir. Özellikle ağır trafiğe maruz olmayan şehir içi yollarda, köy yollarında kullanılması suretiyle mermer parça atıklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi sağlandığı gibi ekonomik bir agrega kaynağı da elde edilmiş olacaktır.

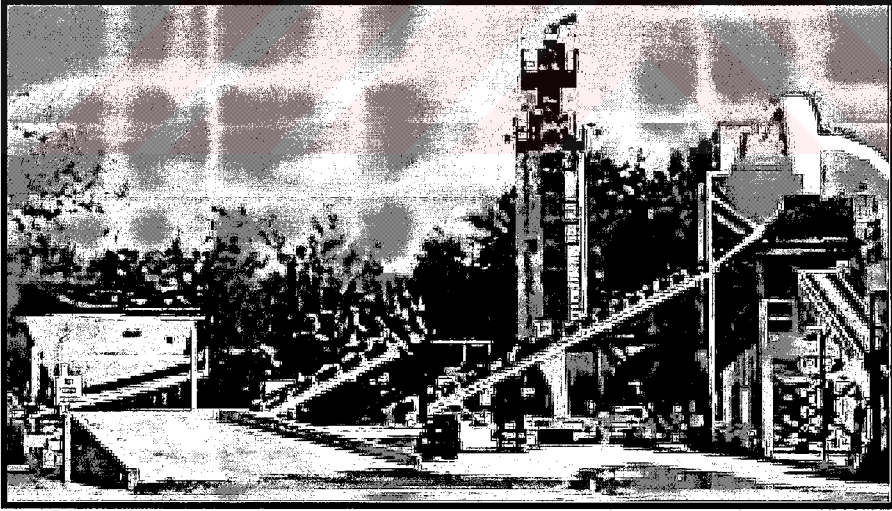
## **2.2. Asfalt Kaplamalarda Geri Dönüşüm**

Ne yazık ki ülkemizde şu an için yaygın olarak kullanılmayan fakat Avrupa'daki birçok ülkede ve Amerika'da sıkça kullanılan geri dönüşüm uygulamalarından birisi de asfalt geri dönüşümüdür. Son yıllarda petrol ürünlerin fiyatındaki büyük artış, kaliteli agrega temininin güç olması asfalt kaplamalardaki malzemelerin yeniden değerlendirilmesine olan ilgiyi oldukça arttırmıştır. Bu uygulamanın önemli bir avantajı da yeni kaplamalarda özellikle şehir içi yollarda büyük problem olan kot artmalarını engellemesidir.

Geri dönüşüm işlemleri kaplamanın kazınıp santrale götürüldükten sonra, yeniden işleminden geçirilip tekrar kaplama malzemesi haline dönüştürülmesiyle veya aynı sıcak veya soğuk karışım asfalttaki gibi özel ekipmanlar kullanmak suretiyle, yerinde kaplamayı kazıma, gençleştirme ve yeniden kaplamanın serilmesi şeklinde gerçekleştirilir.

Eski kaplamaların ıslah edilmesinde iki ana yöntem kullanılır. Yaygın yöntem, kaplamanın kesici dişli buldozer ekipmanı ile veya beko ile kırılması ve asfalt santraline taşınarak 38 mm veya daha küçük boyutlara sahip granüler malzeme haline dönüştürülmesidir. Bununla birlikte yerinde öğütme metodu daha üstün bulunur. Eski kaplama uygun derinlikte kazınarak istenen boyuta düşürülür. Kazıma derinliği şartnamelerin müsaade ettiği sınırlara göre, verilmesi gereken enine eğime göre değişiklik gösterir, böylece teker izi ve diğer kaplama hasarlarına karşı önlem alınmış olunur (Atkins 1997).

Genellikle asfalt geri dönüşüm santrallerinde % 70 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak üretim yapılır. Yani agregası hızlı bir şekilde ısıtıldıktan sonra, geri dönüştürülmüş malzeme yeni malzemeye yarı yarıya bir oranda eklenerek sıcak gazlarla tekrar ısıtılır. Farklı bir tankta yeni asfalt eklemek suretiyle karışım tamamlanır. Sonuçta elde edilen karışım asfalt çimentosunun kalite açısından orijinale yakın olmalıdır. Şekil 2.1'de bir asfalt geri dönüşüm santrali görülmektedir.



Şekil 2.1 Bir Asfalt Geri Dönüşüm Santrali.

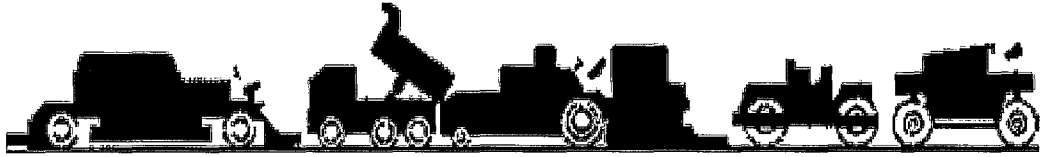
Santralde karıştırılmış geri dönüşüm asfaltlarda aynı yeni asfalt betonu gibi Marshall ve Hveen karışım dizayn metodları uygulanır. Yaklaşık % 4-1,5 oranında yeni asfalta ihtiyaç vardır. Buda yeni malzeme açısından % 4-7 arasında

tasarruf anlamına gelmektedir. Yeni asfalt , AC 10 (pen 85-100) yerine AC 5 (pen 120-150) gibi, eskisine nazaran daha yumuşaktır.

Yerinde asfalt geri dönüşüm uygulaması yerinde sıcak karışım yerinde soğuk karışım olmak üzere ikiye ayrılır fakat uygulama çok küçük farklar dışında benzerlik gösterir. Sıcak karışımında eski asfaltta yumuşatma yapılırken soğuk karışımında eski asfaltta doğrudan yumuşatma yapılmaz. Yerinde sıcak karışımında sırasıyla şu işlemler yapılır:

- Eski kaplama enfraruj ısıtma yöntemi ile ısıtılır.
- Isıtma işleminden sonra 25-50 mm arasında değişen derinliklerde kazıma yapılır.
- Malzeme mikserle yerleştirilerek yeniden gençleştirici maddeler (asfalt emülsiyonu, hafif yağ v.b.) eklenir, karışım istenen kıvama eriştikten sonra serme ve sıkıştırma işlemleri yapılır. Yeni malzemeye istenirse işlenmemiş malzemede eklenebilir.

Yerinde geri dönüştürülmüş kaplama daha sonra istenirse yeni bir sürtünme tabakası ile kaplanarak, emülsiyondan sonra küre bırakılır.



Şekil 2.2 Yerinde Asfalt Kaplama Geri Dönüşüm Ekipmanları .

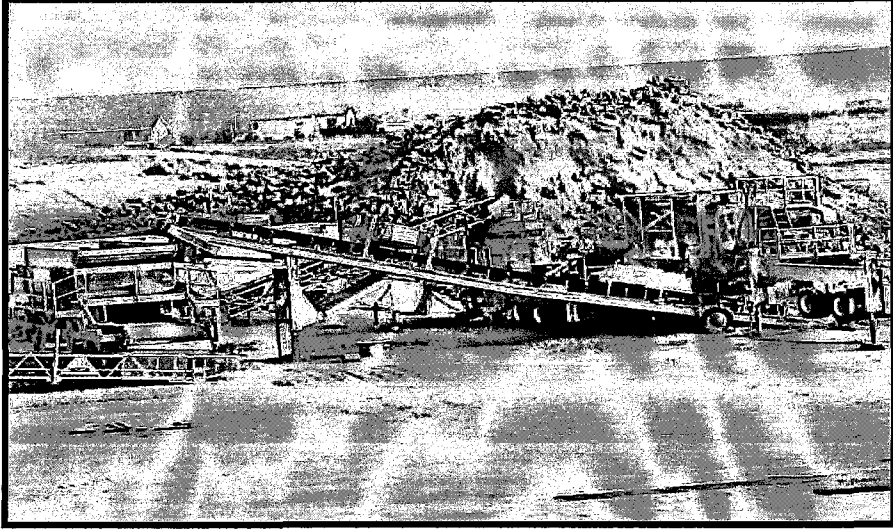
Bu yöntemle üretilen kaplamalar oldukça ekonomiktir ve yansıma çatlaklarına karşı dirençli bir rehabilitasyon yöntemidir. Yöntemin uygulaması esnasında trafik kesintisi çok az sürer ve sıkıştırma işleminden 1 saat sonra yol trafiğe açılabilir. Bununla birlikte bu yöntem hafif trafik hacimli yollar için önerilir. Şekil 3'de yerinde asfalt geri dönüşüm ekipmanlarının şematik çalışma düzeni görülmektedir. Yerinde geri dönüşüm metodu, karışım dizayn metodları kadar yaygın değildir, bununla birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

### 2.3. Beton’da Geri Dönüşüm

Geri dönüştürülmüş yapı hammaddeleri için olan global talep son on yılda büyük ölçüde artmıştır. Beton malzemesi inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemedir. Mimari ve peyzaj amaçlı yapılarda çok geniş şekil, renk, doku ve kaplama seçeneklerini uygulayabilmek için betonun sağladığı olanaklardan yararlanır. Avrupa hazır beton sektörü, 12.000’i aşkın faal tesiste yılda yaklaşık 300 Milyon Metreküp beton üretmektedir. Yıllık hazır beton tüketimi 0.3 - 1.40 Metreküp/kişi seviyesindedir. Yaklaşık 720 Milyon Ton malzemenin ve buna tekabül eden enerjinin kullanımı kuşkusuz çevre bakımından çok önemli sonuçlar yaratmaktadır. Bir bina yada yapının yıkılması veya yerine başkasının yapılması gerektiği zaman elde edilen eski beton, kırılarak beton agregası yada yollarda zemin altı malzemesi olarak yeniden kullanılabilir. Betonun ağır matriksi onu, aynen veya çok az güç ve performans kaybına uğrayarak kullanılabilen ideal bir geri dönüşümlü malzeme yapar. Kullanılmadan iade edilen betonun hemen yada daha sonra beton karışımlarında kullanılmasını veya beton ürünü, yol döşemesi yada inşaat dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılmasını sağlayan sistemlerde vardır. Ülkemizde henüz uygulaması olmasa da Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl 322 km beton kaplamanın geri dönüşümü yapılmakta resmi olarak 44 eyalette geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmaktadır.

Her 1,609 km beton döşemeden yaklaşık olarak 5996 ton beton geri dönüştürülmektedir. Bozulan beton yollar, yıkımı gerçekleştirilen eski binalar bir beton agrega geri dönüşüm şantiyesinde kırılıp ayrıştırıldıktan sonra yeniden kullanıma hazır granüle malzeme haline dönüştürülmektedir. Şekil 2.3’de bir beton agrega geri dönüşüm şantiyesi görülmektedir.

Avustralya Victoria’da geri dönüştürülmüş beton agregalar çeşitli uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. Burada yapılan çalışmalar geri dönüştürülmüş beton agregalarının normal agrega yerine veya beton üretiminin yapısal olmayan uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir.



Şekil 2.3 Bir Beton Agregası Geri Dönüşüm Şantiyesi (RCA)

Geri dönüştürülmüş beton agregaları özellikle yol inşaatı için temel dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama etkili bir şekilde yıkılmış beton atıklardan faydalanmayı sağladığı gibi sektör içerisinde de önemli miktarlarda atık azalmasına imkan tanımaktadır (Sagoe-Crentsil and Brown 1998).

### 3.ESNEK YOL ÜST YAPILARI VE AGREGALAR

#### 3.1 Esnek Yol Üst Yapıları

Yolun trafik yüklerini taşıyan ve gerilmeleri dağıtmak üzere, yolun taban yüzeyi üzerine yerleştirilen tabakalı sisteme üst yapı adı verilir. Yol üst yapıları esnek ve rijit üst yapılar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Ülkemizdeki yolların tamamına yakını esnek üst yapılarından oluşmaktadır. Esnek üst yapılar, aşınma tabakası, binder tabakası, temel (bitümlü temel) tabakası ve alt temel tabakalarından oluşmaktadır. Şekil 3.1 'de esnek üst yapı tabakaları ve bu tabakaların ortalama kalınlıkları görülmektedir (Umar ve Ağar,1991).



Şekil 3.1 Esnek Yol Üst Yapı Tabakaları.

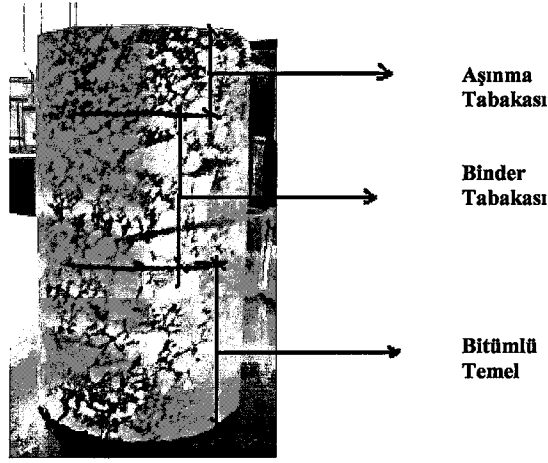
Esnek kaplamalar, taşıtlar için gerekli performansa ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı yeterince stabiliteye sahip olacak şekilde farklı özelliklere sahip farklı tabakalardan yapılan çok tabakalı esnek bir yapıdır. Tabakaların tipleri ve kalınlıkları yolun sahip olduğu trafiğin hacmi, zeminin taşıma gücü, çevresel faktörler, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri, vb. hususlar gözönüne alınarak saptanır (Umar ve Ağar,1991).

Bitümlü karışımlar, bir asfalt plentinde agrega ile asfalt bağlayıcının sıcak olarak karıştırılıp yola nakledildikten sonra sıcak olarak sıkıştırılmalarına veya sıvı asfaltlar ile soğuk olarak plentte karıştırılıp yolda soğuk olarak sıkıştırılmış

olmalarına göre, bitümlü sıcak karışım ve bitümlü soğuk karışım olmak üzere iki farklı şekilde imal edilirler. Bitümlü sıcak karışımlar: bitüm ve agrega olmak üzere iki ana bileşenden oluşan üç fazlı bir sistemdir. Agrega katı fazı, bitüm sıvı fazı ve boşluklar gaz fazını oluştururlar. Sıvı fazı oluşturan bitümlü bağlayıcıların su geçirmezlik ve bağlayıcılık özelliklerinden farklı olarak ana karakteristiği, termoplastik ve viskoelastik bir malzeme olmalarıdır (Kuloğlu, 2001). Yani bu malzemelerin belirli bir erime noktaları yoktur fakat sıcaklık arttıkça vizkoziteleri düşer ve daha yumuşak hale gelirler. Sıcaklığın azalmasıyla birlikte katı ve gevrek hale geçerler. Termoplastik özellikten dolayı, karışıma uygulanan yükler altındaki deformasyon, uygulanan yükün zamanına ve sıcaklık şartlarına bağlıdır. Birim alandaki yük ne kadar fazla, yükleme süresi ne kadar uzun ve sıcaklık ne kadar yüksek ise deformasyon etkisi o kadar fazladır. Ülkemizde bitümlü karışımlar şehir içi ve şehirlerarası yollarda yaygın olarak kullanılmaktadır (ACMA, 1992), (Tunç, 2001).

Bitümlü sıcak karışımlar; aşınma, binder, bitümlü temel tabakalarında kullanılır. Sıcaklık artmasıyla birlikte bitüm agregaya püskürtülerek karıştırılır. Meydana gelen karışım soğuduğunda oldukça katı ve dayanıklıdır. Trafik yüklerinin yarattığı gerilmelere ve çevresel etkilere en fazla maruz olduklarından dolayı temel ve alt temel tabakalarına göre stabil ve durabil olmalıdırlar. Bu tabakalar ayrıca taşıtlar için düzgün pürüzsüz yüzeyleri ile sürüş konforunu ve sürtünme dirençleriyle sürüş emniyetini sağlamalı, trafiğin ve çevrenin aşındırma etkilerine, deformasyonlara karşı dirençli olmalıdır. Bu tip kaplamalar teker yükleri altında elastik olarak esneme kapasitesine sahip olmalıdır. Kalıcı deformasyon yapmadan yükleri, alt tabakalara ve zemine emniyetle intikal ettirebilmelidir. Bu nedenlerden dolayı bu tip kaplamalara “esnek kaplamalar” olarak da adlandırılmaktadır.

Soğuk bitümlü karışımlar ise, genel olarak kışın acil onarım işlerinde veya asfalt plentinin olmadığı veya ekonomik olmadığı durumlarda, çok az miktarda bitümlü karışım gereken yerlerde kullanılmaktadır. Soğuk bitümlü karışımlar hem pahalı hem de düşük stabiliteli karışımlar olduğundan yaygın olarak kullanılmamaktadır.



Şekil 3.2 Tipik Bir Esnek Üst Yapı Karot Numunesi.

Esnek üst yapının performansını etkileyen önemli bir hususta temel ve alt temel tabakaların standartlara uygun inşa edilip edilmediğidir. Temel ve alt temel tabakaları, kaplama tabakaları altına yapılan ve bir çeşit temel görevi gören üstyapı elemanlarıdır. Kaplamaya nazaran daha az fakat sıkıştırılmış zemine göre daha fazla gerilme aldıklarından dolayı kaplamaya göre daha düşük stabiliteye sahiptirler. Temel ve alt temel tabakaları kaplamadan intikal eden yükleri zemine yaymak, drenaj, deformasyon etkilerine dayanım, don etkilerini önlemek gibi işlevleri yerine getirirler. Dolayısıyla bu tabakaların yüksek stabiliteli ve yüksek dren kabiliyetli olmaları istenir. Temel ve alt temel'in bu fonksiyonları yerine getirebilmelerini bu tabakalarda kullanılan malzemelerin kaliteleri önemli ölçüde etkiler. Bu tip tabakalarda kullanılan agregaların yüksek stabiliteli, yoğun gradasyonlu olmalarına, drenaj için yeterince boşluklu gradasyona, yüksek CBR ve içsel sürtünme açlarına sahip olmalarına, yoğun gradasyonlu olmalarına dikkat edilmelidir. Ayrıca bu tabakadaki malzemelerin filler oranı düşük, kübik ve açısız şekilli ve pürüzlü yüzeylere sahip fakat yassı ve ince uzun daneler ihtiva etmeyen, don duyarlılığı düşük agregalardan oluşması sağlanmalıdır (Tunç A., 2001).



### 3.2 Agregalar

Yol, yaya kaldırımı, park alanları ve hemen hemen bütün inşaat mühendisliği uygulamalarındaki hayati bileşen agregalardır. Agregalar olmaksızın buna benzer inşaat çalışmalarının gerçekleştirilmesi mümkün olmaz. Birçok uygulamada bitümlü karışımların ağırlıkça % 90-95'inde ve esnek yol üst yapılarının alt temellerinde farklı agrega türleri kullanılır.

Agrega ; kaya, çakıl veya kum gibi doğal veya cüruf gibi yapay malzemelerden üretilen her iki malzemeye verilen ortak isimdir.

Kullanıldıkları yerdeki malzemenin performansını büyük ölçüde belirleyen agregaların karakteristik ve özellikleridir. Yol inşaatlarında genellikle farklı kalitelere agrega kullanılır, kaplama inşaatında yüzey bölgesine yakın agrega kullanılacaksa agreganın daha yüksek kalitede olması arzu edilir. Genellikle agregalar oldukça önemli miktarlarda üretilirler ve kullanılırlar. Maliyetleri ucuzdur bununla birlikte, kaliteleri arttığında üretim süreçlerindeki işlemleri artar. Yüksek kaliteli agrega için, daha iyi planlanmış santrallere gereksinim vardır.

#### 3.2.1 Köken, Tip ve Kaynaklar

Yapay olanları hariç inşaat amaçlı kullanılan agregaların hepsi, yeryüzünün jeolojik gelişim sürecinde oluşmuştur. Yapay agrega kaynakları da olmakla birlikte, esas agrega kaynakları sert kayalardan oluşan taş ocakları ve kum, çakıl yığınlarıdır.

Sert kayalar jeolojik oluşumlarına göre volkanik, sedimanter veya metamorfik olarak sınıflara ayrılırlar. Volkanik kayalar kaya malzemelerin eriyip, akması, mağmanın konsolide olup soğuması sonucu oluşurlar. Kayalar kristal boyutlarına ve ısı etkisiyle oluşumlarına göre volkanik, püskürük ve başkalaşım olarak göz önünde bulundurulurlar. Kristal boyutları oluşumları sırasındaki magmanın soğuma oranıyla ilgilidir. Yeryüzüne yakın magma kısımları çok hızlı soğuduğundan yalnızca küçük kristallerin oluşmasına müsaade eder, yerkabuğunun derinliklerinde daha yavaş bir soğuma olduğundan bu durum o

kısımlarda daha büyük kristallerin oluşmasına yol açar. Volkanik kayalar yalnızca kristal veya dane boyutlarına göre değil aynı zamanda silika içeriklerine göre de sınıflandırılır. Bu tip kayalara örnek olarak granit ve bazalt verilebilir. Sedimanter kayalar mineral veya organik parçacıkların; suyun, rüzgarın veya buzulların etkisiyle birikmesi veya bu parçacıkların deniz yataklarında, göl diplerinde kimyasal değişime uğraması veya yer yüzeyinin bozulması sonucu oluşurlar. Parçacıkların sıkışması ve segmentasyonu sonucu kaya tabakası formasyonları ortaya çıkmıştır.

Sedimanter kayalar oluşma şekillerine göre üç gruba bölünebilirler:

- Mekanik Şekilde Oluşanlar-İlk Oluşum Kayalarının Erozyonundan Oluşan (kum taşı)
- Organik Kalıntılardan Oluşanlar (tebeşir ve kireç taşı)
- Kimyasal olarak oluşanlar (dolomitik kireç taşı)

Birçok kireç taşı hem organik hem de kimyasal kökenlerin kombinasyonundan meydana gelmişlerdir.

Metamorfik kayalar mevcut kayalar üzerindeki ısı ve basınç etkisiyle oluşurlar, bu durum yeniden kristalleşmeye neden olur. Yeryüzü hareketlerinin sonucu olarak erime, kısmi erime veya basınç etkisiyle karışma sonucu değişik kaya tipleri oluşur. Hornfel, ganys ve kuartz bunlara örnek olarak verilebilir.

Genellikle doğal olarak kum ve çakıl oluşumları nehir vadilerinde, ağızlarında ve deniz yataklarında gözlenir. Su veya buz etkisiyle parçalanıp taşınan kaya parçalarının yavaşlayıp, birikmesi sonucu oluşurlar. Bu tip çakıl birikintileri zemin kayalarının üzerinde mevcut olan basınca maruz kalmazlar. Hareket sırasındaki aşınma sonucu aslı köşeli olan parçacıklar düzgün, yuvarlak veya düzensiz şekillerde olabilirler. Çakıllar ana kaya bileşenlerine göre sınıflandırılabilirler, örneğin çakmaktaşı çakılı, kuartz çakılı gibi. Bazı çakıl tüpleri birden fazla kayaktan da oluşabilirler.

Yapay agregalar doğal oluşumdan ziyade insan yapımıdır. Kaplama malzemesi yapımında yalnızca demir ve çelik üretimi sırasında meydana gelen fırın cürufu ve çelik cürufu kullanılır. Çelik endüstrisinin rasyonelleşmesiyle, kaynakların sayısı etkili bir şekilde azalmıştır. Tuğla üretiminde meydana gelen atık ve yıkım artıkları çok hafif trafiğe sahip yollarda temel malzemesi olarak kullanılabilir (ACMA,1992).

Çizelge 3.1 Agregal Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaç Türleri ve bu Kayaçları Oluşturan Mineraller (Tunç 2001).

MİNERALLER	PÜSKÜRÜK (MAĞMATİK)	TORTUL (SEDİMANTER)	METAMORFİK (BAŞKALAŞIM)
<b>Silika</b> Kuarz Opal Kalsedon Tridimit Kristobalit	Garnit Siyenit Diorit Gabro Peridotit Pegmatit	Konglomera <b>Kumtaşı</b> Kuarzıt Grovak Alt Grovak Arkoz	Mermer Metakuarzit Sleyt Filit Şist Anfibolit
<b>Silikatlar</b> Feldispat  Ferromagnezyum Hornblend Ojit <b>Kil</b> İllit Kaolin Klorit  Montmorilenit Mika Zeolit	<b>Volkanik Cam</b> Obsidiyan  Pomza Tüf Skoria Perlit Pitchstone Feldis (Felsit) Bazalt  Andezit Diyabaz Hornbleyt	Kiltaşı, Silttaşı, Arjilit ve Şeyl <b>Karbonat</b>  Kireçtaşı Dolomit Marn Tebeşir Çört	Hornfell Gnays  Serpantin Gres
<b>Karbonat</b> Kalsit Dolomit			
<b>Sülfat</b> Jibs Anhidrit			
<b>Demir Sülfat</b> Pirit Markasit Pirrolit			
<b>Demir Oksit</b> Magnetit Hematit Götüt İlminit Limonit			

Servis ömrünü doldurmuş yol veya havaalanı betonlarından elde edilen kırılmış beton, alt temel için uygun bir agregaya kaynağı sağlar. Özel olarak veya atıklardan üretilen agregalar çoğunlukla beton üretiminde kullanılır. Ayrıca, alüminyum cevheri çok yüksek sıcaklıklarda kalsine edildiği zaman; çok sert, herhangi bir doğal agregadan çok daha iyi cilalanma ve kayma direncine sahip, sürtünme tabakasında kullanılmaya elverişli bir agregaya üretilmiş olur.

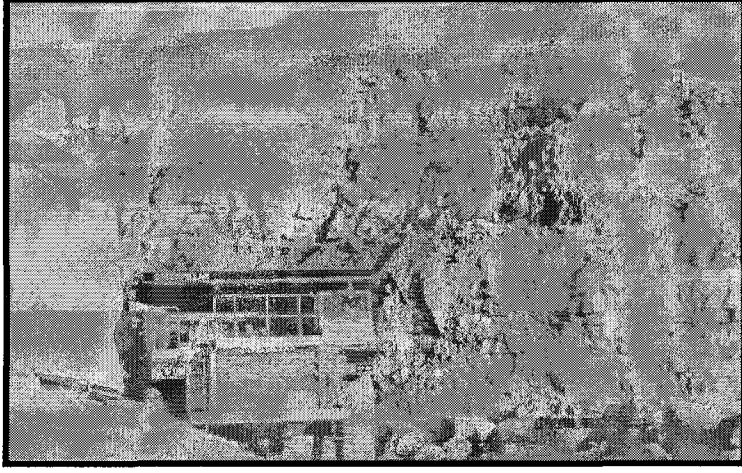
### 3.2.2 Agregaya Üretimi

Agregaya üretimi üç temel aşamayı içerir, bunlar:

- Kaynağından çıkarma
- Kullanım yerine göre uygun boyutlara kırılma
- Farklı Boyutlara Ayırma (Eleme) işlemlerinden oluşur.

Yeni bir taş ocağı işletmesi söz konusu olunca, ilk önce ocağı kaplayan bitkisel toprağın ve altında su nedeniyle ayrılmış çürük taş tabakasının kaldırılması gerekir. Böylece temizlenen ocaktan, tabaka yapısına göre en çok ve kolay taş alacak biçimde “ayna” lar açılır. Taş sökülmesi; ya özel tabancalı deliciler ile aynaya dik lağımlar delinerek, ya da daha çok ve büyük boyutlu taş alımı söz konusu ise, aynaya dik veya bir miktar dik sonra iki yana doğru (T) biçiminde galeriler açılıp, bunları taş cinsine göre dinamit ve barut gibi patlayıcılarla doldurup ateşleyerek yapılır. Delik boyu, sayısı, galeri boyu ve patlayıcı miktarı; taş cinsine, alınacak taşın istenen boyutlarına ve miktarına, taşın damar ve tabaka durumuna göre saptanır (Sonuç, 1976).

Kaynağından agregaya elde edebilme, kaynaktaki taşın cinsine bağlıdır. Sert kayalar taş ocaklarından patlayıcı malzemeler kullanılarak elde edilirler. Aynadaki ilk patlatma işleminden sonra bazı parçacıklar, kırma işlemi için hala çok iri olabilir. Uygun boyuta düşürebilmek için ikinci bir patlatmaya ihtiyaç olabilir veya hidrolik kırıcı kullanılarak da istenilen boyutlara düşürülebilir.



Şekil 3.3 Bir Taş Ocağı .

Çakıl ve kum hem kuru kazma hem de ıslak tarama şeklinde ve her iki durumda da ekskavatör kullanılarak, şayet kaynağın deniz altında olması durumu söz konusu ise tarak kepçesi veya emici tarama makinaları kullanılarak çıkarılır. Çakıllarda genellikle yaygın olarak kullanılan boyutların altında üretim yapılmaz fakat kimi kırma işlemleri piyasa talebi göz önüne alınarak daha köşeli olarak yapılır.

Çıkarılan malzemenin işleme santraline taşınması genellikle damperli kamyonlarla yapılmakla birlikte, bazı kum ve çakıl işlemlerinde konveyör bant sistemleri de kullanılmaktadır. Basit bir deyimle, agrega işlemleri, uygun yerlerden elde edilen kayanın, değişik amaçlı inşaat işlerinde kullanım için değişimidir. Kaya işlemleri ile kum ve çakıl işlemleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu farklılıklara ana başlıklar altında değinilmiştir.

### 3.2.2.1 Kaya ve Cüruf İşlemleri

Taş ocağı aynalarındaki büyük kaya parçalarından ( $1 \text{ m}^3$ 'den daha büyük) veya büyük cüruf parçalarından kullanışlı ve yararlı boyutlarda agrega temin etmede iki temel operasyon gerçekleştirilir. Bunlardan ilki ; taşın kırılması, diğeri ise ; eleme işlemine tabi tutulmasıdır. Üçüncü operasyon olarak taşın cinsine göre tipik kırmataş santral çalışma planlarıdır. Kırma işlemi taşın boyutunu küçültür ve taşın

alacağı şekli belirler, eleme işlemi ise; malzemenin istenen fraksiyon aralığında boyutunu ve gradasyonunu kontrol eder.

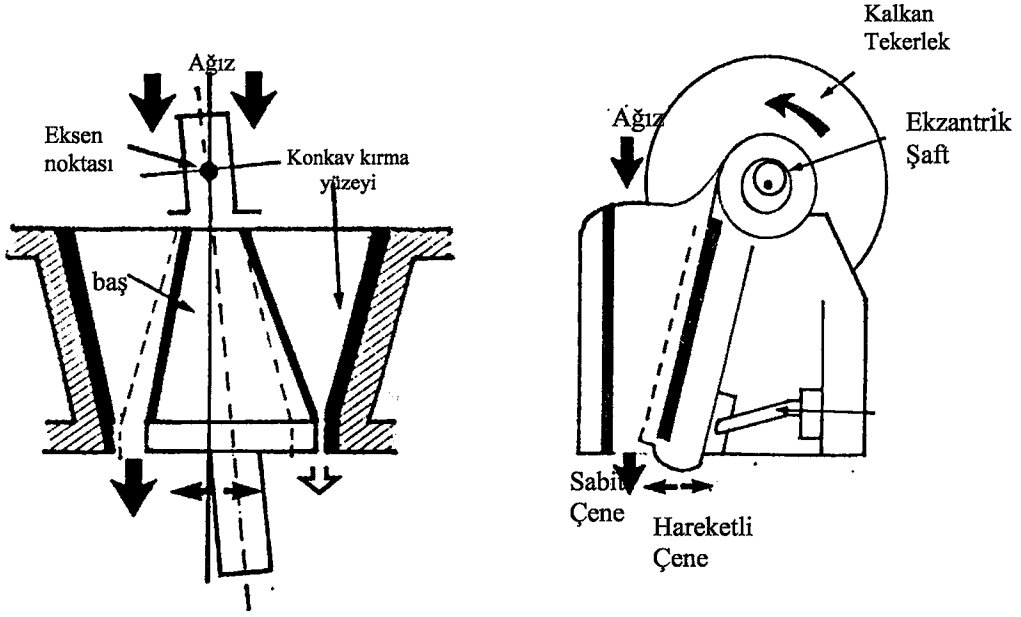
#### **a) Kırma**

Genellikle yol yapımında ufak boyutlu taşlar kullanılır. Halbuki ocaktan çıkarılan taşlar büyük boyutludurlar. Bunları istenen boyutlara getirmek için kırmak gereklidir. Taş ocaklarından çıkarılan malzeme genellikle üç farklı kırma işlemine tabi tutulur. Primer, sekonder ve tersiyer olarak adlandırılan bu kırma sistemleri sonucunda malzeme nihai eleklerden geçirilerek istenilen boyutlara ayrılır ve kırmataş üretiminin son aşaması tamamlanmış olur (Halili 2003). Malzemenin kırılması işleminde iki tür kırıcı kullanılır. Bunlar ;

- Çeneli Kırıcılar.
- Darbeli Kırıcılar.

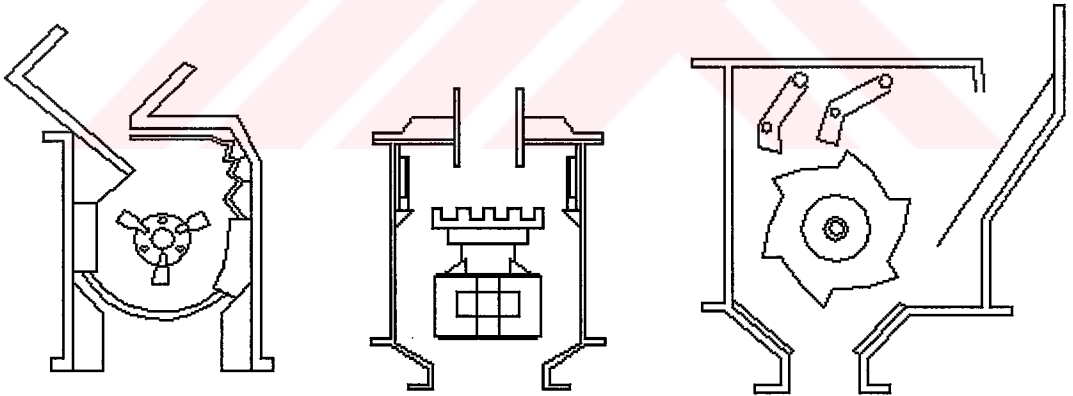
Çeneli kırıcılar, taşa hareketli ve sabit parçaları arasında basınç uygularlar. Genellikle sabit bir çene ile aşındığında değiştirilebilir, manganezli çelikten, yivli plakalarla kaplı, hareketli bir çeneden oluşurlar (Sonuç 1976). Bu basınç, makinenin hareketli elemanının sabit elemana doğru ilerleyip geri çekilmesiyle oluşur. Taş kırıcıyı geçene kadar tekrarlı basınç yüküne maruz kalır ve boyutu kırıcı haznesinden dışarıya çıkabilecek boyuta gelinceye kadar küçültülür (ACMA, 1992). Tipik çeneli kırıcı türleri şekil 3.5'de görülmektedir. Çeneli kırıcılar malzemeyi sıkıştırarak kırdığı için üretim genellikle yapraksıdır. Her türlü dağ ve dere malzemesinin kırılmasında kullanılan bu kırıcılar, taşın ilk kırma işlemini yaparlar ve tesisin büyüklüğüne göre kırılma boyutları ayarlanabilir (Halili, 2003).

Darbeli kırıcılar taş üzerine hızlı bir çarpma etkisi ile kırma yaparlar. Merkez rotorun çevresine sabit çubuklar veya dönen çekiçler olacak şekilde düzenlenmişlerdir. Rotor bıçakları, malzemeyi kaburgalara çarptırarak kırarlar, taş kırıcı hazne boyunca düşer. Daha ileri kısımda taşlar, plaka, ızgara veya çubuk



Şekil 3.5 Döner Çeneli ve Çeneli Kırıcılar.

şeklindeki elemanlardan oluşan kırıcı kısma iletilir. Parçacıklar hazneden atılmadan önce tekrarlı darbelere maruz kalırlar. Bazı makine türlerinde çıkış ızgara çubuklarla kontrol edilir.



Şekil 3.6 Döner Çekiçli, Sabit Çarklı ve Dikey Şaftlı Darbeli (Sekonder) Kırıcılar.

Şekil 3.6'da tipik darbeli kırıcı çeşitleri görülmektedir (ACMA, 1992). Darbeli kırıcılar çarpıtma özelliklerinden dolayı kübik malzeme üretirler.

### 3.3 Esnek Yol Üst Yapılarında Kullanılan Agregaların Özellikleri

Hem kaplamanın stabilitesine olan büyük katkısı hem de çok büyük miktarda gereksinim duyulmasından dolayı agrega önemli bir yol malzemesidir.

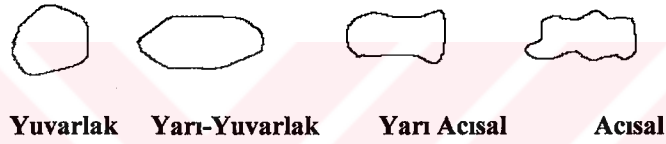
Esnek ve rijit kaplamalarda agregalarda aranılan özellikler birbirine benzer ancak kaplamanın tipine, kullanım amacına ve trafik hacmine göre agregalardan beklenen özelliklerde değişiklik gösterebilir. Örneğin, rijit kaplamalarda kullanılan alt temel in amacı pompaj etkisini ve don kabarmalarını önlemek, drenaj vb. gibi amaçları sağlaması iken esnek kaplamaların alt temel ve temel tabakalarının amacı bunlara ilaveten trafik yükünü zemine emniyetle yayabilmesi için yük taşımadan da sorumlu olmasıdır. Dolayısıyla bu tabakalarda kullanılacak agregaların gradasyon-yoğunluk, dayanıklılık, dane şekli, yüzey yapısı, kırılmışlık oranı, plastisite, permabilite gibi özellikleri aranılan şartları sağlamalıdır.

Bitümlü karışımlarda kullanılan agregaların gradasyon, maksimum dane boyutu ve dane şekli gibi özellikleri ile stabilize kazanırken porosite ve dane yüzey dokusu ile kazanacağı adezyon ile karışımın stabilitesi arttırılmaktadır. Ayrıca bitümlü tabakaların daha çok gerilme alması ve trafiğin aşındırıcı etkisine daha çok maruz kalması gibi nedenlerden ötürü temel tabakasında kullanılan agregalara göre daha üstün niteliklere sahip olmalıdır. Farklı kalınlık da bitümlü tabakalar yapıldığından dolayı farklı maksimum dane boyutu ve dolayısıyla da farklı gradasyonlara ihtiyaç vardır. Trafik yüklerine direkt maruz kalan aşınma tabakalarında daha yoğun bir bitümlü tabaka imal etmek gerekir. Fakat böylesine yoğun gradasyon asfalt bağlayıcı için yeterli boşluk bırakmamaktadır. Dolayısıyla ilave filler katarak gradasyon açılabilir. Binder ve bitümlü temel tabakasındaki gerilmeler aşınma tabakasına nazaran daha az ve kalınlıkları daha fazla olduğundan dolayı nispeten açık gradasyon ve daha az filler kullanılmaktadır. Bitümlü karışımlarda kullanılan agregalardaki bir diğer önemli özellik de sağlamlık veya dane mukavemetidir. Agregalar sıkıştırma esnasında ve trafik yükleri altında kırılmaya, parçalanmaya ve digradasyona karşı dirençli olmalıdır. Açık gradasyonlu agregalar aynı yük altındaki yoğun gradasyonlu agregalara nazaran daha çok digradasyona yatkındır. Bu nedenle, esnek



kaplamalarda daha çok gerilme alan üst tabakaların daha yoğun gradasyonlu olması gerekir.

Agrega danelerinin biçimleri yol kaplamalarında kullanılan karışımların; sıkışma direnci, işlenebilirlik, yoğunluk, stabilite, kenetlenme ve içsel sürtünme açısı, kayma mukavemeti ve CBR özelliklerine etki eder. Açısal biçimli ve kübik şekilli agregaların içsel kilitlenme özelliği, nispeten açık ve yoğun gradasyonlu agregaların stabilitelerinin artmasında en önemli faktördür. Bu nedenle, bitümlü karışımlar için mutlaka kırmataş agregaya kullanılmalıdır. Yassı ve ince-uzun daneler hem stabilite hem de segragasyon açısından problem yaratmaktadır. Bu tip agregaların yük altındaki kırılma dirençleri de düşüktür. Şekil 3.7’de değişik agregaya geometrileri görülmektedir.



Şekil 3.7 Agregaya Geometrileri.

Porosite özelliği agregaya-asfalt adezyonu için en önemli özelliktir. Çünkü porositenin artmasıyla agregaya-bitüm adezyonu da artmaktadır. Ancak porositenin % 2-2,5’den fazla olması halinde adezyonu arttırmadığı gibi karışım için asfalt bağlayıcı ihtiyacı artacaktır. Asfalt bağlayıcının artması ekonomik olmadığı gibi terleme-kusma riskinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle poroz olmayan veya çok poroz olan agregalar bitümlü tabakalarda kullanılmamalıdır. Bitüm ile agregaya arasındaki adezyona etki eden önemli bir faktör de yüzey dokusudur. Cilalı yüzeyli agregaların asfaltla kaplanması kolay olmakla beraber adezyonu zayıf olduğundan dolayı kolaylıkla soyulmaktadır. Bu nedenle, bitümlü karışımlarda pürüzlü yüzeyli agregalar ile hem yüksek stabilite hem de yüksek soyulma direnci elde edilir. Pürüzlü yüzeyler kırmataş agregalarda daha fazla olması nedeniyle bitümlü kaplamalarda kırmataş agreganın kullanımı kaçınılmaz bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

#### 4. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Atık ve artık disiplinleri ile ilgili pek çok çalışma yapılmasına rağmen, direkt olarak mermer ocaklarında meydana gelen pasa atıklarının yol üst tabakasında değerlendirmesiyle ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Bu bölümde atık ve artık malzemelerin yol inşaatında değerlendirilmesi ve geri dönüştürülmüş agregalar üzerine yapılan çalışmalara değinilmiştir.

De Rezende, R., L., ve De Carvalho, J., C., yapmış oldukları çalışmada Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek yol üst yapılarının temel tabakalarında değerlendirilmesini araştırmışlardır. Atık malzemenin laboratuvar deneyleri ile özellikleri belirlenerek, kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Araştırılan malzemenin alan davranışının tespit etmek için, 20 cm'lik temel tabakasıyla, 80 m'lik bir deneme yolu inşa edilmiştir. Çalışma kapsamında Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), Dinamik Koni Penetrasyon, Tabaka Yükleme, Kalem Basınç Ölçme, Benkelman Kirişi ve Düşen Ağırlık Ölçer deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler, performans indislerinin azaldığını göstermesine rağmen, 1998 yılında inşa edildiğinden bu yana yolda, etkili yapısal bir hasar gözlenmemiştir. Özellikle yağmurlu mevsimlerde malzeme içerisindeki arttığından yapısal bozulmalar meydana gelir. Yapılan çalışmanın sonunda Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek kaplamaların temel tabakaları için potansiyel bir kullanım özelliklerine sahip olduğu, bu malzemenin düşük trafik hacimli yollarda temel malzemesi olarak kullanılabileceği görülmüştür (de Rezende and de Carvalho, 2003).

Çetin, A., otomobil lastiği, plastik (polietilen), kül, petrollü sondaj atığı ve mermer tozu gibi endüstriyel atıkların asfalt beton karışımları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan asfalt çimentosu ve agrega Türk Standartlarına göre seçilmiştir. Lastik parçaları, taşıt lastiklerinin dilimlenmesinden elde edilmiştir. Lastik ve plastik parçalarının miktarı %5, %10 ve %20 olarak seçilmiştir. Karışımlarda kullanılan lastik tozları, kül, petrollü sondaj atığı, mermer tozu, kireç ve çimento agreganın filler malzemesi ile yer değiştirilmiştir. Filler malzemenin miktarı agreganın % 5'i olarak seçilmiştir. Çalışmada

kullanılan kül kömürle çalışan enerji santralinden elde edilmiştir. Petrollü sondaj atığı ise petrol kuyularından elde edilmiştir. Lastik ve plastik ilave edilen asfalt beton kaplama karışımları ve lastik tozu, kül, petrollü sondaj atığı, mermer tozu, kireç ve çimento gibi malzemelerin filler olarak ilave edildiği asfalt beton karışımları üzerinde marshall stabilite, akma deneyi, serbest basınç deneyi ve su hasarı deneyleri yapılmıştır. Lastik parçalarının dane çapı ve miktarı artarken, marshall stabilite ve hacim özgül ağırlık değerleri azalmıştır. Lastik parçaları ilave edilen asfalt beton karışımlarının boşluk oranı ve akma değerleri ise artmıştır. 4-200 nolu elekler arasında kalan lastik parçaların % 10 oranında ilave edildiği asfalt beton karışımlarından en iyi indirekt çekme değerleri elde edilmiştir. Plastik ilavesi, asfalt beton kaplama karışımlarının marshall stabilite ve indirekt çekme mukavemeti değerlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Filler malzemesi olarak kullanılan kül asfalt beton karışımlarının Marshall stabilite, indirekt çekme mukavemeti ve serbest basınç değerlerini önemli ölçüde etkilemezken, petrollü sondaj çamuru asfalt beton karışımlarının indirekt çekme mukavemetini (konvansiyonel asfalt karışımların % 25'i oranında) azaltmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Marshall stabilitesi, indirekt çekme gerilmesi ve serbest basınç gerilmesi deneylerine göre, filler olarak kullanılan malzemeler arasında en iyi sonucu kireç ilavesinin verdiği görülmüştür. Lastik ve plastik ilave edilen asfalt betonu kaplama karışımlarının tokluk ve elastik özelliklerinin iyileştiği ve çatlama azaldığı anlaşılmıştır (Çetin,1997).

Zoorob, S. E. ve Suparma, L. B. Yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş plastik agrega ile yer değiştirilerek sürekli derecelenmiş asfalt betonunun (AC) laboratuvar dizaynını yapmışlardır. Zoorob ve Suparma'ya göre atıkların yeniden kullanılmasının göz önünde bulundurulması, atıkların yok edilmesi sorunu için en iyi çevresel çözüm alternatifi olacaktır. 1995 yılında UK'daki plastik tüketimi yaklaşık olarak 3 302 000 ton'dur (Batı Avrupa civarında 24 350 000 ton'dur). Plastik birincil olarak kullanıldığı sektör paket endüstrisidir, tüketim oranı yaklaşık % 41'dir, % 20'si inşaat ve yapı da, % 15'i geniş çaplı endüstride, %9'u elektrik ve elektronik endüstrisinde, % 7'si otomotiv sektöründe, % 2'si ziraat ve % 6'sı diğer sektörlerde kullanılmaktadır. Geri dönüştürülmüş atık plastik, ağırlıklı olarak düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) topaklarından meydana gelir

ve yoğun olarak derecelenmiş bitümlü karışımlarda (hacimce) aynı oranda 5-2,36 mm'lik mineral agrega ile yer değiştirilmiştir. Araştırmaların sonucunda görülmüştür ki aynı hava içeriğine sahip sıkıştırılmış plastifalt karışımları geleneksel kontrol karışımlarından daha düşük hacim yoğunluğuna sahiptirler. Hacimce % 30 agrega LDPE ile yer değiştirilmiş ve sıkıştırılmış karışımın hacim yoğunluğunda % 16 azalma görülmüştür. Yoğunluktaki bu azalma, taşıma maliyetlerinde bir avantaj olarak değerlendirilmiştir. LDPE parçacıklarının agrega ile yer değiştirilmesi sonucu Marshall Stabilite değeri % 250 artmış ve Marshall katsayısı (deformasyon direnci) gelişmiştir. Bu mukavemete ulaşılmada, sıkıştırma öncesi doğru sıcaklığın seçilmiş olması etkili olmuştur. Karışımın sahip olduğu esnek plastik içeriğinden dolayı plastifalt karışımın akma değeri kontrol karışımından daha yüksektir. 60 °C'de 1 saat yüklemenden sonra plastifalt karışımın geri dönüşümsüz deformasyonu, kontrol karışımına göre biraz düşük bulunmuştur. Plastifalt'da 1 saatlik yüklemenden sonra deformasyonun % 14'ü geri dönmüştür, bu değer kontrol karışımında % 0,6 olmuştur. Numunelerin 20 °C, 40 °C ve 60 °C'de indirekt çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar özellikle 20 °C'deki indirekt çekme elastisite modülü değerinin kontrol karışımında plastifalt karışıma göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Fakat bu değer sıcaklık arttıkça birbirine yaklaşmıştır. Bununla birlikte, plastifalt numunelerinin indirekt çekme değerleri kontrol karışımından daha yüksektir. Bu deney plastifalt karışımların kırılmadan evvel daha yüksek çekme-şekil değiştirme dayanımı segilediğini göstermiştir. Su etkisiyle soyulma performansının ölçülmesi amacıyla 60 °C'de 24 saat suya bırakılan plastifalt numuneler, kontrol karışımlarına göre çok daha iyi performans sergilemişlerdir. Sonuçlar suda bırakılan plastifalt karışımların, suya bırakılmadan önceki stabilite değerini %100 koruduğunu göstermiştir. Yapılan indirekt çekme deneyi ile ilgili yorulma verileri, yorulma kırılmasına yol açan yükleme sayısını ve başlangıç çekme-şekil değiştirmesini göstermiştir. Plastifalt numuneler yorulma ömründe % 50 gelişme sergilemişlerdir. Ayrıca LDPE geri dönüştürülmüş plastik kullanılarak plastifalt karışımların üretimi, mevcut asfalt şantiyelerinin olanak ve tekniklerinde hiçbir modifiye gerektirmemektedir. Bu çalışmada, plastifalt karışımların geri dönüştürülebilme olanaklarında araştırılmıştır. Sonuç olarak geri dönüştürülmüş

karışımın mekanik özellikleri orijinal plastifalta eşit bulunmuş ve kontrol karışımlarından daha iyi olduğu görülmüştür (Zoorob and Suparma, 2000).

Terzi, S., ve Karaşahin, M., ; Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi esnasında ortaya çıkan mermer tozu atıklarının asfalt betonunda filler tozu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında aynı granülometri eğrisine sahip taş tozu ve mermer tozu filler içeren numunenin marshall stabilite deney sonuçlarından yararlanarak optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen bitüm yüzdesi kullanılarak filler/bitüm oranına göre ve filler oranlarına bağlı olarak marshall numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan numuneler asfalt tester deney aleti kullanılarak dinamik plastik deformasyon deneyine maruz bırakılmış ve birim deformasyonlar ölçülmüştür. Deformasyonlar ile filler/bitüm oranına ve filler oranına göre optimum filler yüzdesi tayin edilmiştir. Elde edilen deformasyonlar karşılaştırılmış ve mermer atıkları kullanılarak hazırlanan karışımlarda öğütülen mermer parçaları ile hazırlanan karışımlara göre birim deformasyonların alt ve üst sınırlar arasında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, özellikle mermer tozunun yaygın olarak bulunduğu bölgelerde, taşıma kurutma maliyetlerinin taş tozu filler maliyetini geçmediği kesimlerde, asfalt betonu karışımlarda taş tozu yerine mermer tozunun filler malzemesi olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır (Terzi ve Karaşahin, 2003).

J.,D.,Lawrence, H., L., William ve S., S., Janet yapmış oldukları çalışmada, ekonominin gelişmesini sürdürmesi ve ülkelerdeki ekonomik büyümenin önemli miktarlarda doğal agrega kullanımı gerektireceğine değinmişlerdir. Hemen hemen bütün insan aktivitesi doğal agregalar kullanılarak inşa edilmiş disiplinlere dayanmaktadır. Günlük hayatımızı kolaylaştıran bir çok yapı doğal agregalar kullanılarak inşa edilmektedir. Fakat doğal agrega kaynaklarının kullanılması sonucu insanlık için oluşturulan faydalar ile agreganın çıkarılmasının çevresel etkisi nadir olarak karşılaştırılır. Boş taş ocakları ve maden ocakları önemli negatif çevresel etkilere yol açmaktadır. Yazarlar bu çalışmada çevre merkezilik ve insan merkezilik fikirlerini işlemiştir. Çevre merkeziliğe göre düşünülürse, doğal dünya bir organizma olarak kabul edildiğinde nehirler bu organizmanın

damarları olur. Zemin ise diğer bir hayati organdır dolayısı ile asfalt veya betonla örtülmemelidir. Madencilikle ilgili gürültü, maden ocakları operasyonları sınırlandırılmalıdır. Günümüzde doğal agreganın üretilmesi sırasındaki, yer yüzeyinde oluşan kazı çukurları gibi çevresel problemler, maden ve taş ocağı uygulamaları ile oluşan ağır taşıt trafiği olukça zor sosyal ve politik toplum ilgileriyle yüz yüzedir. Bu tip ilgiler, son yıllarda yaşama alanlarının üretim alanları tarafından işgal edilmesiyle giderek artmıştır, diğer bir deyişle, üretimin etkisi tepki doğurmuştur. Pek çok diğer çevresel problem taş ocağı ve maden ocaklarındaki patlama, gürültü ve toz teknolojinin etkili bir şekilde kullanılmasıyla azaltılmıştır. Bu çalışmada ayrıca binalarda, yollarda ve asfalt kaplamalarda geri dönüştürülmüş agreganın kullanılmasının gelecekte yeni doğal agrega için olan talebi azaltacağı belirtilmiştir (Drew et al., 2002).

Hınışlıoğlu, S., ve Ağar, E., yüksek yoğunluklu polietilen içeren (HDPE) değişik plastik atıkların asfalt betonunda polimer katkısı olarak kullanılabilme ihtimalini incelemiştir. HDPE'nin bağlayıcı modifiye edici olarak etkisi; farklı karıştırma zamanları, karışım ısıları ve HDPE içeriklerinde marshall stabilite, akma ve stabilite akma oranı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sıcak karışım asfaltta kullanılan bağlayıcı, HDPE ile % 4, 6 ve 8 oranlarında karıştırılarak (optimum bitüm içeriğinde) ve AC 20 çimentosu kullanılarak, 145, 155 ve 165 °C sıcaklıklarda, 5, 15, 30 dk'lık karıştırma sürelerinde hazırlanmıştır. HDPE ile modifiye edilmiş asfalt betonunda marshall stabilite değeri ve deformasyon direncinde önemli derecede artış görülmüştür. % 4 HDPE, 165 °C karıştırma sıcaklığı ve 30 dk karıştırma zamanı marshall stabilite, akma ve marshall oranları için optimum şartlar olarak tespit edilmiştir. Marshall oranlarındaki % 50 artış kontrol karışımlarıyla kıyaslanmıştır. Sonuç olarak atık HDPE ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların, yüksek stabilitelerinden ve Marshall oranlarından dolayı kalıcı deformasyona karşı daha iyi direnç gösterdiği ve bu şekilde plastik malzemelerin geri dönüşümü sağlandığı gibi çevrenin korunmasına da katkıda bulunduğu sonuçlarına varılmıştır (Hınışlıoğlu ve Ağar, 2003).

Okagbue, C., O., ve Onyeobi, T.,U.,S., 'nin Nijerya Üniv'de yapmış oldukları çalışmada, yol yapımı için kırmızı tropik zeminin mermer tozu ile stabilize

edilebilme potansiyelini araştırmışlardır. Değerlendirme üç farklı kırmızı tropik toprağın doğal haldeki geoteknik özelliklerinin değişik oranlarda mermer tozu ile karıştırılmış haldeki durumlarını içermektedir. Çalışmada elek analizi, spesifik gravite, Atterberg limitleri, standart sıkışma karakteristikleri, basınç dayanımları ve CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) gibi parametreler test edilmiştir. Mukavemet testleri 28 gün küre bırakılan numunelere uygulandıktan sonra 24 saat 40, 60 ve 80 °C’de küre bırakılan numunelere de uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar mermer tozu ilavesiyle kırmızı tropik toprağın geoteknik parametrelerinin geliştiğini göstermiştir; plastisite % 20-33 arasında değişen oranlarda azalmıştır, CBR % 30’dan % 46’ya artmıştır. En yüksek mukavemet ve CBR değerine % 8 mermer tozu ilavesiyle ulaşılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki mermer tozu ilave edilmiş zeminlerde dayanım normal kürün 7. ve 10. günlerine ulaşıldığında % 80’nin üzerine ulaşmıştır. Yüksek dayanım 60 °C’de 24 saat, hızlandırılmış kürün akabinde olmuştur. Kırmızı tropik toprağın geoteknik parametrelerindeki bu göze çarpan gelişmelere karşın ulaşılan bu yüksek dayanım, ağır trafiğe maruz esnek kaplamaların temel tabakalarında kullanım için uygun olmadığı ama bununla birlikte geliştirilen malzemenin, hafif trafiğe maruz yollarda temel malzemesi olarak ve ağır trafiğe maruz yollarda alt temel malzemesi olarak kullanılabileceği sonuçlarına varılmıştır (Okagbue and Onyeobi, 1999).

Banta, L., ve diğerleri “agrega parçacık boyutlarının dağılımlarının ve şekillerinin asfalt kaplamaların dayanımları önemli ölçüde etkilediği” gerçeğinden yola çıkarak, iki boyutlu imaj görüntülerini temel almak suretiyle parçacık yığınlarının tahminine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Alınan iki boyutlu görüntüler parçacıkların yayılması, üst üste binmesi, kenarların tarif edilmesi, parçacık silüetlerinin alan gibi özelliklerinin hesaplanması ve kütle merkezi-şekil ilişki özelliklerini içermektedir (Banta et al., 2003).

Yılmaz, E., ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada Karadeniz Bölgesi İyidere-Çayeli yolu güzergahı boyunca üst yapı malzemesi olarak kullanılmak üzere, Seslidere taş ocağında üretilen ocak malzemesinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda taşocağı malzemesinin standartlara uygun bir malzeme olduğu saptanmış ve halihazırda kullanılmaya

başlanmıştır. Yapılan deneylerle ilgili bazı sonuçlar şu şekilde olmuştur: Los Angeles aşınma kaybı % 11,5, hava tesirine karşı dayanıklılık ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  donma kaybı) % 1,95, soyulma mukavemeti % 55, cilalanma değeri % 0,1, kırılgenlik % 85, yassılık indeksi % 16,5, özgül ağırlık  $2,8 \text{ gr/cm}^3$  ve absorpsiyon yüzdesi %1,05 olarak bulunmuştur. Çalışma sonuçlarından, taşocağından üretilen malzemelerin standartlara uygun ideal bir üst yapı malzemesi olduğu anlaşılmıştır (Yılmaz vd., 2003).

Galaktakis, M., ve Raka, S., agrega endüstrisinde atık malzeme olarak nitelenen mermer tozu ve az miktarda portland çimentosu kullanarak bir yapı malzemesi üretmeye çalışmışlardır. Çalışmada mermer tozu ve çimento karıştırılmış, su ilavesi yapıldıktan sonra yüksek basınç altında silindirik kalıplara sıkıştırılarak numuneler oluşturulmuştur. Deneme karışımı tasarımında faktoriyel dizayn metodu esas alınmıştır. Galaktakis, M., ve Raka, S., tarafından yapılan deneylerden sonra bütün numunelerin basınç dayanımı 7 Mpa'dan büyük çıkmıştır. Çalışmada çimento/mermer tozu oranı basınç dayanımına etkileyen en önemli faktör olarak göz önüne alınmıştır. Bu çalışma sonucunda mermer tozu/çimento karışımının kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip olduğu ve yığma duvar elemanı üretiminde kullanılabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır (Galetakis and Raka, 2004).

How-Ji Chen ve diğerleri yıkılmış veya zarar görmüş yapılardan elde edilen moloz atıkların geri dönüştürülmüş agrega olarak değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. How-Ji Chen'e göre kırma ve eleme işlemlerinden sonra bu tip malzemeler betonda geri dönüştürülmüş agrega olarak kullanılabilir. Çalışma değişik bina molozu bileşimlerinden elde edilen geri dönüştürülmüş agregalar kullanılarak sürdürülmüştür. Yapılan deneylerden bina molozlarının uygun bir işlem sürecinden sonra agrega olarak geri dönüştürülebileceği fakat bu tip agregalardan üretilen betonun mekanik özelliklerinin genel olarak normal betondan daha kötü olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmada yıkanmış agrega kullanımı, mukavemeti etkilemiştir. Bu etki düşük W/C (su / çimento) oranından daha belirgin olmuştur. W/C oranı 0,38 olduğunda, geri dönüştürülmüş agregadan oluşan betonun dayanımı normal betonun ancak % 60'ına ulaşabilmiştir.



Bununla birlikte, W/C oranı 0,6'dan daha büyük olduğu için dayanım oranı % 75'den fazla artmıştır. Geri dönüştürülmüş agregadan üretilen betonun elastisite modülü normal betonun yalnızca % 70'i civarındadır. W/C oranının değişmesi elastisite modülü değerinde etkili olmamıştır. Geri dönüştürülmüş kaba agregada düşük W/C oranında en zayıf fazdır. Bu etki geri dönüştürülmüş betonun dayanımında oldukça baskındır. Yüksek W/C oranında (düşük harç dayanımı), geri dönüştürülmüş betonun basınç dayanımı normal betona benzerdir. Düşük W/C oranında (yüksek harç dayanımı), geri dönüştürülmüş betonun basınç dayanımı normal betonunkinden daha küçüktür. Yüksek dayanımlı, geri dönüştürülmüş betona, çimento oranı arttırılmış yüksek dayanımlı beton kullanılarak ulaşılabilir. Fakat, bu durum ekonomik karışım oranlarını sağlamaz (How-Ji et al.,2003).

Bairagi, N., K. ve diğerleri yaptıkları çalışmada ilerleme ve gelişmenin esaslarının başında doğal kaynakların ve çevrenin korunmasının geldiğine değinmişlerdir. Geri dönüştürülmüş betonda bu tip bir teşebbüstür ve inşaat mühendisliğindeki bazı problemlere cevap verebilecek niteliktedir. Bairagi'ye göre şu an için geri dönüştürülmüş beton kullanılması kavramının popüleritesi artmış ve araştırmalar bu doğrultuda ivme kazanmıştır. Yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş agregadan üretilen beton için en uygun dizayn metodu tanımlanmaya çalışılmış ve geleneksel dizayn yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca karışım dizaynını etkileyen parametreler tanımlanmış ve bu parametreleri düzeltmek için deneysel ilişkilerden fikirler ileri sürülmüştür. Herhangi bir deneme karışımı yapmaksızın, geri dönüştürülmüş agregadan üretilen (RAC) betonlarda arzu edilen ve hesaplanan hedef dayanıma ulaşmak için karışım dizayn parametreleri elde edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, tavsiye edilen modifiye edilmiş prosedür % 10 daha fazla çimento gerektirmektedir ki bu da düşük kaliteli geri dönüştürülmüş agregalar için oldukça makul ve kabul edilebilirdir (Bairagi et al., 1990).

Gilpin R. Robinson Jr. ve diğerleri geri dönüştürülmüş asfalt kaplamaların(RAP) ve portland çimentosu betonlarının (RPCC) makul fiyatlı ve bol miktarda bulunan bir agregada kaynağı oldukları üzerinde durmuşlardır. Yapmış oldukları çalışmada geri dönüştürülmüş agregada maliyetlerini, bu tür malzemelerin kullanılabilirliğini

etkileyen faktörleri, mühendislik parametrelerini ve Birleşik Devletler-Orta Atlantik Bölgesinde konu ile ilgili çalışma faaliyetlerini incelemiştir. Etkili bir asfalt kazıma teknolojisinin ve yerinde geri dönüşümün kullanılması, kazınmış asfalt parçalarının nakledilme kolaylığı bölgede esnek kaplama yapılacak alanların çokluğu asfalt kaplamaların geri kazanılması çalışmalarının artmasına neden olmuştur. RPCC ve RAP kullanımının belirtilen bölgede yoğun olmasının diğer nedenleri bölgedeki 400 insan/km<sup>2</sup>'lik nüfus yoğunluğu, doğal agrega kullanımının sınırlandırılmış olması ve yüksek birim fiyatlarıdır. Sonuç olarak RAP için gerekli olan işlem maliyetinin doğal agrega için gerekli olandan çok daha az olduğu belirtilmiştir (Robinson Jr. et al., 2004).

Şengöz ve Topal bitümlü çatı yalıtım malzemesi atıklarının sıcak karışım asfalt içerisinde kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Servis ömürlerinin sonunda bu malzemeler diğer birçok malzemede olduğu gibi atıl hale gelmekte ve zamanla çevre kirliliği yaratmaktadır. Çalışmada, atık malzeme asfalt betonu karışımına % 1, % 2, % 3, % 4 ve % 5 oranlarında katılarak optimum binder içeriğinde en iyi stabilite değerine % 5 oranında ulaşılmıştır. Eklenen atık malzemenin optimum yüzdesi belirlendikten sonra, numuneler "lastik izi deformasyon" testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan hesaplamalar neticesinde, atık malzeme içeren asfalt betonunun bağlayıcı içeriği, bu malzeme katıldığı zaman % 0,5-1 arasında azaltılabilmektedir. Deney sonuçları, bitümlü atık çatı yalıtım malzemesinin HMA 'da kullanıldığı zaman, karışımın Marshall stabilitesini ve lastik izi deformasyon direncini geliştirdiğini göstermiştir (Şengöz ve Topal, 2004).

## 5.AMAÇ VE KAPSAM

Endüstriyel ve katı atıkların kontrol altında kullanılması ve işlenmesi, günümüzün en önemli konularından biri haline gelmiştir. Ortaya çıkan atık hacimleri gün geçtikçe daha da artmakta, çevre, hammadde kaybı, enerji kaybı vb. açılardan zararlı olmaktadır.

Devletin işleme koyacağı uygun yaptırımlarla atıkları güvenli yok etme metodlarına veya bunları azaltma yollarına gidilebilir. Atıkların yeniden kullanımının göz önünde bulundurulması, atıkların yok edilmesi sorunu için en iyi çevresel çözüm alternatifi olacaktır.

Ocaklarda çıkarılması ve fabrikalarda işlenmesi sırasında en fazla atık ve atıl malzemenin meydana geldiği sanayi alanlarının başında mermer endüstrisi gelmektedir. Asfalt kaplamalarda kullanılan malzemenin % 90 dan fazlasını agregalar teşkil eder. Bu nedenle yol dizayn hayatı boyunca agregalar büyük rol oynarlar. Araştırmamızın amacı, ocaklarda önemli sayılabilecek miktarlarda açığa çıkan parça mermer atıklarının, asfalt kaplamaların binder tabakalarında kullanılma ihtimalinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, iki farklı ocak atığından oluşmuş mermer ve andezit kökenli numune alınmıştır. Andezit kökenli numuneler pasa halinde alınarak çeneli kırıcıda kırılmak suretiyle kırmataş haline dönüştürülmüş, daha sonra kum ve iri malzeme olarak elenmiş ve yıkanmıştır. Atık malzemelerden oluşan mermer ve andezit kökenli kırmataşları, halihazırda T.C. Karayolları ve Afyon Belediyesi tarafından asfalt kaplamalarda kullanılan kırmataşlarla karşılaştırmak bakımından, iki adet kalker kökenli kırmataş numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde öncelikle, kırmataşların fiziksel özelliklerini belirlemek maksadıyla standartlara uygun kırmataş deneyleri daha sonra da asfalt karışım deneyleri yapılmıştır. Elde edilen değerler birbirleri ve standart değerleri ile karşılaştırmalı olarak tablo ve grafik halinde belirtilerek mermer agregasının üst yapılarda kaplama agregası olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır.

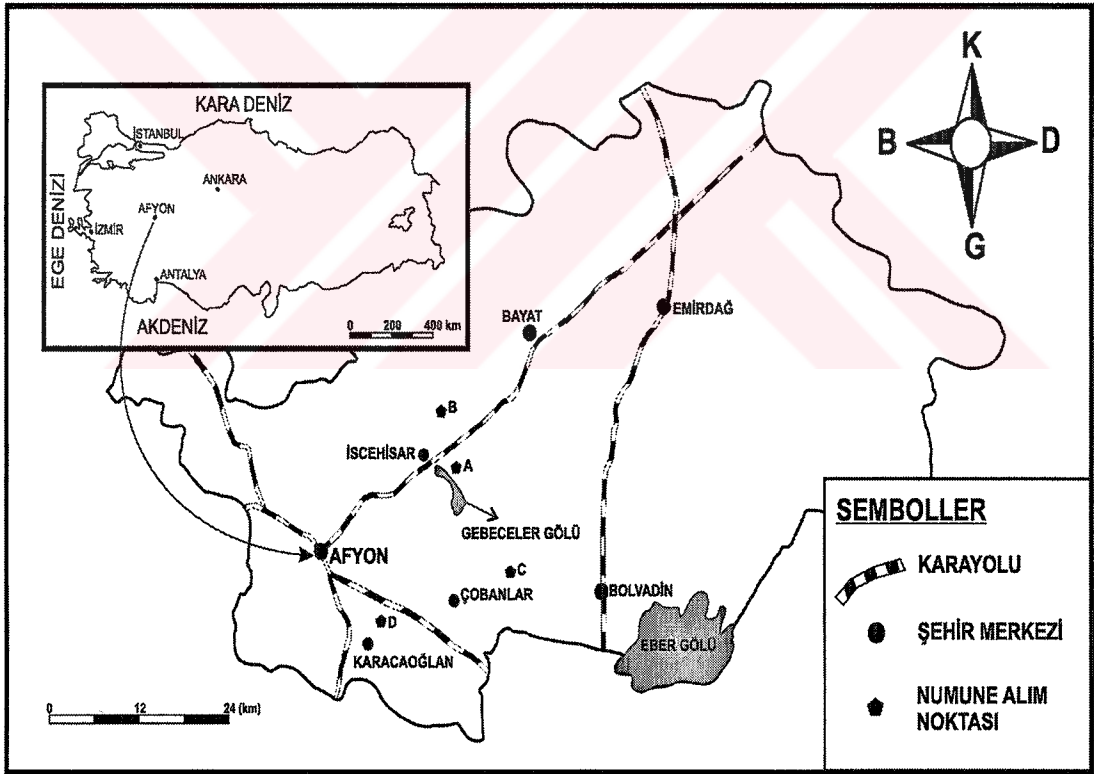
## 6. MATERYAL VE METOD

### 6.1 Materyal

Çalışmada kırmataş ve mineral filler olarak kullanılan numunelerinin alındığı bölgelerin jeolojik özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

#### 6.1.1 Jeoloji

Deneyleerde kullanılan A kodlu mermer ve B kodlu andezit örnekleri Afyon'un İscehisar ilçesinden, C kodlu kireçtaşı örneği Afyon'un Çobanlar ilçesinden ve D kodlu kireçtaşı örneği ise Afyon'un Karacaoğlan bölgesinden alınmıştır (Şekil 6.1). Malzemelerin alındığı 3 bölgenin jeolojik yapısı aşağıda verilmiştir.



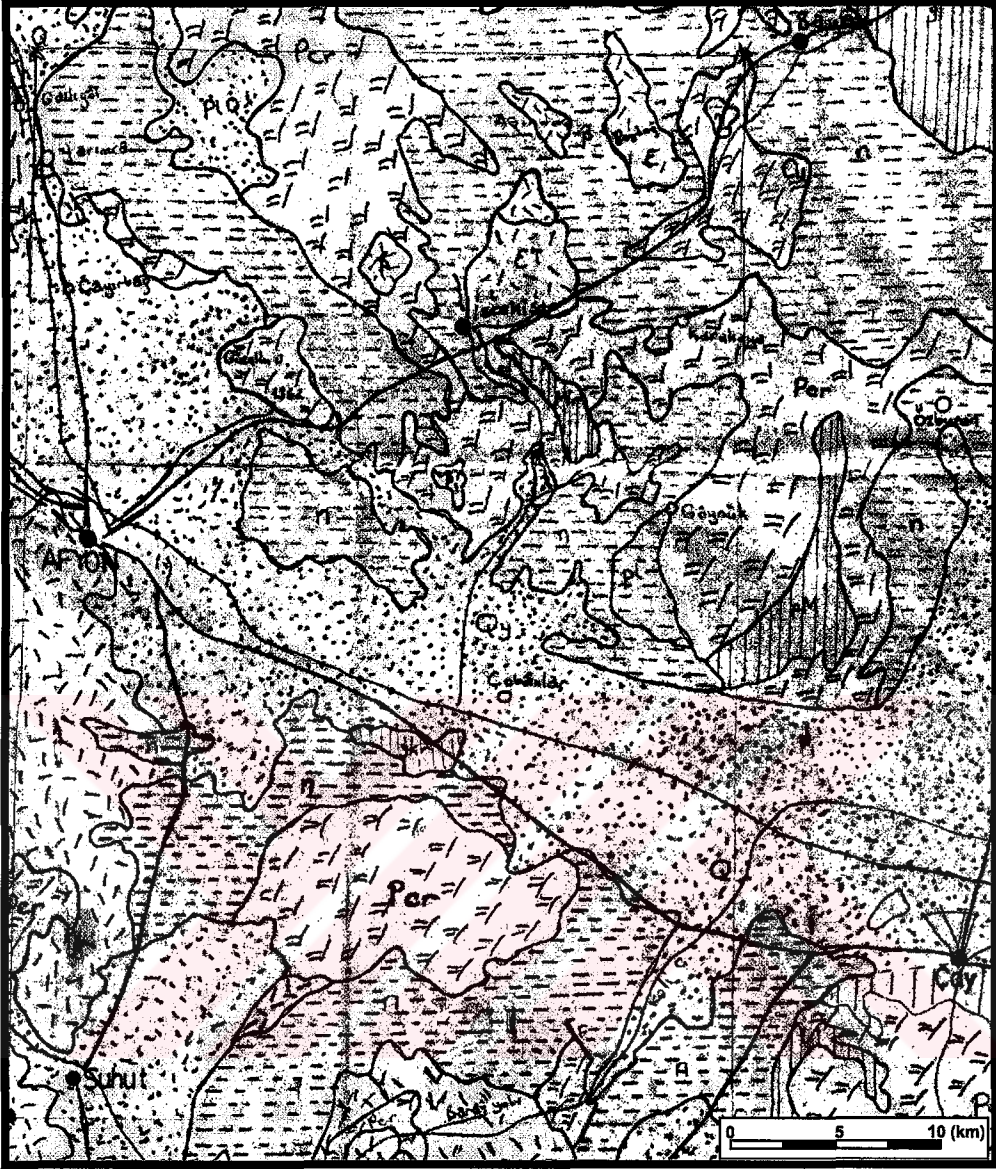
Şekil 6.1 Numunelerin alındığı yerleri gösteren lokasyon haritası.

Bölgede yapılan önceki çalışmalarda Afyon ve çevresinde birbirinden tektonik dokanakla ayrılan 2 kayaç topluluğu ayırt edilmiştir (Metin vd., 1987). Bunlar “Toros kuşağı” ve “İç Toros kuşağı” birimleridir. Her 2 birim de farklı jeolojik yaşlı ve farklı oluşum özellikli kayaç topluluklarıyla temsil edilmektedir. Çalışmada kullanılan numunelerin alındığı 3 bölge de İç Toros kuşağında yer almaktadır. Söz konusu 3 bölgenin jeolojik özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

#### 6.1.1.1 İscehisar Bölgesi

İnceleme alanının en yaşlı birimi olan *Afyon metamorfileri* litolojik olarak, kuvars – muskovit – serisit, kuvars - albit – klorit şist, meta kumtaşı – meta konglomera, mermer ve kalkışistlerden oluşmuştur (Şekil 6.2). Literatürde *Afyon mermerleri* olarak isimlendirilen *İscehisar mermerleri* beyaz, sarımsı, bej, boz renkli, kalın tabakalı olup, adını mostra yakınındaki İscehisar ilçesinden almıştır. Birim beyaz, gri, alacalı, krem renkli, kalın – çok kalın tabakalanmalı, büyük bloklar verebilen, ince kristalli çok değerli bir mermer türüdür. Birim Afyon metamorfileri içinde mercek şeklindedir. Kalınlığı en fazla 300 metre kadardır. Birim İscehisar ilçe merkezinin güneyinde, KB–GD doğrultusu boyunca 6 km. uzunluğunda 1,5 km. genişliğindeki bir alanda yüzeylenir (Kibici vd., 2001). Deneylerde kullanılan A kodlu mermer numunesi İscehisardaki mermer ocaklarından alınmıştır.

Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçların üzerine Pliyosen yaşlı Seydiler tuf ve aglomerası uyumsuzlukla gelmektedir. Seydiler tuf ve aglomerası, dasitik, riyodasitik ve riyolitik bileşimli olup, İscehisar’ın Seydiler Kasabası ve çevresinde karakteristik olarak yüzeylenirler. Kuşcu ve Yıldız (2001) tarafından yapılan çalışmada Seydiler tuf ve aglomerasında genellikle camdan oluşan matriks içerisinde kuvars, sanidin, plajyoklaslar, ve çubuğumsu şekilli biyotit fenokristalleri belirlenmiştir. Beyaz, beyazımsı sarı ve krem renkli olan birim 20 m toplam kalınlığa ulaşan diyatomit ara seviyelerini içerir (Yıldız vd., 1999).



Şekil 6.2 Numunelerin alındığı yerlerin jeoloji haritası.

B kodlu andezit numunesi İscehisar'ın kuzeydoğusundaki Ağın Dağı'ndan alınmıştır. Birim gri, pembe ve kırmızımsı renkler sunmaktadır. Birim akıntı yapısı ve tablamsı konumu ile belirgindir. Kuşcu vd., 2003 tarafından yapılan çalışmada andezitte volkanik cam ve piroksen fenokristallerinden oluşan matriks içinde biyotit, hornblend (lambrolit), plajioklas (labrador) minerallerine rastlanmıştır. Araştırmacılar birimin renginin griden kırmızıya doğru değişmesini biyotitlerde yoğun olarak gözlenen alterasyona bağlamışlardır. Birimin yaklaşık kalınlığı 60m'dir.

### **6.1.1.2 Çobanlar Bölgesi**

İnceleme alanının temelini Afyon metamorfikleri oluşturmaktadır. Paleozoyik yaşlı birim bölgede kuzey-güney doğrultulu şeritler halinde yayılım göstermektedir. Metamorfik kayalar kahverengi ve yeşil renkli, belirgin şistozite gösteren Doğanlar şisti, beyaz, kahverengi, siyah, gri ve bej renkli Çakmak kuvarsiti, kahverengi, gri-kahverengi, bordo, yeşil ve gri-bej renkli Deliktaştepe metakonglomerası, bordo ve koyu gri renkli, belirgin şistozite gösteren yer yer kuvars çakılları içeren Ballıca filliti ve kalın-orta tabakalanmalı, sarı ve kahverengi damarlı Paşadağ mermerlerinden oluşmaktadır (Çelik, 2003).

Metamorfik kayaların üzerine uyumsuzlukla Neojen birimleri gelmektedir. Gölsel marn, kireçtaşı ve konglomeralardan oluşan Gebeceler formasyonu, genellikle bölgenin kuzey kesimlerinde yüzeylemektedir. Tüm metamorfik ve sedimanter birimleri Miyosen döneminde etkili olan volkanik birimler kesmektedir.

C kodlu kireçtaşı numunesi literatürde Paşadağ mermerleri olarak isimlendirilen birimden alınmıştır. Birim genellikle kalın-orta tabakalanmalı olup içerisindeki sarı ve kahverengi damarlar birime nüfuz eden demirli bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Çelik, 2003). Birim içerisinde gözlenen kıvrımlanma nedeniyle tabaka eğimleri  $10^{\circ}$ - $50^{\circ}$  arasında değişmektedir. Aşırı tektonizma etkisiyle birim içerisinde kırık ve çatlak yoğun olarak gözlenmektedir. Bölgede faaliyet gösteren özel şirketler tarafından açılan ocaklarda birim çoğunlukla inşaat sektörüne mıcır olarak pazarlanmaktadır. Ayrıca ekonomik olarak blok alınabilen bölgelerden elde edilen kayalar ise belirli zamanlarda mermer olarak yurtiçi piyasada alıcı bulmuştur.

### **6.1.1.3 Karacaoğlan Bölgesi**

Bölgede, farklı yaş ve litolojilerle temsil edilen farklı ortam koşulları yansıtan, metamorfik ve çökel kaya toplulukları ile bazik ve ultra bazik kaya toplulukları yer alır. Bu kaya toplulukları, startigrafi istifleri, litoloji ayrıcalıkları ve diskordans düzlemleri göz önünde tutularak otokton ve allohton birimler olarak 2

ana grupta toplanmıştır. Otokton birimler, “Afyon Paleozoyik Grubu”, “Ballıkhisar Grubu”, “Şuhut Grubu” ve kendinden yaşlı bütün birimleri uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı çökellerden oluşmaktadır (Özgül, 2000). Allohton birimler ise “Kükürtdağ Grubu” ve “Sazak Grubu” nun oluşturduğu “Çölovası Allohton Gruplar” ıdır.

Afyon Paleozoyik Grubu gri, kirli kahve, yer yer kırmızı renkli, orta kalın tabakalı, kuvarsit, kalkışit, fillit ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan Yalnızagaç formasyonu, orta ve kalın düzgün tabakalanmalı kireçtaşlarından oluşan Karahasan formasyonu, kahve, boz, yeşil renkli, şisti, çok kıvrımlı Afyon metamorfitlelerinden meydana gelmektedir. D kodlu kireçtaşı numunesi Karahasan formasyonundan alınmıştır. Formasyon Koyu gri renkli orta ve kalın düzgün tabakalanmalı yer yer foraminifer içerikli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Alt düzeyleri fillit ve kuvarsit kapsayan birim genel olarak kireçtaşı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda formasyonun kalınlığı yaklaşık 350 m olarak belirtilmiş ve formasyonun yaşı Üst karbonifer-Üst Permiyen olarak verilmiştir (Metin vd., 1987; Özgül, 2000).

### **6.1.2 Asfalt Çimentosu**

Afyon Belediyesi asfalt şantiyesinde kullanılan bitüm malzemesi çalışmada bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Söz konusu malzeme 60-70 penetrasyonludur.

## **6.2 Metod**

Çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deney yöntemleri ve deneyler sırasında kullanılan cihazlar hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

### **6.2.1 Mineral Agrega Numunelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi**

Deneyisel çalışmamızın konusunu oluşturan üç farklı gradasyondaki dört adet agrega ve atık agrega numunelerinden, asfalt briket numunelerini üretmeden önce, fiziksel özelliklerinin tespit edilebilmesi için numuneler üzerinde özgül ağırlık ve



su absorpsiyonu, çamurlu madde miktarı tayini, elek analizi, dona dayanım, Los Angeles aşınma, donma-çözülme sonrası direnç kaybı, agrega darbe dayanımı, yassılık indeksi, soyulma, Vialit yöntemi ile yapışma, ve agrega cilalanma değeri tayini olmak üzere standart kırmataş deneyleri yapılmıştır.

### 6.2.1.1 Kaba ve İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık Deneyleri

ASTM C 127 metodu kullanılarak kaba agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığı belirlenmiştir. Bu deneyde numunenin karışım gradasyonunu temsil etmesine dikkat edilmelidir. Hazırlanan numune yıkanarak su içinde 24 saat bekletilir. Su içerisinden çıkarılan numune emici özelliğe sahip olan bir bez üzerine yayılarak agrega daneleri teker teker kurulanır. Yüzey kuru-suya doygun hale gelmiş agrega numunesi tartılır ( $B_k$ ). Tel sepete konulan agrega numunesinin  $25 \pm 1$  °C sıcaklıktaki suda tartımı yapılır( $C_k$ ). Numune tel sepet içinden bir tepsiye boşaltılarak  $110 \pm 5$  °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur. Etüvden çıkartılan numune 1 ile 3 saat arasında oda sıcaklığında soğutularak tartılır( $A_k$ ). Özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlığı} = \frac{A_k}{(B_k - C_k)} \quad (6.1)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{A_k}{(A_k - C_k)} \quad (6.2)$$

$$\text{Absorpsiyon (\%)} = \frac{(B_k - A_k)}{A_k} \quad (6.3.)$$

Burada :

$A_k$  =Kuru numune ağırlığı (gr)

$B_k$ =Yüzey Kuru-Suya Doygun numune ağırlığı (gr).

$C_k$ = Yüzey Kuru-Suya Doygun numunenin sudaki ağırlığı (gr).

ASTM C 128 metodu kullanılarak ince agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığı belirlenir. Karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde en az 1000 gr agrega

kullanılır. 200 nolu elekten yıkanan malzeme bir tepsi içine alınarak üzeri su ile kaplanır ve 24 saat bekletilir. Daha sonra ince malzeme kaybına neden olmayacak şekilde suyu süzülür ve absortif olmayan düzgün bir yüzey üzerine serilir.

Numuneyi yüzey kuru-suya doygun hale getirebilmek için sıcak hava akımı karşısında devamlı karıştırılarak kurutma işlemine tabi tutulur. Bu işleme malzeme serbest dökülebilir hale gelinceye kadar devam edilir. Bu anı tespit etmek için koni metodu uygulanır.

Yüzey kuru suya doygun hale gelen yaklaşık 500 gr numune piknometre içine konarak tartılır (Ci). Üzerine numune yüzeyini kaplayacak seviyede su ilave edilir. Hava kabarcıklarının çıkması için piknometre her iki yönde 15-20 dakika çalkalanır. Daha sonra piknometrenin boş kısmı işaret çizgisine kadar su ile doldurulur.  $25 \pm 1$  °C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Su ve malzeme sıcaklığı  $25$  °C'ye ulaştığında piknometre su banyosundan çıkarılıp kurulanır ve tartılır (Di). İnce agrega piknometreden bir tepsiye boşaltılır ve  $110 \pm 5$  °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur. Etüvden çıkarılan numune soğutularak tartılır(Ei).

İnce agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Hacim Özgül ağırlığı} = \left( \frac{E_i}{(B_i - C_i) - (A_i - D_i)} \right) \quad (6.4)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \left( \frac{E_i}{(B_i + E_i - D_i)} \right) \quad (6.5)$$

$$\text{Absorpsiyon (\%)} = \left( \frac{(C_i - A_i - E_i)}{E_i} \right) 100 \quad (6.6)$$

Filler malzemelerinin zahiri özgül ağırlıkları ASTM C 854 metodu kullanılarak belirlenir.  $110 \pm 5$  °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulan filler malzemesi

şişenin üçte biri dolacak şekilde piknometrenin içerisine konularak tartılır ( $C_f$ ) . Piknometre yarısına kadar su doldurulur ve en az 5 dk, yaklaşık 50 mbar vakum sağlayan desikatör içerisinde bırakılarak havası alınır. Daha sonra piknometre tamamen su ile doldurularak  $25 \pm 1$  °C'lik su banyosunda en az 60 dk bekletilir. Su banyosundan çıkarılır ve kurularak tartılır ( $D_f$ ). Fillerin zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \left( \frac{(C_f - A_f)}{(B_f - A_f) - (D_f - C_f)} \right) \quad (6.7)$$

### 6.2.1.2 Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Sıkışık birim hacim ağırlık deneyinde ağırlığı tartılarak belirlenmiş uygun ölçü kabı üçte birine kadar doldurulur. Bu işlem esnasında yüzeyin her tarafına yapılacak 25 vuruş ile sıkıştırma yapılır. Sıkıştırma işlemi, kap ikinci kez 2/3'ü, üçüncü kez tamamı taşarcasına doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar içinde 25 kez şişlenerek tekrarlanır. Ölçü kabı üst yüzü şişleme çubuğu ile sıyrılarak düzeltilir. Daha sonra ölçü kabı agregası ile birlikte tartılır. Agreganın sıkışık birim ağırlığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta_s = \frac{(W_2 - W_1)}{V} (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (6.8)$$

Burada:

$\Delta_s$ : Sıkışık birim hacim ağırlık ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$W_2$ : Sıkışık agregası ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr).

$W_1$ : Ölçü kabı boş ağırlığı (gr).

$V$ : Ölçü kabının iç hacmi ( $\text{dm}^3$ ).

Gevşek birim hacim ağırlık deneyinde de işlem aynıdır. Ölçü kabı, küreğin ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm 'den daha fazla yükseğe kaldırılmamasına özen gösterilerek, taşarcasına doldurulur. Ölçü kabı üst yüzeyindeki fazla iri agregası elle sıyrılarak düzlenir, sıyırma düzleminden taşan iri agregası varsa yerine elle ince

agrega ilave edilir. Ölçü kabı içindeki agrega ile birlikte tartılır. Agreganın gevşek birim hacim ağırlığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta_g = \frac{(W_2 - W_1)}{V} (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (6.9)$$

Burada:

$\Delta_g$ : Gevşek birim hacim ağırlık ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$W_2$ : Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr).

$W_1$ : Ölçü kabı boş ağırlığı (gr).

$V$ : Ölçü kabının iç hacmi ( $\text{dm}^3$ ).

### 6.2.1.3 Agregada Gradasyonu

Kaplamamanın stabilitesine ve yoğunluğuna etki eden önemli özelliklerden birisi de agrega gradasyonudur. Dolayısıyla, değişik boyutlardaki agrega danelerinin hangi oranlarda bulunması gerektiği şartnamelerde alt ve üst limitlerle belirtilmiştir. Agregalar konkasörlerde 0-5, 5-10 , 10-20 ve 20 üstü olmak üzere değişik boyutlarda üretilir. Bu agrega gruplarından her birinde ayrı ayrı elek analizi yapılmak ve belirli oranlarda karıştırılmak suretiyle nihai gradasyon elde edilir.

Çalışmada dört farklı kırmataş numunesi kullanılmıştır. Numunelerin iki adedi ocak atığı pasalardan üretilmiş agrega diğer ikisi ise halihazırda üretimi yapılan kırmataş numuneleridir. Belirtilen numunelerden A ve B numuneleri atık ocak kayaçlarından üretilmiş agrega numuneleridir. A numunesi 15-25 mm, 7-15 mm ve 0-6 mm dane çaplarında, B numunesi, çeneli bir kırıcıda kırılmak suretiyle laboratuvar ortamında 11-19 mm, 6-11 mm ve 0-6 mm dane çaplarında üretilmiştir. C ve D numuneleri halihazırda üretimi yapıлып kaplama ve beton imalatında kullanılmakta olan kayaçlardır.

Elek analizi için ASTM C 702 'ye göre numune alınır. Numune şantiyede agrega yığınının veya konkasör bantından alınabilir. Fakat bunlardan en doğru sonucu konkasör bantından alınan numuneler verir. Şayet yığından numune alınacaksa

bir boru yardımıyla yığının değişik noktalarından numune alınarak, ayrı bir alanda karıştırılmak suretiyle dörtleme işlemine tabi tutulmalıdır.

Ülkemizde karayolu kırmataşlarında 1<sup>u</sup>, 3/4<sup>u</sup>, 1/2<sup>u</sup>, 3/8<sup>u</sup>, No:4, No:10, No:40, No:80, No:200 standart elekleri kullanılır. Elekler büyükten küçüğe doğru sıralanır ve malzeme en üst elekten başlanarak elenir. Elek üstü kalan malzemeler yığışımli olarak 0,1 gr hassasiyetinde bir terazi ile tartılır. Daha sonra yüzde geçenler, toplam yüzde kalanlar ve belli boyutlardaki yüzdeler toplam ağırlığın % 0,1'i yakınlığında hesaplanır.

#### 6.2.1.4 Çamurlu Madde Miktarı Tayini

Özellikle üst yapı agregaları için çamurlu madde miktarı tayini önemli bir deneydir. Çamurlu madde miktarı karışım içerisindeki mineral filler değerinin artmasına neden olacağından karışımın stabilitesi azalabilir.

Bu deney için alınan 1000 gr deney malzemesi, 1000 ml'lik bir mezür içerisinde konulur ve üzerine 750 ml su eklenir. Kabın ağzı plastikle hava almayacak şekilde kapatılarak iyice çalkalanır. Bu işlem 20 şer dakikalık aralıklarla toplam 3 kez tekrarlanır. 24 saat sonra agrega üzerine çöken ince malzeme yüksekliği ve alanı tespit edilir. Çamurlu madde miktarının ağırlıkça hesabı aşağıdaki eşitlikten yapılabilir.

$$\text{Ağırlıkça Çamurlu Madde Miktarı} = \left( \frac{Ah_{24}\gamma_{24}}{1000} \right) 100 \quad (6.10)$$

Burada;

A: 24 saat sonra çökelen çamurlu maddenin çökeldiği alan (cm<sup>2</sup>).

h<sub>24</sub>: 24 saat sonra çökelen çamurlu maddenin yüksekliği (cm)

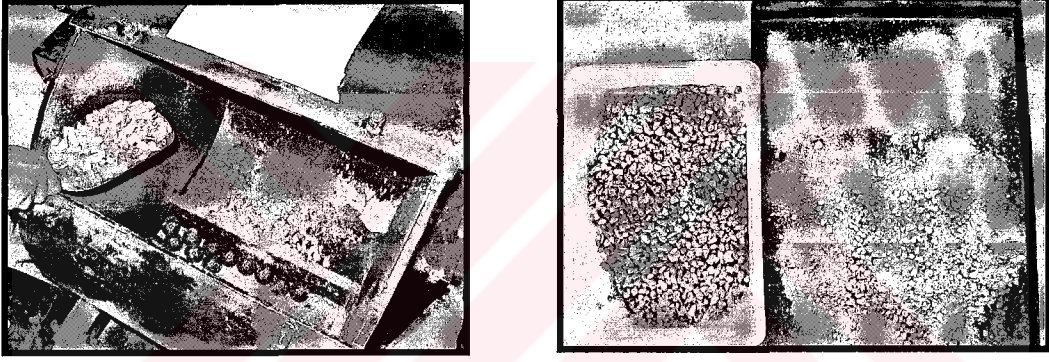
γ<sub>24</sub>: Yaklaşık özgül ağırlık değeri (0,9 gr/cm<sup>3</sup>)

Çamurlu madde miktarını hacim esasına göre hesaplayabilmek için aşağıdaki eşitlikten yararlanır:

$$\text{Hacimce Çamurlu Madde Miktarı} = \left( \frac{h}{H} \right) 100 \quad (6.11)$$

### 6.2.1.5 Los Angeles Aşınma Dayanımının Tespiti

Bu deney aşınma ve darbelenme etkileri sonucu mineral agreganın standart gradasyonunun bozulmasının ölçümü deneyidir. Deney, 14 mm deney eleğinden geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan agregalara uygulanır. Deney kısmının kütlesi  $(5000 \pm 5)$  gr'dır. Deney için 31 devir/dk ile 33 devir/dk arasında dönme yapabilen, 11 adet çelik bilya ile aşındırma yapabilen bir tambur kullanılır.



Şekil 6.3 Los Angeles Aşınma Cihazı ve Deneye Tabi Tutulmuş Bir Numune.

Tamburun içinin temizliği kontrol edildikten önce bilyalar daha sonra agrega numunesi tambur içine yerleştirilir ve tamburun kapağı sıkıca kapatılır. 500 devir dönme işlemi tamamlandıktan sonra, tamburun açıklık kısmı tepsinin tam ortasına getirilerek agregalar tepsiye dökülür. Tambur temizlenir, ince tanelerin raf etrafında kalmamasına dikkat edilir. Bilyalar tepsiden alındıktan sonra 1,6 mm'lik elek kullanılarak ıslak eleme yapılır. 1,6 mm elekte kalan kısım  $110 \pm 5$  °C'deki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur. Şekil 6.3'de tipik bir Los Angeles Aşınma test cihazı, ve bir numunenin deneyden önce ve deneyden sonraki halleri görülmektedir. Los Angeles katsayısı LAV aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$LAV = \left( \frac{5000 - M}{50} \right) \quad (6.12)$$

Burada;

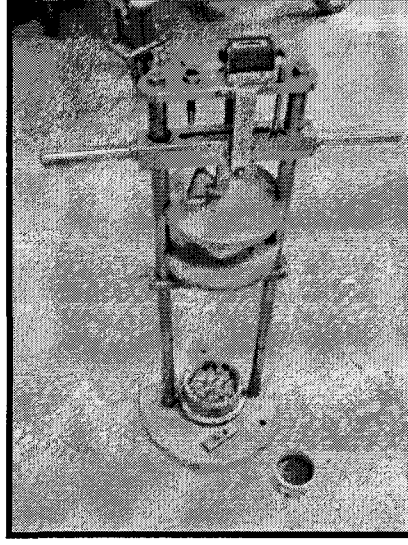
$M=1,6$  mm'lik elek üzerinde kalan fraksiyon ağırlığıdır (gr).

Deney her bir numune için üçer adet yapılmış ve numuneler 500 devirlik aşınma işlemine tabi tutulmuştur. ASTM C 131-89 'a göre yol kaplamalarında kullanılacak malzemelerde aşınma % 35 değerinden küçük olmalıdır.

#### 6.2.1.6 Agregada Darbelenme Değerinin Tayini

Agreganın ani şok ve çarpma etkilerine karşı dayanımının belirlenmesini sağlayan diğer bir deney türü de agregada darbelenme deneyidir. Bu deney 14 mm BS eleğinden geçip 10 mm BS eleğinde kalan agregalara uygulanır. Agregalar deneyden önce kurutularak yüzey kuru hale getirilir. Darbelenme deneyinde kullanılacak agregada miktarı iç çapı 75 mm ve iç yüksekliği 50 mm olan bir metal mezür yardımıyla belirlenir. Mezür, en fazla 50 mm yükseklikten dökülecek şekilde 1/3'üne kadar doldurulur ve şişleme çubuğu ile 25 defa şişlenir. Mezür daha sonra 2/3'üne kadar sonra da tamamen doldurulur. Doldurma işleminden sonra şişleme çubuğu mezürün üzerinde gezdirilerek çubuğa temas eden agregalar alınacak ve varsa yüzeydeki boşluklar ele alınan uygun agregalarla tamamlanır. Mezüre giren agregada ağırlığı(A) tartılarak kaydedilir ve aynı numuneye ait diğer deneyler için aynı miktarda malzeme kullanılır (EN 1097-2, 1998).

Darbelenme deney aleti düzgün ve sağlam bir yüzey üzerine konularak sabitlenir, mezürle ölçülen miktarda agregada kalıp içerisine konular ve kalıp sabitlenir. Daha sonra tokmak ayarlanarak  $380 \pm 5$  mm yükseklikten 15 defa 1 sn'den daha kısa aralıklarla agregada üzerine 13,5 kg'lık bir ağırlık düşürülür. Şekil 6.4'de darbelenme deney cihazı görülmektedir.



Şekil 6.4 Agregada Darbelenme Değeri Tayini için Deney Cihazı.

Bu işlemden sonra deneye tabi tutulmuş agrega kalıp içerisinde çıkarılarak bir tepsiye alınır ve 8 nolu elekten elenir. Daha sonra No:8 eleği geçen (B) ve kalan (C), malzemeleri 0,1 gr hassasiyetle tartılır. İnce malzeme yüzdesi (K) şu şekilde hesaplanır:

$$K = \left( \frac{B}{A} \right) 100 \quad (6.13)$$

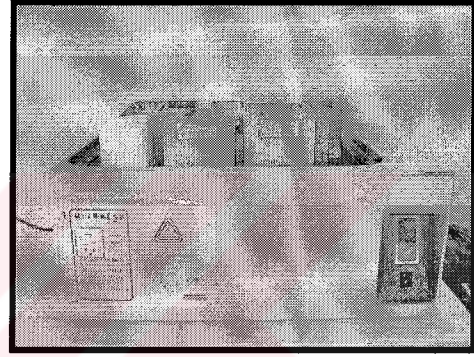
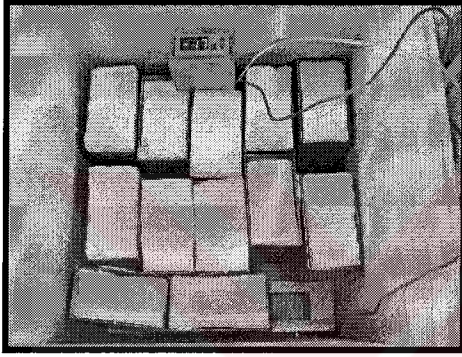
Aşağıdaki grafikte çalışmada kullanılan numunelere ait agrega darbelenme değerleri görülmektedir. Yüksek kaliteli agregaların darbelenme değeri % 18 'den az olmalıdır (Woodside,1998).

#### 6.2.1.7. Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri

Esnek yol üst yapılarında kullanılan agregalarda aranan önemli bir özellik de agregaların donma-çözülme etkisine dayanımlarıdır. Özellikle ülkemiz gibi don etkisinin sık görüldüğü bölgelerde agregaların donma çözülme etkisinde parçalanmaması gerekir. Donma-Çözülme etkisi yol katmanlarındaki etkisi farklı farklıdır. Aşınma tabakasında kullanılan agreganın binder tabakasında kullanılan agregaya göre daha dayanıklı olması gerekir.



Agregaların donma-çözülme etkisine dayanım direnci şu şekilde tespit edilir. Deneye tabi tutulacak agregalar için 8-16 mm arası tane büyüklüğünde, yıkanmış üç adet 2000 gr, agregası numunesi hazırlanır. Agregası numunelerini donma-çözülme etkisine tabi tutabilmek için 2000 ml kapasiteli metal kutular kullanılır. Her bir agregası numunesi kutulara yerleştirildikten sonra, kutunun içerisindeki agregası seviyesini 10 mm geçecek şekilde saf su ile doldurulur ve kutuların ağızları kapatılır. Donma-Çözülme çevrimi için şekil 6.5’de görüldüğü gibi sıcaklığı kontrol edilebilen bir derin dondurucu ve su banyosu kullanılır.



Şekil 6.5 Donma ve Çözülme İşlemine Tabi Tutulan Agregası Numuneleri.

Dolaptaki numuneler, aşağıda belirtilen şekilde, 10 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulur.

- Sıcaklık, (150±30) dakika (20±3) °C’den 0 °C’ ye düşürülür ve (210±30) dakika süreyle 0 °C’de tutulur.
- Sıcaklık, (180±30) dakika 0 °C’den (-17,5±2,5) °C’ye düşürülür ve en az 240 dakika süreyle (-17,5±2,5) °C’de tutulur.

Her bir donma döngüsü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık 20 °C’deki suya batırılmak suretiyle çözülür. Sıcaklık (20±3) °C’ye ulaştığında, çözme işlemi tamamlanmış sayılır. Onuncu döngünün tamamlanmasından sonra her iki kutunun içindeki malzeme, deney numunesini hazırlamak için kullanılan

alt elek büyüklüğünün yarısı kadar (4 mm) göz açıklığına sahip bir deney eleğinin üzerine boşaltılır. Deney numunesi, belirtilen elek üzerinde elle yıkanır ve elenir. Elek üzerinde kalan agrega ( 110±5) °C’de sabit kütleye gelene kadar kurutulur. Daha sonra ortam sıcaklığına kadar soğutulur ve hemen tartılır (M<sub>2</sub>). Donma-çözülme deneyi sonucundaki kütle yüzde kaybı (F), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır. Karayolları Yollar Fenni şartnamesine göre yol üst yapılarında kullanılacak agregalardaki donma-çözülme kaybı % 12 ‘den küçük olmalıdır.

$$F = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) 100 \quad (6.14)$$

Burada M<sub>1</sub> üç deney numunesinin toplam ilk kuru kütlesidir.

Donma-çözülme sonrası direnç kaybı, donma çözülme döngülü ve donma-çözülme döngüsüz olarak elde edilen direnç deneyi sonuçları arasındaki yüzdece fark aşağıdaki eşitlikten hesaplanarak bulunur (EN 1097-2, 1998).

$$\Delta S_{LA} = \left( \frac{S_{LA1} - S_{LA0}}{S_{LA0}} \right) \times 100 \quad (6.15)$$

Burada:

$\Delta S_{LA}$ =Yüzdece direnç kaybı.

$S_{LA0}$ =Donma-çözülme döngüsü olmaksızın deney numunesi kısmının Los Angeles Katsayısı.

$S_{LA0}$ = Donma-çözülme döngüsünden sonra deney numunesi kısmının Los Angeles Katsayısı.

### 6.2.1.8 Agregalar İçin Yassılık İndeksi Değeri Tayini

Bu deney metodu, kalınlığı nominal boyutunun 0,6’sından daha küçük olan agrega danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasını esas alan bir methoddur. İki elek arasında kalan danenin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik

ortalamasıdır. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney 6,3 mm'den büyük ve 63 mm'den küçük malzemelere uygulanır (EN 933-3, 1997).

Çizelge 6.1. Yassılık İndeksi Deneyine Alınacak Malzeme Miktarları.

Elek Açıklığı (mm)	Deneye Alınacak Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63-50	25
50-37,5	18
37,5-25	8
25-19	2,5
19-12,5	1
12,5-9,5	0,5
9,5-6,3	0,250

Deney uygulanacak numune için çizelge 6.1'de belirtilen malzemede mevcut fraksiyonlar için eleme işlemi yapılır. Her elek arasında kalan malzeme danelerinin, şablon üzerindeki kendi açıklığından geçip geçmediği el ile teker teker denendir. Her fraksiyonun yassı danelerinin ağırlığı tartılarak kaydedilir. Daha sonra her fraksiyon ağırlığındaki yassı dane yüzdesi aşağıdaki formül yardımıyla ayrı ayrı hesaplanır. Deney sonunda yassı danelerin oranı % 35'i geçmemelidir.

$$\text{Yassı Dane Yüzdesi} = \frac{(M_2 \times 100)}{M_1} \quad (6.16)$$

Burada;

$M_1$ =Deneye alınan malzeme ağırlığı, gr.

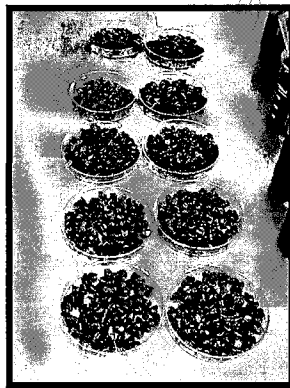
$M_2$ =Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığıdır. (gr)

### 6.2.1.9 Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi

Bir asfalt kaplamanın ömrü, geniş ölçüde, suyun etkisine rağmen agreganın yapışma kabiliyetine bağlıdır. Soyulma, bağlayıcı maddenin, suyun ve trafiğin bir arada etkimesi ile agrega üzerinden ayrılması demektir.

Deneye, kırılmış agrega numunesinin 9,5-4,75 mm veya 4,75-3,35 mm'lik elekler arasında kalan kısmından yaklaşık 200 gr alarak, iyice yıkayıp saf su ile birkaç kere çalkaladıktan sonra 110 °C lik etüve konarak başlanır. Yıkanmış kuru agregadan  $30 \pm 0,5$  gr alınarak 1 saat 110 °C lik etüvde bekletilir. Diğer taraftan  $1,5 \pm 0,1$  gr bitümlü malzeme, 250 cm<sup>3</sup> beher içinde 110 °C lik kum banyosuna yerleştirilerek ısıtılır. Bitümlü malzeme eriyince etüvde ısıtılmış agrega hızlı bir şekilde behere dökülür ve bir cam bagetle bütün agrega tanelerinin üzeri homojen bir bitüm filmiyle kaplanıncaya kadar kum banyosu üzerinde iyice karıştırılır. Bundan sonra bitümlü agrega beher içinde kür işlemine tabi tutulmak üzere 24 sa 60 °C'lik beher içinde tutulur. Bu sürenin sonunda beher etüvden çıkarılıp, kum banyosunda hafifce ıslatıldıktan sonra 10 cm çapında petri kabına aktarılır.

Kaplanmış agregaların üzeri bagetle çok hafif darbelerle düzeltilir ve 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Şekil 6.6'da petri kabına aktarılmış numuneler görülmektedir Daha sonra petri kabı su ile doldurulur ve üzeri bir cam kapakla kapatılarak tekrar 24 saat bekletilmek üzere 60 °C'lik etüve konur.



Şekil 6.6 Petri Kabına Aktarılmış Numuneler.

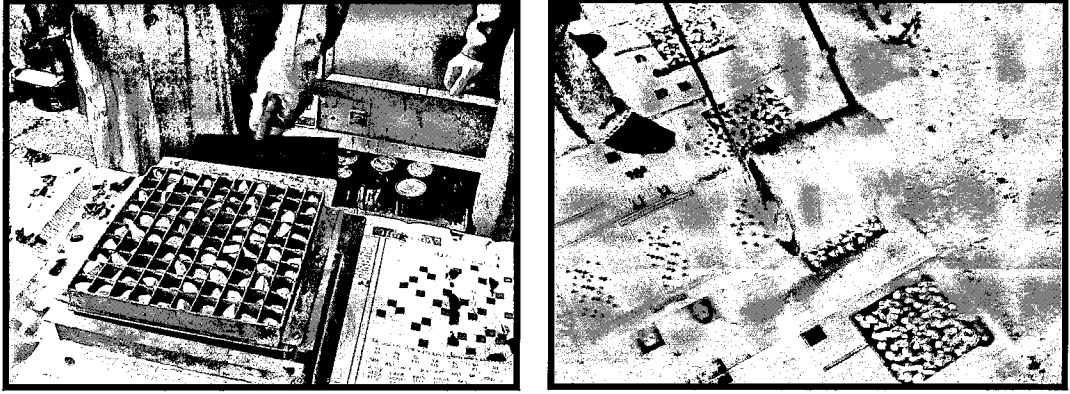
Bu sürenin sonunda petri kabı dışarı alınarak suyu değiştirilir. Yandan gelen bir ışık altında bilhassa karışımın üst yüzü gözle incelenir. Deney sonunda soyulmamış yüzeyin bütün yüzeye oranı, soyulmaya karşı dayanıklılık olarak verilir. Deney sonunda numunelerin en az % 50'si soyulmadan kalmalıdır (İlıcılı, 1988).

#### **6.2.1.10 Vialit Metodu ile Yapışma Deneyi**

Sathi kaplama agregaları için agrega-bitüm adezyonunun suyun etkisiyle azalmasını tespit etmek için yapışma deneyi yapılır. Bu deney ile soyulma direnci hakkında da fikir edinilebilir.

Deney için 19 mm elekten geçip 9,5 mm elek üzerinde kalan mıcır numunesi iyice yıkanıp kurutulduktan sonra, içinden yassı ve uzun olmayan kübik şekilli 100 adet mıcır ayrılır. Kırmataşların düşmemesi için, kafesin hemen altındaki yerine plaka yerleştirilir ve mekanik sericinin her bölümüne birer tane kırmataş dizilir. Kullanılacak asfalt deneye başlamadan en az 2 saat önce 145-150 °C'deki etüvde ısıtılır. Ayrıca çelik deney levhaları da 145-150 °C'lik etüvde 30 dakika ısıtılır. Isıtılan levhalar üzerine 40 gr asfalt konulup, spatula ile levhanın her tarafına süzgülün bir şekilde yayılır. Asfaltlı deney levhası mekanik sericinin içine yerleştirildikten sonra, mıcırların altındaki plaka süratle çekilerek kırmataşların asfalt tabakası üzerine serbestçe düşmesi sağlanır. Silindirme sırasında levha üzerindeki kırmataşların kaymasını önlemek amacı ile kırmataş serildikten sonra levhanın hafifçe soğuyup silindirlemeye uygun bir sıcaklığa düşmesi için 2-3 dakika beklenir.

Silindirme, lastik bandajlı silindir, agrega serilmiş levha üzerinden üç defa bir yöne ve üç defa da buna dik yönde olacak şekilde altı geçiş ile yapılır. Şekil 6.7'de mekanik sericiye yerleştirilmiş ve Silindirme esnasındaki numuneler görülmektedir. Silindirilmiş deney levhaları oda sıcaklığında 1 saat



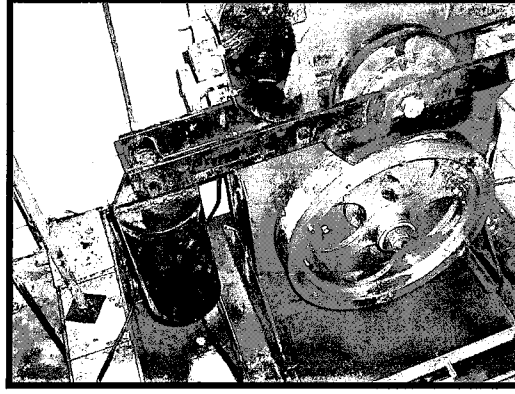
Şekil 6.7. Mekanik Sericiye Yerleştirilmiş ve Silindirleme Esnasındaki Numuneler.

bekletildikten sonra 35 °C'lik su banyosunda 24 saat tutulur. Deney aleti, ayar vidaları yardımı ile yatay duruma getirilir. Banyodan çıkarılan deney levhası, agregalar alta gelmiş olarak aletin üç sivri ucunun üzerine yerleştirilir. Bilya, 50 cm yükseklikteki hafif eğimli yerinden bırakılarak levhanın tam ortasına 10 saniye ara ile 3 defa düşürülür. Düşürüldükten sonra levha yerinden çıkarılır ve düşen kırmataşlar sayılır. Düşen kırmataş sayısı, toplam mıcır sayısının yüzdesi olarak hesaplanır. Bu değer 12'den küçük olmalıdır (Önal ve Kahramangil 1993).

#### 6.2.1.11 Cilalanma Deneyi

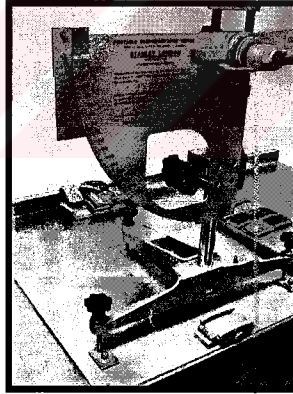
Bu deneyin amacı, çeşitli yol agregalarının trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuvarında kısa bir zamanda saptamaktır. Cilalanma direnci düşük agregalar zamanla düşük sürtünme kuvvetine veya kayma direncine sahip satırlar oluşturacağından dolayı kaplamanın sürüş emniyeti de azalacaktır.

Agrega cilalanma değeri ile kaymaya karşı direnç arasındaki ilişki, trafik koşulları, kaplamanın tipi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir. Deney iki kısımdan oluşur. Birinci kısımda taş numuneleri özel bir makine ile hızlandırılmış olarak cilalanmaya tabi tutulur. İkinci kısımda, her bir numunenin cilalanma değeri, uygun bir sürtünme deneyi ile ölçülür ve taşın laboratuvar cilalanma değeri olarak tayin edilir. Deney için hızlandırılmış cilalanma makinesi kullanılır.



Şekil 6.8 Hızlandırılmış Cilalanma Makinesi.

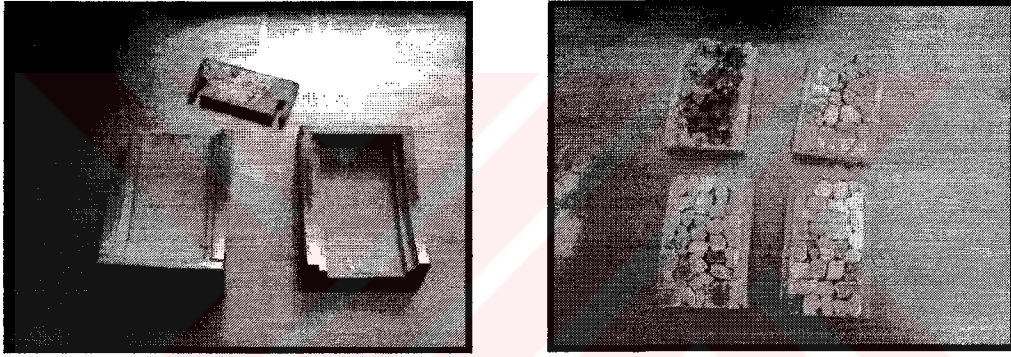
Hızlandırılmış cilalanma makinesi, çevresinde 14 adet numunenin (briketin) yerleştirilebileceği, dakikada 315-325 devir hızla dönen 40,6 cm çapında bir demir tekerlek ile numunelerin üzerinde dönen 20,3 cm çapında, 5 cm genişliğinde,  $3,16 \text{ kg/cm}^2$  basınç ile şişirilmiş ve numunelerin yerleştiği demir tekerleğe 40 kg lık yük uygulayan bir lastik tekerlekten oluşur. Şekil 6.8’de tipik bir hızlandırılmış cilalanma makinesi görülmektedir.



Şekil 6.9 Kayma Direnci Ölçme Cihazı.

Kayma direncini ölçme cihazı ise, bir ucunda ağırlık olan bir pandül, bunun altında numuneye sürtünen ve belirli özellikleri bulunan lastik bir papuç ile göstergeden ibarettir. Şekil 6.9’da tipik bir kayma direnci ölçme cihazı görülmektedir.

Deneyde kullanılacak her taş için en az 3 kg'lık 10 mm nominal boyutta numune alınır. Numune daneleri 10 mm'lik BS eleğinden geçip, 10-14 mm'lik yassılık eleği üzerinde kalmalıdır. Numunede yassı dane bulunmamalı, temiz ve tozsuz olmalıdır. Cilalanma deneyine alınan danelerin yüzey yapısı, taşın ortalama yüzey yapısını temsil etmelidir. Daha pürüzlü veya daha düzgün yüzey yapısına sahip bir iki parça bile olsa bunlar, deney numunesinin hazırlanmasında kullanılmamalıdır. Deneye, cilalanma değeri bilinen referans agrega ile kontrol için hazırlanan 2 adet numunede dahil edilmelidir. Bir numunedeki agrega sayısı 35-50 arasında olmalı ve aralarındaki boşluklar çok ince kum ile doldurulmalıdır. Şekil 6.10'da cilalanma deneyinde kullanılan numune kalıpları ve deney numuneleri görülmektedir.



Şekil 6.10 Numune Kalıpları ve Dört Farklı Cilalanma Numunesi.

Bu şekilde hazırlanan numuneler, belirli bir küre tabi tutulduktan sonra üzerlerine istenen hızda zımpara tozu ve su akıtılarak hızlandırılmış cilalanma makinasında 6 saat süreyle cilalanmaya uğratılır. Her numunenin deney sonucunda eriştiği cilalanma değeri , kayma direncini ölçme cihazının ıslatılmış lastik papucu ile ıslatılmış numune yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı olarak cihazın göstergesinden okunur. Bu işlem bir numune için 5 kez tekrarlanır ve son üç okumanın ortalaması en yakın tam sayıya yuvarlatılarak kaydedilir. Her bir agrega grubu için hazırlanan üç numunenin değerlerinin sıralaması 5 birimden daha fazla ise veya kontrol numunelerinin değeri bilinen değerler arasında kalmıyorsa deney tekrarlanmalıdır. Eğer üç numuneden alınan değerler arasındaki fark 5 birim veya daha az ve de kontrol numunelerinin ortalama değerleri de uygun ise, üç

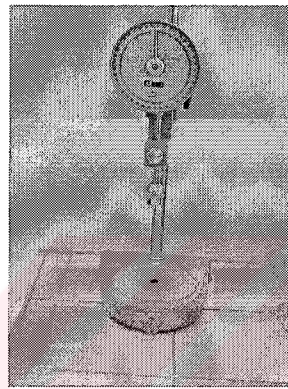


numunenin ortalaması alınarak cilalanma değeri bulunur. Kayma direnci değeri 0,5'den küçük olmamalıdır (BS 812 114, 1989).

## 6.2.2 Asfalt Deneyleri

### 6.2.2.1 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.



Şekil 6.11 Bir Penetrometre Cihazı.

Deney yapılırken penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Numune istenen 25 °C sıcaklıkta olmalıdır. 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 (ASTM D5-97,2003).

### 6.2.2.2 Asfalt Çimentosu İçin 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 genişleme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır (ASTM D70-03,2003).

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 yüksekliğin 2/3'üne 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).

### **6.2.3 Kaplama Karışım Hesapları İçin Gerekli Bağlıntılar**

#### **6.2.3.1 Agregat Etkin Özgül Ağırlığının Tayini**

Agregat tarafından absorbe edilen asfalt hacmi, absorbe edilen suyun hacminden daha azdır. Bunun sonucu olarak agreganın etkin özgül ağırlık değeri, hacim ve zahiri özgül ağırlık değerleri arasında olmalıdır. Etkin özgül ağırlık bu limitlerin dışına düştüğünde değerin yanlış olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda ASTM D 2041'e göre yapılan teorik özgül ağırlık deneyi yeniden gözden geçirilmelidir. Bu deneyin yapılamadığı durumlarda, hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık değerlerinin ortalaması alınarak bulunan etkin özgül ağırlık değeri hesaplarda kullanılabilir.

Agreganın etkin özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$G_{ef} = \left( \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_T} - \frac{W_a}{G_b}} \right) \quad (6.17)$$

Burada:

$G_{ef}$ =Agrega Efektif özgül ağırlığı (asfalt absorbe eden boşluklar hariç tüm boşlukları içerir).

$W_a$ =Agreganın Yüzdesi Olarak Bitüm.

$D_T$ =Gevşek kaplama karışımın boşluksuz maksimum özgül ağırlığı.

$G_b$ =Bitüm Özgül Ağırlığı.

### 6.2.3.2 Bitüm Absorpsiyon Yüzdesinin Hesaplanması

Absorpsiyon karışımın toplam ağırlığının yüzdesinden ziyade Agreg ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Asfalt absorpsiyon yüzdesi ( $P_{ba}$ ) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$P_{ba} = 100 \left( \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{ef}} \right) \times G_b \quad (6.18)$$

Burada:

$P_{ba}$ : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak, absorbe edilen bitüm.

$G_{ef}$ : Agreganın efektif özgül ağırlığı.

$G_{sb}$ :Agreganın hacim özgül ağırlığı.

$G_b$ :Bitüm Özgül Ağırlığı.

### 6.2.3.3 Kaplama Karışımının Efektif Bitüm Yüzdesinin Hesaplanması

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının Agreg tarafından absorbe edilen bitüm miktarı kadar eksigidir. Bu, toplam bitüm miktarının Agreg dışını

kaplayan kısımdır ve kaplama karışımın performansına etki edecek bitüm miktarıdır.

$$P_{bc}=W_a-P_{ba} \quad (6.19)$$

Burada:

$P_{bc}$ : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı.

$W_a$ : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm.

$P_{ba}$ : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm.

#### 6.2.3.4 Farklı Bitüm Miktarlarında Hazırlanan Karışımın Maksimum Özgül Ağırlığının Tayini

Her bir bitüm yüzdesindeki hava boşluğu hesaplanırken, farklı bitüm yüzdesindeki maksimum özgül ağırlığa ihtiyaç duyulur. ASTM D 2041'e göre deney yapılırken en sağlıklı sonucu alabilmek için optimuma yakın bitüm yüzdesinde hazırlanmalı ve  $D_T$  için iki veya üç deney yapılmaya çalışılmalıdır.

Bitüm miktarının değişmesi bitüm absorpsiyonunu önemli ölçüde değiştirmez, bu sebeple maksimum özgül ağırlık,  $D_T$ , aşağıdaki bitüm yüzdesi ile her bitüm yüzdesi için ayrı ayrı hesaplanabilir.

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}}$$

Burada:

$D_T$ : Kaplama karışımın boşluksuz maksimum özgül ağırlığı.

$W_a$ : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm.

$G_{ef}$ : Agreganın efektif özgül ağırlığı.

$G_b$ : Bitüm özgül ağırlığı.

### 6.2.3.5 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımında Yüzde VMA Hesabı

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

VMA, agreganın hacim özgül ağırlığı esas alınarak hesaplanır ve sıkıştırılmış kaplama karışım hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Böylece VMA, sıkıştırılmış kaplama karışımın hacminden agreganın hacim özgül ağırlığı ile hesaplanan hacmin çıkarılmasıyla hesaplanır. Eğer karışım kompozisyonu agrega ağırlığının yüzdesi olarak bulunmuşsa,

$$VMA = \left( 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \right) \left( \frac{100}{100 + W_a} \right) 100 \quad (6.20)$$

Burada:

VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi.

$D_p$  : Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı.

$G_{sb}$  : Agreganın hacim özgül ağırlığı.

$W_a$  : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm.

### 6.2.3.6 Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesaplanması

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içerisindeki hava boşluğu ( $V_h$ ), bitümle kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir.

$$V_h = \left( \frac{D_T - D_p}{D_T} \right) 100 \quad (6.21)$$

Burada:

$V_h$  : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu.

$D_T$  : Kaplama karışımın maksimum özgül ağırlığı.

$D_p$  : Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı.

Asfaltla dolu boşluk ( $V_f$ ), sıkıştırılmış kaplama karışımın bitümlle dolan boşluklarını içerir.

$$V_f = \left( \frac{VMA - V_h}{VMA} \right) 100 \quad (6.22)$$

Burada:

$V_f$  : Asfaltla dolu boşluk.

VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi.

$V_h$  : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu.

#### 6.2.4 Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı

Bu metod ile dizayn kavramı, Birleşik Devletler, Mississippi Devlet Otoyolları Departmanında çalışan Bruce Marshall tarafından geliştirilip formüle edilmiştir. Birleşik Devletler Mühendislik Şirketinin ileri araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla, Marshall Deney Yöntemi geliştirilerek bugün kullanılan son halini almıştır. Daha sonra bu dizayn yöntemi, "American Society for Testing and Materials" tarafından, standartlaştırılmıştır. Bu yöntem penetrasyon veya viskozite derecesi belli asfalt çimentolarına ve maksimum boyutu 25 mm (1 inç) veya daha az olan agregalar kullanarak yalnızca sıcak karışım asfalt kaplamalara uygulanır (ASTM D 1559-89. 1992.). Ülkemiz karayolları karışım dizaynlarında da bu yöntem kullanılmaktadır.

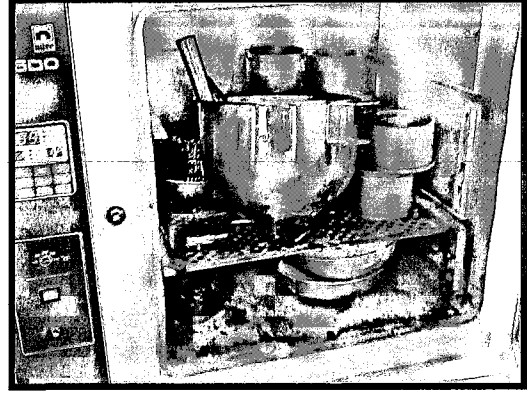
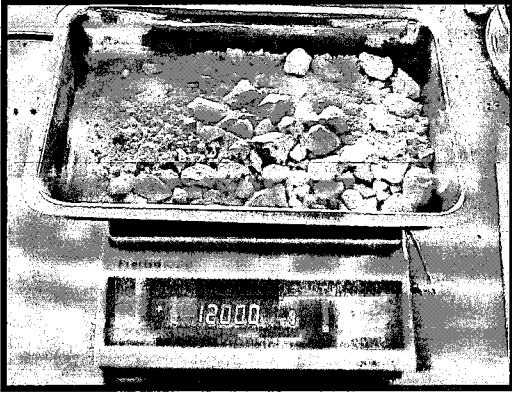
Marshall Metodu için işlem deney numunelerin hazırlanması ile başlar. Bütün bu işlemlerin başlangıcı için şunlar takip edilir :

- Kullanım için önerilen malzemeler proje şartnamelerini sağlamalıdır.

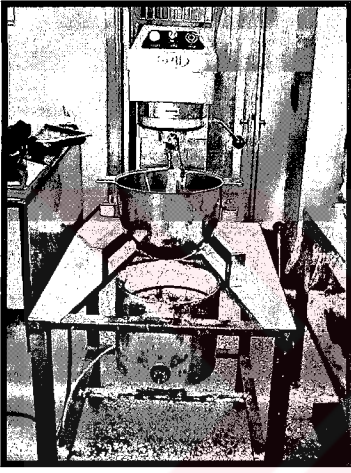
- Agregaların sınıflarının proje şartnamelerinin istekleri doğrultusunda oranlandırılması yapılır.
- Kullanılacak malzemelerin yoğunluk ve boşluk analizleri, karışımda kullanılacak agregaların hacim özgül ağırlıkları ve asfalt çimentosunun özgül ağırlıkları tespit edilir.

Marshall Metodunda standart, silindirik 64 mm yükseklik 102 mm çapında deney numuneleri kullanılır. Bu numuneler ısıtma-karıştırma ve sıkıştırma işlemlerinden oluşan özel bir prosedürle hazırlanır. Marshall Metodu ile karışım dizaynının en önemli özelliği, sıkıştırılmış deney numunelerinde yoğunluk-boşluk analizi ve stabilite-akma deneyleridir (The Asphalt Handbook, 1989).

Deney numuneleri hazırlanırken ilk olarak agregalar 105-110 °C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur. İstenen fraksiyonlarda elenip, kurutulan agregalardan, ayrı ayrı kaplarda 1200 gr'lık karışım tartımları yapılır. Her Agreganın ve bitüm kombinasyonlarından en az üç adet numune hazırlanır. Hazırlanan karışımlar ve bitüm etüve konularak sıcaklıklarının 3-4 saat süre boyunca 150-160 °C'ye gelmesi beklenilir. Sıkıştırma işlemine başlamadan yarım saat öncesinde numune kalıpları, tokmak başlığı, mikser karıştırma kabı ve ucu, spatula, metal numune küreği gibi metal aparatlar da etüv içerisine yerleştirilerek ısıtılır. Isıtma işleminden sonra agreganın ve asfalt çimentosu tamamıyla üniform bir asfalt dağılımına sahip karışımı meydana getirmek için mekanik karıştırıcı ile homojen bir dağılım elde edilene kadar 3-5 dakika karıştırılır. Şekil 6.13'de karıştırma işleminde kullanılan ısıtıcılı mekanik karıştırıcı görülmektedir.



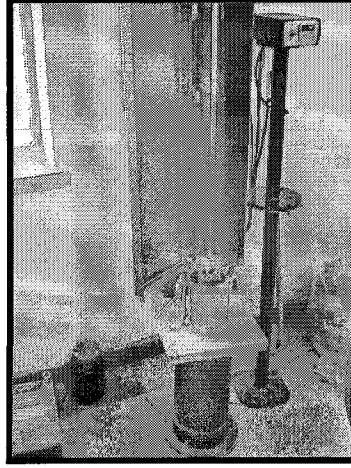
Şekil 6.12 1200 gr'lık Karışım Tartımı, Aparat ve Karışımların Isıtılması.



Şekil 6.13 Isıtcılı Mekanik Asfalt Karıştırıcısı ve Bir Karıştırma İşlemi.

Asfalt çimentosu ve sıvı petrol asfaltın  $170 \pm 20$  °C viskozite oluşacak şekilde ısıtılacağı sıcaklık, karıştırma sıcaklığıdır. Karışım kalıbın içine yerleştirilmeden önce kalıbın tabanına, ölçüsüne göre kesilmiş filtre kağıdı yerleştirilir. 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. Şekil 6.14'de numuneleri sıkıştırma işleminde kullanılan otomatik tokmak görülmektedir.





Şekil 6.14 Marshall Deney Numunelerini Hazırlamada Kullanılan Otomatik Tokmak.

Dizayn trafik yüküne bağlı olarak (hafif-orta-ağır), sıkıştırma uygulanacak numunelerin her iki yüzeyine 35-50 veya 75 darbe uygulanır. Çizelge 6.2’de trafik durumuna göre eşdeğer dingil yükleri görülmektedir. Sıkıştırmadan sonra numuneler oda sıcaklığında hareket esnasında deformasyon yapamayacak duruma gelene kadar soğumaya bırakılır. Şayet hızlı soğuma istenirse fan kullanılabilir (O’Flaherty 2002).

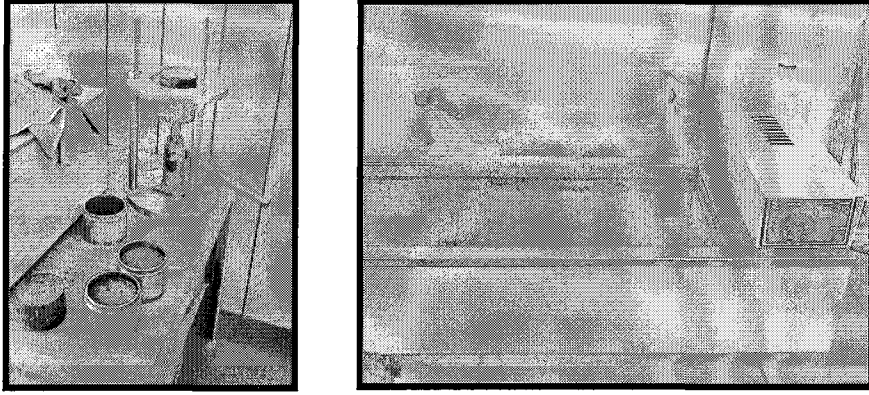
Çizelge 6.2 Trafik Durumuna Göre Eşdeğer Dingil Yükleri.

Trafik Durumu	Eşdeğer Dingil Yüğü (EAL)
Hafif	$<10^4$
Orta	$10^4 \sim 10^6$
Ağır	$>10^6$

#### 6.2.4.1 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

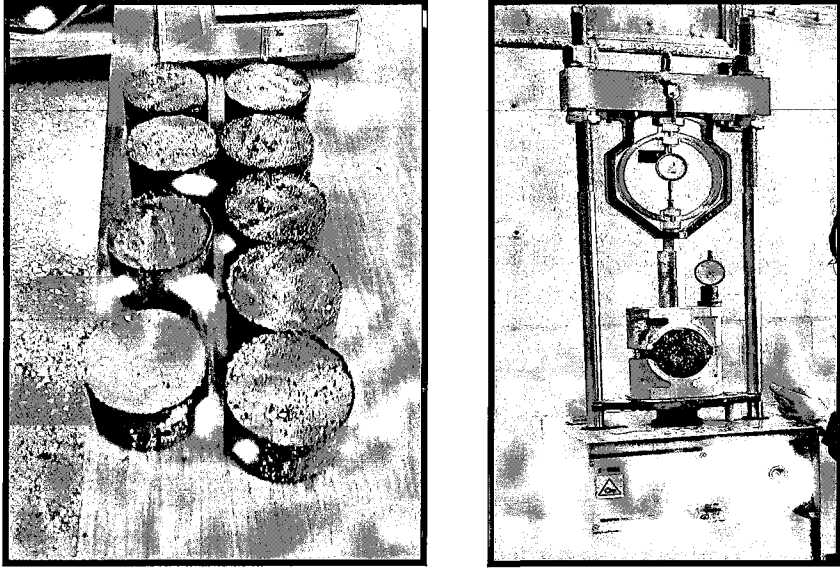
Oda sıcaklığına kadar soğumuş olan briket numune kalıptan bir numune çıkarma krikosu yardımı ile çıkarılarak, 24 saat laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Bir kumpas yardımıyla üç ayrı yerden yükseklikleri ölçülen numunelerin havada, 25 °C suda ve yüzey kuru suya doygun durumdaki tartımları yapılır.

Stabilite ve akma deneylerine geçmeden önce numuneler  $60 \pm 1$  °C 'lık su banyosunda 30 ila 40 dakika bekletilir.Şekil 6.15'de numune çıkarmaya yarayan hidrolik numune çıkarıcı ve su banyosunda deney için beklemeye alınmış numuneler görülmektedir.



Şekil 6.15. Hidrolik Numune Çıkarıcı ve Su Banyosu.

Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Akma ölçer yerleştirilerek sıfırlanır. Deneyde; üst segman sabittir. Maksimum yüke erişinceye kadar, alt segmanın hareket etmesiyle dakikada 50,8 mm lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Numune kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilir ve Marshall Stabilite değeri kaydedilir. “Marshall Stabilitesi” adı verilen bu değer numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Ayrıca numunenin çökme yada hareket miktarı olan akma değeri ölçülür. Bu esnada deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 saniyeden fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63.5 mm'den (2 1/2 inç) farklıysa Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agregaya boşluğu yüzdesi de saptanır (ASTM D 1559-89. 1992; Umar ve Ağar 1992; Önal ve Karaca 1984) Şekil 6.16'da denede kullanılan numuneler ve Marshall deney cihazı görülmektedir.



Şekil 6.16 Deney Numuneleri ve Bir Marshall Deney Cihazı.

#### 6.2.4.2 Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin hesaplamak için farklı bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait pratik özgül ağırlık, stabilite, akma, boşluk, bitüm ile dolu boşluk, mineral agregalar içindeki boşluk grafikleri çizilir. Daha sonra yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, asfaltla dolu boşluğu % 65-78 arasına karşılık gelen, boşluk oranı % 3-5 arasına karşılık gelen bitüm yüzdeleri grafiklerden okunarak bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak optimum bitüm yüzdeleri tayin edilir. Bu şekilde belirlenen bitüm oranına göre üretilen sıcak asfalt karışımı, şartnamelerde belirtilen özellikleri taşıyacaktır. Daha sonra kontrol için optimum bitüm miktarlarının şartnamelerde belirtilen akma ve % VMA'ları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Çizelge 3.6'da Marshall Metodu ile binder tabakası dizayn kriterleri görülmektedir.

Çizelge 6.3. Marshall Metodu ile Binder Tabakası Dizayn Kriterleri (Atkins 1997)

Marshall Metodu ile Dizayn Kriterleri	Hafif Trafik		Orta Trafik		Ağır Trafik	
	Yüzey&Temel		Yüzey&Temel		Yüzey&Temel	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Darbe Sayısı	35		50		75	
Stabilite (kg)	340	-	600	-	750	-
Akma, 0,25 mm, (0,01inç)	8	18	8	16	8	14
Hava Boşluğu %	4	6	4	6	4	6
Asfaltla Dolu Boşluk % (VFA)	70	80	65	78	65	75
Mineral Agregada İçerisindeki Boşluk	12	-	13	-	14	-

Agregalar arası boşluk değerleri (VMA) çizelge 6.4'de belirtilen değerlerden fazla olmamalıdır.

Çizelge 6.4. Minimum VMA Değerleri (Tunç 2001).

Nominal $D_{max}$	Min VMA %
2"	11,5
1 ½ "	12,0
1 "	13,0
¾ "	14,0
½ "	15,0
⅜ "	16,0

#### 6.2.4.2 Dolaylı Çekme (Plastik Deformasyon) Deneyi

Trafiğe maruz her üst yapıda, taşıtların 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 üst yapının her tabakasındaki düşey deformasyonların bileşenidir. Yorulma çatlakları kaplamanın servis ömrünü ve kalitesini etkileyen ana faktörlerden birisidir. Normal şartlar altında asfalt beton tabakası, trafik yükü geçtikten sonra, deformasyon yapmadan orijinal haline dönmeye meyillidir. Bununla birlikte döngüsel trafik yüküne maruz kalan asfalt betonunda, taşıtlar tarafından uygulanan çekme gerilmesi kaplamanın dayanabileceği sınırdan oldukça küçük olmasına rağmen, zamanla asfalt beton tabakası yorulma olayına maruz kalır. Çatlak genellikle asfalt beton katmanının altında başlar ve yüzeye ulaştığında çoğalır. Yüzeyde meydana gelen çatlak, üst yapıdaki suyun temel ve alt temel tabakalarına nüfus etmesini sağlar. Sonuç olarak çatlak, kaplamanın servis kalitesini azaltarak sürüş güvenliğinde ciddi şekilde tehlike yaratabilir. Bu yüzden asfalt beton karışımının yorulma ömrü ve tekrarlı trafik yükü altındaki çatlak sürecinin özelliklerini anlamak önemli bir zorunluluk olmaktadır. (Tığdemir, 2001).

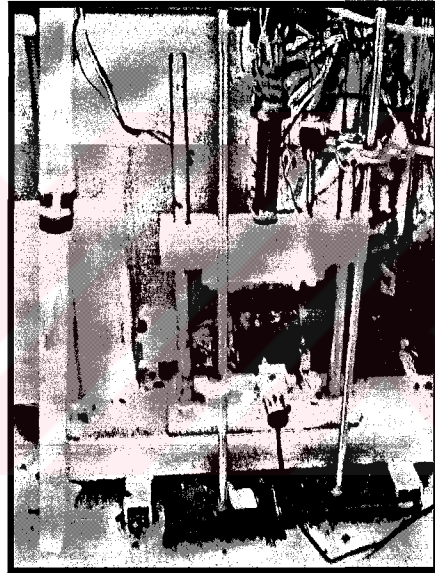


Şekil 6.17 Dolaylı Çekme Deney Cihazı.

Plastik deformasyon deneylerinde Marshall briketleri kullanılır. Silindirik şeklindeki 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'dir. Yani teorik olarak 2 saniyede bir araç geçmektedir. Böylece bir günde sabit aralıklarla 43200 araç geçmiş gibi düşünülmektedir.

Marshall deney prosedürlerine göre hazırlanan numuneler deneye tabi tutulmadan

önce deney sıcaklığındaki su banyosunda 12 saat 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)



Şekil 6.18 Dolaylı Çekme Cihazı Kabini İçerisindeki Numune ve Transdüşerler.

Bu deneyde transdüşerler düşey deformasyonu ölçmektedir. Bilgisayar otomatik olarak transdüşerlerin ilk konumunu algılar. Plastik deformasyon testlerindeki yük tekrarı, numunelerin yorulma ömrüne göre, 1000 ila 3000 arasında değişmiştir. Uygulanan gerilme 98 kPa' dır. İstenen yükleme sonucunda deney bitirilmektedir. Deney kabin sıcaklığı 30 °C 'dir .

## 7. BULGULAR

### 7.1 Mineraloji

Çalışmada kullanılan malzemelerin mineralojik bileşimi, petrografik incelemesi ile yüzey morfolojisinin belirlenmesi için polarizan mikroskop ve taramalı elektron mikroskop (SEM)'ta mikroskobik incelemeleri yapılmıştır. Polarizan mikroskop incelemeleri A.K.Ü. Teknoloji Araştırma Geliştirme ve Eğitim Merkezi (TAGEM)'ndeki euromex marka polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiştir. SEM incelemeleri için, A.K.Ü. Teknoloji Araştırma Geliştirme ve Eğitim Merkezi'nde 250-300 Å'da ince altın filmle kaplanan örneklerin LEO VP-1431 model elektron mikroskobunda tanımlamaları yapılmıştır.

#### 7.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

##### 7.1.1.1 A Numunesi

Kayaç kataklastik doku göstermektedir ve tane boyutu farklı kalsit kristallerinden meydana gelmektedir. Kalsit kristalleri mükemmel dilinimlenme göstermekte olup yönlü basınçlar nedeniyle kristaller dilinim düzlemleri boyunca ufalanmıştır. Tane sınırları boyunca nüfuz eden demirli eriyikler nedeniyle kayaçta hematit ve limonit mineralleri gözlenmiştir. 5-20µm arasında değişen tane boyutuna sahip küçük kalsit kristalleri arasında tane boyutu 30-60 µm arasında değişen yer yer iri kalsit kristaller bulunmaktadır. Ayrıca kayaçta yönlü basınçların etkisiyle oluşan polisentetik ikizler izlenmektedir.

**Kalsit Kristallerinin Ortalama Boyutu:** 22 µm (Toplam 200 okuma).

##### 7.1.1.2 B Numunesi

Kayaç, plajyoklas ve piroksen mikrolitleri ve camdan oluşan bir matriks içerisinde piroksen, plajyoklas ve biyotit fenokristalleri ile az oranda manyetit minerallerinden meydana gelmiştir. Matrikste akma dokusu da yaygındır. Bazı bölgelerde piroksenlerde kümeleşme gözlenmektedir. Biyotitler kahverengimsi

pleokroizmasıyla karakteristik olup, dilinim düzlemleri ve kenarları boyunca alterasyona uğramışlardır. Birimde yaygın bir şekilde gözeneklilik belirlenmiş olup söz konusu gözeneklerin boyutu 7-75 µm arasında değişmektedir. Andezitik bileşimli olan kayacın rengini biyotitlerdeki alterasyonun şiddeti ve mikrolit boyutundaki piroksen minerallerinin miktarı önemli bir şekilde etkilemektedir.

#### **7.1.1.3 C Numunesi**

Kayacın ana bileşeni kalsit olup kalsit kristalleri düzensiz sınırlar boyunca kenetlenmiştir. Değişik yönlerde gelişmiş ve kayaç içerisinde sürekli olarak izlenemeyen mikro çatlaklar ve boşluklar boyunca sekonder kalsit kristalleri gelişmiştir. Kalsit kristallerinde mükemmel dilinimlenme gözlenmektedir. Ortalama boyutu 10 µm olan erime boşlukları limonitleşme ve hematitleşme sonucu sarı-kırmızımsı bir renk kazanmıştır. Kayacın % 95'ini oluşturan primer kalsit kristallerinin boyutu 25-90 µm arasında değişmektedir. Çatlak ve boşluk dolgusu olarak gözlenen sekonder kalsit kristalleri ise 2-10 µm arasında değişim sunmaktadır.

**Primer Kalsit Kristallerinin Ortalama Boyutu: 54 µm (Toplam 150 okuma).**

#### **7.1.1.4 D Numunesi**

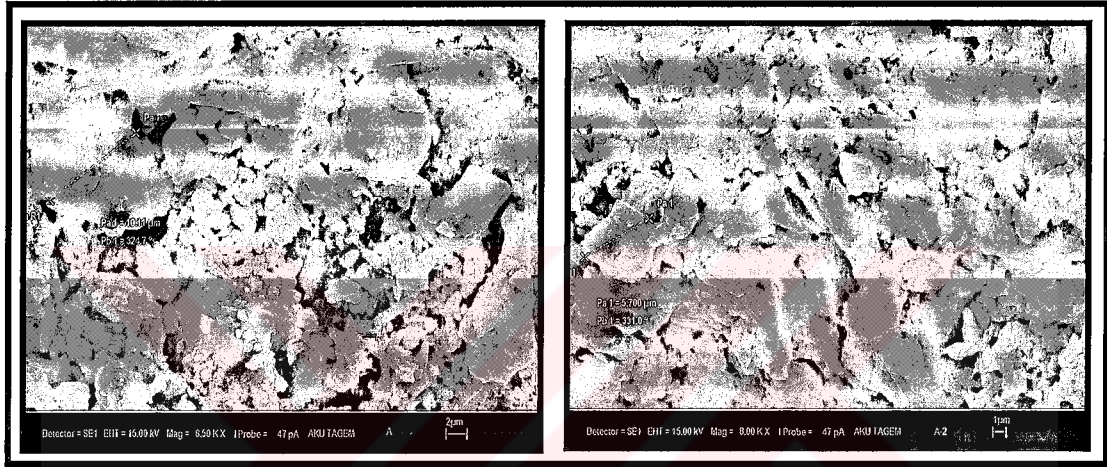
Kayaç mükemmel dilinimli mikrokristalen kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Granoblastik (Grift) doku sunan kayaçta kalsit kristalleri düzensiz sınırlar boyunca kenetlenmiştir. Değişik yönlerde gelişmiş ve birbirini kesen çatlakların kayaç içerisindeki sürekliliği bir hayli fazladır. Kalsit kristallerinin tane boyutu birbirine yakın olup 5-30 µm arasında değişmektedir. Kalsit kristallerinde polisentetik ikizlenme gözlenmektedir. Değişik yönlerde gelişen çatlaklar yer yer sekonder kalsit mineraliyle dolmuştur.

**Kalsit Kristallerinin Ortalama Boyutu: 13 µm (Toplam 200 okuma).**



## 7.1.2 Taramalı Elektron Mikroskop İncelemeleri

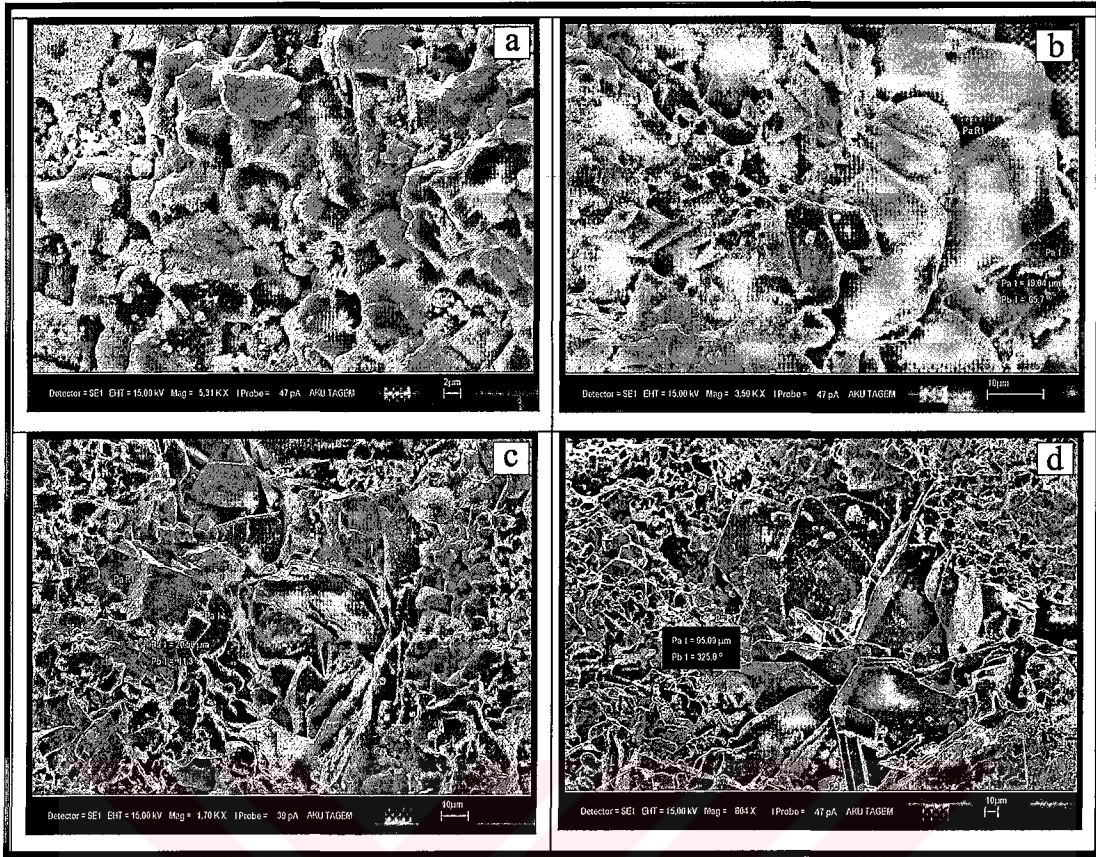
Deneyleerde kullanılan malzemelerin mineralojik bileşimlerini ve morfolojik özelliklerini belirlemek için taramalı elektron mikroskopta incelemeleri yapılmıştır. Yapılan incelemelerde A, C ve D örneklerinin poligonal kalsit kristallerinden meydana geldiği tespit edilmiştir. A numunesinde 5-15 µm boyutundaki mikro kalsit kristalleri arasında daha büyük boyutlu kalsit kristalleri gözlenmektedir. Kayaçta dilinim düzlemleri boyunca ufalanmalar ve polisentetik ikizlenmeler belirgindir (Şekil 6.3).



Şekil 7.1 A numunesinde poligonal kalsit kristalleri.

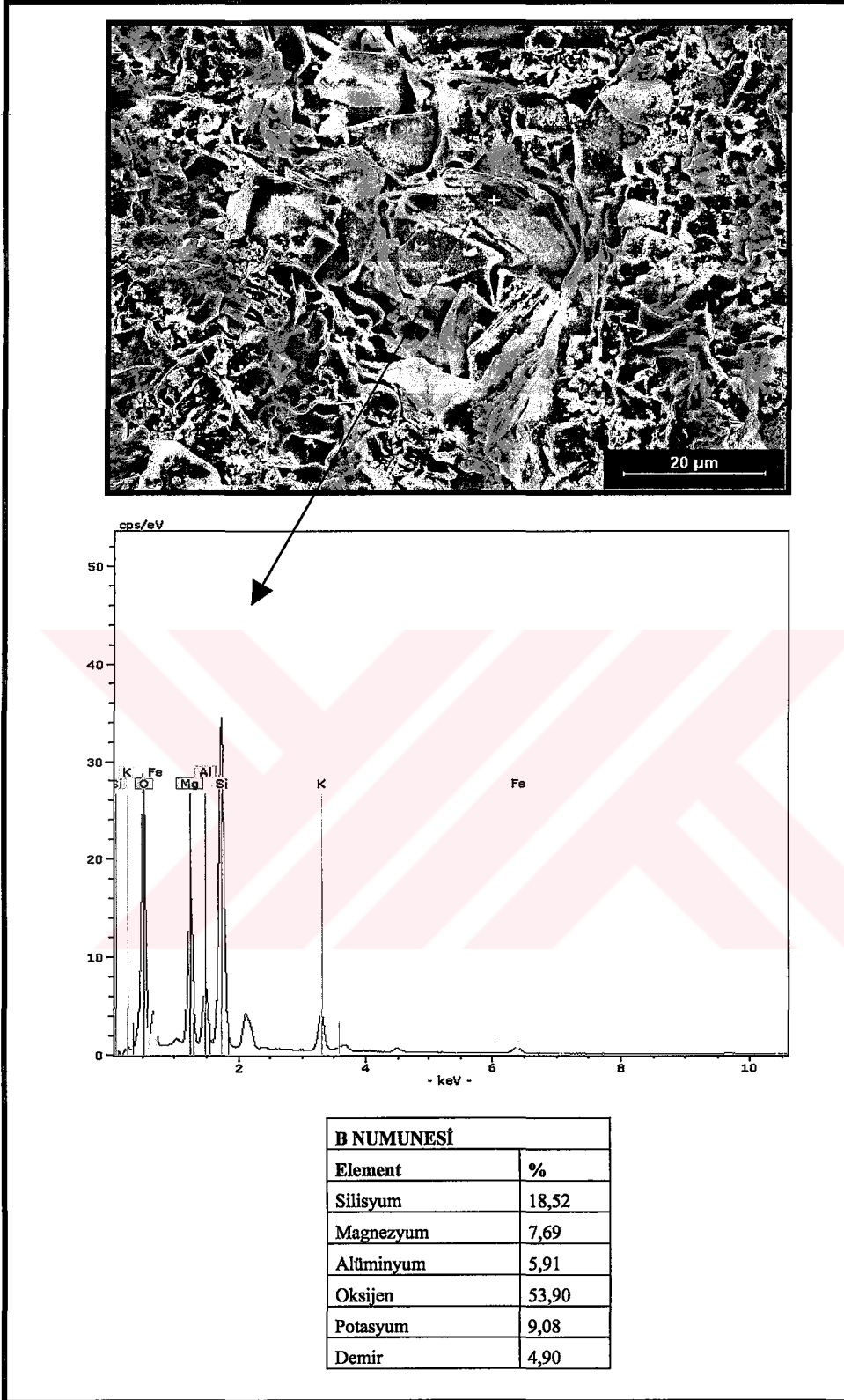
B numunesinde büyük oranda volkanik camdan (Şekil 6.4a) oluşan hamur içerisinde monoklinik feldspat (Şekil 6.4b; Şekil 6.4c) ve yapraksı şekilli biyotit kristalleri (Şekil 6.4d) tespit edilmiştir. EDX grafiklerinde gözlenen Si, O, Al, Mg, K ve Fe pikleri SEM’de tespit edilen bu minerallerin varlığını desteklemektedir (Şekil 7.2 B).

C numunesi genelde kalsit kristalleri düzensiz sınırlar boyunca yığılmışlardır. İri kristallerden oluşan primer kalsit kristalleri içerisindeki çatlaklar tane boyutu 3-15 µm arasında değişen sekonder kalsit kristalleriyle dolmuştur (Şekil 6.7; Şekil 6.8).

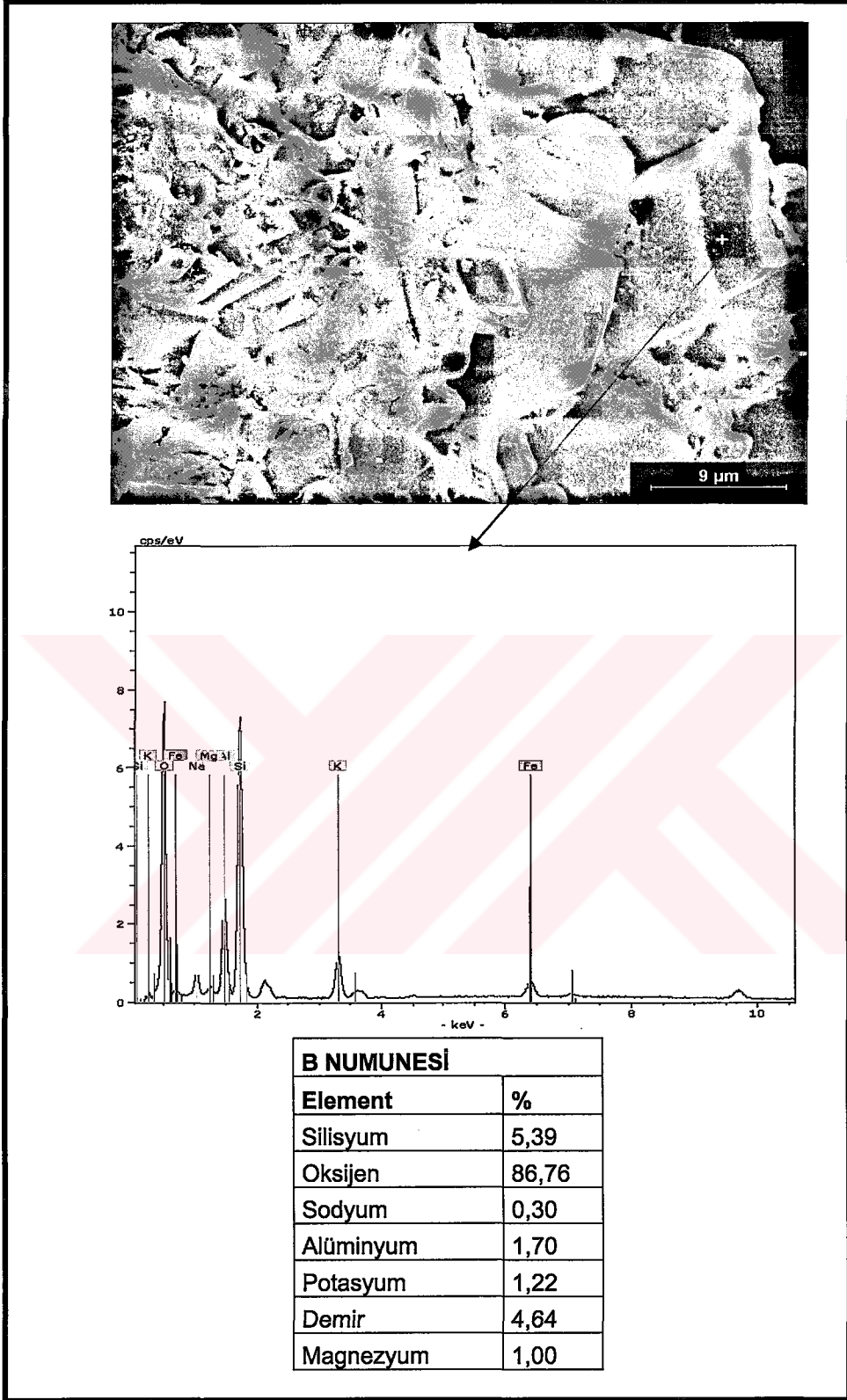


Şekil 7.2 B numunesinin SEM görüntüleri; (a) volkanik cam, (b) ve (c) volkanik cam içinde monoklinik feldspat kristalleri ve (d) volkanik cam içinde yapraksı biyotit kristalleri .

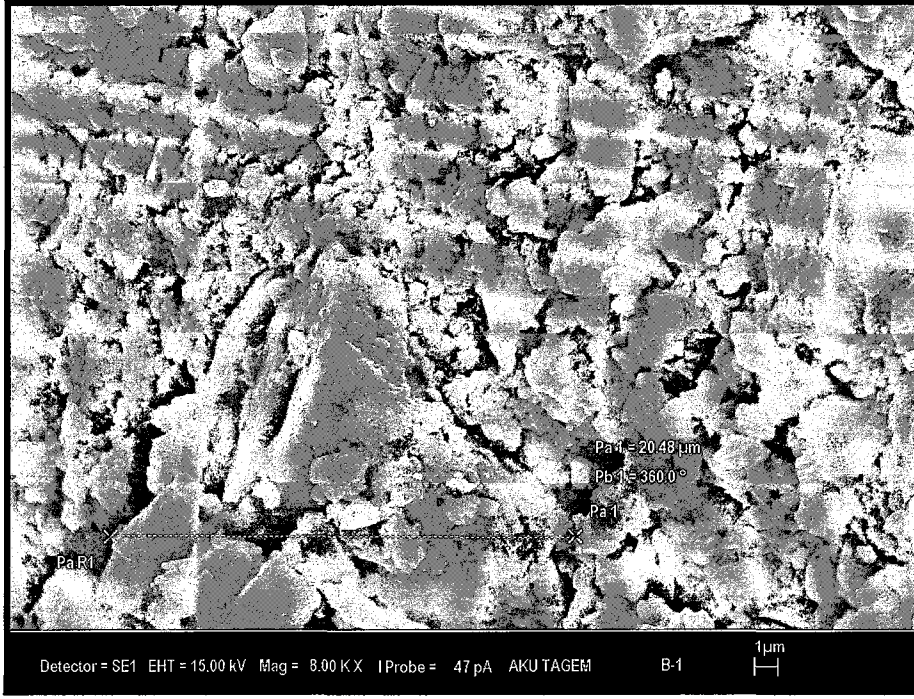
D numunesi mikrokristalen kalsit kristallerinden meydana gelmiştir (Şekil 6.9; Şekil 6.10). Kalsit kristallerinin tane boyutu 1-2  $\mu\text{m}$ 'den 5-10  $\mu\text{m}$ 'ye kadar değişmektedir. A, B ve D numunesinin hakim mineralinin kalsit olduğu EDX grafiğindeki yüksek Ca ve O miktarından da anlaşılmaktadır (Şekil 6.11; Şekil 6.12). Ayrıca A ve D numuneleriyle karşılaştırıldığında B numunesindeki yüksek Mg kayacın bileşimindeki dolomitten kaynaklanmaktadır (Şekil 6.13).



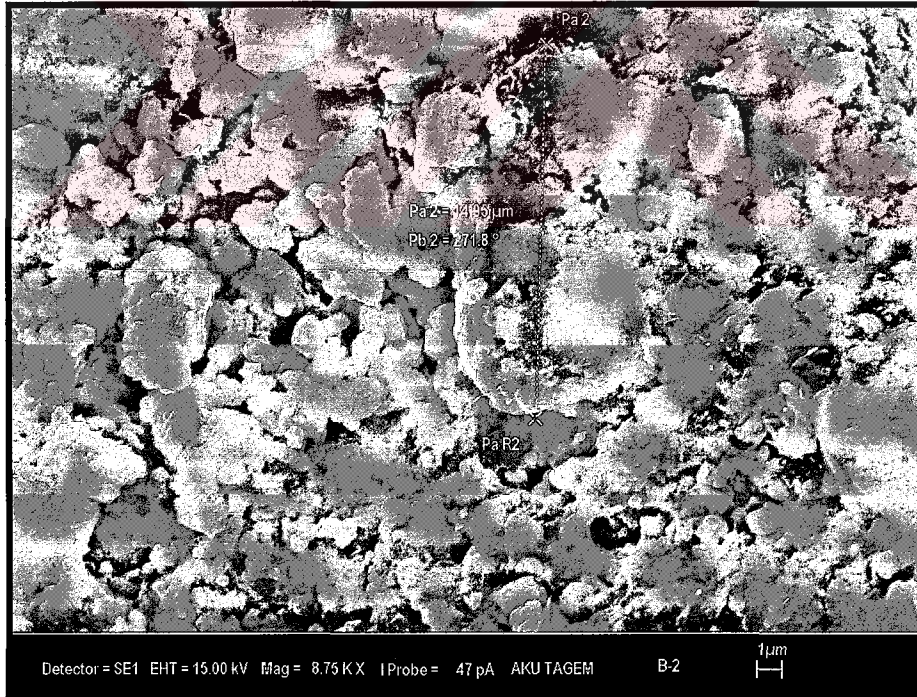
Şekil 7.3 B numunesinde feldspat kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu.



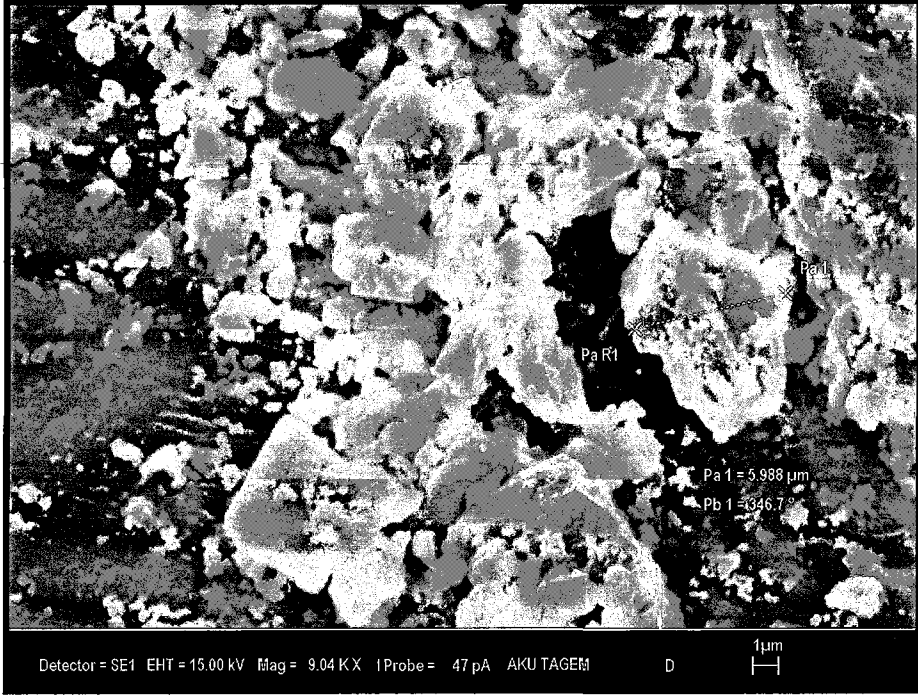
Şekil 7.4 B numunesinde biyotit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu.



Şekil 7.5 Mikrokrystalin kalsit mineralleri içerisinde iri kalsit kristalleri.



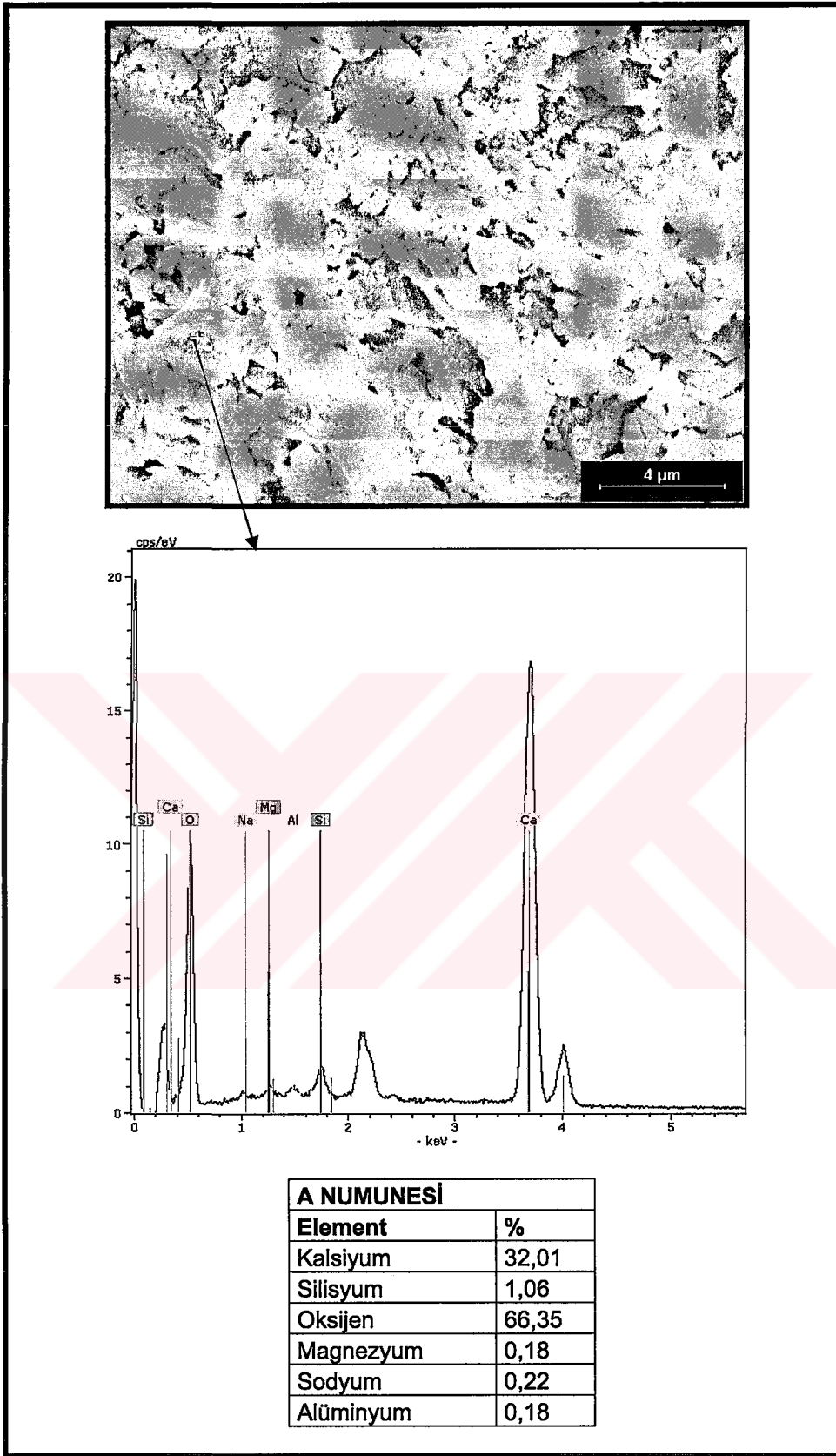
Şekil 7.6 Düzensiz sınırlı kalsit kristalleri.



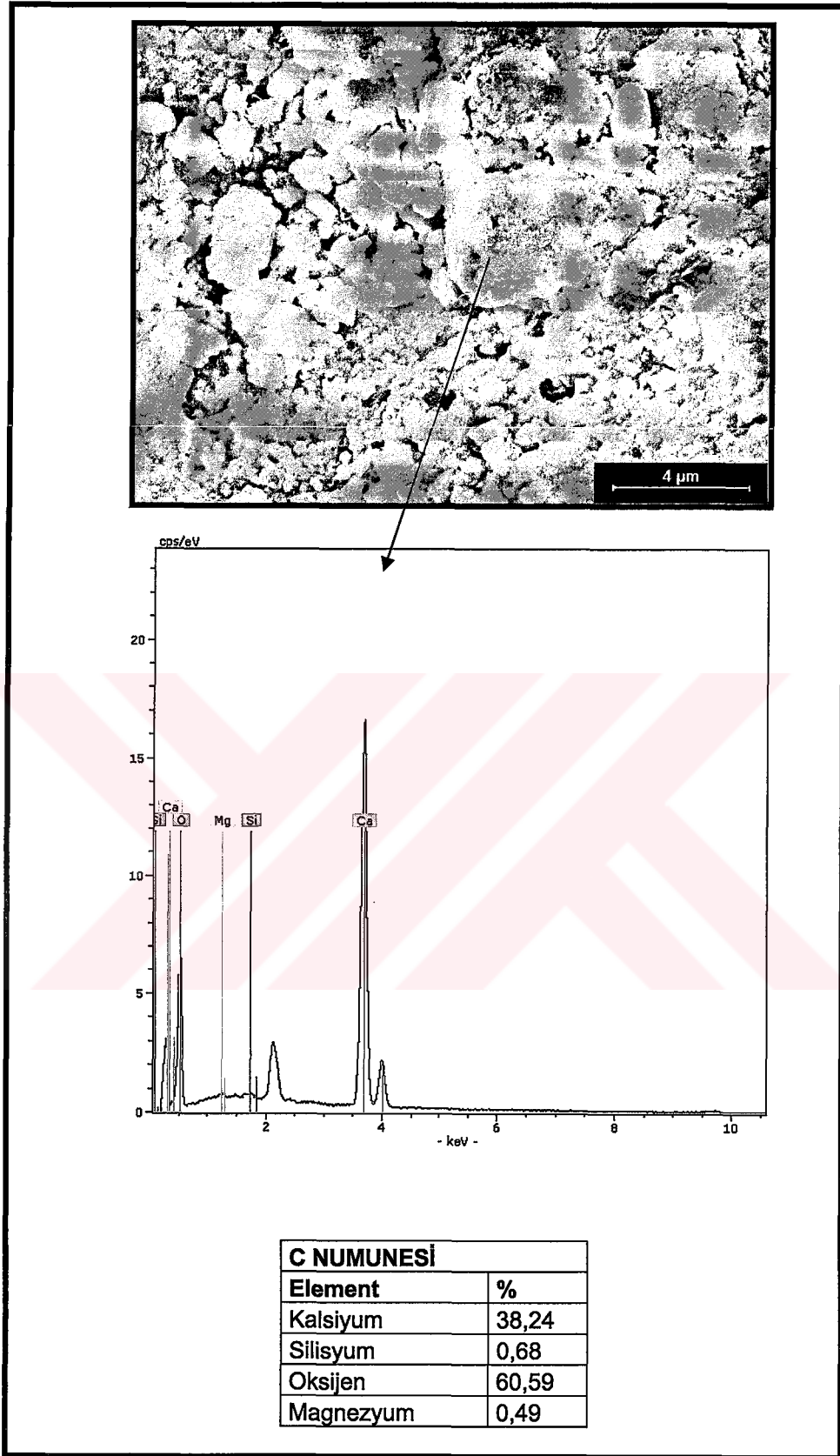
Şekil 7.7 Mikrokrystalin kalsit kristalleri.



Şekil 7.8 Mikrokrystalin kalsit kristalleri.

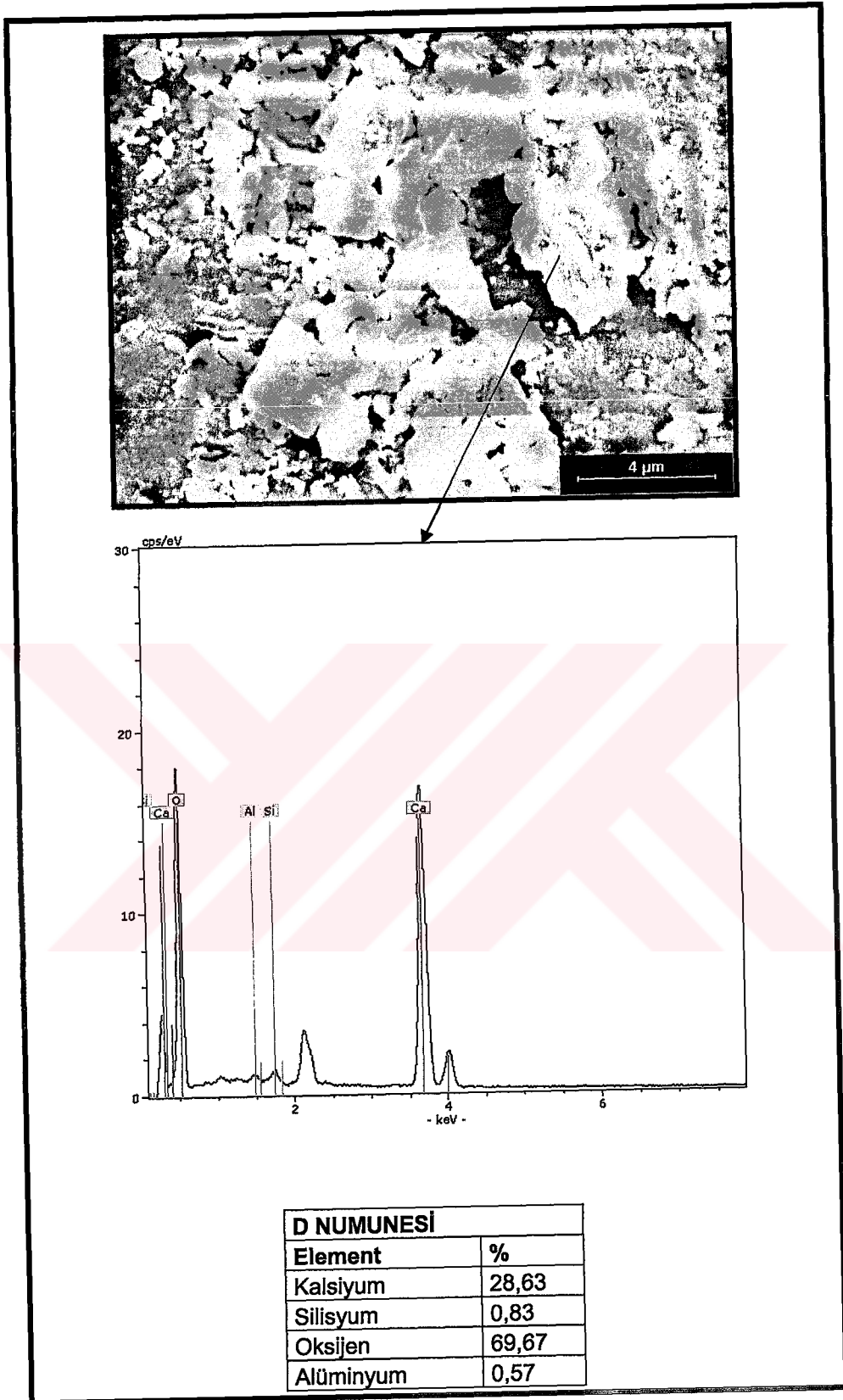


Şekil 7.9 A numunesinde kalsit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu.



Şekil 7.10 C numunesinde kalsit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu.





Şekil 7.11 D numunesinde kalsit kristalinin EDX grafiği ve EDX analiz sonucu.

## 7.2 Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleriyle İlgili Deney Sonuçları

### 7.2.1 Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonuçları

Çalışmada kullanılan dört farklı agrega numunesine ait özgül ağırlık ve su emme deneyi sonuçları aşağıdaki tabloda verildiği gibidir. Deneyler ASTM C 127-88.'e göre yapılmıştır. B numunesinin normal şartların üstünde bir su emme göstermiştir.

Çizelge 7.1 Hacim Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdeleri.

Numune	Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )			Ort.	Su Emme Yüzdesi(%)			Ort
A (No:4 üstü)	2,698	2,695	2,692	2,695	0,1	0,1	0,2	0,13
A (No:4-No 200 arası)	2,677	2,680	2,696	2,684	0,6	0,6	0,4	0,53
B (No:4 üstü)	2,122	2,124	2,128	2,125	5,5	5,5	5,3	5,4
B (No:4-No 200 arası)	2,105	2,112	2,099	2,105	6,0	6,0	6,1	6,03
C (No:4 üstü)	2,681	2,667	2,674	2,674	0,2	0,3	0,3	0,27
C (No:4-No:200 arası)	2,611	2,617	2,608	2,612	1,0	1,0	1,1	1,03
D (No: 4 üstü)	2,674	2,669	2,688	2,677	0,3	0,2	0,1	0,2
D (No:4-No:200 arası)	2,653	2,652	2,659	2,655	0,7	0,8	0,6	0,7

### 7.2.2 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları

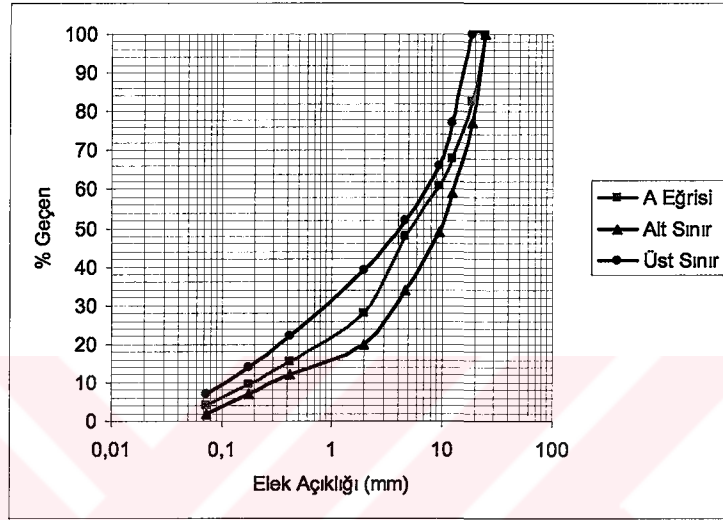
Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deneyi sonuçları aşağıda çizelge 7.2.'de görülmektedir. Su emme yüzdesi diğerlerine göre yüksek olan B numunesinin birim hacim ağırlığı diğerlerine göre oldukça düşüktür.

Çizelge 7.2 Gevşek ve Sıkışık BHA Deneyi Sonuçları.

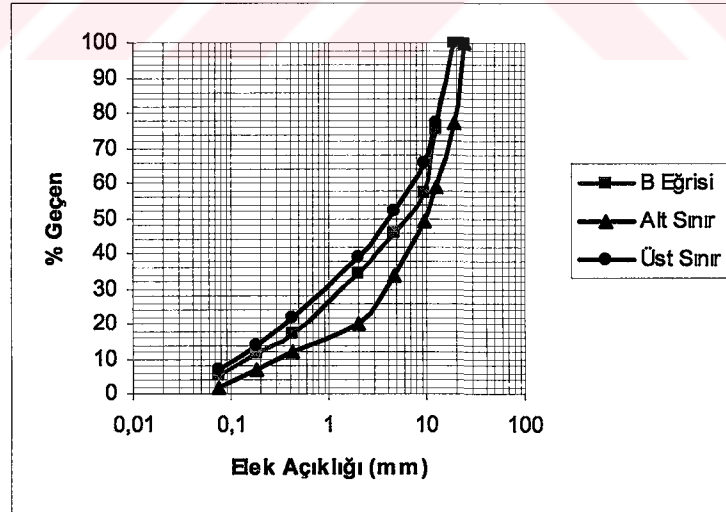
Sık. BHA (gr/cm <sup>3</sup> )		Gev. BHA (gr/cm <sup>3</sup> )		Sık. BHA (gr/cm <sup>3</sup> )		Gev. BHA (gr/cm <sup>3</sup> )	
A (15-30)	1,493	1,385		C (15-25)	1,503	1,353	
A (7-15)	1,579	1,419		C (6-15)	1,547	1,395	
A (0-4)	1,640	1,518		C (0-6)	1,611	1,447	
B (12-19)	1,187	1,072		D (12-19)	1,504	1,366	
B(6-12)	1,245	1,133		D (6-11)	1,533	1,403	
B(0-6)	1,417	1,272		D (0-6)	1,791	1,625	

### 7.2.3 Karışımlarda Kullanılacak Agrega Gradasyonu

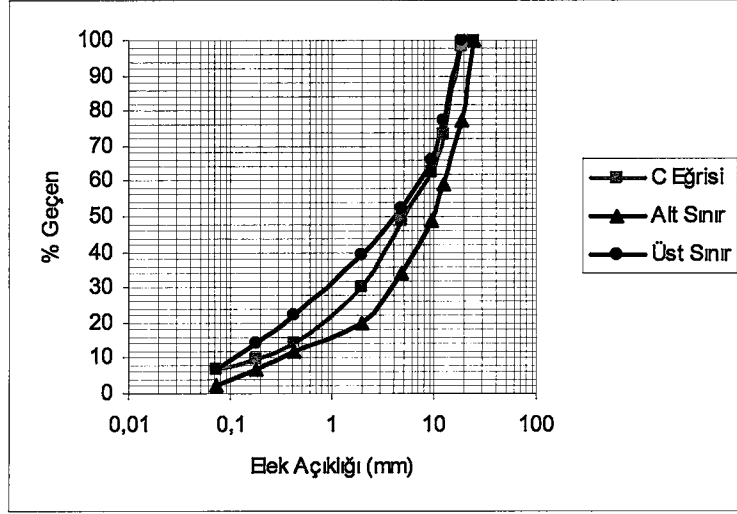
Çalışmada kullanılan agrega numunelerinin elek analizleri ASTM C 136-84 a'ya göre yapılmıştır ve C tipi binder dizaynına göre eğrileri şekil 7.12-13-14 ve 15'de verilmiştir. Yapılan elek analizleri sonucu bütün numunelerin C tipi binder gradasyon sınır eğrileri arasında kaldığı görülmektedir.



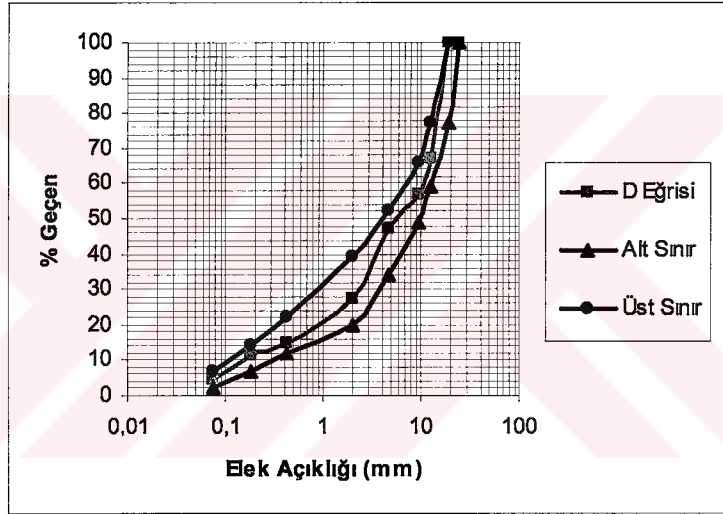
Şekil 7.12 A Numunesine Ait Granülometri Eğrisi.



Şekil 7.13 B Numunesine Ait Granülometri Eğrisi.



Şekil 7.14 C Numunesine Ait Granülometri Eğrisi.



Şekil 7.15 D Numunesine Ait Granülometri Eğrisi.

#### 7.2.4 Çamurlu Madde Miktarı Tayini Sonuçları

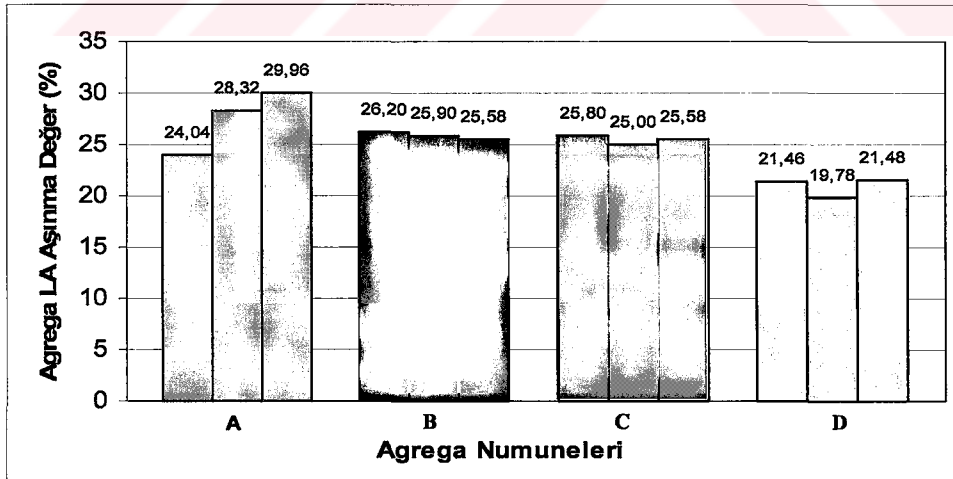
Agregaların hacimce çamurlu madde oranları aşağıda çizelge 7.3.'de verilmiştir. Bu deney TS 3547'ye göre yapılmıştır. Deney sonucunda en fazla çamurlu madde C numunesinde görülmüştür.

Çizelge 7.3 Agregaların Hacimce Çamurlu Madde Oranları.

Numune	Hacimce Çamurlu Madde Oranı (%)
A	4,48
B	11,73
C	18,09
D	5,19

### 7.2.5 Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları

Kaplamalarda kullanılacak agregaların kompaksiyon ve trafik yükleri altında kırılma ve aşınmaya karşı direncini tespit etmek amacıyla EN 1097'ye göre yapılan Los Angeles aşınma deneyi sonuçları, karşılaştırmalı olarak şekil 7.16.'da görülmektedir. Deney dört grup agrega numunesi için (A,B,C,D) üçer kez yapılmıştır. Ortalama Los Angeles aşınma kayıpları sırasıyla % 27,44, % 25,89, % 25,60, % 20,91 olarak bulunmuştur. Buna göre en fazla aşınma kaybını mermer artıklarından üretilen A numunesi göstermekle beraber, aşınma kaybı % 35 olan kritik değerinin altındadır.

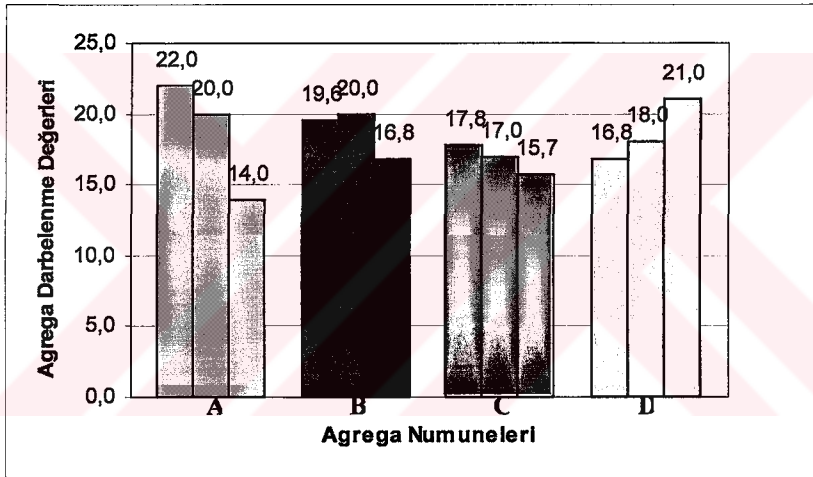


Şekil 7.16 Los Angeles Aşınma Dayanımı Sonuçları.

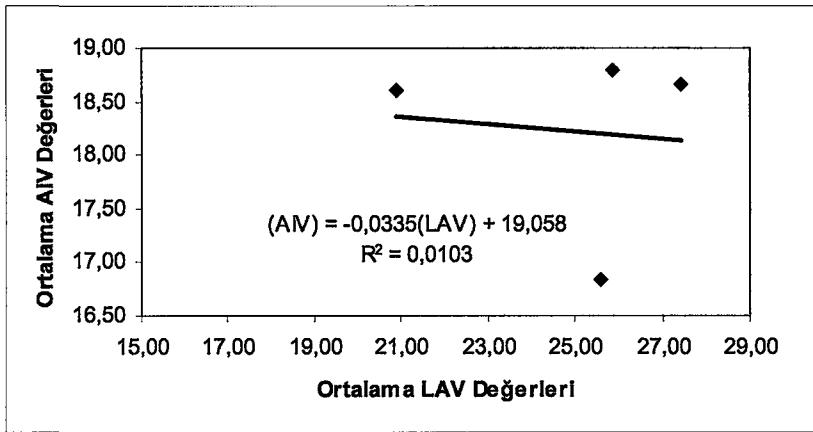
## 7.2.6 Agregada Darbelenme Deneyi Sonuçları

Agregaların kırılmalarına ve parçalanmalarına karşı fiziksel dayanımını belirlemede kullanılan önemli deneylerden bir diğeri de agregada darbelenme deneyidir. Dört adet numunede (A, B, C, D) yapılan üç adet deney sonucuna göre ortalama agregada darbelenme kayıpları sırasıyla % 18,66, % 18,80 % 16,83 ve % 18,60 olarak bulunmuştur. Şekil 7.17.'de Agregada Darbelenme değerleri karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre en fazla darbelenme kaybı andezit artıklarından üretilen B agregasında görülmekle birlikte mermerden üretilen A numunesi ve şahit D numunesi arasında bariz bir fark görülmemiştir. Bununla birlikte C kalker numunesi diğ er üç numuneye nazaran daha az darbelenme kaybı göstermiştir.



Şekil 7.17 Agregada Darbelenme Değerleri.



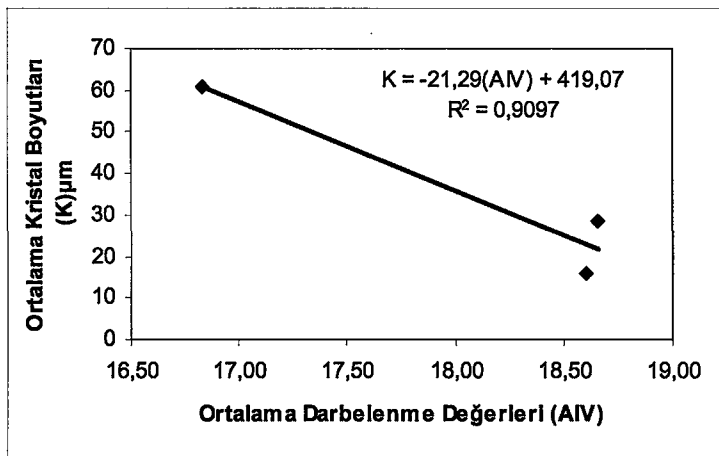
Şekil 7.18 Agregada Darbelenme ve Los Angeles Kaybı İlişkisi.

Agrega numunelerinin aşınma dayanımlarını tespit etmek için yapılan agrega darbelenme değerleri (AIV) ile Los Angeles Aşınma Değerlerinin (LAV) korelasyon grafiği şekil 7.18.'de görülmektedir. Elde edilen değerlere göre AIV ve LAV arasındaki ilişki en iyi aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir :

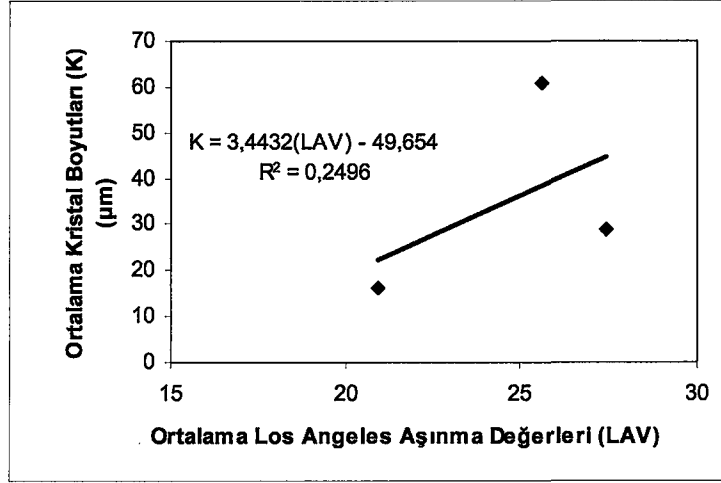
$$(AIV) = -0,0335(LAV) + 19,358 \quad (7.1)$$

LAV değeri için maksimum sınır 35 olduğu bilindiğine göre bu değer için AIV değeri yaklaşık 18,18 olarak tahmin edilir. Aynı kontrol tersten yapılacak olursa AIV için kritik değer olan 18'e karşılık LAV değeri 40,53 olarak elde edilir. Elde edilen korelasyon sonuçlarına göre AIV ve LAV arasında ters orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir. Fakat serpilme verileriyle ilişkili olan korelasyon katsayısı  $R^2=0,0103$ 'dür. Bu değer deney sonuçlarından bulunan denklemden AIV ve LAV değerlerinin sağlıklı olarak tahmin edilemeyeceğini göstermektedir.

Kristal boyutları ile kayaların fiziksel özellikleri arasında ters orantılı bir ilişki olduğu yapılan literatür taramasından bilinmektedir (Raisanen, 2004; Tuğrul ve Zarif, 1998; Merriam at al, 1970; Andriani and Walsh; 2002). Kireçtaşı kökenli numunelerin (A, C, D) ortalama kristal boyutları ile agrega darbelenme ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri ortalamalarının ilişkilendirilmesiyle şekil 7.19. ve 7.20.'de görülen serpilme diyagramları elde edilmiştir.



Şekil 7.19 Kristal Boyutu ve Ortalama AIV Arasındaki İlişki.



Şekil 7.20 Kristal Boyutu ve Ortalama LAV Arasındaki İlişki.

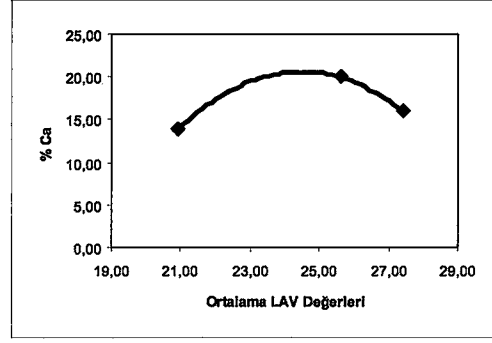
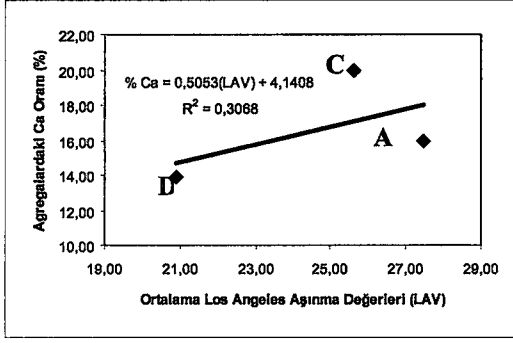
Deneylerin sonuçlarından elde edilen değerlere göre kristal boyutları AIV ve LAV arasındaki ilişkiler sırasıyla aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir :

$$K = -21,29(AIV) + 419,07 \quad (7.2.)$$

$$K = 3,4432(LAV) - 49,654 \quad (7.3.)$$

Elde edilen denklemlere göre kristal boyutları arttıkça Los Angeles aşınma kaybı artarken, darbelenme kaybı azalmaktadır. Bu sonuçlara göre AIV ile kristal boyutu arasında ters orantı görülürken, LAV ile kristal boyutu arasında doğru orantı görülmektedir. AIV ile kristal boyutu arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı  $R^2=0,9097$  iken LAV ile kristal boyutu arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı  $R^2=0,2496$ 'dır. Bu sonuçlara göre darbelenme ve kristal boyutu arasındaki ilişkiden elde edilen denklemin en iyi tahmini değerleri vereceği anlaşılabilir. Örneğin C numunesi için ortalama AIV değeri olan 16,83 değerini denkleminde yerine koyarak kristal boyutunu hesaplırsak 60,75 değerini elde ederiz buda polarize mikroskopla ölçülen ortalama kristal boyutuna çok yakındır.





Şekil 7.21 Ca Oranları ile Ortalama LAV Arasındaki İlişkiler.

Kireçtaşı kökenli agregalardaki Ca oranları ile Los Angeles aşınma kaybı değerleri arasında ilişkiyi anlayabilmek için elde edilen serpilme diyagramı sonuçları şekil 7.21.'de görülmektedir. Buna % Ca ile LAV arasındaki ilişki şu denklem ile ifade edilebilir :

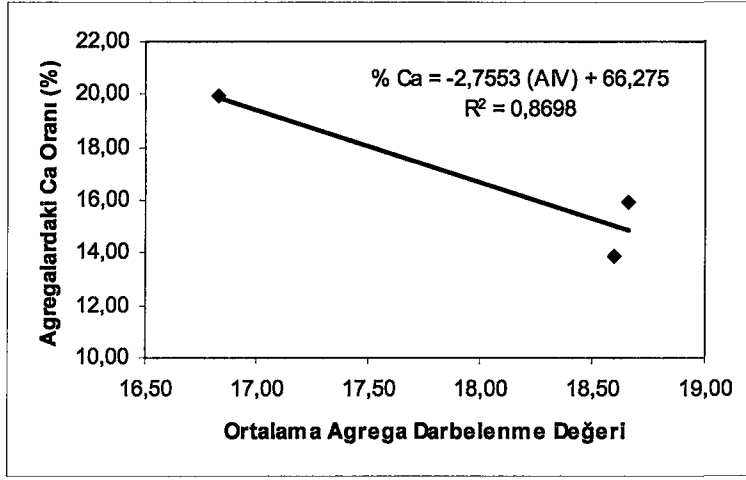
$$\%Ca = 0,5053(LAV) + 4,1408 \quad (7.4.)$$

A numunesine ait Ca oranı olan % 15,94 değeri denklemde yerine konularak A numunesine ait LAV değeri yaklaşık 23,3 olarak bulunur. A numunesine ait ortalama LAV değeri 27,44'dür.  $R^2=0,3068$  korelasyon katsayısından % Ca oranı ile LAV arasındaki ilişkinin zayıf olduğu fakat % Ca oranı arttıkça Los Angeles aşınma kaybının artacağı söylenebilir.

% Ca ile AIV arasındaki ilişki şekil 7.22' de görülmektedir. Buna göre agregalardaki % Ca oranı azaldıkça darbelenme kayıpları artmaktadır.AIV ile % Ca arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı  $R^2=0,8698$  'dir. Bu ilişkiyi tanımlayan denklem şu şekilde ifade edilebilir:

$$\%Ca = -2,7553(AIV) + 66,275 \quad (7.5.)$$

İlişkinin korelasyon katsayısından da anlaşılacağı üzere % Ca ile AIV arasında iyi bir korelasyon vardır. A numunesine ait % Ca oranı denklemde yerine konularak tahmin edilen 18,26 AIV değeri gerçek değer olan 18,66 değerine çok yakındır.



Şekil 7.22 Ca Oranları ile Ortalama AIV Arasındaki İlişki.

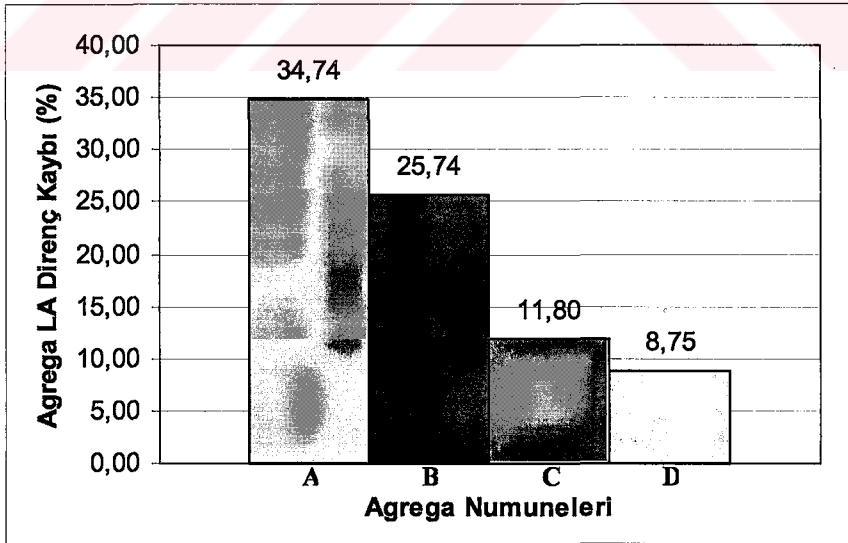
### 7.2.7 Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri Sonuçları

Agregaların donma çözülme etkisine dayanımları ve donma çözülme etkisinden sonraki fiziksel dayanımları da yol inşaatında kullanılacak agregalar için tespit edilmesi gereken önemli özelliklerden birisidir. Dört farklı numune üzerinde EN 1097-2'ye göre yapılan donma çözülme deneyi sonuçları çizelge 7.4.'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre donma çözülme kayıpları tüm numunelerde kritik değer olan % 12'nin altındadır. En büyük donma-çözülme kaybı su absorpsiyonu % 5,4 olan B numunesinde görülmüştür. B numunesinin su absorpsiyonunun yüksek olmasına karşın donma-çözülme kaybının düşük olmasının sebebi volkanik kökenli bir kayaç olmasından kaynaklanabilir. Sözü edilen kayaç içerisinde 7-75 µm arasında değişen gözenekler görülmüştür.

Çizelge 7.4 Agregalardan Donma-Çözülme Kayıpları.

NUMUNE İSMİ	M1 (gr)	M2 (gr)	DONMA KAYBI %
A1	2000	1980	1,00
A2	2000	1982	0,90
A3	2000	1981	0,95
		<b>TOPLAM</b>	<b>2,85</b>
B1	1500	1486	0,94
B2	1500	1484	1,07
B3	1500	1475	1,67
		<b>TOPLAM</b>	<b>3,68</b>
C1	2000	1982	0,90
C2	2000	1981	0,95
C3	2000	1982	0,90
		<b>TOPLAM</b>	<b>2,75</b>
D1	2000	1986	0,70
D2	2000	1987	0,65
D3	2000	1986	0,70
		<b>TOPLAM</b>	<b>2,05</b>

Agregalarda donma-çözülme etkisinden sonra fiziksel etkilerinde azalma olabilir. Yol kaplamalarında kullanılacak agregalar için bu azalmanın mümkün olduğunca düşük seviyede olması istenir. A, B, C ve D numunelerine ait donma-çözülme sonrası Los Angeles Aşınma Direnç kaybı değerleri şekil 7.23’de görülmektedir.



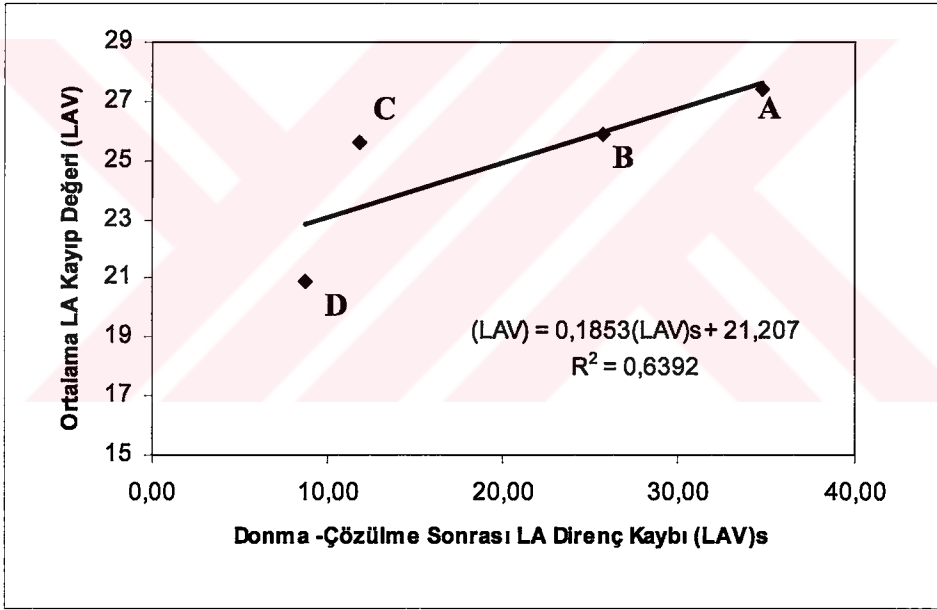
Şekil 7.23 Agregaların Donma-Çözülme Sonrası LA Aşınma Direnç Kaybı.

Donma-Çözülme çevrimi sonrası ve ortalama Los Angeles Kaybı değerleri ilişkilendirildiğinde, şekil 7.24.'de de görüldüğü gibi, iki özellik arasında doğru orantı olduğu görülebilir. İki özellik arasındaki ilişki şu denklemle ifade edilebilir:

$$(LAV) = 0,1853(LAV)_s + 21,207 \quad (7.6)$$

Elde edilen denklemden çok yakın doğrulukla  $(LAV)_s$  tahmin edilebilir. LAV değeri 27,44 olan A numunesi değeri denklemde yerine konulduğunda 33,6 değeri bulunur ki bu da gerçek değer olan 34,74 değerine çok yakındır.

Donma-Çözülme sonrası LA direnç kayıpları % 34,74 değeri ile tahmin edilmesi güç olmayan A numunelerinde görülmüş, A numunesini B , C ve D numuneleri takip etmiştir.

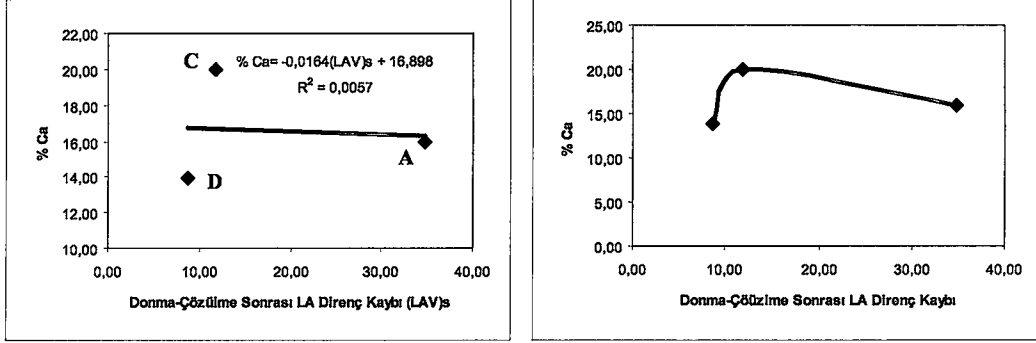


Şekil 7.24 Donma-Çözülme Sonrası LAV ve Ortalama LAV İlişkisi.

Kireçtaşı kökenli agregalardaki % Ca oranı ile  $(LAV)_s$  arasında ilişki olup olmadığını anlamak için yapılan korelasyonun denklemi şu şekildedir :

$$\%Ca = -0,0164(LAV)_s + 16,898 \quad (7.7)$$

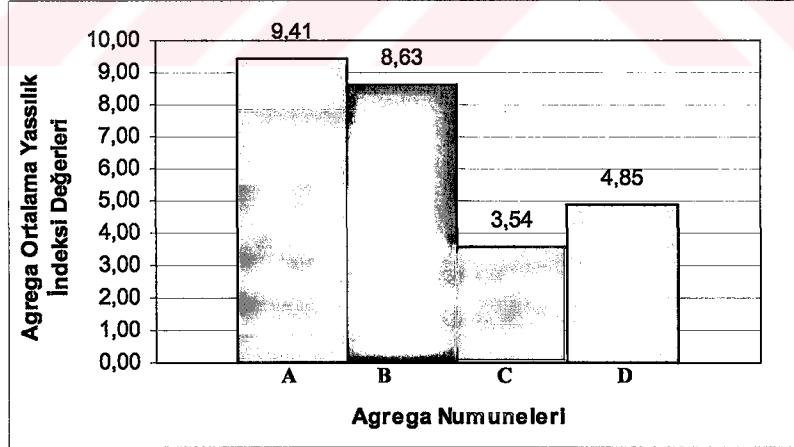
Fakat bu iki özellik arasındaki ilişki  $R^2=0,0057$  olan korelasyon katsayısından da anlaşılacağı üzere zayıftır. Şekil 7.25.'de bahsedilen iki özellik arasındaki ilişki görülebilir.



Şekil 7.25 % Ca ile  $(LAV)_s$  arasındaki ilişki.

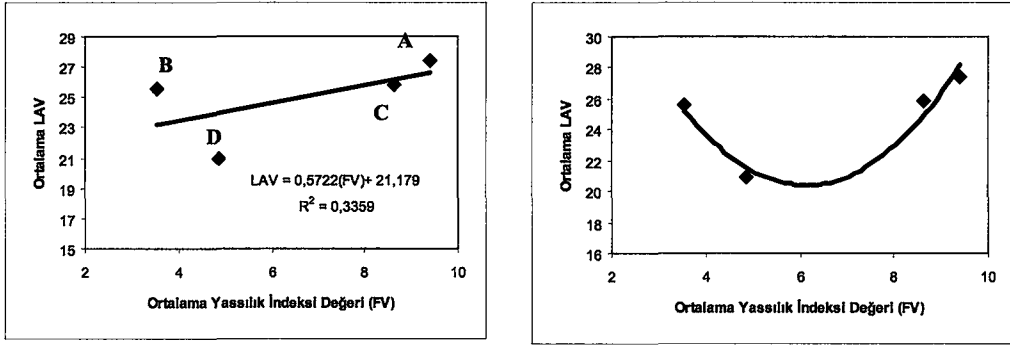
### 7.2.8 Yassılık İndeksi Deneyi Sonuçları

Yassı ve silindirik danelerin çekme dayanımları düşük olduğu için trafik ve çevre etkisi altında kolayca aşınıp kırılabilirler. Bu yüzden kaplamalarda kullanılacak agregaların aşınma etkisine karşı dayanıklı olmaları gerekir. Şekil 7.26'da yassılık indeksi değerleri görülmektedir.

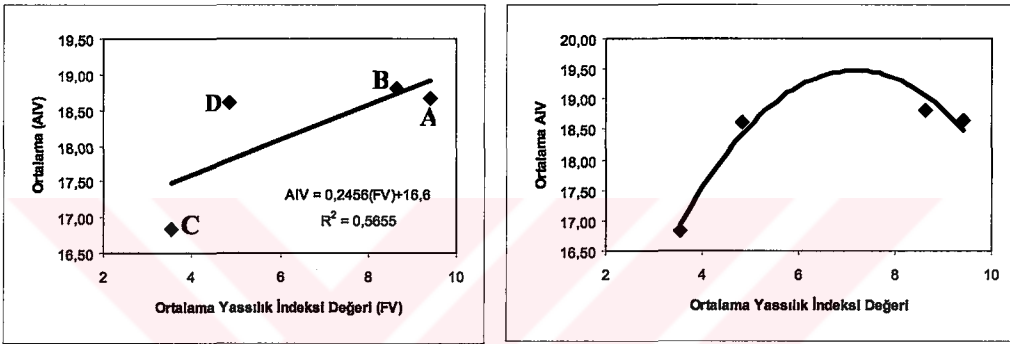


Şekil 7.26 Yassılık İndeksi Değerleri.

Genellikle agregalardaki yassılık indeksi değerine göre aşınma ile ilgili fiziksel özellikler arasında doğru orantılı bir ilişki kurulabilir. Bununla ilgili korelasyon grafiği şekil 7.27'de görülebilir.



Şekil 7.27 Los Angeles Aşınma Kaybı ve Yassılık İndeksi Arasındaki İlişkiler.



Şekil 7.28 Darbelenme Değeri ve Yassılık İndeksi Arasındaki İlişki.

Elde edilen korelasyon eğrilerine göre agregaların yassılık indeksi değerleri arttıkça, agreganın darbelenme ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri artmaktadır. Ortalama yassılık indeksi değeri ile LAV ve AIV arasındaki ilişkiler sırasıyla aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilirler:

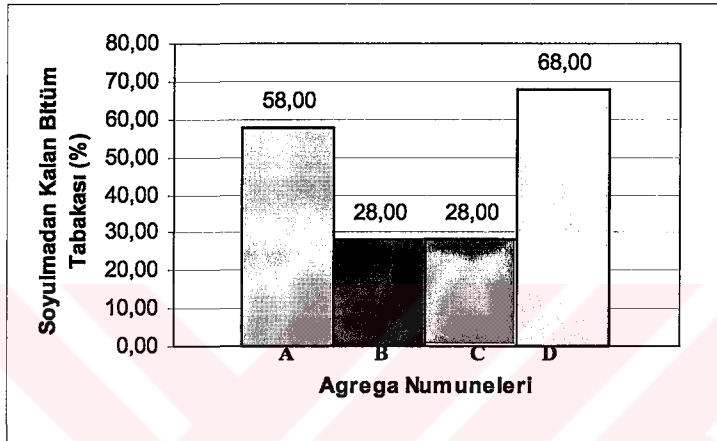
$$LAV = 0,5722(FV) + 21,179 \quad (7.8.)$$

$$AIV = 0,2456(FV) + 16,6 \quad (7.9.)$$

A numunesine ait ortalama yassılık indeksi (FV) değerini denklemlerde yerine koyarsak, sırasıyla 26,56 ve 18,91 değerleri tahmin edilir ki bu da gerçek değerler olan 27,44 ve 18,66 değerlerine çok yakındır. Şimdiye kadar yapılan korelasyonlarda en iyi tahminler yassılık indeksi deneyi sonuçlarından elde edilmiştir. Yassı dane miktarının fazlalığı fiziksel özellikleri kötüleştirmektedir.

### 7.2.9 Soyulma Deneyi Sonuçları

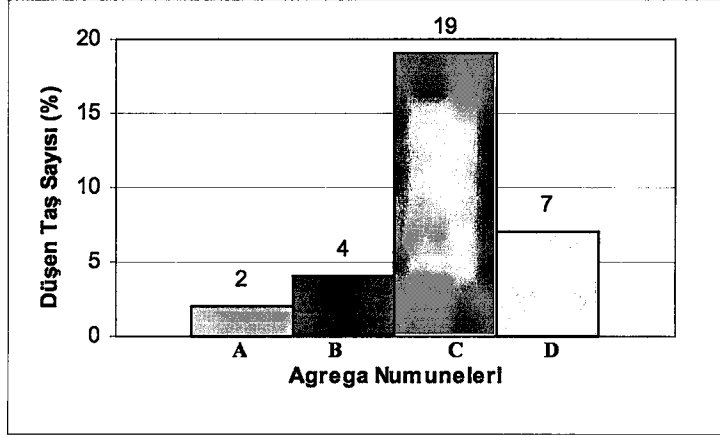
Suyun etkisi ile asfalt film tabakası agregadan soyulursa karışımın kohezyonu ve stabilitesi azalır. Dolayısıyla, bu deney ile agregaların soyulma dirençleri hakkında fikir edinilir. Şekil 7.29.'da soyulma deneyi sonuçları görülmektedir. Bu değerlere göre en iyi sonucu % 68 oranda soyulmadan kalan D numunesi vermiştir. B ve C numuneleri kritik değerinin altında kalmıştır.



Şekil 7.29 Soyulmadan Kalan Bitüm Tabakası Oranları.

### 7.2.10 Yapışma Deneyi Sonuçları

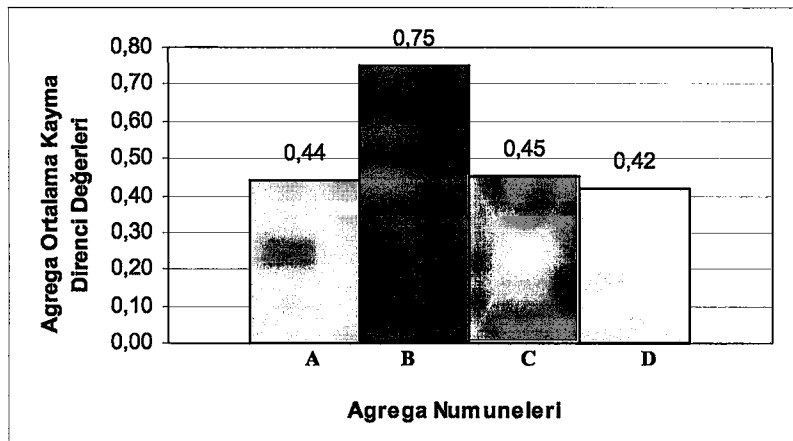
Sathi kaplama agregası olarak kullanılacak malzemelere uygulanması gereken önemli deneylerden bir diğeri de yapışma deneyidir. Şekil 7.30.'da yapışma deneyi sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlara göre düşen taş sayısı yalnızca C numunesinde kritik değer olan % 12'nin üzerinde çıkmıştır. A, B ve D numunelerindeki yapışma deneyi sonuçları oldukça iyidir.



Şekil 7.30 Yapışma Deneyi Sonuçları.

### 7.2.11 Cilalanma Deneyi Sonuçları

Kaplamanın yüzey yapısı hem sürüş konforunu hem de sürüş emniyetini belirleyen en önemli husustur. Kaplamayı kullanacak taşıtlar için kaplama yeterince düzgün ama gerekli sürtünme direncini sağlayacak kadar da pürüzlü olmalıdır. Yüzey düzgünlüğü hızlı hareket eden taşıtların kayma direncinden sorumludur. Kaplamanın toplam kayma direnci yüzeyinin sahip olduğu makro ve mikro pürüzlülüğe bağlıdır. Mikro pürüzlülük, agreganın petrografik özellikleri ve yüzey yapısı ile ilgili olup cilalanma deneyi ile tayin edilir. Şekil 7.31.'de cilalanma deneyi sonuçları görülmektedir (Tunç 2001; ACMA 1992)



Şekil 7.31 Cilalanma Deneyi Sonuçları.



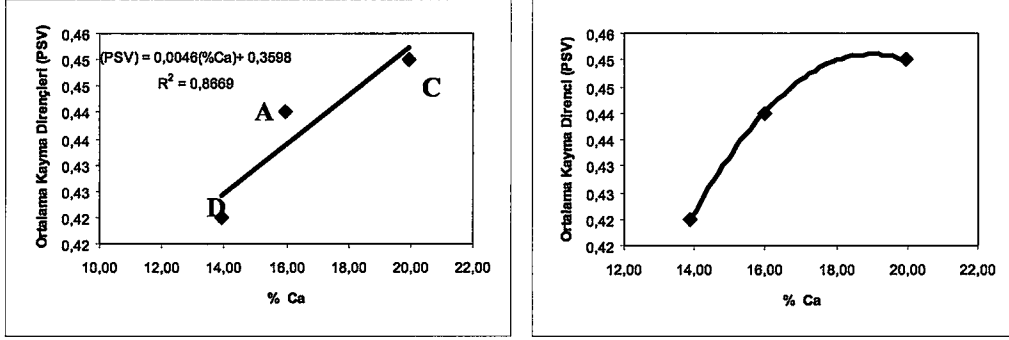
Sonuçlara göre kireçtaşı kökenli agregalar (A, C, D) kritik kayma direnci olan 0,5'in altında kalmışlardır. Yanlıca volkanik kökenli olan B agregasında elde edilen sonuç istenilen değerin üzerindedir.

Çizelge 7.5 Kaplamalar İçin Önerilen Yanal Sürtünme Kuvveti Katsayıları (Tunç 2001)

Bölge Kategorisi	Bölge Tipi	Test Hızı (km/sa)	SFC
A	<b>En Tehlikeli Bölge:</b> Kavşaklar 150 m'den daha küçük yarıçaplı kurplar 100 m'den daha fazla uzunluğa sahip yokuşlar Sinyal ışıklarına yaklaşımlar.	50	0,55
B	<b>Tehlikeli Bölge:</b>	50	0,50
	Otoyollar ve yüksek hızda yollar ( $\geq 95$ km/sa) Kentiçi ana yollar ve çevre yolları	80 50	0,45 0,50
C	<b>Diğer Bölgeler:</b> Aliyman veya az eğimli, büyük yarıçaplı kurplar ve <200 taşıt/gün olan yollar.	50	0,40

İngiltere'de kaplamalar sürüş emniyeti bakımından üç kategoriye ayrılmakta ve her bir bölge için yan al sürtünme kuvveti katsayısının (SFC) çizelge 7.5.'deki değerlere sahip olması önerilmektedir. Bu değerlere göre ülkemiz karayollarında yaygın olarak kullanılan kireçtaşı kökenli agregaların normal şartlar altında trafik hacmi düşük olan yollarda kullanılması gerekmektedir.

Bir agregada bulunan minerallerin sertliği ile cilalanması arasında doğru orantı vardır(Akbulut vd. 2003). Buna istinaden numunelerin bünyesindeki Ca yüzdelerine göre yapılan ilişkilendirilmeden, Ca oranı arttıkça kayma direncinin yükseldiği şekil 7.32.'den görülmektedir.

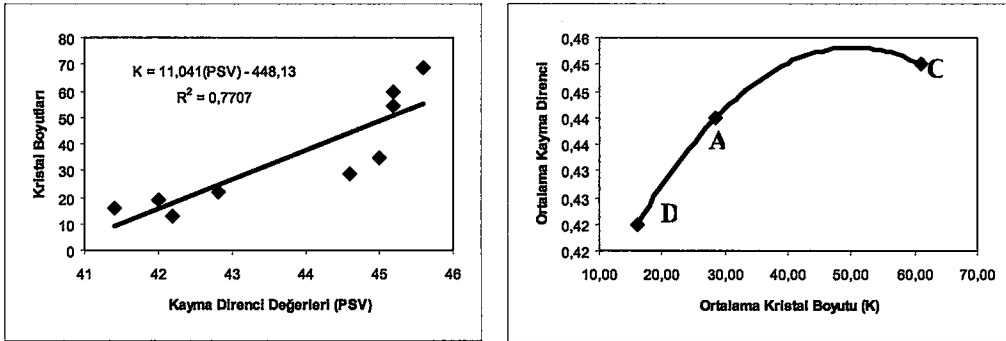


Şekil 7.32 Ortalama Kayma Direnci ve % Ca Arasındaki İlişkiler.

İki özellik en iyi şu denklemle ifade edilebilir:

$$(PSV) = 0,0046(\%Ca) + 0,3598 \quad (7.10.)$$

İki özellik arasındaki ilişkilendirmenin korelasyon katsayısı  $R^2=0,8669$  olduğundan % Ca oranından PSV % 99 seviyesindeki bir doğruluk oranıyla tahmin edilebilir. Denklemde C numunesine ait olan % 13,90 Ca değeri yerine konulduğunda 0,423 değeri elde edilir. Bu değer 0,42 olan D numunesi kayma direncine çok yakındır.



Şekil 7.33 Kayma Direnci (PSV) ve Kristal Boyutları Arasındaki İlişkiler.

Vallius'a göre (11-995) kristal boyutu inceldikçe kayalar daha kolay cilalanmaktadır. Şekil 14'de ortalama kristal boyutu ile ortalama kayma dirençleri arasındaki ilişkiler Vallius'un çalışmasına uymaktadır. Elde edilen

güçlü korelasyon katsayısı iki özellik arasında lineer –doğru orantılı bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Bununla ilgili ilişkilendirme grafiği, şekil 7.33.'de görülmektedir.  $R^2= 0,7707$  olduğundan iki özellik arasındaki ilişki anlamlıdır ve şu denklem ile ifade edilebilir:

$$K = 11,041(PSV) - 448,13 \quad (7.11)$$

### 7.3 Asfalt Karışımlarla İlgili Deney Sonuçları

#### 7.3.1 Asfalt Çimentosu Özellikleri

Çalışmada kullanılan asfalt çimentosuna ait özgül ağırlık ve penetrasyon özellikleri çizelge 7.6.'da verilmiştir.

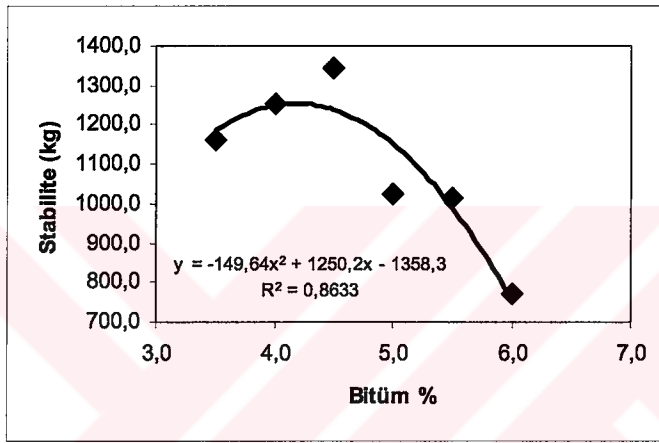
Çizelge 7.6 Asfalt Çimentosuna Ait Özellikler.

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

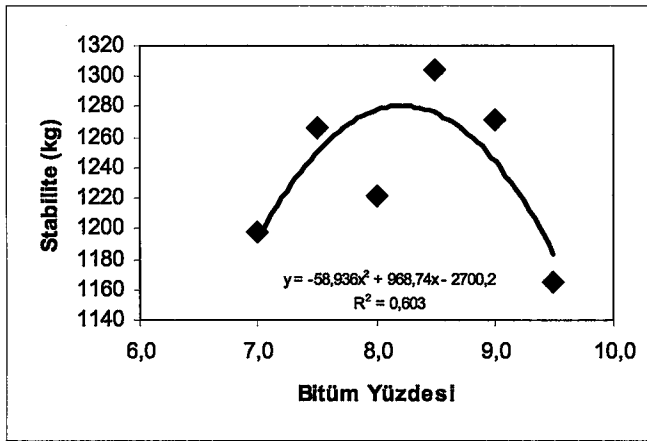
#### 7.3.2 Marshall Metodu ile Optimum Bitüm Yüzdelerinin Belirlenmesi

Öncelikle agrega numunelerinin her birinde ayrı ayrı elek analizleri yapılır. Daha sonra gradasyon limitleri dahilinde agrega gruplarının hangi oranlarda karıştırılacağı belirlenir. Dört ayrı numune için oranlandırma yapıldıktan sonra Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü'nün asfalt betonu binder tabakası için belirlediği ve en çok kullandığı Tip-3 gradasyonu seçilmiştir. Çalışmada dört ayrı agrega numunesi ve her birinde üç ayrı elek aralığında malzeme kullanılmıştır. Her bir karışıma ait Granülometri eğrileri 7.12,7.13, 7.14. ve 7.15. nolu şekillerde görülebilir.

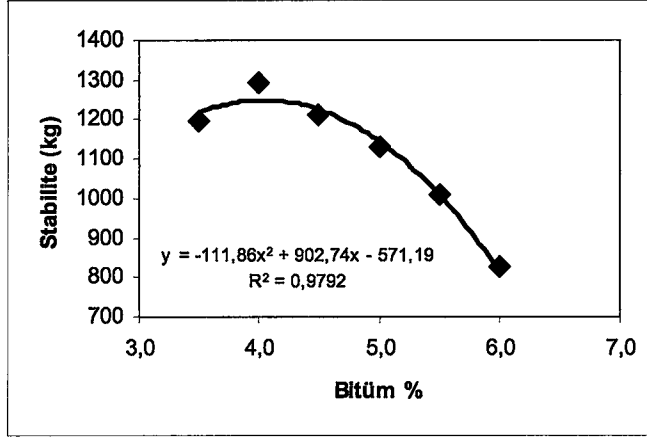
Numunelerin optimum bitüm yüzdeleri bulunurken her birinin kendi karışım oranları kullanılmış, agrega gradasyonları sabit tutularak A,C,D numunelerinde % 3,5-4,0-4,5-5,0-5,5-6,0 bitüm oranları ve B numunesinde % 7,0-7,5-8,0-8,5-9,0-9,5 bitüm oranları kullanılmıştır. Volkanik kökenli B numunesinin boşluk oranı % 5,4 olduğundan Marshall dizaynında kullanılan bitüm oranları daha yüksek tutulmuştur. Buna rağmen % 3,5-4,5-6,5 bitüm oranları için deneme karışımları üretilmiş fakat bitüm miktarlarının yetersiz olduğu kanısına varılarak alt sınır bitüm oranı % 7,0 olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarından stabilite-bitüm ilişkisine ait grafikler şekil 7.34-35-36-37’de görülmektedir.



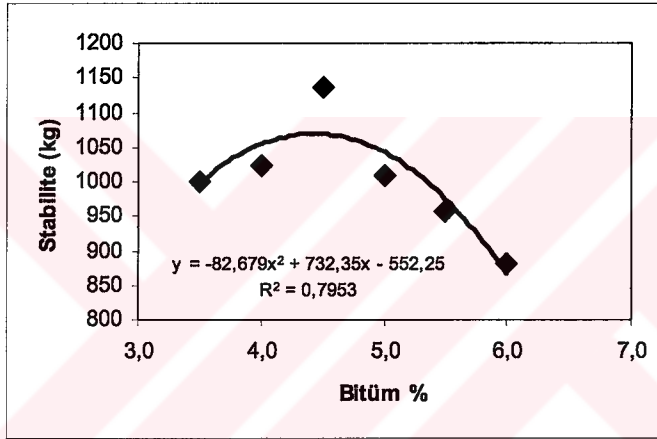
Şekil 7.34 A Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi.



Şekil 7.35 B Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi.



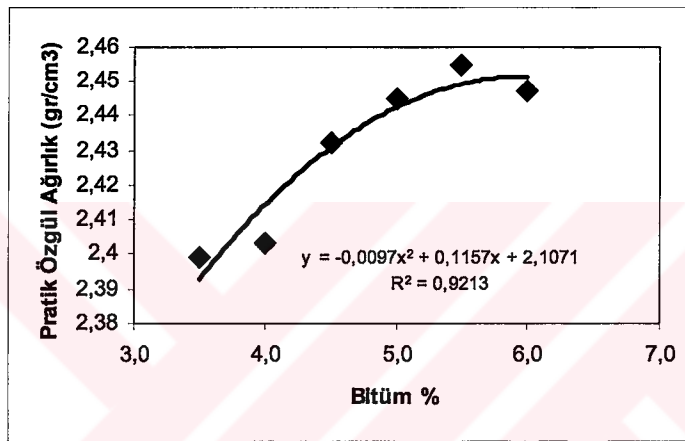
Şekil 7.36 C Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi.



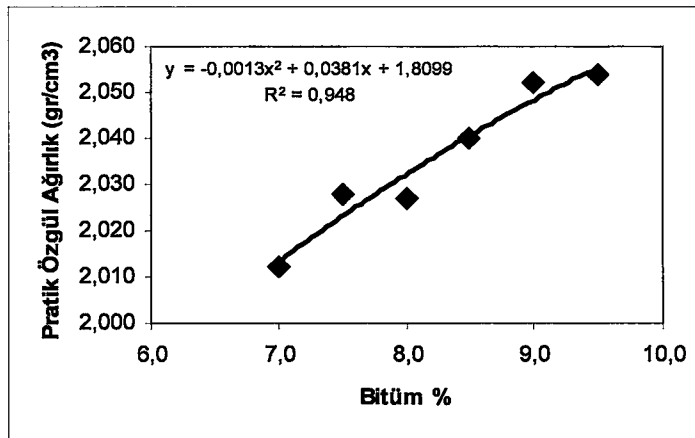
Şekil 7.37 D Karışımına ait Stabilite-Bitüm İlişkisi.

Stabilite-Bitüm ilişkisi açısından C numunesinin diğerlerine göre daha fazla kararlılık gösterdiği görülmüştür. En fazla kararsızlık B numunesinde görülmüştür. 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 numunesinden üretilen karışımlarda kaydedilmiştir. Optimum bitüm oranlarının hesaplanabilmesi için grafiklerden maksimum stabiliteye karşılık gelen bitüm oranları bulunur. Bu değerler A, B, C ve D numunelerinde sırasıyla % 4,50 - % 8,50 - % 4,00 ve % 4,50'dir.

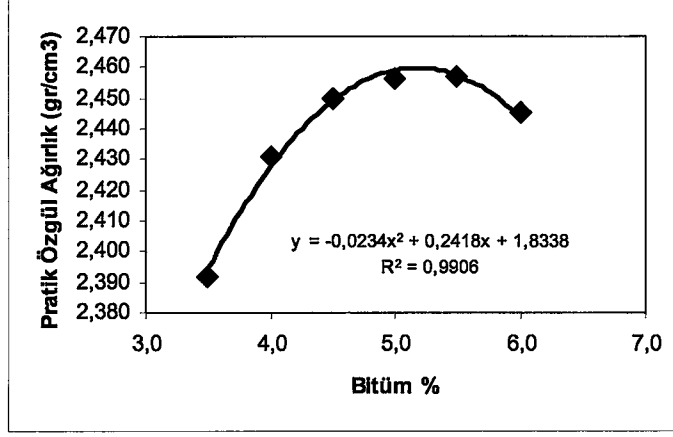
Deney sonuçlarına göre A numunesi karışımının pratik özgül ağırlığının diğer karışımlara nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Pratik özgül ağırlık-bitüm yüzdeleri grafikleri kararlı olmakla birlikte, B numunesine ait grafik norm grafiklere uymamaktadır. Bu şekilde çıkış eğiliminde bir grafiğin elde edilmesine malzemenin yüksek derecede boşluklu yapıya sahip olması neden olmuştur. Pratik özgül ağırlık-bitüm ilişkisine ait grafikler şekil 7.38.-39.-40.-41.'de görülmektedir. Optimum bitüm oranlarının hesaplanabilmesi için grafiklerde tepe noktasına karşılık gelen bitüm oranları sırasıyla % 5,5-% 9,5 - % 5,5 ve % 5,0'dır.



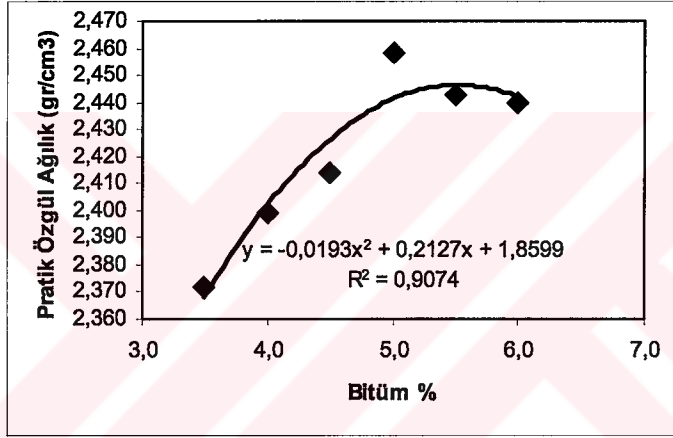
Şekil 7.38 A Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.



Şekil 7.39 B Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

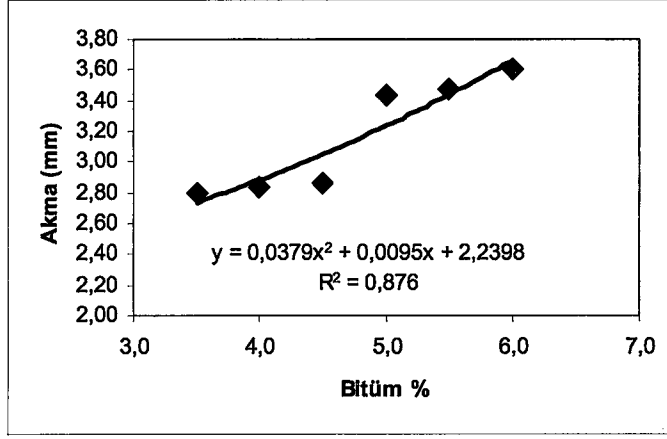


Şekil 7.40 C Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

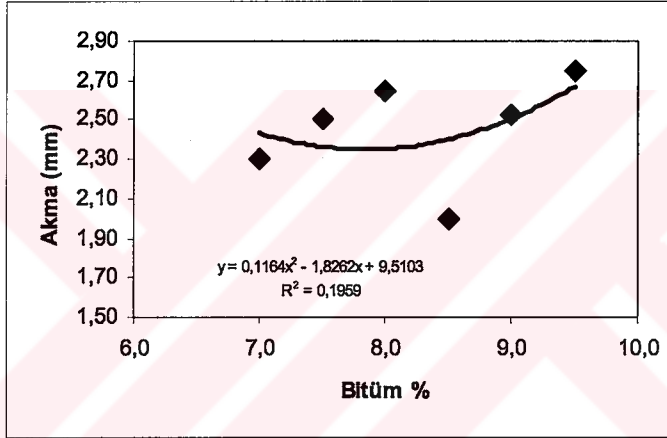


Şekil 7.41 D Karışımında Pratik Özgül Ağırlığın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

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 (Umar ve Ağar 1991). Şekil 7.42.-43.-44.-45.'de akma-bitüm ilişkisi grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.42 A Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

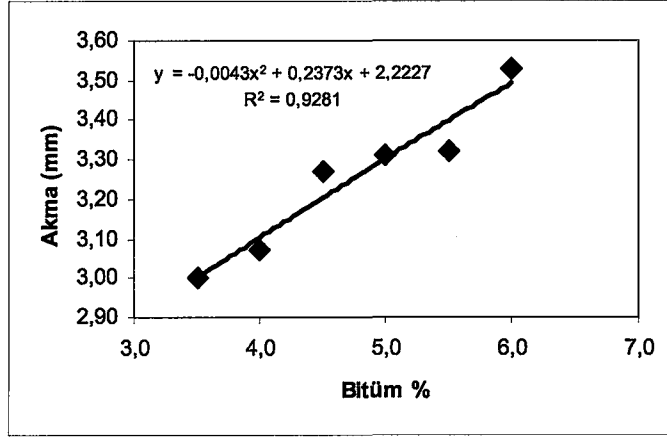


Şekil 7.43 B Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

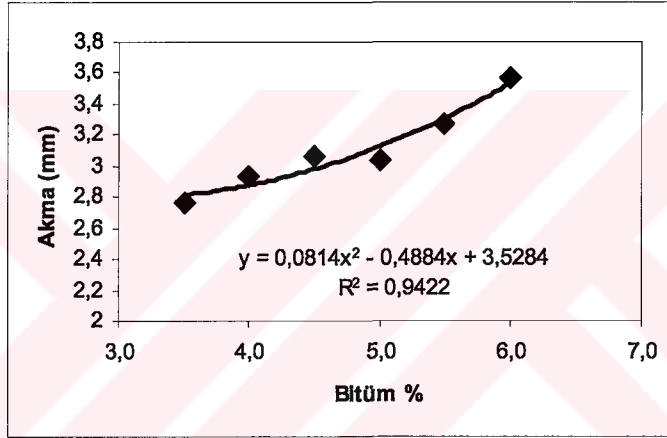
B karışımı haricindeki tüm karışımlarda akma-bitüm ilişkilerinde kararlılık vardır. Bitüm oranı arttıkça akma değeri de yükselmektedir. En düşük akma değeri B karışımında kaydedilmiştir.

Elde edilen akma değerlerinden A karışımının daha sünek bir davranış sergilediği, bunu sırasıyla C, D ve B karışımının izlediği görülmektedir. Akma değerleri bütün karışımlarda şartnamede belirtilen limitler içerisinde.



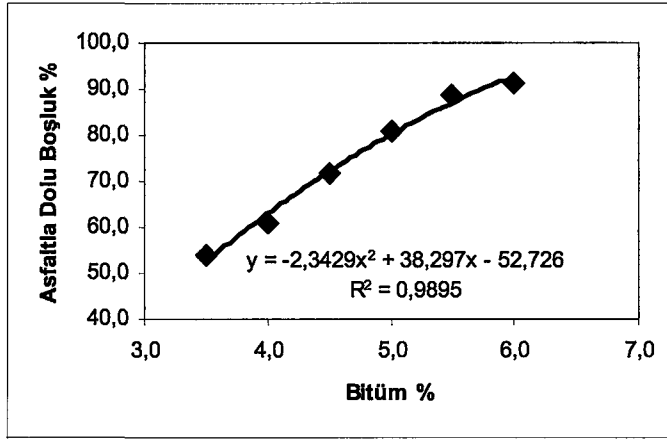


Şekil 7.44 C Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

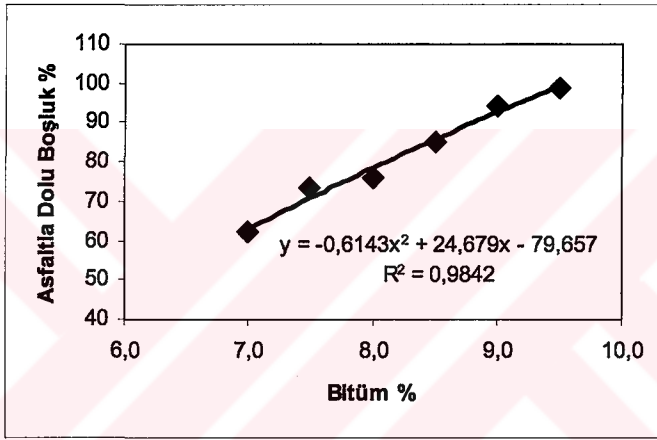


Şekil 7.45 D Karışımında Akmanın Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

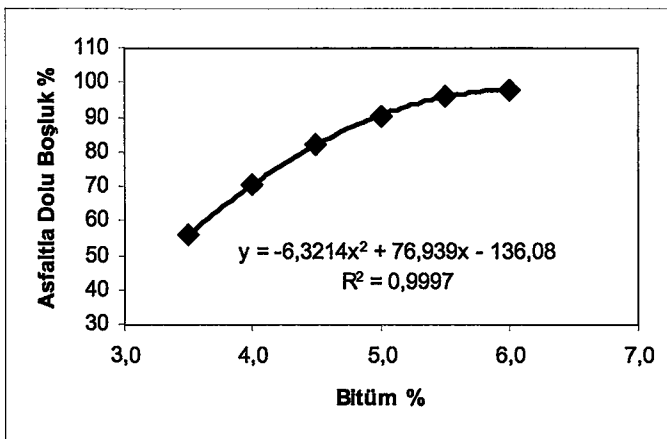
Asfaltla dolu boşluk yüzdesinin en fazla C karışımında olduğu bunu B, D ve A numunelerinin izlediği görülmektedir. Şekil 7.46.-47.-48.-49.'da asfaltla dolu boşluk-bitüm yüzdesi ilişkileri görülmektedir. A karışımında kullanılan agregalardaki boşluk oranı diğer numunelere nazaran çok küçük olduğu için bu numunede asfaltla dolu boşluk yüzdesi düşüktür. Optimum bitüm yüzdesinin hesaplanabilmesi için, şartnamede belirtilen, ortalama % 71,5 VFA oranına karşılık gelen bitüm yüzdeleri grafiklerden bulunur. Bu değer A, B, C ve D karışımları için sırasıyla % 4,50 - % 7,42 - % 4,05 - % 4,55'dir.



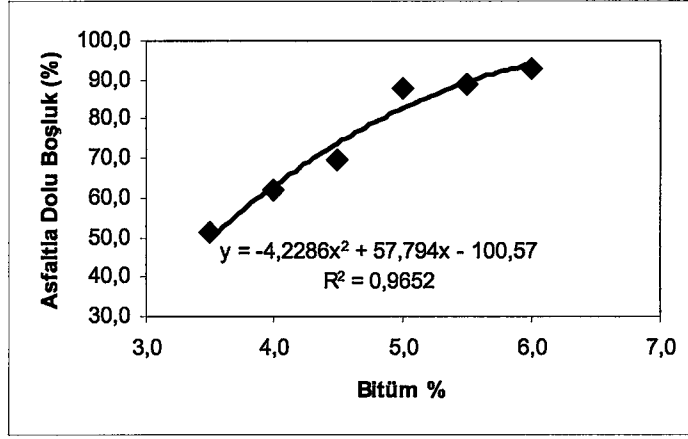
Şekil 7.46 A Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.



Şekil 7.47 B Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

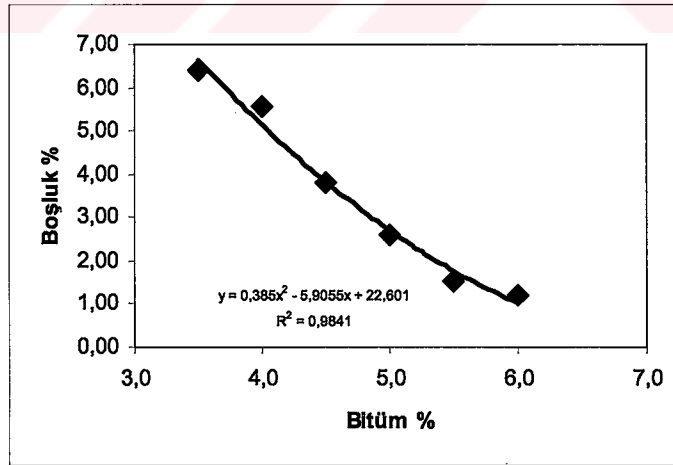


Şekil 7.48 C Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

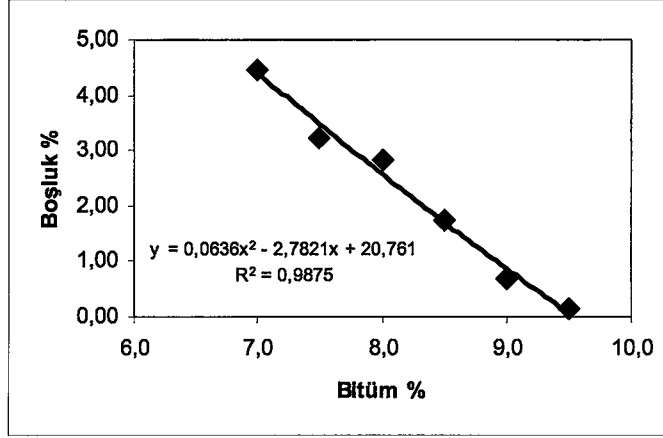


Şekil 7.49 D Karışımında Asfaltla Dolu Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

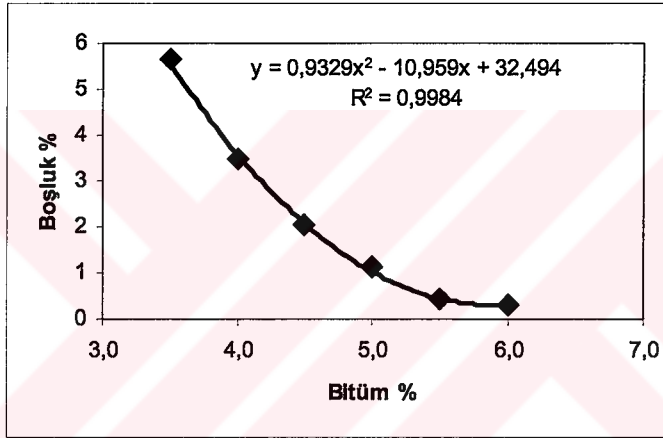
Deney sonucunda B karışımının diğer karışımlara nazaran daha az boşluklu olduğu görülmüştür. B karışımını sırasıyla C, D ve A karışımları izlemektedir. Boşluk oranını tüm karışımlarda bitüm yüzdesi arttıkça azalmaktadır. Şekil 7.50.-51.-52.-53.'de boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi görülmektedir. Optimum bitüm yüzdesi için, her bir karışımında, binder tabakası için şartnamede belirtilen ortalama % 5 boşluğa karşılık gelen bitüm yüzdeleri bulunur. Bu değer A, B, C ve D numuneleri için sırasıyla % 4,2- %7,0- % 3,7- %4,1'dir.



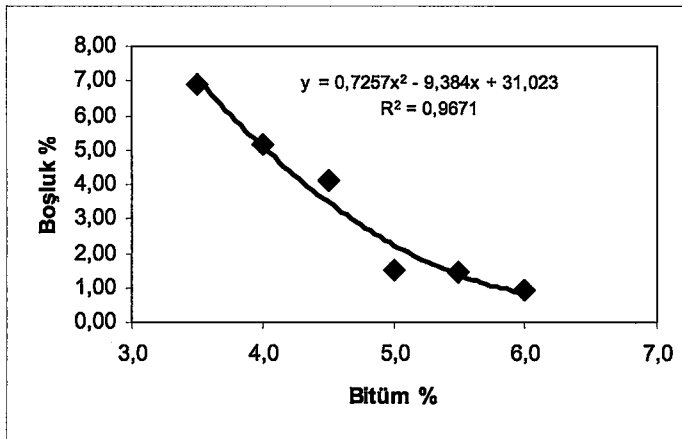
Şekil 7.50 A Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.



Şekil 7.51 B Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

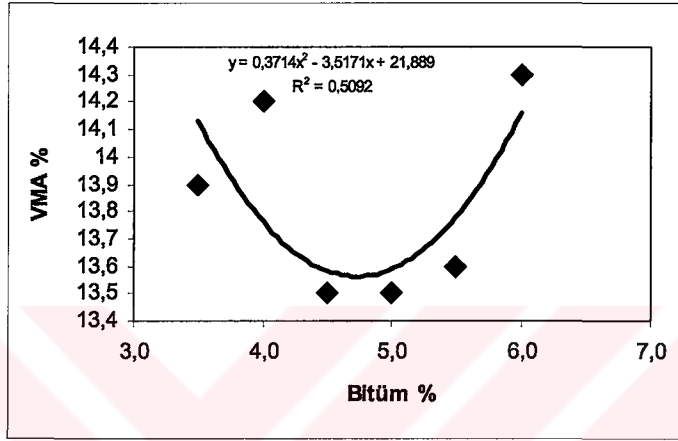


Şekil 7.52 C Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

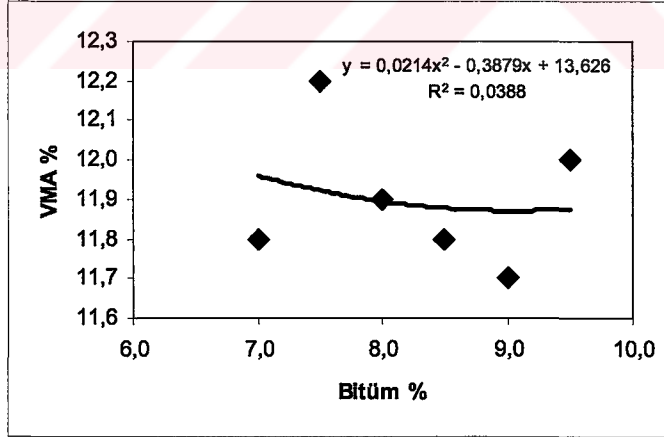


Şekil 7.53 D Karışımında Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

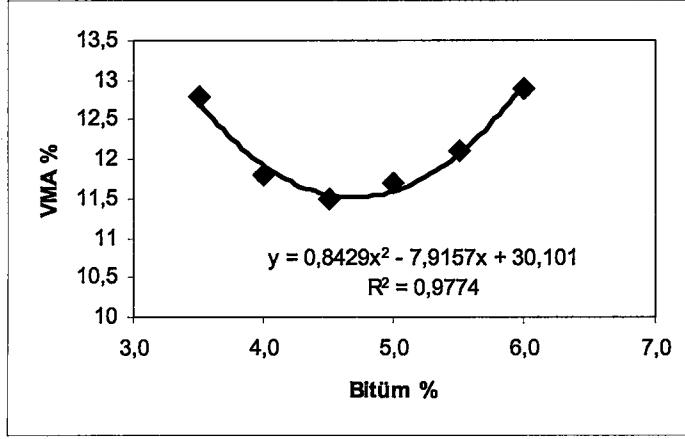
Deney sonuçlarına göre agregalar arası boşluğun bitüm yüzdesi ile değişim grafikleri şekil 7.54-55.-56-57.'de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre B karışımında kararsızlık görülmektedir. Maksimum elek üstü malzemelere göre tüm karışım numuneleri, optimum bitüm oranlarında, şartnamede belirtilen sınırlar dahilinde (çizelge 6.4) agregalar arası boşluk oranına sahiptir.



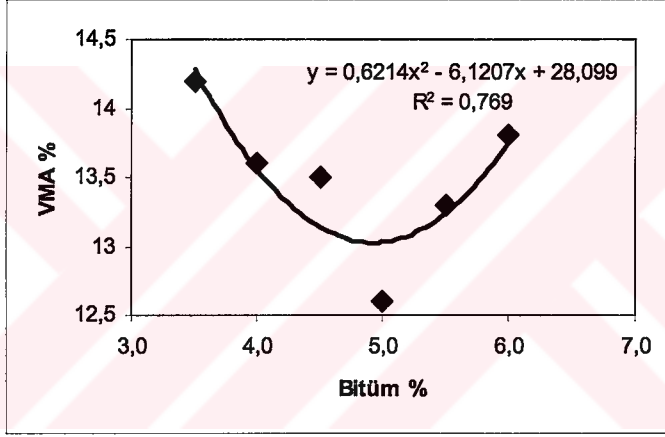
Şekil 7.54 A Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.



Şekil 7.55 B Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.



Şekil 7.56 C Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.



Şekil 7.57 D Karışımında Agregalar Arası Boşluğun Bitüm Yüzdesi ile Değişimi.

Deney sonucunda, her bir karışım için yukarıda çizilen grafiklerden yararlanarak, maksimum stabiliteye, pratik özgül ağırlığa, şartname boşluk yüzdesi ortalamasına ve şartname asfaltla dolu boşluk yüzdesi ortalamasına tekabül eden asfalt yüzdeleri okunup aritmetik ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdeleri hesaplanır. Buna göre A, B, C ve D karışımlarına ait optimum bitüm yüzdesi hesapları aşağıdaki gibidir.

$$A = \frac{4,50 + 5,50 + 4,20 + 4,50}{4} = \%4,68$$

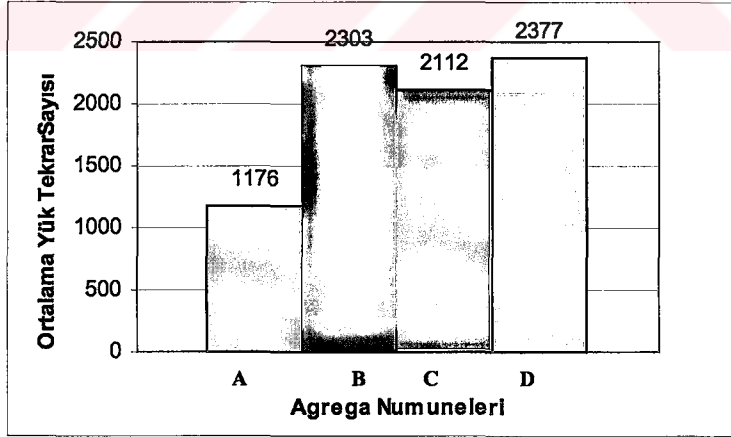
$$B = \frac{8,50 + 9,50 + 7,00 + 7,42}{4} = \%8,10$$

$$C = \frac{4,00 + 5,50 + 3,70 + 4,05}{4} = \%4,30$$

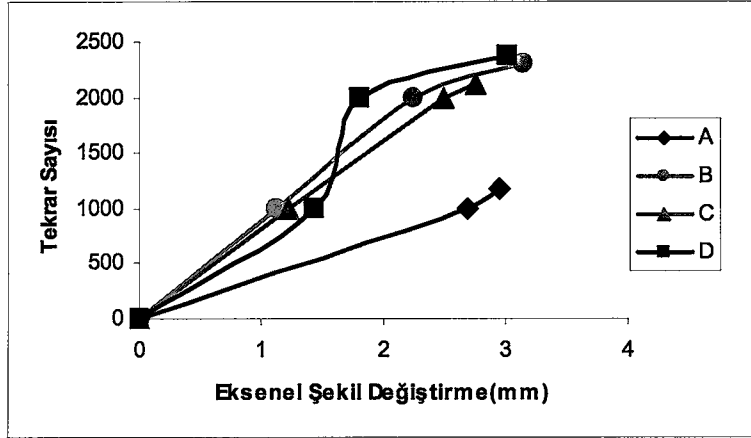
$$D = \frac{4,50 + 5,00 + 4,10 + 4,55}{4} = \%4,53$$

### 7.3.3 Dolaylı Çekme (Plastik Deformasyon) Deneyi Sonuçları

Kaplamanın yorulma ömrünün ölçülmesi açısından önem taşıyan plastik deformasyon deneyinde, her bir karışım türünde kendi optimum bitüm yüzdesinde üretilen üç adet Marshall numuneleri teste tabi tutulmuşlardır. Numuneler deneye tabi tutulmadan önce 30 °C sıcaklıkta 12 saat bekletilerek deneye şartlandırılmışlardır.

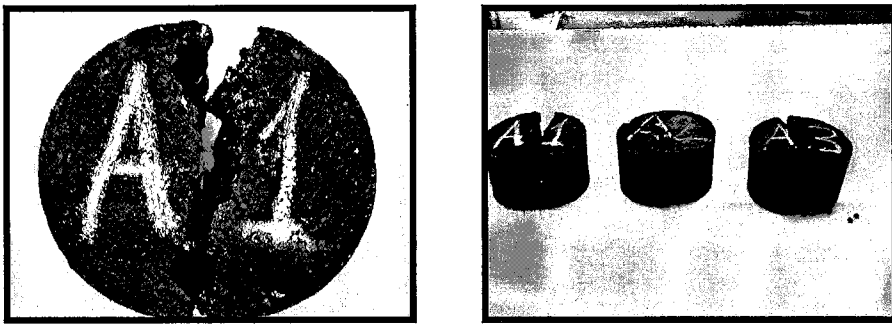


Şekil 7.58 Karışım Numunelerine Ait Ortalama Yorulma Ömürleri.



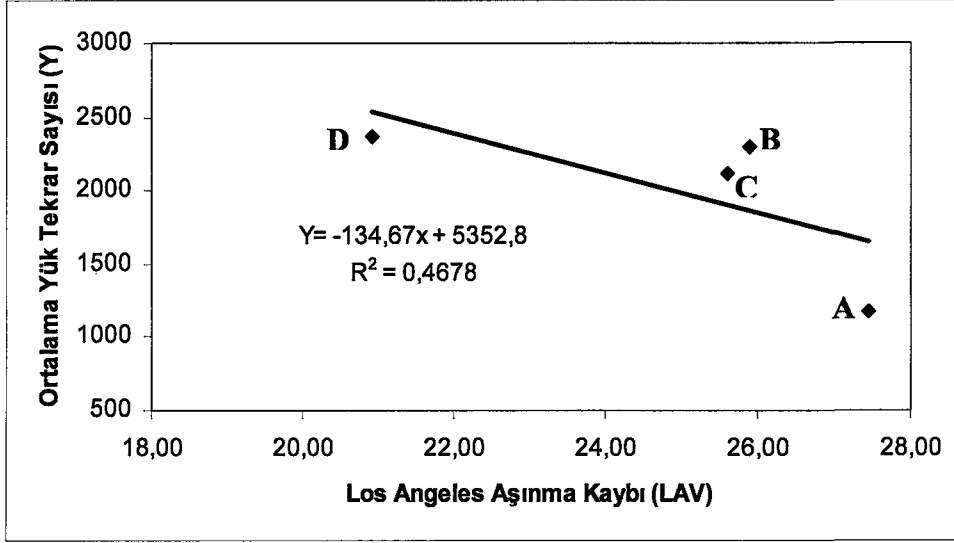
Şekil 7.59 Yorulma Ömürleri ve Eksenel Şekil Değişirme İlişkisi.

Numunelere 98 kpa'lık dolaylı gerilme uygulanmıştır. Numunelerin yorulma ömürleriyle ilgili deney sonuçları şekil 7.58.'de görülmektedir. Deney numunelerinden 235 ve 4481 tekrarda kırılan A1 ve D4 nolu deney ihmal edilmiştir. Karışımlardan A numunesi 1176, B numunesi 2303, C numunesi 2112 ve D numunesi 2377 yük tekrarında kırılmışlardır. Kırılmalar numunenin ortadan ikiye ayrılması şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 7.60). Stabilite ve akma değerlerinden de tahmin edilebileceği gibi en düşük eksenel şekil değişirme A numunesinde (mermer) en yüksek şekil değişirme ise D kalker numunesinde görülmektedir.



Şekil 7.60 İndirekt Çekme Deneyinde İkiye Bölünerek Kırılan Numuneler.





Şekil 7.61 Karışımların Yorulma Ömrü ve Ortalama LAV ilişkisi.

Bitümlü karışımlar; bitüm ve agrega olmak üzere iki ana bileşenden oluşan üç fazlı bir sistemdir. Dolayısıyla agregaların mekanik özellikleri bitümlü karışımın mekanik özelliklerinde önemli etki yapar. Burada agreganın Los Angeles aşınma özelliği karışımların yorulma ömürleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirmenin sonucu olarak, LAV değerinin arttıkça yorulma ömrünün düştüğü sonucuna varılmıştır. Deney sonuçlarına göre iki özellik arasında lineer-doğru orantı vardır. Aşınma kaybı iyileştikçe yorulma ömrü de yükselmektedir. İki özellik en iyi şu denklemler ifade edilebilir:

$$(Y) = -134,67(LAV) + 5352,8 \quad (7.12)$$

İlişkinin korelasyon katsayısı  $R^2=0,4678$  olduğundan elde edilen denklemden LAV 'dan Y değeri yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Yorulma ömürleri ve ortalama LAV ilişkisi şekil 7.61.'de görülebilir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mermer atık ve artıkların, çevreye olan etkilerinin en az seviyelere indirilebilmesi için yapılan bu çalışmada, Afyon bölgesinde bulunan dört farklı kayaç üzerinde jeolojik, fiziksel agrega özellikleri ve asfalt karışım olarak mekanik özellikleri hakkında standart deneyler yapılarak, mermerden üretilen malzemenin orta trafik hacimli yollarda, asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Deneye tabi tutulan agregalardan biri volkanik kökenli (B), diğer ikisi (C,D) halihazırda asfalt betonu yapımında kullanılan malzemelerdir. A numunesi ise mermer ocağı artıklarından üretilen agrega numunesidir. Yapılan çalışmalar neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır:

- Kristal boyutları bakımından incelenen kireçtaşı kökenli agrega numunelerin ortalama kristal boyutları A, C ve D numunelerinde sırasıyla 29, 61 ve 16  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Elde edilen korelasyonlardan kristal boyutu arttıkça Los Angeles Aşınma Kaybının arttığı, kayma direncinin azaldığı görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları kristal boyut özellikleri ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilere yeni ayrıntılar getirmiştir. LAV değeri AIV değerinden daha çok kristal sınır boyutlarına bağlıdır. İnce daneli kristallerin boyutsal dağılımı ve miktarı LAV değerini etkiler. Dolayısı ile elde edilen sonuçlar Raisanen,M., Tuğrul,A. ve Vallius, P.'nin bulgularıyla paralellik arz etmektedir. AIV özelliğiyle ilgili daha kapsamlı bir araştırma yapılarak sonuçlar geliştirilebilir.
- Farklı kayaç tiplerinin mekanik ve petrografik özellikleri belirgin şekilde değişiklik gösterir. Diğer kayaç tiplerinin mekanik özelliklerini tahmin etmek için nicel petrografi kullanıldığında bu çalışmanın sonuçları yararlı olabilir, fakat sonuçlar tüm kayaç tiplerine genellendirilemez.
- 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 (Çizelge 6.3). 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. Şahit numunelerden D numunesinin darbelenme kaybı 18,60 iken A numunesinin % 18,66'dır. Bu değeri sağlayan D numunesi halihazırda aşınma tabakası ve sathi kaplama yapımında kullanılan bir kayadır. Volkanik kökenli B numunesindeki aşınma kaybı % 18,80'dir.

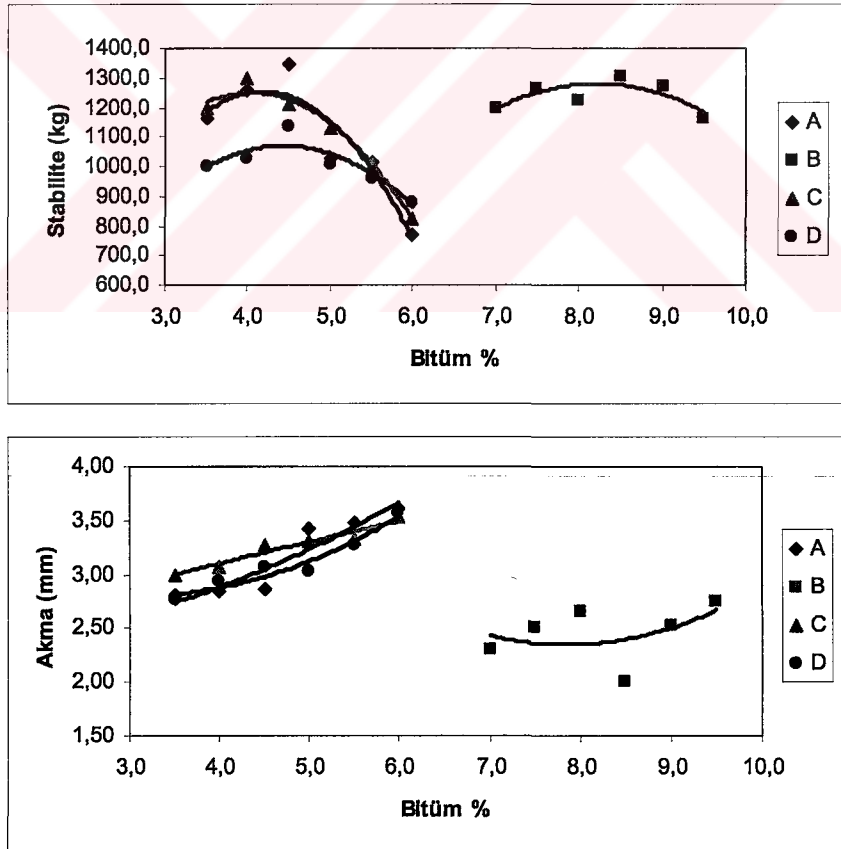
- Yol kaplamalarında kullanılacak agregalarda aranan önemli özelliklerden biride su absorpsiyonudur. B numunesi volkanik bir kayaç olmakla birlikte % 5,4 su emme yüzdesiyle aşırı poroz bir yapıya sahiptir. Kireçtaşı kökenli agregalarda bu özellik normal seviyelerdedir.
- Donma-Çözülme ve donma-çözülme sonrası Los Angeles direnç kaybı deneylerinin sonuçlarına göre tüm agrega numunelerinde kayıp % 12 değerinden küçüktür. Donma-Çözülme sonrası en fazla direnç kaybı A numunesinde görülmüştür. Bunu B, C ve D numuneleri takip etmiştir. A numunesinin binder tabakasında kullanılması planlandığından donma-çözülme çevriminden aşınma tabakası kadar etkilenmeyeceği aşikardır.
- Yassı ve silindirik danelerin çekme dayanımları düşük oldukları için asfalt betonu içerisinde zayıf bölgeler oluşturarak üst yapıda hasarın oluşmasına neden olabilirler. Yassı dane miktarı sıkışma ve aşınma direncine dayanım açısından da önem arz eder. Deney sonuçlarında en yüksek yassılık indeksi değeri A ve B numunelerinde görülmekle birlikte bu değerler şartnamelerde belirtilen sınırların altındadır. Bununla birlikte konkosör şantiyesindeki kırıcı türünü değiştirmek ve farklı eleme yöntemleri kullanmakla yassı dane miktarını azaltabilmek mümkün olacaktır. Yapılan korelasyonlar yassı dane indeksinin aşınma gibi bazı fiziksel özellikleri, doğru orantılı olarak, etkilediğini göstermiştir. Dolayısı ile agrega

özelliklerini etkileyen yassı dane miktarı kompozit malzemenin ömrü açısından da önem taşımaktadır.

- Karışımların kohezyonu ve stabiliteleri açısından önemli bir özellik de agrega-bitüm adezyonunun tespit edilmesidir. Soyulma deneyi olarak adlandırılan bu deney sonucuna göre A ve D numunelerinin en az % 50'si soyulmadan kalmıştır. B ve C numuneleri kritik değerin altındadır.
- Bitüm-agrega adezyonu zamanla su etkisiyle azalabilir. Agrega danelerde suyun adezyona olan etkisi "Vialit Metodu ile Yapışma Deneyi" olarak adlandırılan bir deney ile tespit edilir. Bu deney genellikle sathi kaplama agregalarına uygulanır. Elde edilen değerlere göre C numunesi haricindeki tüm numunelerin bitüm-agrega adezyonu iyidir.
- Sathi kaplama agregalarına uygulanan diğer önemli bir deneyde cilalanma deneyidir. Şartnameye göre, deney sonunda numunelerin ortalama kayma direnci en az 0,5 olmalıdır. Elde edilen volkanik kökenli B numunesini dışındaki diğer kireçtaşı kökenli numuneler şartnamenin altında kalmıştır. Buna rağmen sürtünme katsayısı 0,44 olan A numunesi halihazırda Afyon ili şehir içi yollarda kullanılan D numunesinden daha iyi sonuç vermiştir. Cilalanma deneyi için yapılan ilişkilendirmeler sonucu görülmüştür ki : Ca oranı arttıkça ve ortalama kristal boyutları azaldıkça kayma direnci (PSV) değeri de artmaktadır. Elde edilen denklemlerden, ortalama kayma direnci değeri büyük bir doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Fakat sonraki çalışmalarda bu korelasyon için daha fazla numune çeşidi ile çalışılmalıdır.
- Marshall Metodu ile dizayn için yapılan stabilite ve akma deneyi sonuçlarına göre en yüksek stabilite değeri B karışımında elde edilmiştir. A karışımının stabilite değeri C ve D karışımlarından yüksektir. Bütün karışımlarda şartnamenin üstünde bir stabilite değeri elde edilmiştir. Elde edilen akma ölçümleri, büyüklük sırasıyla  $C > A > D > B$  şeklinde olmuştur. B numunesinde elde edilen yüksek stabilite düşük akma değerleri bu

kayaçtan üretilen karışımın gevrek bir davranış sergileyeceğini göstermektedir. Bu da kaplamanın servis ömrü açısından istenmeyen bir durumdur. A karışımından elde edilen yüksek akma ve stabilite değerleri mermerden üretilen kaplamaların orta trafik hacimli yollardaki performansının en az kalker kökenli kayalardan üretilen kaplamalar kadar iyi sonuç vereceğini göstermektedir. Şekil 8.1.'de karşılaştırmalı stabilite ve akma değerleri görülmektedir.

- Elde edilen optimum bağlayıcı oranları A, B, C ve D karışımlarında sırasıyla % 4,68, % 8,10, % 4,3 ve % 4,53 'dür. Bu değerlere göre B karışımının volkanik kökenli kayacı aşırı poroz bir yapıya sahip olduğundan optimum bağlayıcı miktarı yüksektir. Bu durumda elde edilen değer ekonomiklik sınırının üzerinde olmaktadır. Diğer karışımlarda bu değer ekonomiklik sınırı içerisinde kalmaktadır.



Şekil 8.1. Karşılaştırmalı Stabilite-Bitüm %, Akma-Bitüm % İlişkileri.

- 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 kapasiteli yolların binder tabakaları için yeterli olacaktır. En yüksek eksenel şekil değiştirme D karışımında görülmüş bunu B, C ve A karışımları izlemiştir.
- Afyon ve civarındaki ocaklarda üretilen mermer blokların % 40-60 ‘nın atığa çıktığı düşünülürse bu da yılda yaklaşık 86000 m<sup>3</sup>’lük bir rakama tekabül eder. Mermer ocak artıklarının konkosör şantiyelerinde agregaya haline dönüştürülerek, şehir içi gibi orta trafik hacimli yollarda değerlendirilmesiyle, bu atıklar hem ekonomiye kazandırılmış olacak hem de alternatif ve hesaplı bir agregaya kaynağı elde edilecektir.
- Bu atıkların kullanımının yaygınlaştırılması için kanuni bir düzenleme gerekmektedir. Teşvik edici kanuni düzenlemelerle ülkemizde meydana gelen atıkların daha fazla katma değer yaratacak şekilde kullanım imkanları ortaya çıkacaktır
- Kompozit malzemeyi oluşturan agregalar ve sıcak karışımlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda mermer’den üretilen agregaların düşük ve orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agregaya olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- ACMA Product Group of the British Aggregate Construction Materials Industries (BACMI), 1992, "Bituminous Mixes and Flexible Pavements", ISBN:0952064308, London.
- Akbulut, H. v.d., 2003, "İnşaat Laboratuvar Deneyleri", Afyon Kocatepe Üniversitesi, 12 s., Afyon.
- Akbulut, H., Gürer, C., 2003, "Recycle-Geri Dönüşüm" Konulu panel, 5.Haziran Dünya Çevre Günü Etkinlikleri, Afyon Ticaret ve Sanayi Odası, Afyon, Türkiye.
- Akbulut, H., İçağa, Y., Gürer, C., 2003, "Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları ve CEN Standartları" III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Akbulut, H., Gürer, C., 2003, "Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri, Yol Katmanlarında Kullanarak Faydalanma ve Atık Azaltma İmkanları" Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss 371-378, Afyon.
- Andriani, G., F., Walsh , N., 2002 "Physical Properties of Calcarenitic Rock: Qualitative and Quantitative Evaluation" Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:67, pp 5-15.
- Annual Book of ASTM Standart, 1985, Road and Paving Materials, Standart Test Method for Specific Garvitty and Absorption of Coarse Aggregates. Vol.04.03, Philadelphia, Pa., USA.
- ASTM C 117-90. 1992. Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ 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 1559-89. 1992. Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards USA. [47]
- ASTM D5-97,2003, Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D70-03,2003,Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method), Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D36-95(2000)e1 Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
- ASTM D6-95(2000)e1 Standard Test Method for Loss on Heating of Oil and Asphaltic Compounds, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
- ASTM D92-02b Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
- ASTM D113-99 Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA, 2003.
- 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.
- Atkins, Harold, N., 1997, "Highway Materials, Soils and Concretes", Third Edition, ISBN: 0-13-212862-4, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio.
- Bairagi, N., K., Vidyadhara, H., S., and Ravande, K., 1990 "Mix Design Procedure for Recycled Aggregate Concrete", Construcion and Building Materials, Vol. 4, Issue 4, December, Pages 188-193.
- Banta, L., Cheng, K., Zaniewski, J., 2003. "Estimation of Limestone Particle Mass From 2D Images", Powder Technology, Elsevier Science, Vol.132, pp 184-189.
- British Standards Instution, 1989, BS 812, part 114 "Method for the determination of polished stone value", BSI, London, England.
- CEN, European Committe for Standardisation, 1996 EN 1097-1: /A1:2003 Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 1: Determination of the resistance to wear CEN/TC 154, Brussels.



- CEN, European Committee for Standardisation, 1999, EN 1367-1: Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing, Brussels.
- CEN, European Committee for Standardisation, 1998, EN 1097-2, Test for mechanical and physical properties of aggregates- Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation, Brussels.
- CEN, European Committee for Standardisation, 1997, EN 933-3, Tests for general properties of aggregates: Part 3, Determination of particle shape, Flakiness index, Brussels, pp 7.
- Çelik, M. Y., Sarıışık, A., Gürcan, S., 2003, “Mermer ve Taş Ocaklarının Çevreye Olan Görsel Etkileri”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss 463-475, Afyon.
- Çelik, M. Y., 2003, “İscehisar-Bolvadin (Afyon doğusu) arasındaki Paşadağ yöresinin jeolojisi ve Paşadağ mermerlerinin değerlendirilebilirliğinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 183 s, Ankara.
- Çetin, A., 1997, “Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- de Rezende, R. L., and de Carvalho, J., C., 2003. “The Use of Quarry Waste in Pavement Construction”, Resources Conservation & Recycling, Elsevier Science.
- Drew, L. J., Langer, W. H., Sach, Janet, S., 2002, “Environmentalism and Natural Aggregate Mining”, Natural Resources Research, Elsevier Science, Vol.11, No:1, pp.19-28.
- Ertürk, H., 1996. “Çevre Bilimlerine Giriş”, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:10, ISBN: 975-564-028-2, Bursa.
- Galetakis, M., Raka, S., 2004, “Utilization of Limestone Dust for Artificial Stone Production:an Experimental Approach”, Minerals Engineering , Elsevier Science.
- Gökdemir, İ., 2000, “Köy Yolları Yapım İşleri”, T.C. Başbakanlık, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Köy Yolları Dairesi Başkanlığı, Ankara.

- Gürcan, S., Sabah, E., 2003, "Türkiye ve Afyon'da Mermer Sektörünün Gelişim Trendi", Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 203) Bildiriler Kitabı, ss 387-397, Afyon.
- Halili, A., 2003, "Agrega Üretiminde Kırma-Elleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi", 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Hınıslıoğlu, S., Açar, E., 2003, "Use of Waste High Density Polyethylene as Bitumen Modifier in Asphalt Concrete Mix", Material Letters, Elsevier Science.
- How-Ji, C., Tsong, C., Y., Kuan-Hung, 2003, "Use of building rubbles as recycled aggregates", Cement and Concrete Research, Elsevier Science, Vol.33 pp 125-132.
- Ilıcalı, M., 1988, "Karayolu Üst Yapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.
- Kibici, Y., Yıldız, A. ve Bağcı, M., 2001, Afyon kuzeyinin jeolojisi ve mermer potansiyelinin araştırılması. Türkiye III. Mermer Sempozyumu, (MERSEM '2001), 73 - 85, Afyon.
- Kuloğlu, N., 2001, "Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler", Turk J. Engin Environ Sci, 25, TÜBİTAK.
- Kuşcu, M. ve Yıldız, A., 2001, Ayazini (Afyon) tüflerinin yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Türkiye III. Mermer Sempozyumu, (MERSEM '2001), 85-99, Afyon.
- Kuşcu, M., Yıldız, A. ve Bağcı, M., 2003, "The investigation of usage as building stone of Ağın (Afyon) andesite" IMBS 2003, International Symposium Industrial Minerals and Building Stones, İstanbul.
- Kuşcu, M., Bağcı, M., 2003 "Afyon Mermer Sektörü ve Türkiye Mermer Sektöründeki Yeri", Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 203) Bildiriler Kitabı, ss 127-137, Afyon.
- Little, N. D., and Epps, J., A., 2001, "The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt", National Lime Association, USA.
- Metin, S., Genç, Ş. & Bulut, V., 1987, Afyon ve yakın dolayının jeolojisi, M.T.A. Rap. No: 8103, Ankara.
- Merriam, R., H., H., Rieke, H., H., and Kim, Y., C., 1970, "Tensile strength related to mineralogy and texture of some granitic rocks" Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:4.2, pp 155-160.

- Mroueh, U.-M., Eskola, P., Laine-Ylijoki, J., 2001, "Life-Cycle Impacts of the Use of Industrial by-Products in Road and Earth Constructions", Waste Management, Elsevier Science, Vol:21, pp 271-277.
- O'Flaherty, C.,A., 2002, "Highways", Tordon Hill, Oxford, ISBN:0 7506 50907.
- Okagbue, C., O., Onyeobi, T. U. S., 1999, "Potensial of marble dust to Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction", Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:53, pp 371-380.
- Önal, M., A., Kahramangil, M., 1993, "Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Önal, M., E., Karaca, S., 1984, "Asfalt Betonu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri için Karışım Dizayn Metotları", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Özgül, E.B., 2000, "Şuhut ovasının (Afyon) hidrojeoloji incelemesi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 110 s, Isparta.
- Raisanen, M., 2004, "Relationships between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Jaala-litti complex, southeastern Finland", Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:74, pp 197-211.
- Robinson Jr., G. R., Menzie, W.D., Hyun, H., 2004 "Recycling of Construction Debris as Aggregate in the Mid-Atlantic Region, USA", Resources Conservation & Rcyling, Elsevier Science, Article in press.
- Sagoe-Crentsil, K., and Brown, T., 1998, "Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Concrete Production-Final Report" CSIRO, Building, Construction and Engineering, Sept, Victoria, Australia.
- Sarız, K., Nuhoglu, İ., 1992., "Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği", Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, NO:62, Eskişehir.
- Sonuç, T., 1976, "Karayolu Tekniği", Cilt-2, İstanbul.
- Şengöz, B. and Topal, A., 2004 "Use of Asphalt Roofing Shingle Waste in HMA", Construction and Building Materials, Elsevier Science, Article in press.

- Terzi, S., Karavaşin, M., 2003, "Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 14, Sayı 2.
- The Asphalt Handbook, 1989 Asphalt Institute, Manuel Series No:4 (MS-4), Edition.
- Tığdemir, M., Karavaşin, M., and Şen, Z., 2001, "Investigation of fatigue behaviour of asphalt concrete pavements with fuzzy-logic approach", International Journal of Fatigue, Elsevier Science, Vol 24, pp 903-910.
- Tığdemir, M., Karavaşin, M., Kurbanoğlu, 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.
- Transport Research, 1999, "Development of New Bituminous Pavement Design Method Final Report of the Action", Belgium,.
- Tunç, A., 2001, "Yol Malzemeleri ve Uygulamaları", Atlas Yayın Evi, ISBN:975-6574-003 Temmuz, İstanbul.
- Tuğrul, A., Zarif, I., H.,1998 "Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks From Turkey", Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:51, pp 303-317.
- Umar, F., Açar, E., 1991. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Ünal, O., 2003. Mermer Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, Proje No: 00.TEF.03, Afyon.
- Vallius, P., 1995.The suitability of rapakivi granite varieties of Wiborg batholith for the production of asphalt pavement.PhD dissertation. FinnRA Research Report 1.109 pp.
- Watson, J., 1989, "Highway Construction & Maintenance", Longman Group UK Limited, ISBN: 0-582-00523-X,.
- White, M., "Bituminous Mixes and Flexible Pavements an Introduction",England.
- Winter, M. G., ,Henderson, C., 2003, "Estimates of the Quantities of Recycled Aggregates in Scotland", Engineering Geology, Elsevier Science, Vol.70, pp 205-215.

Woodside, A. R., Lyle, P., Woodward, W., D., H., Perry, M.,J.,1998, “Possible Problems with High PSV Aggregate of the Gritstone Trade Group”, Advances in Aggregates and Armoustone Evaluation, Geological Society, Engineering Geology Special Puplications, vol:13, p:159-167,London.

Yıldız, A. Kibici, Y. ve Emrulloğlu Ö. F., (1999). Seydiler (Afyon) diyatomit yatağının jeolojisi ve mineralojisi. 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu (BAKSEM’ 99), s: 96 – 104, İzmir.

Yılmaz, E., Kesimal, A., Ercıktı, B., ve Kaya, R., 2003, “Seslidere Taşocağı’ndan Üretilen Kayanın Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği”, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

Zoorob, S. E., Suparma, L. B., 2000, “Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt)”, Cement & Concrete Compasites , Elsevier Science, Vol.22 pp 233-242.

Zorluer, İ., Usta, M., 2003, “Zeminlerin Atık Mermer Tozu ile İyileştirilmesi”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss 305-311, Afyon.

<http://www.cevko.org.tr>, 20/02/2003.

## TEŞEKKÜR

Bu tezin yapılmasında bana yol gösteren danışmanım ve değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT'a, Karayolu Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Daire Başkanlığı üst yapı laboratuvarı çalışanlarına, Afyon Belediyesi asfalt laboratuvarı imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve çalışmama yardımcı olan Afyon Belediyesi Asfalt şube müdürü Güven Kayhan'a, Afyon Belediye'si asfalt laborantı Ahmet İBA'ya ve tüm asfalt şantiyesi personeline, deneylerim sırasında, laboratuvar imkanlarını kullanmama izin vererek bana bizzat yardımcı olan S.D.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN ve Yrd.Doç.Dr. Mesut TIĞDEMİR'e, tezimle ilgili fikir alışverişinde bulunduğum ve tezimin bir bölümünde birlikte çalıştığım A.K.Ü. Afyon Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Ahmet YILDIZ'a, beni bugünlere getiren sevgili aileme, tanıdığım günden bu yana hayatımın her anında yanımda olup bana her konuda destek olan, benimle birlikte telaşemi çeken sevgili eşim Dr.Belgin DİLEK GÜRER'e teşekkürü bir borç bilirim.

01.12.2004

Araş.Gör.Cahit GÜRER

## ÖZGEÇMİŞ

24 Mart 1976 yılında Afyon'da doğdu. Antakya Vali Teoman İlkokulunu 1987 yılında bitirdi. Mardin Lisesi Orta kısmından 1990 yılında mezun oldu. Afyon Lisesindeki eğitimini 1993 yılında tamamladı. 1996 yılında Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 29 Haziran 2000 tarihinde mezun oldu. 2000-2001 tarihleri arasında özel sektörde çalıştı. 1 Ağustos 2001 tarihinde Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalına araştırma görevlisi olarak atandı. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalındaki yüksek lisans eğitimini Ocak 2005 tarihinde tamamladı. Halen Yapı Eğitimi Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.



**Cahit GÜRER**

**Adres:** Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü  
Teknik Eğitim Fakültesi  
Yapı Eğitimi Bölümü

**AFYON**

**Tel** : 0 272 2281311-(211)

**e-mail** : [cgurer@aku.edu.tr](mailto:cgurer@aku.edu.tr)





## A NUMUNESİ İÇİN MARSHALL DİZAYN SONUÇLARI

Briket No	Bitüm %si	Briket Yitkiselikliği			Havadaki		Sudaki		Doy. Yüz. Kurum		Hacim cm3	Hacim Özg. Ağırlık (Dp)	Maks. Teo. Öz. Ağı. (Dt)	Boşluk % Vh	YMA %	Asfaltla Dolu Boşluk % (Vf)	Alkma (mm)	Stabilite		Düz. Fak.	Düz. Fak. Stabilite
		1	2	3	ORT.	Ağırlık (g) A.	Ağırlık (g) C.	Ağırlık (g) B.	Ağırlık (g) A.	Ağırlık (g) B.								(kg)	(mm)		
1	3,5	42	64,6	65,2	64,2	64,7	1236,6	724,9	1240,4	515,5	2,399					2,80	1029	0,970	998,1		
2	3,5	42	64,6	64,0	66,4	65,0	1235,9	724,9	1239,9	515,0	2,400	2,563	6,40	13,9	54,0	2,70	1311	0,962	1261,2		
3	3,5	42	64,4	64,0	65,6	64,7	1241,9	727,0	1244,9	517,9	2,398					2,90	1262	0,970	1224,1		
<b>ORTALAMALAR</b>																					
4	4	48	65,0	64,0	63,8	64,3	1242,6	729,6	1245,4	515,8	2,409					2,80	1200,7		1161,1		
5	4	48	64,0	64,8	64,2	64,3	1241,0	728,1	1243,0	514,9	2,410	2,545	5,58	14,2	60,7	2,90	1258	0,980	1232,8		
6	4	48	64,6	65,4	65,0	65,0	1243,9	727,1	1247,4	520,3	2,390					2,80	1236	0,980	1211,3		
<b>ORTALAMALAR</b>																					
7	4,5	54	64,8	64,0	65,2	64,7	1247,4	738,2	1250,4	512,2	2,435					2,75	1372	0,962	1319,9		
8	4,5	54	64,6	63,6	64,8	64,3	1248,8	740,4	1252,2	511,8	2,440	2,528	3,80	13,5	71,9	2,80	1396	0,970	1354,1		
9	4,5	54	65,4	64,0	64,6	64,7	1249,5	736,0	1251,9	515,9	2,422					2,70	1430	0,980	1401,4		
<b>ORTALAMALAR</b>																					
10	5	60	64,4	64,8	64,6	64,6	1252,9	742,1	1255,0	512,9	2,443					3,10	1319	0,970	1279,4		
11	5	60	63,6	64,2	63,6	63,8	1251,5	741,9	1252,9	511,0	2,449	2,510	2,59	13,5	80,8	2,86	1381		1345,0		
12	5	60	64,8	65,0	64,8	64,9	1254,3	742,0	1255,7	513,7	2,442					3,50	1068	0,972	1038,1		
<b>ORTALAMALAR</b>																					
13	5,5	66	64,0	63,8	64,4	64,1	1253,7	746,9	1254,6	507,7	2,469					3,40	1118	0,985	1101,2		
14	5,5	66	65,0	64,8	64,8	64,9	1256,9	745,2	1258,7	513,5	2,448	2,493	1,52	13,6	88,8	3,50	1089	0,965	1050,9		
15	5,5	66	65,0	64,6	64,4	64,7	1257,7	744,2	1258,2	514,0	2,447					3,40	1070	0,967	1034,7		
<b>ORTALAMALAR</b>																					
16	6	72	67,0	67,4	67,6	67,3	1189,7	699,3	1191,4	492,0	2,418 *					3,46	1050,7		1026,2		
17	6	72	64,0	65,4	64,8	64,7	1260,4	746,3	1261,0	514,7	2,449	2,477	1,21	14,3	91,5	3,60	759	0,911	691,4		
18	6	72	66,6	65,4	65,8	65,9	1256,1	742,7	1256,7	514,0	2,444					3,60	897	0,970	870,1		
<b>ORTALAMALAR</b>																					
											2,447					3,60	817		770,4		

**B NUMUNESİ İÇİN MARSHALL DIZAYN SONUÇLARI**

Briket No	Briket Yüksekliği				Havadaki		Sudaki		Doy. Yüz. Kuru	Hacim cm <sup>3</sup>	Hacim Özg. Ağırlık (Dp)	Maks. Teo. Öz. Ağır. (Dt)	Boşluk % Vh	VMMA %	Asfaltla Dolu Boşluk % (Vf)	Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düz. Fak.	Düz. Stabilite
	Bütüm %'si	1	2	3	ORT.	Ağırlık (g) A	Ağırlık (g) C	Ağırlık (g) B											
1	7	77	74,2	74,0	73,0	73,7	1149,6	589,1	1161,0	571,9	2,010	2,106	4,46	11,8	62,2	2,30	1490	0,797	1187,5
2	7	77	73,0	72,0	72,8	1156,8	593,4	1163,3	569,9	2,030									
3	7	77	74,6	74,6	73,6	1157,5	590,5	1170,5	580,0	1,996									
<b>ORTALAMALAR</b>																			
4	7,5	82,5	72,8	72,4	73,6	72,9	1164,5	597,4	1173,7	576,3	2,021	2,096	3,24	12,2	73,4	2,40	1560	0,810	1263,6
5	7,5	82,5	71,6	71,6	72,8	1165,0	599,4	1172,0	572,6	2,035									
6	7,5	82,5	72,8	72,0	72,0	1165,3	597,1	1171,8	574,7	2,028									
<b>ORTALAMALAR</b>																			
7	8	88	72,8	73,0	74,0	73,3	1171,9	599,2	1177,9	578,7	2,025	2,086	2,83	11,9	76,2	3,10*	1153	0,804	927,0
8	8	88	73,4	74,0	74,0	73,8	1169,1	598,0	1176,1	578,1	2,022								
9	8	88	72,8	73,4	72,2	72,8	1169,5	599,7	1174,7	575,0	2,033								
<b>ORTALAMALAR</b>																			
10	8,5	93,5	74,0	73,2	74,6	73,9	1172,7	603,7	1178,7	575,0	2,039	2,076	1,73	11,8	85,3	2,00	1668	0,808	1347,7
11	8,5	93,5	72,8	72,0	73,0	72,6	1174,9	604,6	1179,4	574,8	2,044								
12	8,5	93,5	73,0	72,8	73,6	73,1	1175,9	604,3	1181,4	577,1	2,038								
<b>ORTALAMALAR</b>																			
13	9	99	72,0	72,8	73,0	72,6	1182,0	607,5	1184,8	577,3	2,047	2,066	0,68	11,7	94,2	2,40	1570	0,814	1278,0
14	9	99	72,6	72,2	71,6	72,1	1179,7	610,8	1182,1	571,3	2,065								
15	9	99	73,6	72,4	72,8	72,9	1178,6	605,2	1181,7	576,5	2,044								
<b>ORTALAMALAR</b>																			
16	9,5	104,5	72,2	71,6	71,0	71,6	1190,2	612,6	1191,3	578,7	2,056	2,057	0,15	12,0	98,8	2,65	1478	0,828	1223,8
17	9,5	104,5	71,2	72,0	72,6	71,9	1192,0	613,5	1193,8	580,3	2,054								
18	9,5	104,5	72,6	71,8	72,0	72,1	1188,5	611,2	1190,1	578,9	2,053								
<b>ORTALAMALAR</b>																			
																2,75	1413		1164,9

**C NUMUNESİ İÇİN MARSHALL DİZAYN SONUÇLARI**

Briket No	Bitüm %si	Briket Yıkeseğiği			Havadaki Ağırlık (g) A	Sudaki Ağırlık (g) C	Doy.Yüz. Kuru Ağırlık (g) B	Hacim cm3	Hacim Özg. Ağırlık (Dp)	Maks. Teo. Öz. Ağr. (Dt)	Boşluk %		Asfaltla Dolu Boşluk % (Vf)	Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düz. Fak.	Düz. Stabilite
		1	2	3							Vh	%					
1	3,5	42	65,0	64,8	66,0	65,3	1237,2	726,8	1242,9	516,1	2,397	5,64	12,8	3,00	1311	0,955	1252
2	3,5	42	64,6	64,4	65,6	64,9	1238,1	726,2	1243,5	517,3	2,393			2,90	1214	0,965	1171,5
3	3,5	42	65,0	66,2	65,0	65,4	1238,3	723,7	1242,6	518,9	2,386			3,10	1224	0,953	1166,5
<b>ORTALAMALAR</b>														<b>3,00</b>	<b>1249,7</b>		<b>1196,7</b>
4	4	48	64,8	64,4	64,2	64,5	1241,0	735,8	1245,2	509,4	2,436			3,00	1315	0,975	1282,1
5	4	48	65,6	64,8	65,4	65,3	1244,9	735,0	1249,7	514,7	2,419	3,46	11,8	3,10	1227	0,955	1171,8
6	4	48	65,0	64,4	64,0	64,5	1244,2	736,1	1246,4	510,3	2,438			3,10	1469	0,975	1432,3
<b>ORTALAMALAR</b>														<b>3,07</b>	<b>1337</b>		<b>1295,4</b>
7	4,5	54	63,6	64,0	63,0	63,5	1252,7	743,2	1252,9	509,7	2,458			3,25	1238	1,000	1238,0
8	4,5	54	64,0	64,8	63,8	64,2	1250,0	737,8	1251,4	513,6	2,434	2,04	11,5	3,30	1220	0,982	1198,0
9	4,5	54	63,6	64,6	64,0	64,1	1248,8	741,6	1249,8	508,2	2,457			3,25	1215	0,985	1196,8
<b>ORTALAMALAR</b>														<b>3,27</b>	<b>1224,3</b>		<b>1210,9</b>
10	5	60	65,0	64,6	64,8	64,8	1252,1	741,7	1253,4	511,7	2,447			3,35	1158	0,967	1119,8
11	5	60	65,0	65,2	64,6	64,9	1255,8	745,6	1257,6	512,0	2,453	1,13	11,7	3,30	1114	0,965	1075,0
12	5	60	64,2	63,8	64,0	64,0	1255,5	747,5	1255,9	508,4	2,470			3,30	1215	0,988	1200,4
<b>ORTALAMALAR</b>														<b>3,31</b>	<b>1162,3</b>		<b>1131,7</b>
13	5,5	66	65,2	63,8	64,4	64,5	1256,7	748,3	1257,0	508,7	2,470			3,35	1130	0,975	1101,8
14	5,5	66	65,8	64,6	65,0	65,1	1261,4	746,5	1262,2	515,7	2,446	0,45	12,1	3,30	939	0,960	901,4
15	5,5	66	64,0	65,0	64,4	64,5	1258,4	747,1	1259,4	512,3	2,456			3,35	1048	0,975	1021,8
<b>ORTALAMALAR</b>														<b>3,32</b>	<b>1039</b>		<b>1008,3</b>
16	6	72	64,6	65,6	64,6	64,9	1262,7	747,9	1263,7	515,8	2,448			3,70	875	0,965	844,4
17	6	72	64,4	64,6	64,4	64,5	1259,1	743,7	1259,6	515,9	2,441	0,29	12,9	3,45	878	0,975	856,1
18	6	72	64,4	65,0	64,0	64,5	1258,8	745,4	1260,0	514,6	2,446			3,45	794	0,975	774,2
<b>ORTALAMALAR</b>														<b>3,53</b>	<b>849</b>		<b>824,9</b>

**D NUMUNESİ İÇİN MARSHALL DIZAYN SONUÇLARI**

Briket No	Bitim %si	Briket Yüksekliği			Havadaki Ağırlık (g) A	Sudaki Ağırlık (g) C	Doy. Yüz. Kuru Ağırlık (g) B	Hacim cm3	Hacim Örg. Ağırlık (Dp)	Maks. Teo. Öz. Ağır. (Dt)	Boşluk %		Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düz. Fak.	Düz. Stabilite
		1	2	3							Vh	VMA %				
1	3,5	42	65,6	66,0	65,7	1238,8	1248,8	522,9	2,369	2,548	6,91	14,2	1010	0,947	956,5	
2	3,5	42	65,6	66,2	65,0	1241,4	1248,6	522,6	2,375							
3	3,5	42	65,0	66,0	65,3	1238,9	1245,3	522,1	2,373							
3*	3,5	42	67,0	65,4	65,6	1235,1	1243,8	525,2	ihmal							
<b>ORTALAMALAR</b>																
4	4	48	65,6	65,0	64,4	1243,1	1247,7	517,2	2,404	2,530	5,18	13,6	1020	0,962	981,2	
5	4	48	65,0	66,0	64,8	1241,4	1248,0	518,3	2,395							
6	4	48	65,0	65,0	65,2	1244,8	1249,6	519,4	2,397							
<b>ORTALAMALAR</b>																
7	4,5	54	65,6	64,2	65,0	1248,7	1253,4	518,2	2,410	2,513	4,10	13,5	1185	0,957	1134,0	
8	4,5	54	65,2	64,8	65,2	1246,9	1249,7	515,9	2,417							
9	4,5	54	66,0	65,0	66,0	1248,1	1250,8	517,0	2,414							
<b>ORTALAMALAR</b>																
10	5	60	64,6	64,6	64,6	1251,8	1254,0	509,1	2,459	2,495	1,51	12,6	980	0,972	952,6	
11	5	60	63,8	63,6	63,3	1252,6	1253,4	507,6	2,468							
12	5	60	64,6	65,0	64,2	1256,2	1257,7	513,2	2,448							
<b>ORTALAMALAR</b>																
13	5,5	66	63,4	64,8	63,2	1251,4	1252,7	510,6	2,451	2,479	1,47	13,3	1049	0,992	1040,0	
14	5,5	66	64,8	63,6	64,8	1250,9	1252,7	514,9	2,429							
15	5,5	66	64,6	64,2	65,4	1254,5	1255,6	512,0	2,450							
<b>ORTALAMALAR</b>																
16	6	72	64,0	65,4	64,0	1258,2	1259,2	514,9	2,444	2,463	0,94	13,8	885	0,975	862,9	
17	6	72	63,6	64,0	64,8	1251,0	1252,0	511,8	2,444							
18	6	72	64,6	64,4	65,0	1256,5	1258,0	516,5	2,443							
<b>ORTALAMALAR</b>																
								2,440					907		880,3	