

171228

ÇERÇİDERESİ TAŞOCAĞI MALZEMESİNİN
BETON VE ASFALT AGREGASI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Ahmet YİĞİT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN İŞLETME ANABİLİM DALI
2005

**ÇERÇİDERESİ TAŞOCAĞI MALZEMESİNİN BETON VE ASFALT AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

AHMET YİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN İŞLETME ANABİLİM DALI
2005**

Danışman: Yard. Doç. Dr. Yavuz Selim DURUTÜRK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet DEMİRCİ

Dr. Ahmet Demirci

Üye: Yrd. Doç Dr. Hüseyin YILMAZ

Hüseyin Yılmaz

Üye: Yrd. Doç Dr. Y. Selim DURUTÜRK

Y. Selim Durutürk

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

..../07/2005

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Rauf AMİROV



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora tez yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çerçideresi Taşocağı Malzemesinin Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Ahmet YİĞİT

Cumhuriyet Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden İşletme Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Y. Selim DURUTÜRK

Bu araştırma kapsamında, Sivas Çerçideresi taşocağı malzemesinin beton ve asfalt agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yönelik olarak, öncelikle mineral agrega, beton ve asfalt üzerine geniş kapsamlı bir literatür araştırması yapılmış ve konu ile ilgili standartlar ve şartnameler incelenmiştir.

Laboratuar çalışmaları, Sivas Çerçideresi taşocağından alınan malzeme üzerinde dört aşamalı olarak ve beton ve bitüm laboratuvarlarında olmak üzere iki farklı laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Beton laboratuvarı çalışmalarında, agreganın fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla dona karşı mukavemet, aşınma, özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiş, malzeme elek analizine tabii tutularak gerekli gradasyonlarda malzeme ayrılmış ve beton karışım oranları belirlenmiştir. Belirlenen karışım oranına göre beton harcı hazırlanmış, kalıplara dökülerek küre tabii tutulmuş, kür sonunda 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımları belirlenmiş ve dayanıma göre beton sınıfları tayin edilmiştir. Bitüm laboratuvarı çalışmalarında; agreganın asfalt agregası olarak kullanılabilirliğini tespit etmek amacıyla, yapışma, soyulma, yassılık ve Marshall stabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca asfalt çimentosunun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için de gerekli deneyler yapılmıştır. Agreganın sathi kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için aderansı artırıcı katkı kullanılması gerektiği belirlenmiş ve % 0.04 katkı kullanılarak optimum sonuç elde edilmiştir. Sıcak karışım dizaynı yapılarak optimum bitüm oranı %5.54 olarak bulunmuştur.

Deneylelerden elde edilen bütün sonuçlar ilgili standartlar belirtilerek ve ilgili şartnamelerle karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve Sivas Çerçideresi taşocağından üretilen bazaltların; kaliteli olduğu, beton ve asfalt agregası olarak kullanılabilceği ve ayrıca yaklaşık 1 milyon m³ görünür jeolojik rezervle çevre için önemli bir kaynak olduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Beton Agregası, Asfalt Agregası, Asfalt Çimentosu ve İnce Kum.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION of USABILITY of ÇERÇİDERESİ COLLIERY MATERIAL AS CONCRETE and ASPHALT AGGREGATE

Ahmet YİĞİT

Cumhuriyet University-Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Y. Selim DURUTÜRK

In this research study, firstly, a comprehensive literature survey is carried out on mineral aggregates, concrete and asphalt and associated standards and regulations carefully studied in an effort to investigate the usability of Çerçideresi colliery material as concrete and asphalt aggregate.

Laboratory studies on samples obtained from Çerçideresi colliery are done on four stages in concrete and bituminous departments. Studies in concrete testing laboratory aim to determine the physical characteristics of the aggregate samples and comprise of frost resistance, wearing resistance, specific gravity and adsorption tests. The samples are subjected to sieving tests and concrete mixture ratios thus, determined. Concrete mortar samples prepared with respect to above blending rates are cast into mold and undergone the curing process. At the end of curing, strength of concrete samples for 7 and 28 days are determined. This procedure enables the categorization of concrete samples. In bituminous laboratory sticking ability, peeling ability, flatness and Marshall stability tests are carried out on samples to establish the usability of Çerçideresi colliery material. Other necessary tests are also made to determine the physical properties of asphalt cement. It is concluded that adherence-increasing additives should be used in order to enable the aggregates to be utilized as surface-coating material. A 0.04% addition leads to optimum results. After hot blending design, optimal ratio of bituminous material is found as 5.54%.

After all the results obtained from studies are evaluated with associated regulations and standards it is concluded that the basalt material from Çerçideresi colliery is qualified and thus can be used as concrete and asphalt aggregate. Besides the Colliery, with a proven geological reserve of approximately 1×10^6 t, stands as a significant source for the environment.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, çalıőmamın baőlangıcından son aőamasına kadar bana her tırlı yardımı yapan gürőő ve eleőtirilerinden faydalandığım danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim DURUTÖRK'e tez boyunca yaptığım katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yo gosteren Prof. Dr. Ahmet DEMİRCİ, Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU, Doç. Dr. Bülent ERDEM, Yrd. Doç. Dr. Ömer Lütfü SÜL, Yrd. Doç. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ ve Yrd. Doç. Dr. Salih YÜKSEK hocalarıma teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin Laboratuvar alıőmaları aşamasında yardımcı olan ve bütün imkânları sağlayan Prof. Dr. Mehmet CANBAZOĞLU'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Laboratuvar çalıőmalarımın büyük çoğunluğunu yaptığım Karayolları 16. Bölge Müdürlüğü Araştırma başmühendisliği Araştırma Baőmühendisi Ertuğrul KARAKAŐ'a, jeolojik verilerin yorumlanmasında yardımcı olan Yük. Jeo. Müh. Ender YILDIZ'a, Beton Laboratuvar sorumlusu Ahmet KARACA'ya, Bitüm Laboratuvar sorumlusu Sami GEMİCİ'ye, teknisyenlerimiz Murat DÜLGER ve Metin METİNER'e teşekkür ederim.

Her konuda sabırla yardımcı olan eőim ve aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	9
2.1. Agregalar.....	9
2.1.1. Giriş.....	9
2.1.2. Agregaların Sınıflandırılması	10
2.1.3. Agregalarda Aranılan Özellikler.....	11
2.1.4. Agregada Gradasyonu	11
2.1.5. Agreganın Maksimum Tane Büyüklüğü.....	14
2.1.6. Agregada Tane Şekli ve Önemi.....	16
2.1.7. Agregadaki Mevcut Nem Durumu ve Agreganın Su Emme Kapasitesi.....	17
2.1.8. Agreganın Birim Ağırlığı (Yoğunluğu).....	18
2.1.9. Agreganın Özgül Ağırlığı.....	20
2.1.10. Agreganın Fiziksel Etkenler Karşısındaki Dayanıklılığı.....	22
2.1.11. Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Maddeler.....	23
2.1.12. Agreganın Mekanik Özellikleri.....	25
2.1.13. Agreganın Isısal Özellikleri	27
2.2. Betona Yönelik Literatür Araştırması	30
2.2.1. Giriş.....	30
2.2.2. Betonun Tanımı ve Sınıflandırılması	30
2.2.3. Betondan Beklenen Özellikler.....	32
2.2.4. Beton Özelliklerine Etki Eden Bazı Faktörler	40
2.2.5. Taze ve Sertleşmiş Beton Kavramları	43
2.2.6. Diğer Yapı Malzemelerine Göre Betonun Avantajları ve Dezavantajları	45
2.3. Asfalta Yönelik Literatür Araştırması.....	49
2.3.1. Giriş.....	49
2.3.2. Yol Kaplamaları	49
2.3.3. Esnek Kaplamalar.....	54
2.3.4. Rijit (Beton) Kaplamalar.....	57
2.3.5. Kaplamalarda Aranılan Özellikler.....	58
2.3.6. Bitümlü Malzemeler.....	63
3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	65
3.1. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler.....	65
3.2. Laboratuvar Deneyleri ve Sonuçları.....	65
3.2.1. Mineral Agregada Deneyleri.....	65
3.2.1.1. Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Agregada Gradasyonunun Belirlenmesi	65
3.2.1.2. Agregada Birim Ağırlığının Tayini.....	69
3.2.1.3. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi.....	72
3.2.1.4. Agregaların Isı Değişikliklerine Karşı Çabuklaştırılmış Mukavemet Deneyi (Dona Karşı Mukavemet Deneyi).....	76
3.2.1.5. Kaba Agreganın Aşınma Deneyi (Los Angeles Yöntemi)	77
3.2.1.6. Agregada İçindeki Boşlukların Tayini.....	80
3.2.2. Beton Deneyleri.....	81
3.2.2.1. Taze Beton Deneyleri.....	81
3.2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	85

3.2.2.3. İnce Kum (Dere Malzemesi) Deneyleri	91
3.2.2.3.1. No. 200 (0.074 mm) Elekten Geçen Malzeme Miktarının Belirlenmesi Deneyi	91
3.2.2.3.2. Kil Topaklarının Tayini Deneyi	92
3.2.2.3.3. Yabancı Organik Madde Tayini Deneyi.....	94
3.2.2.3.4. İncelik Modülü Tayini.....	94
3.2.3. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	95
3.2.3.1. Penetrasyon Deneyi.....	95
3.2.3.2. Parlama Deneyi.....	97
3.2.3.3. Özgül Ağırlık Deneyi.....	97
3.2.4. Asfalt Agregası Deneyleri.....	98
3.2.4.1.Yapışma Deneyi (Vialit Yöntemi).....	98
3.2.4.2. Soyulma Mukavemeti Deneyi (Nichollson Yöntemi).....	99
3.2.4.3. Yassılık İndeksi Tayini	101
3.2.4.4. Marshall Stabilitate Deneyi.....	102
4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	107
4.1. Mineral Agrega Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	107
4.1.1. Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	107
4.1.2. Mineral Agregaya Yönelik Diğer Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	110
4.2. Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	112
4.2.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	112
4.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	114
4.2.3. İnce Kum (Dere Malzemesi) Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	117
4.3. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	119
4.4. Asfalt Agregası Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	121
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	123
KAYNAKLAR.....	127
ÖZGEÇMİŞ.....	130
EKLER.....	131

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çerçideresi bazalt taşocağı sahası yer buldurdu haritası	4
Şekil 1.2. Çerçideresi taşocağı alanının topografik haritası	5
Şekil 1.3. Çerçideresi taşocağı alanına ait jeoloji haritası.....	7
Şekil 1.4. Çerçideresi taşocağı alanının stratigrafik kesiti	8
Şekil 2.1. Referans gradasyon eğrileri ($D_{max} = 31.5$ mm).....	13
Şekil 2.2. Referans gradasyon eğrileri ($D_{max} = 16$ mm).....	13
Şekil 2.3. Agreganın rutubetinin şematik gösterimi	18
Şekil 2.4. Agreganın özgül ağırlık özelliğini açıklamak amacıyla geometrik olarak gösterilişi..	20
Şekil 2.5. Kaplama tipleri ve tabakaları	50
Şekil 3.1. Los Angeles aşınma düzeneği.....	80
Şekil 3.2. Silindir Kalıp ve Anma Boyutları.....	86
Şekil 3.3. Silindir Numunelerde Kırılma Şekilleri.....	90
Şekil 3.4. Penetrasyon deney aleti.....	96
Şekil 3.5. Marshall stabilite deney aleti.....	103
Şekil 3.6. Marshall Deneyi Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Mıçır Numaraları ve Çapları.....	9
Çizelge 2.2. Agregaların Sınıflandırılmaları	10
Çizelge 2.3. Türk Standartlarına Göre, 1 m ³ Betonun Oluşturan Su, Çimento, İnce Agrega ve Hava Miktarları	15
Çizelge 2.4. Doğal Agregaların Ortalama Birim Ağırlıkları.....	19
Çizelge 2.5. Dona Dayanıklılık Deneylerinde Agregada Oluşabilecek Maksimum Ağırlık Kayıpları.....	23
Çizelge 2.6. Bazı Kayaların, Sertleşmiş Çimento Hamurunun ve Betonun Lineer Genleşme Katsayıları.....	28
Çizelge 2.7. Bazı Kayaların Isıl Geçirgenlik Değerleri	29
Çizelge 2.8. Standart Bir Betonun Oluşturan Malzeme Yüzdeleri.....	31
Çizelge 2.9. Betonun Sınıflandırılması.....	31
Çizelge 2.10. Beton Kıvamı ve Özellikleri.....	34
Çizelge 2.11. Tipik Bir Betonun Çeşitli Özellikleri.....	45
Çizelge 2.12. Düşük Stabilite Nedenleri ve Etkileri.....	59
Çizelge 2.13. Düşük Durabilite Nedenleri ve Etkileri.....	60
Çizelge 2.14. Karışımları Geçirimli Yapan Nedenler ve Etkileri.....	60
Çizelge 2.15. İşlenebilirlik Problemlerinin Nedenleri ve Etkileri	61
Çizelge 2.16. Zayıf Yorulma Direncinin Nedenleri ve Etkileri	62
Çizelge 2.17. Düşük Kayma Direnci Nedenleri ve Etkileri	62
Çizelge 3.1. Tane Büyüklüğüne ve Elek Çapına Göre Malzeme Miktarları.....	66
Çizelge 3.2. Yol Yapı Malzemesi ve Asfalt Agregası Olarak (Tüvenan) Kullanılacak Agregaya Ait Elek Analizi Sonuçları.....	66
Çizelge 3.3. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (7-15 mm) Elek Analizi Sonuçları.....	67
Çizelge 3.4. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (15-30 mm) Elek Analizi Sonuçları.....	68
Çizelge 3.5. Hafik Kuru Deresi İnce Agrega (0-7 mm) Elek Analizi Sonuçları.....	68
Çizelge 3.6. Ölçü Kaplarının Boyutları.....	69
Çizelge 3.7. Hafik Kuru Deresi İnce Agrega (0-7 mm) Birim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları.....	71
Çizelge 3.8. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (7-15 mm) Birim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları.....	71
Çizelge 3.9. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (15-30 mm) Birim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları.....	72
Çizelge 3.10. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (7-15 mm) Özgül Ağırlık Deney Sonuçları.....	74
Çizelge 3.11. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (15-30 mm) Özgül Ağırlık Deney Sonuçları.....	74
Çizelge 3.12. Hafik Kuru Deresi İnce Agrega (0-7 mm) Özgül Ağırlık Deney Sonuçları.....	75
Çizelge 3.13. Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Olan Mineral Agregaya Uygulanan Dona Karşı Mukavemet Deneyi Sonuçları.....	77
Çizelge 3.14. Gradasyon Tipine Göre Küre Sayısı ve Yük Ağırlığı.....	78
Çizelge 3.15. Deney Numunelerinin Gradasyonları ve Alınacak Numune Miktarları.....	78
Çizelge 3.16. Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Olan Mineral Agregaya Uygulanan Kaba Agreganın Aşınma Deneyi Sonuçları.....	79
Çizelge 3.17. Beton Agregası Olarak Kullanılacak Olan Mineral Agreganın Gevşek ve Sıkışık Boşluk Miktarları	80
Çizelge 3.18. Taze Betonun Çökme Sınıflaması.....	82
Çizelge 3.19. Taze Betona Uygulanan Çökme Deneyi Sonuçları	82
Çizelge 3.20. Taze Betona Uygulanan Mala Deney Sonucu	83
Çizelge 3.21. Taze Betona Uygulanan Birim Hacim Ağırlık ve Verim Deneyi Sonuçları.....	85
Çizelge 3.22. Sertleşmiş Betona Uygulanan İşlemler ve Deney Sonuçları.....	88
Çizelge 3.23. Sertleşmiş Betona Uygulanan Beton Basınç Dayanımı Tayini Deney Sonuçları..	91

Çizelge 3.24. (No.200) 0.074 mm Elekten Geçen Malzeme Miktarının Belirlenmesi Deneyi Sonucu.....	92
Çizelge 3.25. Malzemenin Tane Büyüklüğüne Göre Alınacak Numune Miktarları ve Yıkama Eleği açıklıkları	93
Çizelge 3.26. Kil Topakları Tayini Deney Sonuçları.....	94
Çizelge 3.27. Yabancı Organik Madde Tayini Deney Sonucu.....	94
Çizelge 3.28. İncelik Modülü Hesabı	95
Çizelge 3.29. Penetrasyon Deneyi Sonucu	96
Çizelge 3.30. Parlama Noktası Deneyi Sonucu.....	97
Çizelge 3.31. Özgül Ağırlık Deneyi Sonucu.....	98
Çizelge 3.32. Yapışma Deneyi (Vialit Metodu) Sonuçları	99
Çizelge 3.33. Soyulma Mukavemeti Deneyi (Nichollson Metodu) Sonuçları.....	100
Çizelge 3.34. Yassılık İndeksi Tayini Deneyinde Kullanılacak Minimum Malzeme Miktarı....	101
Çizelge 3.35. Yassılık İndeksi Tayini Deney Sonucu	102
Çizelge 3.36. Marshall Deneyi Sonuçları	104
Çizelge 4.1. Yol Yapı Malzemesi Olarak Kullanılacak Agregaya Ait Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	107
Çizelge 4.2. Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Agregaya Ait Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	108
Çizelge 4.3. Çerçideresi Taşocağı 7-15 mm ve 15-30 mm İri Agregaya Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	109
Çizelge 4.4. Hafık Kuru Deresi İnce Agregaya Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	109
Çizelge 4.5. Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Mineral Agregaya Uygulanan Deneylerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	111
Çizelge 4.6. Taze Betona Uygulanan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	113
Çizelge 4.7. Sertleşmiş Betona Uygulanan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	115
Çizelge 4.8. Karakteristik Basınç Dayanımına Göre Beton Sınıfları	116
Çizelge 4.9. Karakteristik Basınç Dayanımına Göre Beton Sınıfları.....	116
Çizelge 4.10. Beton Sınıfına Göre 1 m ³ Sıkışmış Beton İçin Gereken Kuru Malzeme Miktarları.....	117
Çizelge 4.11. Betonda Karışımında Kullanılan İnce Agregaya Şartname Sınırları.....	117
Çizelge 4.12. İnce Kum (Dere Malzemesi) Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	118
Çizelge 4.13. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	120
Çizelge 4.14. Asfalt Agregası Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	122

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Sanayileşme ve ona koşut olarak başlayan kentleşme sürecinde ülkemizin agrega gereksinimi artmıştır. Alt yapı eksikliği, kentlerde denetim dışı yapılar ile kırsal kesime özgü geleneksel konutların yenilenme zorunluluğu ve sürekli artan nüfus nedeniyle her yıl konuta olan yeni talepler artacaktır. Ayrıca; ülkemizdeki mevcut yol ağlarının yenilenmesi artan araç sayısına bağlı olarak; yeni yolların yapılması ve yol standartlarının artırılması gerekmektedir. Bu durum; otoyollar ve şehirlerarası bölünmüş yollarda alt temel, temel ve özellikle asfalt agregası olarak kullanılacak kırmataşa olan talebi arttıracak ve kırmataş vazgeçilmez vazgeçilemez bir malzeme konumuna getirecektir.

Kentlerin gereksinimini karşılayan ve agrega üretimine uygun özellikteki jeolojik oluşumların, plan dışı büyüme sonucu, yapılaşma alanlarının içinde kalması halinde daha uzak mesafelerden malzeme sağlanmak zorunda kalınacaktır. Bu durum, yapı malzemelerinin ve yol yapı malzemelerinin temel girdisi olan kırmataşın maliyetlerini yükseltecektir. Alt ve üst yapı yatırımlarının yoğunlaştığı dönemlerde; asfalt, dolgu, filtrasyon, stabilizasyon ve beton üretimi amacıyla batı ülkelerinde yılda tüketilen agrega miktarının 2-6 m³/kişi düzeyine ulaştığı bilinmektedir. Konu bu yönüyle irdelendiğinde, ülkemiz için gelecekte bugünkü boyuttan çok daha ciddi bir kırmataş madenciliğinden söz edilebilir (Erdoğan, 1999).

Bazaltların; kırmataş olarak bina ve yol yapılarında kullanımının kaliteyi artırmasının yanısıra, basınç dayanımının 2000–2500 kg/cm² yükselttiği bilinmektedir.

Yol ve yapı sektöründe aranan ve önemli bir kırmataş malzemesi olan bazalt; petrografi bilim dalından bilindiği gibi makroskobik yönden koyu gri–siyah renkli, ince taneli, masif yapıda ve zor kırılğan özellikli olup mikroskop altında ise iri taneli olivin, piroksen, plajiyoklas kristalleri ile bunları çevreleyen ince kristalli, mikrolitli girift doku altında matriks arz eder. Kimyasal yönden; % 45–52 arasında SiO₂ (silis), yüksek alüminat, magnezyum ve demir içeren bazik bileşimli bir kayaç olarak adlandırılır (Kırmataş semp.,1999).

Konunun önemi nedeniyle; çeşitli ülkelerde ve ülkemizde, konu ile ilgili çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiş ve kendi kullanıldıkları alanlarda belirli standartlar ve sınır değerleri belirlenerek uygulamaya sokulmuştur.

1.2. Problemin Durumu

Betonu oluşturan malzemeler içerisinde en büyük orana (yaklaşık % 75) sahip olan agreganın gerek beton ve hazır beton sektöründe gerekse yol yapım malzemesi olarak ulaşım sektöründeki önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Özellikle asfalt agregası olarak kullanılması ise ancak kırmataşla olduğundan, bu alanda ciddi planlamalar yapıp, önlemler alınmazsa, yakın gelecekte, agrega ithali bile söz konusu olacaktır. Marmara Bölgesi başta olmak üzere, ülkemizde pek çok taş ocağı beton ve asfalt agregası üretme amacıyla faaliyette bulunmaktadır. Ancak, bu işletmelerin çok azı yaptığı işin bilincinde olup standartlara uygunluk belgesi, buna uygun donanımı ve kalifiye personeli bulunmaktadır. Bu işletmeler hizmet vermeyi hedefledikleri alanlara yararlı olamadıkları gibi, bilinçsiz ve ilkel üretim yöntemleriyle çevreyi de onarılmaz tahribatlara uğratmaktadır. Mevzuattaki karışıklık ve boşluklar da buna eklenince, konu içinden çıkılmaz bir hal almaktadır.

Bugün pek çok beton üreticisi kuruluş, piyasadan standartlara uygun ve kaliteli agregayı uygun koşullarda temin edemedikleri için, yan birimler ya da şirketler kurup taş ocakları işleterek agregayı doğrudan üretme yoluna gitmektedirler.

Agrega üretim ve kullanımında standardizasyonun temini ve sektörde yaşanan sorunların çözülebilmesi açısından bir Agregâ Üreticileri Birliği'nin (AGÜB) kurulması ve hazır betonda olduğu gibi, agrega üretiminde de, standartlara uygunluğu ve kaliteyi hedefleyen bilinçli üreticilerin bir araya gelmesi sektörün geleceği açısından kuşkusuz önemli bir gelişme olacaktır.

1.3. Tezin Amaçları

Bu tez kapsamında, Sivas Çerçideresi Köyü Çerçideresi mevkiindeki Taşocağı Malzemesi olan bazaltın beton ve asfalt agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır ve bu amaç için gerekli standartlara uyup uymadığının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

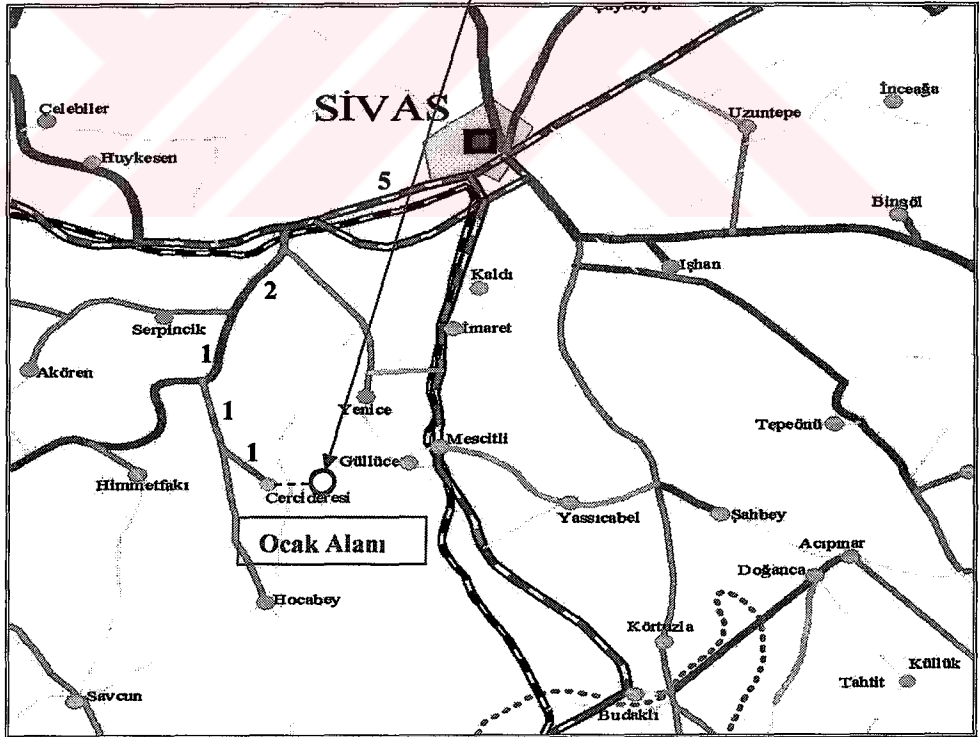
Taşocağı malzemesinin beton ve asfalt agregası olarak kullanılabilirliği belirlendikten sonra kurulması planlanan taşocağının 845.937,5 m²'lik bir alanı kaplayacağı, 40.000 m²'lik bir alanda üretimin gerçekleştirileceği ve taşocağının yılda 10 ay, ayda 25 gün ve günde 8 saat faaliyet göstereceği kabul edilerek yerinde 80.000 m³/yıl (200.000 ton/yıl) malzeme kazanılacağı hesaplanmıştır. Buradan elde edilecek malzemenin kurulacak konkasör tesisinde istenilen boyutlara getirilmesi ile elde edilen ürün beton, yol yapım, bakım ve onarım işlerinde kullanılabilir.

1.4. Ocak Alanı ve Çevresel Özellikleri

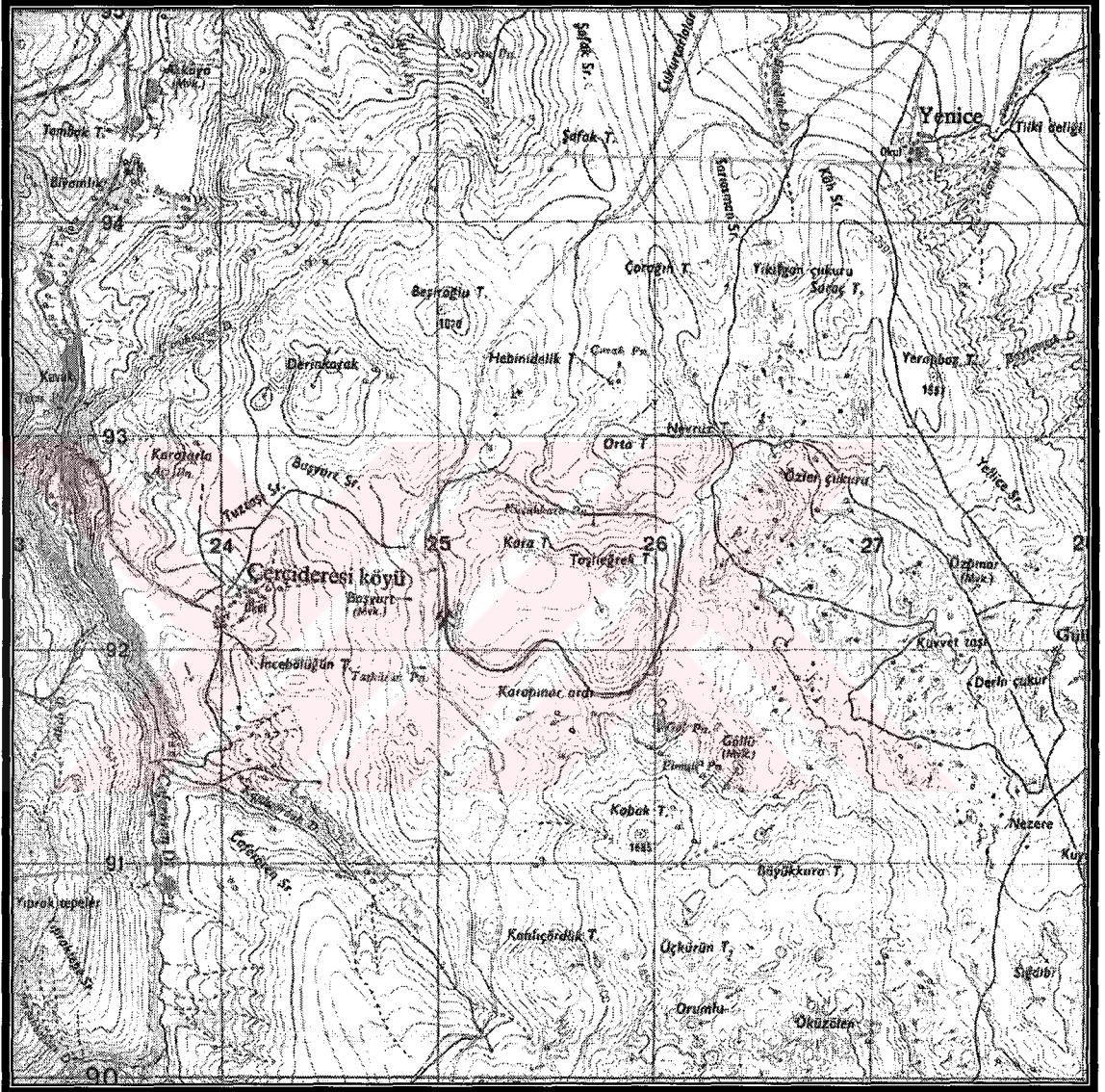
Çerçideresi Taşocağı alanı Sivas Merkez İlçesi'ne 10 km mesafede olup Sivas ili, taşocağı alanının kuzeyinde yer almaktadır. En yakın yerleşim yeri ocak alanının batısında yer alan Çerçideresi Köyü olup ocak alanına 1.050 m mesafededir. Planlanan taşocağının batısında 3 km mesafede Himmetfakı Köyü, doğu kısmında 2 km mesafede Güllüce Köyü ve 4 km güneydoğusunda Çimkürek Köyü yer almaktadır. Ocak sahasının kuzeyinde yer alan Kızılırmak nehri 6 km mesafededir. Söz konusu bölgenin yer buldurdu haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.

Taşocağından etkilenecek alanın belirlenmesi için ocağın kaynaklanan çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlardaki etkilerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu etkilerin bazıları doğrudan, diğerleri ise dolaylı etkilerdir. Özellikle çevresel kirlilik yaratacak unsurlar olan hava ve su kirliliklerinin ilgili yönetmeliklerde belirlenen sınır değerlerin altında kalması taahhüt edildiğinden, Taşocağı etki alanı diğer unsurlar (ocak alanı florası, faunası, gürültü, istihdam, tarım alanları vb.) göz önüne alınarak seçilmiştir.

Faaliyetten sosyal ve ekonomik olarak ocak alanına en yakın köyler ve Sivas ili etkilenecektir. Çevresel etkileşim yönünden, ocak merkezde olacak şekilde 1 km çapındaki bir alanın etkileneceği düşünülmektedir. Taşocağı alanı ve etki alanında Çerçideresi Köyü yer almaktadır (Hacıömeroğlu vd., 2001). Şekil 1.2'de Çerçideresi taşocağı alanının topografik haritası (1/25000) verilmiştir.



Şekil 1.1. Çerçideresi bazalt taşocağı sahası yer buldurdu haritası (K.H.G.M., 2005)



Şekil 1.2. Çerçideresi taşocağı alanının 1/25000 topografik haritası (K.G.M.,2005)

1.4.1. Topografya ve Jeolojik Özellikleri

i. Topografya

Ocak alanı, topografik olarak yaklaşık 1630 metre rakımda bulunan bir tepe ve bu tepenin yamaçları üzerinde yer almaktadır. Ocak alanının topografik haritasından da görüleceği üzere bölge engebeli arazi olup sık vadi ağları ile yarılmıştır. Bölgede yer alan bazı yükseltiler ocak alanının kuzeybatısındaki Yerapboz Tepe (1557 m), kuzeyindeki Beşiroğlu Tepe (1520) ve güneyindeki Kabak Tepe (1685 m)'dir.

ii. Genel Jeoloji

1/25.000 ölçekli jeoloji haritasında yer alan birimler yaşlıdan gence doğru; Oligosen yaşlı Küçüktuzluhisar Jipsleri (Tkü), Oligosen yaşlı Selimiye Formasyonu (Tse), Oligosen yaşlı Çallı Üyesi (Tşç), Alt-Orta Miyosen yaşlı Karatepe Volkanitleri (Tak), Alt-Orta Miyosen yaşlı Tatlıcak Formasyonu (Tt), Alt-Orta Miyosen yaşlı Savcun Üyesi (Ttsa), Alt-Orta Miyosen yaşlı Sarıtepe Jipsleri (Ts), Alt-Orta Miyosen yaşlı Hocabay Formasyonu (Th)'dur (Hacıömeroğlu vd., 2001).

iii. Ocak Alanının Jeolojisi

İşletilmesi planlanan taşocağı, Alt-Orta Miyosen yaşlı Karatepe Volkanitleri (Tak) birimi içerisinde yer almaktadır. Birim, başlıca bazalt lavları ve yer yer bazaltik piroklastik kayalardan oluşmaktadır (Hacıömeroğlu vd., 2001).

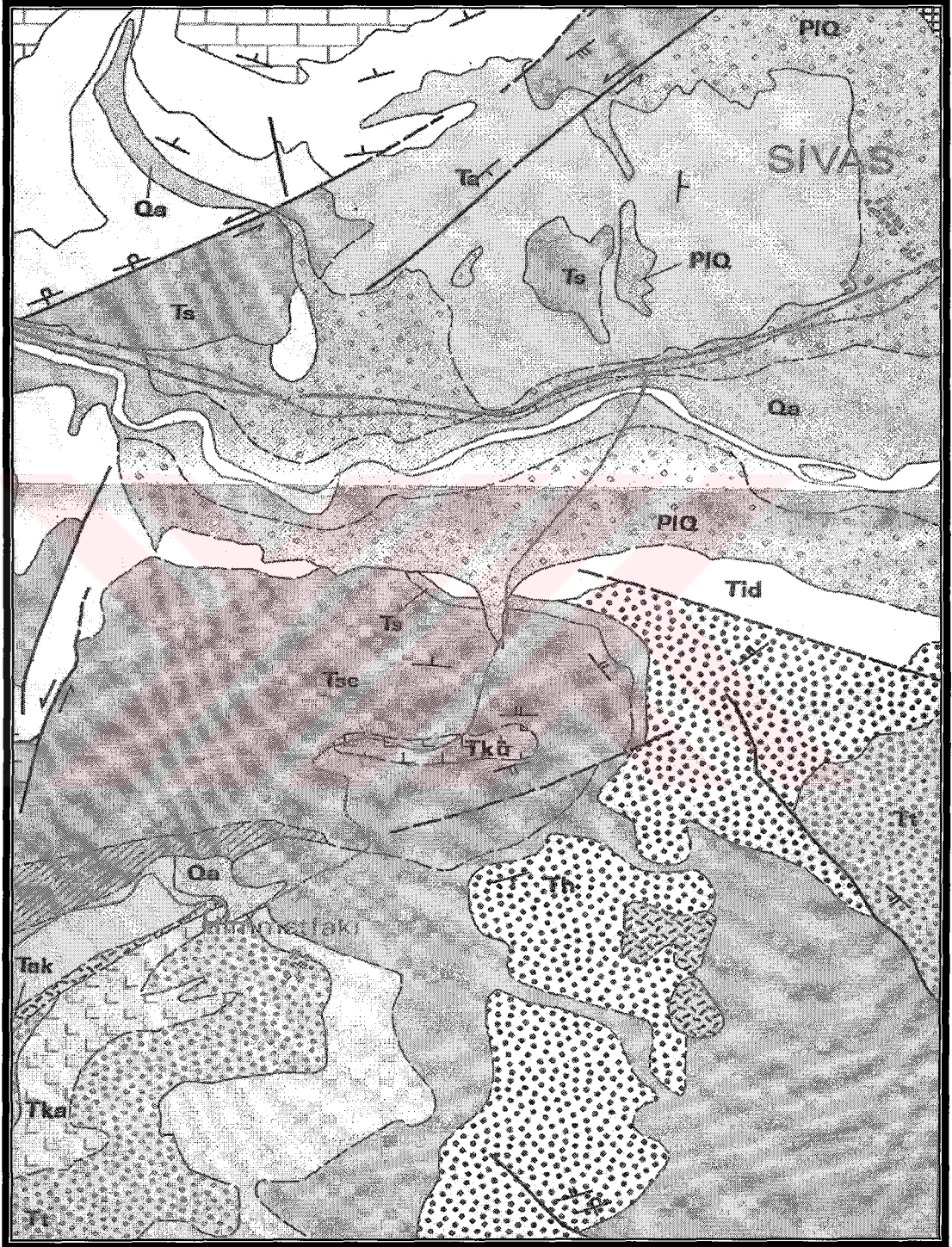
iv. Yapısal Jeoloji

Ocak alanının yaklaşık 2.5 km güneyinde ve 1.5 km kuzeyinde Hocabay Formasyonu içerisinde kuzeybatı-güneydoğu yönünde uzanan iki fay belirlenmiştir. Ayrıca ocak alanına yaklaşık 2 km mesafede kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan Selimiye Formasyonu, Çallı Üyesi ve Hocabay formasyonlarını kesen olası bir fay tespit edilmiştir (Hacıömeroğlu vd., 2001).

v. Depremsellik

Ocak alanı, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası" verilerine göre, 4. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır.

Taşocağı alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası Şekil 1.3'de ve ocak alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 1.4'de verilmiştir



Şekil 1.3. Çerçideresi taşocağı alanına ait jeoloji haritası (M.T.A., 2004)

Üst Sistem	Sistem	Seri	Simge	Kaya Türü	Açıklamalar
Senozoyik	Tersiyer	Neojen	Th		Hocabey Formasyonu: Kırmızı-bordo, gri-yeşil yer yer alacalı renkli olan çakıltaşı, kumtaşı, kilitaşı, silttaşı ve çamurtaşı
			Ts		Sarıtepe Jipsleri: Jips, jipsler arasında Kırmızı çamurtaşı, silttaşı, kireçtaşı
			Ttsa		Savcun Üyesi: Görsel kırıntılı kayalar
			Tt		Tatlıcak Formasyonu: Kırmızı çakıltaşı, kumtaşı gri alacalı kumtaşı, gri-sarımsı kilitaşı, silttaşı ve çamurtaşı
			Tak		Karatepe Volkanitleri: bazalt lavları ve yer yer bazaltik piroklastik kayalar
			Tsç		Çatlı Üyesi: Kırmızıtrak çakıltaşı, kumtaşı yer yer jips ara katkıları
		Paleojen	Tse		Selimiye Formasyonu: Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı
			Tkü		Küçüktuzhisar Jipsleri: Jips, yer yer alacalı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı

Şekil 1.4. Çerçideresi taşocağı alanının stratigrafik kesiti (Hacıömeroğlu vd., 2001)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Agregalar

2.1.1. Giriş

Kum, çakıl, kırmataş, cüruf gibi çeşitli büyüklükteki taneli malzemelere agrega denir. Agregalar bağlayıcılar yardımıyla beton yapımında kullanılırlar ve betonun yaklaşık % 70-75'ini oluştururlar. Agregaların özellikleri kendisinden yapılan betonun özelliklerine de aynen yansır. Yani kendi özellikleri iyi olan agrega ile yapılan betonun özellikleri de iyi olur.

Aregalardan, kullanılan bağlayıcı türüne göre, asfalt ve polimer betonu da üretilebilir. Agregalar doğada, doğal olarak buldukları gibi iri taş parçalarının konkasör adı verilen taş kırma makinelerinde kırılması sonucunda da elde edilebilirler. Konkasörde elde edilen agreganın irisine “kırmataş” incesine de “kırma kum” denir. Kırmataş ve kırma kum'a mıcır adı verilir. Türkiye’de kullanılan mıcır numaraları ve bunlarla ilgili elek çapları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çakılın m³'deki işgal ettiği alan (kompasitesi) % 65, kırmataşın ise % 60 dolaylarındadır.

Çizelge 2.1. Mıcır Numaraları ve Çapları (Güner ve Süme, 2000)

Mıcır No	Üzerinde Kaldığı Elek Çapı (mm)	Geçtiği En Küçük Elek Çapı (mm)
1	4	12
2	12	24
3	24	30
4	30	40

Kırmataşta kompasitenin düşük olması dayanımı olumsuz yönde etkilediği gibi aynı zamanda fazla çimentoya gereksinim duyulmakta ve bu da rötreye sebebiyet vermektedir. Kırmataşın pürüzlü yüzeylerinin çimento hamuruyla çakıla göre daha iyi aderans (kenetlenme) yapması nedeniyle kırmataş ile üretilen betonların basınç dayanımı genelde çakılla üretilen betonun basınç dayanımına oranla daha fazla olmaktadır. En uygun biçimli agrega taneleri küre ve küp şeklinde olanlar olup uzun veya yassı taneli olanlar kusurlu malzeme olarak adlandırılır. Bu kusurlu tanelerin betonda % 15'den fazla olmaması gerekir (Güner ve Süme, 2000).

2.1.2. Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar; çıkarıldıkları yerlere, birim ağırlıklarına, boyutlarına ve diğer özelliklerine (elde edilmiş şekillerine, tane şekline, yüzey dokularına üretimlerine, jeolojik orijinlerine, mineralojik yapılarına ve reaktif özelliklerine) göre sınıflandırılabilirler. Bu şekildeki bir sınıflandırma Çizelge 2.2’de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2. Agregaların Sınıflandırılmaları (Güner ve Süme, 2000)

Sınıflandırma Kriteri	Agrega Türü
Çıkarıldıkları yerlere göre	Dere agregaları Deniz agregaları Teras agregaları Buzul depoları
Birim ağırlıklarına göre	Hafif agregalar (<2.4 t/m ³) Normal agregalar (2.4-2.8 t/m ³) Ağır agregalar (>2.8 t/m ³)
Boyutlarına göre	İri agregalar (Çakıl, > 4 No’lu elek) İnce agregalar (Kum, < 4 No’lu elek) Çok ince agregalar (Taşunu veya filler, ≤ 0.25 No’lu elek)
Elde edilmişlerine göre	Doğal agrega Yapay agrega
Tane şekline göre	Yuvarlak agregalar Köşeli agregalar Yassı agregalar Uzun agregalar
Yüzey dokularına göre	Düzgün yüzeyli agregalar Granüler yüzeyli agregalar Pürüzlü yüzeyli agregalar Kristal yüzeyli agregalar Petekli yüzeyli agregalar
Üretimlerine göre	Doğal (Kum, Çakıl, Kırmataş vb.) Yan ürün (Yüksek fırın cürufu vb.) Isıl işleme tabi tutulmuş (Genleştirilmiş perlit)
Jeolojik orijinlerine göre	Volkanik agregalar Tortul agregalar Metamorfik agregalar
Mineralojik yapılarına göre	Silis mineralli agregalar Karbonat mineralli agregalar Mikalı agregalar
Reaktif özelliklerine göre	Reaktif agregalar Reaktif olmayan agregalar

2.1.3. Agregalarda Aranılan Özellikler

Agregalarda aranan özellikler aşağıda maddeler halinde verilmektedir (Güner ve Süme, 2000).

- i. Agregalar, sert, sağlam, aşınmaya dayanıklı, su etkisiyle yumuşamayan ve dağılmayan ve donmaya karşı dayanıklı olmalıdır.
- ii. Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.
- iii. Tane büyüklükleri ve dağılımı kullanım amacına uygun olmalıdır.
- iv. Agregaların şekilleri ve yüzey dokusu iyi olmalıdır.
- v. Kırmataşın elde edilmesinde ana kaya az boşluklu olmalıdır.
- vi. Çakıllarda yabancı madde oranı olarak, toprak % 5, kömür % 1, kil iri agregada % 0.25 ince agregada % 5, silt ise % 1 den fazla olmamalıdır.

2.1.4. Agregada Gradasyonu

Agrega yığını (agrega numunesi) içerisindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılımına, "gradasyon" veya granülometri denilmektedir.

Bilindiği üzere, çimento hamuru, beton karışımında yer alan agregada tanelerinin yüzeyini kaplamakta ve aralarındaki boşlukları doldurmaktadır. İyi bir gradasyona sahip ve yoğunluğu yüksek olan agregalarla yapılan beton, daha yüksek dayanıma sahip ve daha ekonomik bir beton olmaktadır.

Taze betonun işlenebilme özelliği, agregada gradasyonu tarafından doğrudan etkilenen bir özelliktir. Agregada gradasyonu iyi olmadığı takdirde, istenilen işlenebilmeyi elde edebilmek üzere betona daha çok su katmak gerekmektedir ki bu durum, su/çimento (s/ç) oranını yükseltmekte, betonun dayanımının ve dayanıklılığının düşük olmasına yol açmaktadır. Eğer, su artırıldığında çimento miktarı da arttırılacak olursa, bu durumda hem fazla miktardaki çimentonun etkisiyle sertleşmiş betonda daha fazla büzülme yol açmakta hem de ekonomik bir beton elde edilememesine neden olmaktadır.

Hem iri agregayı hem de ince agregayı oluşturan tanelerin uygun bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Ancak, ince agregadaki (kumdaki) tane dağılımı oranının taze betonun işlenebilme özelliği üzerindeki etkisi iri agregaya kıyasla daha fazladır.

Betonda kullanılan kum [Türk Standartları (TS) 706'ya göre 4.0 mm elekten geçen malzeme] çok ince tanelerden oluşmuş ise, taze betonun işlenebilmesinin artmasına paralel olarak su gereksinimi de artmaktadır. Eğer; kumdaki iri taneler çoğunlukta ise, işlenebilme azalmakta, segregasyon olmakta (iri ve ince taneler ayrışma göstererek beton içerisindeki üniform dağılımın bozulmasına neden olmakta) ve yüzeyi kolayca düzeltililebilir bir beton elde edebilmek güçleşmektedir.

i. Elek Boyutları

Agrega gradasyonunu tayin etmek üzere yapılan elek analizinde değişik göz açıklıklarına sahip kare delikli standart elekler kullanılmaktadır.

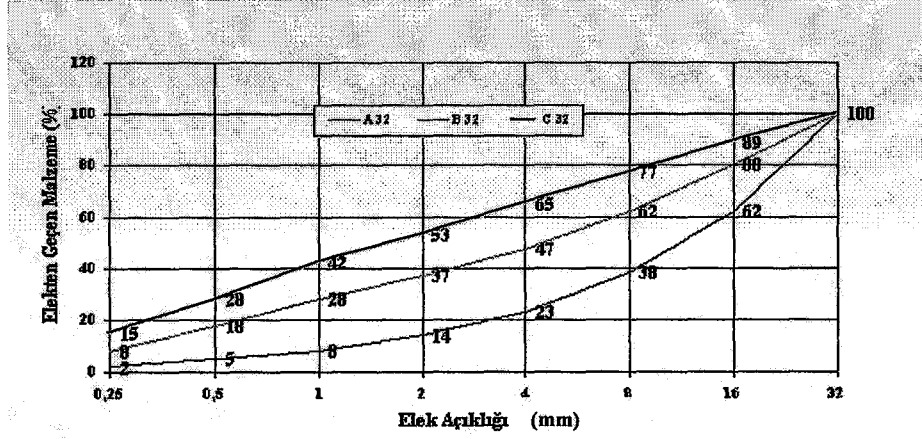
TS'na göre, elek analizi için kullanılması gereken kare delikli eleklerin göz açıklıkları 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, ve 0.25 mm olarak belirtilmekte olup Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) tarafından belirtilen elek açıklıkları ile aynıdır (TS 706, 1980).

Yapı betonları için kullanılan agrega tane büyüklüğünün genellikle 63 mm'yi geçmemesi nedeniyle, çoğu zaman kullanılan en büyük elek 63 mm göz açıklıklı elek olmaktadır.

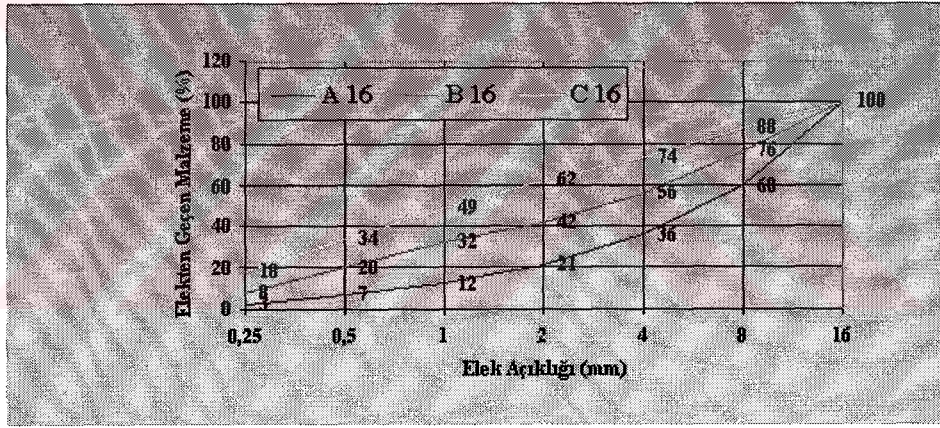
Amerikan Deneysel ve Malzeme Birliği (ASTM) standardına göre elek analizi için kullanılan kare delikli eleklerin boyutları TS'ndan farklı olup 100 mm, 90 mm, 75 mm, 63 mm, 50 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.60 mm, 0.30 mm ve 0.15 mm'dir. İnce ve iri agregayı ayıran elek boyutu Türk standardına göre 4.0 mm göz açıklıklı elek, ASTM'ye göre ise 4.75 mm göz açıklıklı elektrdir (Erdoğan, 2003).

ii. Gradasyon (Tane dağılımı) Eğrisi

Bir agregada belirli boyutlardaki tanelerin dağılımını gösteren eğriye "gradasyon eğrisi" denilir. Bu eğrinin belirlenmesi için elek analizi deneyi yapılır. Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının gradasyonu "ideal gradasyon eğrileri" ile uyumlu veya "ideal bölge" içinde kalmalıdır. Şekil 2.1 ve 2.2'de örnek bir malzemenin gradasyon eğrileri verilmektedir.



Şekil 2.1. Referans gradasyon eğrileri ($D_{max} = 31.5$ mm) (TS 706, 1980)



Şekil 2.2. Referans gradasyon eğrileri ($D_{max} = 16$ mm) (TS 706, 1980)

Beton karışım agregasının ideal bölge içinde kalmasının istenmesinin en önemli nedenlerinden biri kompasitenin yüksek olmasıdır. Dolayısı ile kompasitesi yükselen betonun dayanımı da büyük değer alacaktır. Diğer taraftan kompasitesi yüksek agreganın kullanılması ile tanelerin arasını doldurmak için daha az çimento gerekecek ve böylece daha ekonomik bir beton üretilmiş olacaktır.

Bir agreganın gradasyon eğrisinin gösterdiği özellikler aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Gradasyon eğrisi artan bir eğridir, sınır durumunda ancak yatay doğru parçaları olabilir. Eğrinin üst sınır eğrisine yakın olması karışımın ince olduğunu, alt sınır eğrisine yakın olması agreganın iri olduğunu gösterir.
- Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin % 100 veya % 0 çizgisi ile çakışması, o bölgede bulunmadığı anlamına gelmez.
- Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatları farkı, agrega yığnında o iki elek arasında kalan malzeme %'sini verir.
- Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane boyu yok demektir. Bu tür gradasyona sahip olan agregalara kesikli gradasyonlu agregalar denir (Anonim, 2005).

2.1.5. Agreganın Maksimum Tane Büyüklüğü

Agregadaki maksimum tane büyüklüğü, elek analizi yöntemiyle belirlenmektedir. Maksimum tane büyüklüğü; en küçük standart eleğin en altta, daha büyüğünün bir üstte olacak şekilde dizilmesinden sonra yapılan elek analizinde, agrega tanelerinin tümünün geçebildiği en küçük göz açıklıklı elek boyutuna eşit olan büyüklük olarak tanımlanmaktadır.

2.1.5.1. Maksimum Agregaya Tane Boyutunun Betonu Oluşturan Malzeme Miktarlarına ve Beton Özelliklerine Etkisi

Uygun gradasyon için TS tarafından verilen gradasyon eğrileri olarak belirtilen sınır değerler incelendiğinde, uygun gradasyona sahip olmak koşuluyla, bir agreganın ortalama tane büyüklüğü ne kadar büyük olursa, o agregayı oluşturan tanelerin yüzey alanlarının toplamının da daha küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.3'de; sabit bir kıvam ve sabit su/çimento oranına sahip beton karışımlarda kullanılan maksimum agrega tane boyutunun, beton karışımında yer alan malzemelerin miktarları üzerindeki etkisi görülmektedir (s/ç oranı 0.5 ve çökme değeri 7 cm olan 1 m³ betonda yer alan malzeme miktarları, "TS 802 - Beton Karışım Hesapları" isimli standart'ta verilmekte olup Çizelge 2.3, TS 802'deki değerlerin bir başka tarzda düzenlenmesiyle elde edilmiştir. Çökme değeri, taze betonun kıvamını, yani, işlenebilirliğini göstermektedir. İnce agrega miktarı, toplam agrega ağırlığının %'si olarak, hapsolmuş hava miktarı ise, 1 m³ betondaki hava %'si olarak belirtilmektedir).

Çizelge 2.3. Türk Standartlarına Göre, 1 m³ Betonun Oluşturan Su, Çimento, İnce Agrega ve Hava Miktarları (Erdoğan, 2003)

Malzeme	Maksimum Agrega Tane Boyutu			
	8mm	16 mm	31.5 mm	63 mm
Su, kg/m ³	190	167	160	147
Çimento, kg/m ³	380	334	320	294
İnce Agrega, %	74	56	47	38
Hapsolmuş Hava, %	3	2	1	0.5

Çizelge 2.3'den görülebileceği gibi, beton yapımında maksimum agrega tane boyutu büyük olan agrega kullanıldığı takdirde daha az miktarda su, çimento ve ince agrega gerekmektedir. Bir başka deyişle, beton daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca; daha az çimento kullanılması, betonda daha az büzülmenin (daha az çatlak oluşumu) oluşmasını sağlamaktadır. Betonda kullanılan çimento miktarı sabit tutulduğu takdirde ise betonda kullanılan agreganın maksimum tane büyüklüğü arttıkça, su/çimento oranında azalma (dolayısı ile beton dayanımında artma) olmaktadır.

Beton yapımında, en büyük maksimum agrega tane boyutunun kullanılması sonucunda elde edilebilecek yararlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- i. Beton karışımının su gereksinimi azalmaktadır. Dolayısı ile daha az su içeren bir betonda daha az büzülme oluşmaktadır.
- ii. Beton karışımının çimento gereksinimi azalmaktadır. Dolayısıyla; ekonomiklik sağlanmakta, betonun hidratasyon ısı azalmakta ve kütle betonlarda hacim değişikliği daha az olmaktadır.
- iii. Sabit bir işlenebilirlik için ve sabit bir çimento dozajında yapılacak betonun su/çimento oranı işlenebilirliğe bağlı olarak azalmaktadır. Böylece, daha yüksek dayanım elde edilebilmektedir.

Ancak; beton üzerinde yapılan araştırmalar maksimum tane boyutu büyük olan agregaların kullanılması halinde beton özelliklerinde elde edilebilecek yararlar sağlansa da, maksimum tane büyüklüğü için en uygun boyutun 25 mm olduğunu ve maksimum tane büyüklüğünün yaklaşık 40 mm'den daha büyük olmaması gerektiğini göstermektedir (Erdoğan, 2003).

Yüksek dayanımlı (yaklaşık 500 kgf/cm²'den daha büyük dayanımlı) beton üretiminde, genellikle en büyük tane boyutu 8.0 mm veya 16.0 mm olan agregalar kullanılmaktadır.

2.1.5.2. Betonda Kullanılabilecek Maksimum Agrega Tane Boyutunu Sınırlandıran Koşullar

Beton yapımında kullanılacak maksimum agregatane boyutu aşağıdaki ölçülere uygun olmalıdır (Erdoğan, 2003).

Maksimum tane boyutu $\leq 1/5$ x en dar kesitli kalıp genişliği
 $\leq 3/4$ x iki donatı arasındaki en küçük mesafe
 $\leq 1/3$ x döşeme derinliği

2.1.6. Agrega Tane Şekli ve Önemi

Çizelge 2.2'deki sınıflandırmada belirtildiği üzere; agregatanelerinin şekli, yuvarlak, köşeli, yassı veya uzun olabilmektedir. Yuvarlak agregataneleri küresel veya küresel şekle yakın olan tanelerdir. Bu tür tanelerin üzerinde keskin çıkıntılar yer almamaktadır. Nehir yataklarından elde edilen agregalardaki tanelerin çok büyük bölümü yuvarlak şekillidir. Köşeli agregataneleri, üzerlerinde keskin çıkıntılar bulunduran tanelerdir. Kırmataş agregalardaki tanelerin şekli köşelidir. Yassı veya uzun şekle sahip agregatanesindeki en büyük boyut ile en küçük boyut arasında büyük fark bulunmaktadır.

Birçok araştırmacı ve agregatane ile ilgili ülke standartları, agregatane şeklinin nasıl tanımlanması gerektiğine dair görüş belirtmektedir (TS 706,1980; TS 500, 2000; Lees, 1964). TS'na göre, en büyük boyutu en küçük boyutundan 3 misli veya daha çok olan taneler "şekilce kusurlu taneler" olarak tanımlanmaktadır (TS 706,1980).

TS'na göre, tane büyüklüğü 8 mm ve daha fazla olan iri agregalarda şekilce kusurlu (yassı veya uzun) tanelerin oranı % 50'den çok olmamalıdır (TS 706, 1980). ASTM standartlarında ise şekilce kusurlu tanelerin oranına dair bir sınır değeri belirtilmemektedir. Ancak, ABD'de "The Corps of Engineers Specifications - Mühendisleri Birliği Şartnamesi", şekilce kusurlu tanelerin oranının % 25'den fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir. Genel olarak beton agregasındaki kusurlu tanelerin oranının % 10 - 15'den çok olması istenmemektedir (Mindess ve Young, 1981).

Agregatanelerinin şekli, taze betonun işlenebilme özelliğini ve buna bağlı olarak betonun su gereksinimini etkilemektedir. Çakıl gibi yuvarlak agregalarla yapılan betonların işlenebilmeye katkısı daha çok olmaktadır. Kırmataş gibi köşeli agregaların sürtünme etkisiyle taze betonun akıcılığını azaltması nedeniyle; yuvarlak agregayla yapılan ve belirli bir kıvama sahip olan betonların su

gereksinimi, aynı kıvama sahip fakat kırmataş agregayla yapılmış olan betonların su gereksiniminden daha az olmaktadır. İşlenebilmeyi artırmak açısından; köşeli agregalarla yapılan betonlarda, daha çok ince agrega kullanılması gerekmektedir.

Taze betonun su gereksiniminin artması, nispeten daha düşük dayanıma yol açmaktadır. Diğer taraftan; köşeli agrega tanesinin yüzey alanının yuvarlak agrega tanesinin yüzey alanından daha büyük olması nedeniyle; köşeli agregalarla yapılan betonlarda, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans daha iyi olmaktadır (Mindess ve Young, 1981). Dolayısıyla; köşeli agregalarla yapılan betonların dayanımı yuvarlak agregayla yapılan betonların dayanımından daha yüksek olabilmektedir. Kaplan tarafından yapılan araştırmalar, köşeli agregalarla yapılan betonların eğilme dayanımında % 31 ve basınç dayanımında ise % 22 artış olduğu görülmüştür (Kaplan, 1959).

Agregadaki kusurlu tanelerin oranının çok olması; taze betonun işlenebilirliğini azaltmakta, su gereksinimini ve hapsolmuş hava miktarını arttırmaktadır. Bu açıdan; kusurlu taneler, beton dayanımının ve dayanıklılığının daha az olmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

2.1.7. Agregadaki Mevcut Nem Durumu ve Agreganın Su Emme Kapasitesi

Kaba agrega tanelerinin boşluklarının (porozitesinin) az olması bu tanelerin mukavemetinin genelde yüksek bir değer almasına neden olmakta, porozitenin yüksek olması ise, agreganın donmaya ve çevre etkilerine dayanıklılığını azaltmaktadır. Agregaların % 12'den az su emmesi normal kabul edilmekte ve boşluklu malzemelerin donmaya karşı dayanıklı olması için doyma derecelerinin % 80'den küçük olması gerekmektedir (Güner ve Süme, 2000).

Doğunluğuna göre agrega taneleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir ve bu sınıflandırmaya ilişkin şematik gösterim Şekil 2.3'de verilmiştir.

i. Tamamen kuru taneler

Bünyelerinde hiçbir şekilde su olmayan tanelerdir.

ii. Kuru yüzeyli taneler

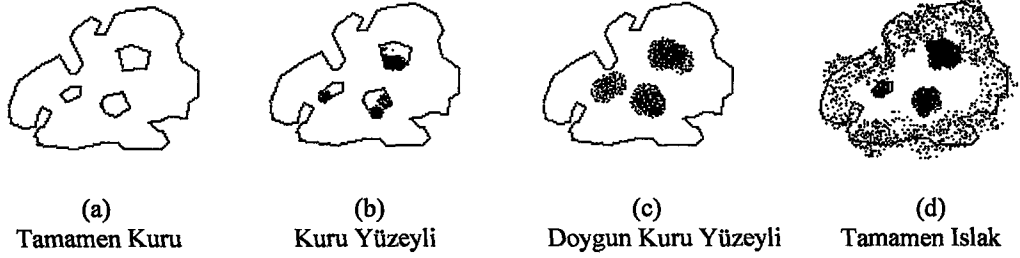
Tane yüzeyi tamamen kuru fakat tanelerin içindeki boşluklarda bir miktar su bulunan tanelerdir.

iii. Doğun kuru yüzeyli taneler

Yüzeyleri tamamen kuru fakat tane içindeki boşlukların tamamen suyla dolu olduğu tanelerdir.

iv. Tamamen ıslak taneler

Hem tane yüzeyleri ıslak hem de içindeki bütün boşlukları suyla dolu olan tanelerdir.



Şekil 2.3. Agreganın rutubetinin şematik gösterimi (Güner ve Süme, 2000)

Nem; ince agregada hacim artışına sebep olacağından, ince agregadaki nem dikkate alınmadan hesaplama yapılırsa, 1 m³ betona giren ince agreganın az olacak ve dolayısıyla boşluklu bir beton üretilmiş olacaktır. Daha da önemlisi ise; nem oranı göz önüne alınmadan agreganın kurumuş gibi su katılırsa beton dayanımında fazla sudan dolayı önemli düşüşler olacaktır (Suyun betona etkisi beton bahsinde açıklanmıştır). Bu nedenle, rutubet oranı tayin edilerek, karışıma o oranda az su katılması gerekmektedir (Güner ve Süme, 2000).

2.1.8. Agregaların Birim Ağırlığı (Yoğunluğu)

Agreganın birim ağırlığı; belirli bir hacimdeki bir kabı dolduran agreganın toplam ağırlığının kabın hacmine bölünmesiyle saptanmakta olup matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Tanımdan da anlaşılacağı üzere; birim ağırlık tayinindeki agreganın hacmi, hem agreganın tanelerinin hacimlerini hem de taneler arasındaki boşlukları içermektedir.

$$U = \frac{W_a}{V}$$

Burada;

U: Agreganın birim ağırlığı (gr/cm³),

V: Agreganın ile dolu olan kabın hacmi (cm³),

W_a: Kabı içerisinde dolduran agreganın ağırlığı (gr)'dir.

Belirli bir hacimdeki kabı dolduracak agreganın numunesinin miktarı (ağırlığı) aşağıdaki faktörler tarafından etkilenmektedir.

- i. Agreganın gradasyonu
- ii. Tane şekli (tanelerin yuvarlak, köşeli, yassı, ince, uzun olması)
- iii. Tanelerin mevcut nem durumu (tanelerin tamamen kuru, hava kurusu, ıslak olması)
- iv. Tanelerin kap içerisine gevşek veya sıkıştırılmış tarzda yerleştirilmiş olması

Belirli bir hacmi dolduran tanelerin toplam ağırlığı; nem durumu ve kap içerisinde gevşek veya sıkıştırılmış olmalarına bağlı olarak farklı değerler göstereceğinden, hesaplanan birim ağırlık değerlerinin hangi koşullarda elde edildiğinin mutlaka belirtilmesi gerekmektedir. Doğal agregaların ortalama birim ağırlıkları açıklandığı şekilde Çizelge 2.4'de verilmektedir.

Çizelge 2.4. Doğal Agregaların Ortalama Birim Ağırlıkları (Erdoğan, 2003)

Malzeme	Nemlilik	Gevşek t/m ³	Sıkışmış t/m ³
Kum	Kuru	1.52	1.68
	Nemli	1.44	-
Çakıl	Kuru	1.59	1.74
	Nemli	1.53	1.65
Karışık Agregası	Kuru	-	1.88
	Nemli	1.72	-
Kırmataş	Kuru	1.59	1.67
	Nemli	1.46	1.52

Nemden dolayı hacim artışı olmakta, agreganın taneleri arasındaki boşluklar artmakta ve agregaların birim ağırlıkları düşmektedir. Birim ağırlık, agreganın tanelerinin belirli bir hacim içerisinde bir araya gelerek ne kadar sıkı bir paket oluşturabileceğini işaret etmektedir. Birim ağırlık değerinin yüksek olması, agreganın tanelerinin arasındaki boşluğun az olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, birim ağırlık bilindiği takdirde, mevcut agreganın hacmini hesaplayabilmek mümkün olabilmektedir (Erdoğan, 2003).

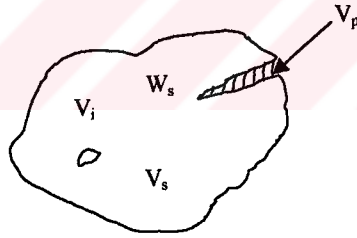
2.1.9. Agreganın Özgül Ağırlığı

Agregaların özgül ağırlığı gerçek birim hacmine karşılık gelen ağırlığı olarak tanımlanmakta olup beton karışım hesaplarının yapılması için gerekli bir büyüklüktür. Genel olarak, 2.2–2.7 kg/dm³ arasında değerler alır (Güner ve Süme, 2000).

$$\text{Özgül Ağırlık} = \text{Agrega taneleri toplam ağırlığı} / \text{Agrega taneleri toplam hacmi}$$

Agrega tanelerinin üzerinde veya gözeneklerinin içerisinde bulunabilecek su agrega tanelerinin ağırlığını, agrega tanelerindeki boşlukların miktarı ise agrega hacmini etkilemektedir. Dolayısıyla; agreganın özgül ağırlığı hesaplanırken, agrega tanelerindeki mevcut su ve boşluk durumu gözönünde tutulmakta ve bulunan değer bu durumu tanımlayarak belirtilmektedir.

Şekil 2.4’de, değişik özgül ağırlık tanımlamalarının hesaplanmasında kullanılan ifadelerin bir agrega tanesi üzerinde şekilsel olarak gösterimi verilmiştir. Taranmış bölge agreganın su geçirgen boşluklarındaki suyu temsil etmektedir.



- V_i: Su geçirmeyen boşlukların hacmi
- V_p: Su geçirgen boşlukların hacmi
- V_s: Katı maddelerin (boşluksuz) hacmi
- W_s: Tamamen kuru ağırlık
- γ_w: Suyun özgül ağırlığı

Şekil 2.4. Agreganın özgül ağırlık özelliğini açıklamak amacıyla geometrik olarak gösterilişi (Erdoğan, 2003)

i. Hakiki (veya Mutlak) Özgül Ağırlık (S_h)

$$S_h = \frac{W_s}{V_s}$$

Su geçirgen ve su geçirmez boşlukların hacmi V_s 'ye dâhil edilmemektedir. V_s 'yi tayin edebilmek için, önce agrega dövülerek toz haline getirilmekte ve boşlukların hacmi ortadan kaldırılmaktadır. Bu tür hesaplanan özgül ağırlık değeri beton teknolojisinde kullanılmamaktadır (Erdoğan, 2003).

ii. Görünen Özgül Ağırlık (S_g)

$$S_g = \frac{W_s}{(V_s + V_i) \gamma_w}$$

W_s , agreganın tamamen kuru ağırlığıdır. Agreganın hacmi olarak kuru agreganın hacmine eşit hacimdeki suyun ağırlığı (yani, kuru agreganın su içerisine batırıldığı zaman kendi hacmi kadar taşıyabileceği suyun ağırlığı) kullanılmaktadır.

iii. Kuru Özgül Ağırlık (S_k)

$$S_k = \frac{W_s}{(V_s + V_i + V_p) \gamma_w}$$

Agreganın hacmi olarak, katı maddenin hacminin yanı sıra, su geçirgen ve su geçirmez boşlukların tümünün hacimleri de hesaba katılmaktadır.

iv. Doygun-Yüzey Kuru Özgül Ağırlık (S_{dyk})

$$S_{dyk} = \frac{W_s + V_p \gamma_w}{(V_s + V_i + V_p) \gamma_w}$$

Agreganın ağırlığı olarak, hem katı maddelerin ağırlığı hem de doymuş durumdaki agreganın içerisindeki suyun ağırlığı hesaba katılmaktadır. Hacim olarak ise; katı maddelerin hacminin yanı sıra, tüm boşlukların hacmi de kullanılmaktadır.

Yukarıdaki tanımlara göre bulunan özgül ağırlık değerleri karşılaştırıldığında, sıralamanın aşağıda verildiği şekilde olduğu görülmektedir.

$$S_h > S_g > S_{dyk} > S_k$$

Beton teknolojisinde en çok kullanılan özgül ağırlık türleri, agreganın kuru özgül ağırlığı veya doygun-yüzey kuru özgül ağırlığıdır. Birim ağırlıklarına göre; betonda kullanılan normal agregaların özgül ağırlıkları 2.5-2.7 t/m³ mertebesindedir (Erdoğan, 2003).

2.1.10. Agreganın Fiziksel Etkenler Karşısındaki Dayanıklılığı

Başta donma-çözülme olmak üzere ıslanma-kuruma ve ısınma-soğuma gibi fiziksel etkenler karşısında agreganın göstereceği dayanıklılık, "fiziksel etkenlere dayanıklılığı" veya "agreganın fiziksel durabilitesi" olarak adlandırılmakta olup bu gibi olaylar karşısında agrega taneleri hacim değişikliği göstermektedir.

Dayanaksız agregaları genel olarak iki grupta toplamak mümkündür:

- i. Kırılğan kumtaşları ve yumuşak kalkerler gibi parçalanarak bütünlüğünü kaybeden ve hacim değişikliklerine yol açan agregalar, beton yüzeyinde yer yer küçük çukurların oluşmasına ve/veya beton yüzeyinin pul pul soyulmasına ve yıpranmasına neden olmaktadır.
- ii. Kil içeren kalkerler ve gözenekli çörtler ise suyla birleştiklerinde hacimsel genişleme göstermekte ve bunların beton içerisinde yarattıkları gerilmeler, betonun çatlamasına yol açmaktadır

Gözenekleri suyla dolu durumda olan agregadaki suyun donmasıyla (suyun buz haline gelmesiyle), suyun hacmi yaklaşık % 9 kadar büyümektedir. Bu durum agrega tanelerinde çok büyük iç gerilmelere neden olmaktadır. Hava sıcaklığının artması ile buz çözülmekte ve böylece gerilme ortadan kalkmaktadır. Ancak, donma-çözülme olaylarının çok sayıda tekrarlanması durumunda agrega çatlayıp ufalanabilmektedir. Agregada gözeneklerindeki suyun tamamının aynı anda donma göstermemesi ve suyun bir miktarının buza dönüşerek hacim büyümesi yapması nedeniyle, henüz buzlaşmamış su gözenek hacminden dışarıya itilerek çok büyük bir hidrolik basınç yaratılmaktadır. Böyle bir basınç, beton içerisindeki agrega tanesinin etrafını saran sertleşmiş çimento hamurunun çatlamasına yol açabilmektedir. Donma-çözülme olayının tekrar tekrar oluşması, sertleşmiş betonun çatlayıp hasar görmesine neden olmaktadır.

Donma-çözülme olaylarına maruz kalacak betonlarda kullanılacak agregaların dona dayanıklı olup olmadığını beton üretimi öncesinde araştırılması gerekmektedir. TS'na göre, kırmataş agregalarda,

taşın su emme kapasitesi ağırlıkça % 0.5'den büyük değilse ve taşın suya doymun haldeki küp basınç dayanımı en az 1500 kgf/cm² ise agrega dona yeterince dayanıklıdır (TS 706,1980).

Betonda kullanılacak agreganın dona dayanıklılığını araştırmak üzere en çok kullanılan deney yöntemi, agregaların sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisine yaklaşık 18 saat sokulup sonra çıkartılarak kurutulduğu ve bu işlemin 5 kez tekrarlandığı bir yöntemdir. Böyle bir deney sonucunda; agregada meydana gelen kırılmalar ve ufalanmalar nedeniyle, agrega ilk ağırlığından kayıplar vermektedir bu ağırlık kayıplarının değerleri en yüksek ağırlık kaybı olarak TS ve ASTM standartlarına göre Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Dona Dayanıklılık Deneylerinde Agregada Oluşabilecek Maksimum Ağırlık Kayıpları (TS 3655, 1981; ASTM C 33, 1994).

Agrega Sınıfı	Maksimum Ağırlık Kaybı			
	Sodyum Sülfat (Na ₂ SO ₄) Çözeltisi İçerisinde		Magnezyum Sülfat (MgSO ₄) Çözeltisi İçerisinde	
	TS (%)	ASTM(%)	TS (%)	ASTM(%)
İnce Agregası	15.0	10.0	22.0	15.0
İri Agregası	18.0	12.0	27.0	18.0

2.1.11. Agregada Bulunabilecek Zararlı Maddeler

Agrega tanelerinin yüzeyinde veya aralarında çoğu zaman bazı yabancı maddeler yer alabilmektedir. Bu maddelerin yüksek miktarda bulunması beton özellikleri olumsuz olarak etkilenmektedir.

Agregadaki zararlı maddeleri aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür:

- Çürümüş bitkiler, humuslu topraklar ve şeker gibi agrega yığınının içerisine karışmış olan “organik maddeler”
- Kil, silt ve taşunu gibi agrega yığınının içerisine karışmış veya tanelerin yüzeyine yapışık olan “ince maddeler”
- Agrega tanelerinin bir parçasıymış gibi tanelere yapışık durumda olan veya agrega yığınının içerisinde agrega tanesi gibi yeralan “kil toprakları ve kolayca kırılabilir maddeler”
- Kömür, linyit ve odun parçaları gibi “yumuşak ve hafif maddeler”

i. Organik Maddeler

Organik maddeler; genellikle, iri agregada arasında bulunan yıkanması işlemi sırasında kolayca temizlendiği için ince agreganın içerisinde yer almaktadır.

Agrega yığını içerisinde çok küçük parçacıklar halinde dağılmış olan çürümüş bitki köklerindeki, humuslu topraklardaki ve diğer organik maddelerdeki tannik asit ve türevleri beton yapımında çimentonun prizini (katılaşmasını) yavaşlatmaktadır. Organik maddelerin miktarı çok fazla olduğunda katılaşma meydana gelmeyebilmekte ve bu durum betonun özellikle ilk günlerdeki dayanımı başta olmak üzere dayanımını ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Agreganın içerisinde betona zarar verebilecek kadar organik madde bulunup bulunmadığı TS 3673 (1973) ve TS 3820 (1983) no'lu standartlarda belirtilen yöntemlerle araştırılmakta olup ASTM C 40 (1994) ve ASTM C 87 (1994) no'lu ABD standartlarında belirtilen yöntemle aynıdır.

ii. İnce Maddeler (Yıkanabilir Maddeler)

TS'na göre; tane büyüklüğü 0.063 mm'den az olan maddeler "ince madde" olarak tanımlanmakta ve bu tür maddeler "yıkanabilir maddeler" adıyla da anılmaktadır (TS 3527, 1980; (TS 706, 1980). ABD ve İngiliz Standartlarına göre ise; ince madde, büyüklüğü 0.075 mm'den az olan maddedir. İnce madde miktarı ise TS 3527, (1980) veya ASTM C 117 (1994) no'lu standartlarda belirtilen yöntemle bulunmaktadır.

Agrega tanelerinin yüzeyinde gevşek bir tabaka gibi yer alan kil ve agregada içerisindeki kil, silt ve taşunu gibi maddeler ince maddeler olup bu tür maddelerin miktarının çok fazla olması istenmemektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, beton yapımında %10 - %15 kadar taşunu kullanılmasının beton dayanımına olumsuz bir etki yapmadığını ortaya koymaktadır (Taşdemir vd., 1997; Topçu, 1998).

iii. Kil Topakları

Agrega taneleri üzerine sıkıca yapışmış olan ve karıştırma işleminde agregada tanelerinden ayrılmayan kil parçacıkları, "kil topakları" olarak adlandırılmakta ve bazen, birbirine sıkıca yapışmış durumda ve sanki agregada tanesinin bir parçasıymış gibi agregada içerisinde yer almaktadırlar.

Fazla miktarda kil toprakları içeren agregalarla yapılan betonların karma suyu gereksinimi artmakta taze betonun işlenebilmesi, sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı ise azalmaktadır. Ayrıca, agregada fazla miktarda kil topraklarının ve kırılabilir maddelerin yer alması durumunda, beton yüzeyinde çukurlar oluşmakta ve betonun görünümü bozulmaktadır.

TS 706 (1980) no'lu standartta; ince agregada kil topraklarının maksimum miktarı % 1.0, iri agregada ise % 0.25 verilmesine karşın, ASTM C (1994) no'lu standartta; ince agregada kil topraklarının maksimum miktarı % 3.0, iri agregada ise betonun tipine veya kullanılacağı yapıdaki lokasyona göre % 0-10 arası değişebileceği belirtilmektedir.

iv. Hafif Maddeler

Agrega yığını içerisine karışmış durumda bulunan kömür, linyit ve odun parçacıkları gibi özgül ağırlıkları 2.0 gr/cm³'den daha az olan maddeler "hafif maddeler" olarak adlandırılmakta olup bu tür hafif maddelerin miktarının çok olduğu agregalarla yapılan betonların dayanımı ve dayanıklılığı daha az olmaktadır.

TS 706 (1980) no'lu standartta; ince ve iri agregada kömür ve linyit için maksimum miktarlar % 1.0 olarak verilmesine karşın, ASTM standartlarında; yüzey görünümü önemli olan betonlar için kullanılacak ince agregadaki hafif madde miktarının ağırlıkça % 0.5'ten fazla olmaması diğer bütün betonlar için kullanılacak ince agregadaki maksimum hafif madde miktarının ağırlıkça %1 ve iri agregadaki maksimum hafif madde miktarının ise ağırlıkça % 0.5 - % 1 olması gerektiği belirtilmektedir (TS 3528, 1980; ASTM C 123, 1994).

2.1.12. Agreganın Mekanik Özellikleri

Betonda kullanılan agreganın kolayca kırılmayan, çabuk aşınmayan, sağlam ve sert olması gerekmektedir. Bu kapsamda betona etki eden başlıca mekanik özellikler; aşınma dayanıklılığı, basınç dayanımı, tokluğu, sertliği, elastiklik modülü ve poisson oranıdır.

Agreganın mekanik özelliklerinin saptanması, her zaman ve her türdeki beton için gerekli olmamakta ancak, özel amaçlarla kullanılması gereken beton yapımında veya betonun aşınmaya maruz kalacağı yerlerde önem kazanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Mekanik mukavemetleri yüksek olan agregalar ile üretilen betonların mukavemeti de yüksek olur. Mekanik mukavemetin kontrolü için en uygun yol basınç mukavemetini ölçmektir. Agregaların basınç mukavemetleri betona göre oldukça yüksektir. Basınç mukavemeti normal dayanımlı betonlar için maksimum 250 kgf/cm² ve yüksek dayanımlı betonlar için 500 kgf/cm² iken bu değer agrega çeşitlerine bağlı olarak 3500 kgf/cm²'ye kadar çıkabilmektedir.

Agregaların basınç mukavemetinin yeterli olup olmadığını belirlemek için çelik bir silindir içine bir miktar iri agrega yerleştirilir, üzerine tek eksenli basınç uygulanır ve ufalanma miktarı ölçülür. Agregalar 8 mm'lik elekten elendiğinde, ufalanma oranının % 35'ten az olması mukavemetin yeterli olduğu anlamına gelmektedir (Güner ve Süme, 2000).

i. Agreganın Aşınma Dayanıklılığı

Beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda kullanılacak betonların, aşınmaya dayanıklı agregalarla yapılmış olması istenmektedir.

TS'na göre, agreganın basınç dayanımı 1000 kgf/cm²'den az ise veya agreganın aşınma dayanıklılığından kuşku duyuluyor ise, agreganın aşınma dayanıklılığı deneylerle araştırılmalıdır (TS 706, 1980). Aşınma dayanıklılığı sadece iri agregalar için araştırılmaktadır. Agreganın aşınma dayanıklılığını tayin etmek üzere kullanılan yöntem TS ve ASTM standartlarının her ikisinde de aynı olup "Bilyeli Tambur Deney Yöntemi" veya yaygın ismiyle "Los Angeles Aşınma Deneyi" olarak bilinmektedir (TS 3694, 1981; ASTM C 131, 1994).

Bilyeli Tambur Deney Yöntemi'ne göre; içerisinde çelik bilyeler bulunan ve çelikten yapılmış silindirik bir tamburun içerisine deney yapılmak istenen iri agrega yerleştirilip tamburun kapağı kapatıldıktan sonra, tambur dakikada 30–33 devir (dönüş) yapacak hızda, önce 100 kez, sonra ek olarak 400 kez (toplam 500 kez) döndürülmektedir. Silindirik tamburun içerisinde, sağa-sola ve çelik bilyelere çarparak bir miktar ufalanma gösteren agrega numunesi dışarı çıkartılarak TS 3694 (1994)'e göre 1.4 mm göz açıklıklı elekten elenmektedir. Elekten geçen miktar tartılarak, agrega numunesinin ilk ağırlığının ne kadarını oluşturduğu % olarak hesaplanmaktadır (ASTM standardına göre 1.7 mm göz açıklıklı elek kullanılmaktadır).

Türk Standartlarına göre; aşınmaya dayanıklı agregalarda, bilyeli tamburun 100 ve 500 devir döndürülmesi sonucunda ortaya çıkacak aşınma miktarı, sırasıyla, % 10 ve % 50'den fazla olmamalıdır (TS 706, 1980).

ii. Agregaların Basınç Dayanımı

Agregaların basınç dayanımı, agrega tanelerinin kaynağını oluşturan kayaların basınç dayanımına bağlıdır. Betonda kullanılan agreganın basınç dayanımı ortalama 1500–2000 kgf/cm² civarındadır. Bazı kayaların basınç dayanımlarına ait ortalama değerler; Granit için 2000 kgf/cm², kalker için 1600 kgf/cm² çakmaktaşı için 2100 kgf/cm², kuvars için 3300 kgf/cm² ve kumtaşı için 1300 kgf/cm²'dir (Popovics, 1979; Woolf, 1966).

iii. Agreganın Elastik Modülü ve Poisson Oranı

Agreganın elastiklik modülü ve Poisson oranı değerleri, betonun deformasyon (şekil değiştirme) özelliklerini etkileyebilmektedir.

Volkanik kayaç orijinli agreganın elastiklik modülü 500000–1000000 kgf/cm², sedimanter (tortul) kayaç orijinli agregaların elastik modülü 250000–700000 kgf/cm², hafif agregaların elastiklik modülü 140000 – 350000 kgf/cm² arasında olup normal ağırlıklı agregalarda, Poisson oranı, 0.15 – 0.35 arasında değişmektedir (Popovics, 1979; Woolf, 1966; Mindess ve Young, 1981).

2.1.13. Agreganın Isısal Özellikleri

Agreganın ısısal özellikleri; agreganın sahip olduğu "lineer (doğrusal) genişleme katsayısı", "özellik ısı" ve "ısı geçirgenlik" değerleridir.

Agreganın ısısal özellikleri betonun ısısal özelliklerini etkilemektedir. Betonun ısısal özelliklerine ait değerlerin düşük veya yüksek değerde olmasının önemi ise, betonun kullanıldığı ortama göre değişmektedir. Kütle betonların hacim sabitliği bakımından betonun ısısal özellikleri önemli olarak kabul edilirken, sıradan yapı betonlarının tasarımında ısısal özellikler çoğu zaman gözönünde tutulmamaktadır.

i. Lineer Genleşme Katsayısı

Bu değer; bir birim sıcaklık değişmesi etkisiyle, agreganın ne kadar birim uzama veya birim kılalma göstereceğini belirtmektedir. Lineer genleşme katsayısı değeri, metrik sistemde, $\text{cm/cm}^\circ\text{C}$ olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 2.6'da bazı kayaların, sertleşmiş çimento hamurunun ve betonun lineer genleşme katsayıları verilmektedir. Betonun lineer genleşme katsayısı ortalama $9.9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 'dir (Cook, 1966; Mitchell, 1966).

Çizelge 2.6. Bazı Kayaların, Sertleşmiş Çimento Hamurunun ve Betonun Lineer Genleşme Katsayıları (Cook, 1966; Mitchell, 1966)

Malzeme	Genleşme Katsayısı $10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$
Granit	1.8 - 11.9
Kumtaşı	4.3 - 13.9
Kalker	0.9 - 12.2
Mermer	1.1 - 16.0
Bazalt	3.6 - 9.7
Sertleşmiş çimento hamuru	10.8 - 16.2
Harç	7.9 - 12.6
Beton	5.8 - 14.0

Betonda kullanılan agreganın lineer genleşme katsayısı ile çimento hamurunun lineer genleşme katsayısı arasında çok büyük fark bulunduğu takdirde, sıcaklık değişimleri karşısında bu iki malzeme çok farklı miktarlarda uzayıp kısılmaktadır. Bu durum, çimento hamuru ile agrega tanesi arasındaki aderansı zedelemektedir. Bunun yanısıra; büyük boyutlara sahip kütle betonlarda agreganın lineer genleşme katsayısının büyük olması, betonun yüzeyi ile iç kısımları arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle oluşan genleşme farkını etkilemekte ve iç gerilmelere neden olmaktadır.

ii. Özgül Isı

Bu değer; birim ağırlıktaki bir maddenin sıcaklığının bir birim sıcaklık kadar değişebilmesi için gerekli olan ısı miktarını göstermektedir. Metrik sistemde $\text{cal/g}^\circ\text{C}$ olarak ifade edilmektedir. Agreganın özgül ısı değeri $0.22 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ 'dir. Su ve buz için bu değerler, sırasıyla, $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ve $0.5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ 'dir. Agreganın

özgül ısı değeri sıcak veya soğuk havalarda yerleştirilecek betonun sıcaklığını kontrol edebilmek için gerekli olan hesaplamalarda kullanılmaktadır.

iii. Isı Akışı

Bu değer; malzemenin içerisinden geçebilecek veya malzemenin iletebileceği ısının ne kadar kolaylıkla hareket edebileceğini, kısacası, malzemenin içerisindeki ısı akış hızını göstermektedir. Metrik sistemde, $\text{kcal.m/saat.m}^2.\text{°C}$ (veya $\text{gcal.cm/saat.cm}^2.\text{°C}$) birimiyle ifade edilmektedir.

Normal ağırlıklı agregalarla yapılan betonun ısıl geçirgenlik değerleri $1.2-3.7 \text{ kcal.m/saat.m}^2.\text{°C}$ ve hafif betonların ısıl geçirgenlik değerleri ise $0.12 - 0.51 \text{ kcal.m/saat.m}^2.\text{°C}$ arasında değişiklik göstermektedir (Cook, 1966; Mitchell, 1966). Agreganın ısıl geçirgenlik özelliği, lineer genişleme katsayısı ve özgül ısı değerlerine göre çok daha az kullanılan bir özelliktir. Bu özellik, izolasyon için kullanılan betonlarda veya kütle betonlarında önemli olabilmektedir.

Agreganın ısı geçirgenlik değeri betonun ısıl geçirgenlik değerini etkileyen önemli bir faktördür. Çizelge 2.7'de bazı kayaçların ısıl geçirgenlik değerleri verilmektedir (Mindess ve Young, 1981; Neville, 1981; Cook, 1966).

Çizelge 2.7. Bazı Kayaçların Isıl Geçirgenlik Değerleri (Erdoğan, 2003)

Malzeme	Isıl Geçirgenlik Değerleri $\text{kg.cal.m/saat.m}^2.\text{°C}$
Bazalt	1.2
Mermer	2.4
Granit	2.7
Kalker	2.7
Kumtaşı	3.4

2.2. Betona Yönelik Literatür Araştırması

2.2.1. Giriş

Beton çağdaş toplumların temelini oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Betonun ilk bulunuşu 18. yüzyılın sonlarına kadar uzanmaktadır. İlk betonarme bina 1852 yılında yapılmıştır. Çimentoya ilk patentin ise, aynı yıllarda alındığı tahmin edilmektedir. Betonla ilgili ilk şartnameler ise, 1905 ve 1906 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya'da çıkarılmıştır. Türkiye'de ise ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir. Fakat betonun asıl gelişimi II. Dünya savaşından sonraki yıllara rastlamaktadır. Binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, kent mobilyaları vb. yapılar betondan yapılmaktadır. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 20-25 milyar ton kırmataş üretilmekte olup kişi başına kırmataş üretimi 3000–3500 kg'dır (Demirci, 2005).

Halen günümüzde hızla devam eden araştırmalarla; betonun dayanımı, kalitesi, uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, bakım tekniği, ekonomi, estetik, olumsuz şartlarda beton dökümü, katkılarla özelliklerini geliştirme vb. konularda çalışmalar yapılmaktadır. Normal beton 160-250 kg/cm² şeklinde üretilirken özellikleri geliştirilerek 2000 kg/cm² yük taşıyabilen hatta daha kaliteli betonlara doğru araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

2.2.2. Betonun Tanımı ve Sınıflandırılması

Beton; çimento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle katılaşp istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir.

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, agrega (kum, çakıl, kırmataş) ve çimento ağırlığının % 2'sinden fazla olmamak koşulu ile ilave edilen kimyasal ve mineral katkılardır. Kimyasal katkılar (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, priz hızlandırıcı, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz) ve mineral katkılar (taşunu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb.) betonun performansını istenilen yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır. Standart bir betonu oluşturan malzeme yüzdeleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Standart Bir Betonu Oluşturan Malzeme Yüzdeleri (Anonim, 2005)

Çimento	Su	Hava	İnce Agrega	Kaba Agrega
% 7-15	% 14-18	% 0,5-8	% 24-28	% 30-50

Genel olarak betonlar birim ağırlıklarına, basınç dayanımlarına ve üretildikleri yerlere göre sınıflandırılmakta olup yapı elemanlarının özelliklerine göre üretilen ve son 10 yıl içinde uygulama olanağı bulan özel betonlarda bulunmaktadır. Bu esaslar doğrultusunda yapılan sınıflandırma Çizelge 2.9'da özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.9. Betonun Sınıflandırılması (Şimşek, 2003)

Sınıflandırma Kriteri	Beton Türü
Birim ağırlıklarına göre	Hafif betonlar (0.70-2.00 kg/dm ³) Normal betonlar (1.8-2.8 kg/dm ³) Ağır betonlar (2.8-5.0 kg/dm ³)
Basınç dayanımlarına göre	Düşük dayanımlı betonlar (BS 12'den daha az dayanıma sahip) Normal dayanımlı betonlar (BS 12-30 arası dayanıma sahip) Yüksek dayanımlı betonlar (BS 30'dan daha çok dayanıma sahip)
Üretildikleri yerlere göre	Şantiye betonu Beton santrali betonu
Özel betonlar	Püskürtme Beton Lifli Beton Ferro Cement Beton Vakumlu Beton Akıtma Beton Brüt Beton (Cephe veya Görünür Beton) Derz Betonu Geçirimsiz Beton Enjeksiyon Harcı (Ankraj Betonu) Genç Beton (Yeşil Beton) Hazır Beton (Endüstriyel Beton) Pompa Betonu Prefabrik Beton veya Isıl İşlem Betonu Perdah Betonu Rötresi Dengelenmiş Beton Silindirlenmiş Beton Yeni Baştan Çevrimlenmiş Beton Yol ve Uçak Pisti Betonu Yüksek Mukavemetli Beton Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Beton

2.2.3. Betondan Beklenen Özellikler

İyi bir beton; taze halde iken kolay taşınabilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkılanabilmeli ve bu işlemler sonrasında ayrışmamalıdır. Sertleşmiş halde ise betonun mekanik mukavemeti yeterince yüksek ve dayanıklı olmalı yani beton hava etkisine, kimyasal etkilere ve aşınma etkisine karşı dayanmalıdır.

Ayrıca ekonomik olmalı; yani malzeme, üretim, döküm, kalıplama, bakım masrafları az olmalıdır. Bu özellikler ise; malzeme cinsi ve karışım oranları iyi seçilerek, beton harmanının hazırlanması, yerleştirilmesi ve sıkılanmasında uygun yöntemler ve güvenilir araçlar kullanılarak ve beton uygun koşullarda saklanarak sağlanabilir.

Genelde betondan beklenen özellikleri aşağıdaki başlıklar altında incelemek mümkündür.

2.2.3.1. Basınç Mukavemeti

Betonun gevrek bir malzeme olması nedeniyle en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Basit mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç, en düşük olanı ise çekmedir.

Betonun çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin % 8 ile % 14'ü arasındadır. Pratikte ise betonun çekmeye karşı mukavemetinin olmadığı ve hemen çatladığı varsayılır ve beton sadece basınca çalıştırılır. Betonun basınç dayanımı, diğer beton nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır ve aşınmaz.

Basınç dayanımı, standart silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küpler (20 cm kenarlı) üzerinde laboratuvar koşullarında olgunlaştırılan 28 günlük beton örnekleri üzerinden değerlendirilir. Pratik yönden dayanım 3., 7., 28. ve 90. günlerde de tayin edilebilir.

Beton basınç dayanımı (karakteristik dayanım), f_{ck} , beton karışım hesabında esas alınacak ortalama dayanım, f_{cm} ile ifade edilmektedir.

Standart sapma bilinmediği durumlarda, f_{cm} ;

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$$

eşitliği ile bulunmaktadır. Burada Δf , beton sınıfına göre değişmekte olup BS 14 ve BS 16 için 40 kgf/cm², BS 20, BS 25 ve BS 30 için 60 kgf/cm², BS 35, BS 40, BS 45 ve BS 50 için 80 kgf/cm² olarak alınmaktadır.

Beton basınç dayanımı deney sonuçlarının kabul edilebilmesi için,

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 30 \text{ kgf/cm}^2) \text{ ve } f_{c \text{ min}} \geq (f_{ck} - 30 \text{ kgf/cm}^2)$$

koşullarının sağlanması gerekir.

Basınç dayanımı zamana bağlı olarak artar ve genel olarak standart beton basınç dayanımının 28 günlük değeri % 100 kabul edilir. Beton, yaşlandıkça mukavemet değeri artar ve bu artış, 28 güne kadar hızlı bundan sonra yavaş devam eder. Betonların 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri arasında bağıntı vardır. Buna göre; betonun 7 günde, 28 günlük mukavemetin 2/3'si kadar bir mukavemet kazandığı görülmektedir. Beton basınç mukavemeti, imalatçıya betonun genel kalitesi hakkında fikir vermektedir.

2.2.3.2. İşlenebilme

Betoniyerden çıkan taze betonun; taşıma ve kalıba yerleştirme sırasında kohezyonunu ve homojenliğini kaybetmemesi ve kalıpları kolaylıkla yayılarak ve mümkün olduğu kadar az boşluk bırakarak, doldurma özelliklerinin hepsi birden işlenebilme özelliğini ifade eder. İşlenebilme; minimum enerji, homojenliğin korunması, boşluksuz yerleşme ve kıvam kavramlarını içermektedir.

Betonun işlenebilme özelliği ile kıvamın karıştırılmaması gerekir. Kıvam; betonun akıcılığı ile veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgili bir özelliktir. Bu özelliğe en önemli etkiyi su yapmaktadır. Taze betonun kıvamı, yalnız ilave edilen su miktarının bir fonksiyonu değil, aynı zamanda uygun bir kıvamın elde edilmesi için su gereksinimini tayin eden agreganın tane şekli ve gradasyonunun da bir fonksiyonudur. Bunda çimentonun karakteri ve miktarının da rolü büyüktür. Beton kıvamında, yuvarlak ve gradasyonu düzgün agreganın karışım suyu ihtiyacı, köşesi ve gradasyonu iyi olmayan agregadan daha azdır. Beton kıvamı ve bu kıvama ait özellikler Çizelge 2.10'da verilmektedir.

İşlenebilir betonun niteliklerinin başında kohezyon (yapışma) gelir. Kohezyonu iyi olan taze betonun içindeki iri agrega taneleri; karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri sırasında kütlede ayrılmazlar. Bu işlemler sırasında iri agreganın beton külesinden ayrılması olayına, betonun çözülmesi (segregasyon) adı verilir. Böyle betonun bünyesi homojen olamaz; iri agregalar bir yanda harç bir yanda birikir. Bu ise betonun dayanımını olumsuz yönde etkiler.

Çizelge 2.10. Beton Kıvamı ve Özellikleri (Şimşek, 2003)

Kıvam	Çökme	Özellikleri
Nemli Toprak Kıvamında	0–2,5 cm	Su miktarı çok az, vibrasyonla özenli ve toprak kuvvetli bir şekilde yerleştirilmediği takdirde betonda boşluklar kalır.
Sıkı	2,5–5 cm	Vibrasyonla sıkıştırmaya uygun, betonarme yapılar için uygun.
Plastik	5–7,5 cm	Donatının fazla olması halinde seçilir.
Akıcı	7,5–15 cm	Su miktarı fazla, vibrasyonla sıkıştırmaya uygun değil. Çok sık donatı bulunması halinde kullanılmasına izin verilir.
Şerbet	15 cm büyük	Su; agrega ve çimentodan kolaylıkla ayrılır. Betonarmede bu kıvama sahip beton kullanılmamalıdır (TS, 500)

Kimyasal katkı maddesi kullanılarak; betonun işlenebilme özelliğinin artırılması olasıdır. Çökme değerinin istenilen işlenebilmeye ayarlanabilmesi ve yüksek noktalara pompa ile betonun ulaştırılabilmesi açısından süper akışkan betonlar üretilebilmesi mümkündür. Betonlardan istenilen işlenebilme özelliği; betonun kullanılacağı yere, sıkıştırma ve yerleştirme tekniğine, işlenebilirlik derecesi, inşaat aksamının boyutları, şekli ve demir aralıklarına bağlıdır. Örneğin; döşemeler için iyi işlenebilirliği olan beton, ince ve sık demirli bir inşaat kesiminde kullanım açısından güçlük arz edebilir.

2.2.3.3. Dayanıklılık

Dayanıklı bir beton, maruz kalacağı hizmet koşullarına yani; hava koşullarına, kimyevi tesirlere ve aşınmaya yeterli derecede mukavemet gösterebilen betondur.

i. Hava koşullarına dayanıklılık

Betonun hava koşullarından dolayı parçalanıp dağılmasına neden olan olaylar; ısı ve rutubet değişiklikleriyle meydana gelen donma, çözülme, genişleme ve büzülme olaylarıdır. Son zamanlarda; dayanıklılığı arttırmak amacıyla, beton içerisinde mikroskobik hava habbecikleri oluşturan maddeler kullanılmaktadır. Beton içerisine % 2–6 oranında mikroskobik hava habbecikleri dağıtılsa, böyle bir beton dona karşı dayanıklılık kazanır. Mikroskobik hava habbecikleri betonun kılcallığını keser ve su geçirgenliğini önleyerek betonun donmasını engeller. Bu işlem, betonun basınç mukavemetinin biraz düşmesine neden olsa da beton, mikroskobik hava ile dayanıklılık gibi önemli bir özellik kazandığından bu düşüklük bir kayıp olarak kabul edilmemelidir.

Dona dayanıklı beton elde etmek, su geçirgenliğini azaltıcı tedbirler almak ve sıkı bünyeli beton imal etmekle mümkündür. Sıkı bünyeli beton ise; iyi gradasyonlu agrega kullanmak, su/çimento oranını olanaklar dahilinde asgari düzeyde tutmak, gerekiyorsa katkı maddesi kullanmak ve betonu uygun şekilde sıkıştırmakla sağlanabilir. Katkı maddesi olarak, agreganın % 5'i oranında atıl taşlar veya çimento ağırlığının % 15-30'u kadar puzolan kullanılabilir.

Sıcak havalarda beton yapım ve dökümünde gerekli önlemler alınmadığı durumlarda beton, sertleştikten sonra soğuk hava şartlarından daha fazla etkilenmekte, yüzey çatlakları ve deformasyonlar meydana gelmektedir.

Yapılan araştırmalar; betona hava edilen uçucu külün, donma-çözülme dayanımını azaltırken sülfat direncini arttırdığını göstermektedir (Şimşek, 2003).

Donma- çözülme etkisinde bulunan betonlarda minimum çimento dozajı, 335 kg/m³ olmalıdır. Su emmesi az olan iri agregalı betonun donmaya karşı dayanımı yüksek olup betonda kullanılacak agreganın gözenekli olması ve bünyesinde donabilir su bulundurmaması gerekir.

ii. Kimyevi etkilere karşı dayanıklılık

Agreganın içerisinde alkali reaksiyonu verebilecek maddelerin (opal, tridimit vs.) çimentonun alkali oksitleri ile (Na₂O, K₂O) reaksiyona girmesi betonun dağılmasına ve bunun sonucunda da beton yüzeyinde geliştiği güzel çatlaklar meydana gelmesine neden olur.

Beton yoğurma suyunda bulunan sülfatlar beton için çok zararlı olup böyle suların kullanılması halinde cüruf çimentoları tercih edilmelidir.

iii. Erozyona karşı dayanıklılık

Beton yüzeyleri, akarsuların etkisiyle hareket eden aşındırıcı malzemelerle veya rüzgâr etkisi ile aşınmakta olup bu etkenlerden hangisinin etkisi altında kalacaksa ona göre tedbir alınmalıdır.

Aşınmaya dayanıklı beton yapmak için; kumdaki 200 no'lu elekten geçen kısım % 3'ten fazla olmamalı, kullanılan çakıl ise sert ve sağlam bünyeli olmalı, gerekli işlenebilirliğin sağlanabilmesi için en düşük küçük su/çimento oranını kullanılmalı ve yeterli bir basınç mukavemeti sağlayacak tedbirlerin alınması gereklidir. Ayrıca, agregaların gradasyonları uygun olmalıdır.

2.2.3.4. Aşınma ve Çarpmaya Karşı Mukavemeti

Yol, hava alanı, su boruları ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan beton, önemli derecede aşınma etkisinde kalır. Genellikle basınç dayanımı yüksek olan betonlar, aşınmaya karşı da dayanıklıdır. Betonda çimento miktarı, agregaya kıyasla az olduğundan asıl aşınma etkisi agregaya gelir. Bu bakımdan beton üretiminde, aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır. Aşınmaya çok dayanıklı betonlar, özel agregaların kullanılmasıyla elde edilir. Bu amaçla granit, kuvarz kökenli agrega, demir parçacıkları, çelik tozu ve karborandum gibi yapay agregalar kullanılır.

Aşınmaya karşı dayanıklı betonlarda, beton döküldükten sonra yüzeyinde bir terleme suyu meydana gelmiş ise, bu su kayboluncaya kadar beklenmelidir. Terleme suyunun giderilmesi için, beton yüzüne toz çimento serpilmesi yoluna gidilmesi çok hatalı bir davranıştır. Yüzeyde biriken suyun ortadan kaldırılması, betonun basınç ve aşınma mukavemetinin artırılması için vakum uygulanması yerinde bir uygulamadır (Şimşek, 2003).

Betonarme kazık, yol ve hava alanları gibi yerlerde beton elemanlar önemli darbe etkilerine maruz kaldıklarından bu gibi yerlerde kullanılan betonların çarpmaya dayanıklı olması gerekir. Basınç ve çekme mukavemeti büyük olan betonların çarpma mukavemeti de büyük olur. Bu nedenle beton üretiminde agrega olarak çakıl yerine kırmataş kullanılmasıyla çarpmaya daha dayanıklı beton elde edilir. Kırmataşlı betonlar, daha fazla deformasyon yapma kabiliyetine sahip olduğundan, betonun

daha fazla enerji almasına ve çarpma dayanımının artmasına neden olur. Betonun deformasyon yapma kabiliyetindeki azalma belirli bir süreden sonra, betonun yaşı ilerledikçe çarpma dayanıklılığının azalmasına yol açar. Bu nedenle betonarme kazık ve palplanjların başlarının bu tür zorlama ile karşı karşıya geldikleri hususu gözönünde tutularak; bu tip elemanların üretildikten hemen sonra fazla bekletilmeden çakılmaları gerekmektedir.

2.2.3.5. Permeabilite (Geçirimsizlik)

Geçirimsizlik, boşluklu bir ortamda laminer bir akımla sıvının hareket etmesi sonucunda meydana gelen bir olaydır. Betonun geçirimsizliği, beton içerisindeki boşluklar ile çimento hamuru agrega ara yüzeyindeki mikroçatlakların bir fonksiyonudur. Betonlardaki porozite, boşlukların iç boyutlarının değişik olması, bunların ani olarak değişmesi, boşluk iç yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dolambaçlılık geçirimsizliği önemli ölçüde etkileyen belli başlı faktörlerdir. Betonun boşluğunun büyük olması, geçirimsizliğin büyük değerler olmasına neden olur.

Su yapılarında, betonun su geçirimsizliğinin az veya hiç olmaması çok önemlidir. Betonun su geçirimsiz bir yapıda olması önemli bir su kaybına neden olduğu gibi, donma-çözülme olayından aşırı derecede etkilenmektedir. Çimentonun hidrasyon hızının yüksek olması halinde geçirimsizlik küçük değerler alabilmektedir. Hidrasyonun zamanla gelişmesi, geçirimsizliğin zamanla azalmasına yol açar.

Betonun dayanım problemleri, betonun geçirimsizliği ile başlar. Betonun geçirimsiz olması durumunda birçok dayanıklılık problemine yol açan su ve zararlı sıvılar beton içerisine nüfuz edemez. Yani geçirimsiz ya da geçirimsizliği çok düşük olan betonlarda, don olayı veya betonu kimyasal olarak parçalayan reaksiyonlar görülmez.

Kılcal su geçirimsizliği (kapilarite); daha çok bina cephelerinde, zemin suyunun yerçekimine rağmen ince kılcal boşluklardan yükselmesi şeklinde görülür. Sıva ve beton yüzeylerde çiçeklenme adı verilen tuz birikmesi olayı, kapilarite nedeniyle gelişir.

Betonda geçirimsizliği azaltabilmek için aşağıda verilen önlemlerin alınması gerekmektedir.

- Agreganın maksimum tane çapını küçük seçmek ve gradasyonu düzgün (ya da düzeltilmiş) agreganın kullanılması,
- Karma suyu miktarını optimum miktarda kullanmak,
- Betonun en yüksek kompakte (sıkılıkta) yerleştirmek,

- Optimum çimento dozajının altında çimento kullanmamak, ince öğütülmüş ve kohezyonu yüksek çimentolar kullanmak ve geçirimsizliği sağlayan beton katkıları kullanmak.

2.2.3.6. Hacim Değişimi

Genel olarak hacim değişimi, ıslanma ve kuruma sonrası meydana gelen genişleme ve büzülmedir. Betonda hacim değişiklikleri, betonun servis ömrü boyunca yapısal yönden önemli bir deformasyon meydana getirmemelidir. Kuruma sonrası oluşan büzülmeye “rötre” denir. Rötre olayının iki önemli zararlı etkisi vardır. Bunlardan birincisi; betonda çatlakların oluşması, ikincisi ise; betonarme donatıda parazit gerilmelerin oluşmasıdır. Çatlaklar, betonun özellikle çekme dayanımını düşürürler. Ayrıca geçirimsizliğin artması nedeniyle betonun kimyasal etkilere ve donatı dayanıklılığını azaltıp, donatının korozyonunu kolaylaştırır. Betonlarda rötre olayı çok çeşitlidir, farklı nedenlere dayanan rötre türleri vardır.

i. Hidrolik (Kuruma) rötre

Hidrolik rötre; üretimi izleyen günden itibaren başlar önemli bir bölümü birinci ay zarfında ortaya çıkar ve uzun süre (5-6 ay kadar) devam eder. Çimento hamurunun kuruması sonucu, önce kılcal boşluklardaki su buharlaşmakta, bu boşluklara jel suyu akımı başlamakta ve daha sonra bu su da kısmen buharlaşmaktadır. Sonuçta absorbe su tabakası kalınlığı azalarak ve taneler yaklaşarak hacim büzülmemektedir.

Hidrolik rötre, en etkili rötre türü olup bu olayı önlemenin en iyi yöntemi, yapı üzerinde rötre-kontrol derzlerinin açılmasıdır. Bu derzler; çatlak oluşumu için bir zemin hazırlayarak zararlı kimyasalların yapı içerisine, bu derzlerde oluşturulacak tıkaçıcıların yardımıyla, girmesini engelleyecektir. Kuruma rötresi, tamamen engellenemez ancak bir miktar engelleme yeniden ıslanma ile mümkündür. Beton yüzeyinin % 100 nemlilikte tutulması, kuruma rötresini oldukça azaltan bir yöntemdir.

ii. Termik rötre

Prizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda, hidrasyon ısısının tüm kütleli ısıtmaya yetecek oranda artmaması sonucu kütleli soğuması nedeniyle oluşan büzülmeye “termik rötre” adı verilmektedir. 1-2 gün içinde ortaya çıkan bu rötre, özellikle baraj gibi kütle betonlarında önemli sorunlar çıkarır. Termik rötre çatlakları, geniş ve derin olup ve zamanla daha da derinleşirler ve bir

yılda 1.5 m derinliğe varabilirler. Bu rötreyi arttıran etkiler; hidrasyon ısı, yüksek çimento kullanımı, hızlı beton dökümü ve kalınlığı fazla kütle betonu dökümüdür.

Baraj yapımlarında, beton içinden soğutma suyu borularının geçirilmesi, agregaların ve suyun soğutulması gibi yöntemler termik rötreyi engelleme amaçlıdır.

iii. Plastik rötreye

Taze betondan su kaybı olarak tanımlanabilir ve önlenmezse beton yüzeyinin kurumasına neden olacağından yüzeyde veya bazen iç kısımlarda çatlamlara yol açabilir. Bu olay; sıcaklık ve rüzgâr gibi çevre faktörlerinin etkisi ile daha da kötüye gidebilir ve rötrenin oluşumu artabilir. Plastik rötreye; rüzgâr hızını rüzgâr kırıcılarla azaltmak, betonun sıcaklığını düşürmek veya priz alma süresini kısaltmak gibi önlemlerle kontrol edilebilir.

iv. Karbonatlaşma rötresi

Bu rötreye, özellikle prefabrik elemanların üretiminde dikkate alınması gereken bir olgudur. Sertleşen çimento hamuru, zaman içerisinde atmosferde bulunan CO₂ ile reaksiyona girerek karbonatlaşma rötresine neden olur. Bu olay, bağıl nemliliğe büyük ölçüde bağlı olup düşük nemlilik oranlarında hızlanırken yüksek nemlilikte hiç olmayabilir. Karbonatlaşma rötresi, kurumadan sonra olursa en yüksek değerine ulaşır. Bu rötreye, beton yapıdan hem su kaybolmasına hem de reaksiyon sonucunda hacim genişlemesine neden olarak betonda çatlamlara neden olabilir.

Prefabrik eleman üretiminde yapay olarak hızlandırılan priz süresince; sıcaklık ve rutubet dereceleri, karbonatlaşma rötresine yol açmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Örneğin; ortamın CO₂ doygunluğu sağlanarak rötrenin önceden oluşması ve son değerine varması sağlanmalıdır.

Betonun kuruması ve ortam ısısı beton sünmesi üzerinde etkilidir. Sünme, betonda yüklerin sürekli tutulması durumunda, şekil değişimlerinin zamanla artımı olarak tanımlanabilir. Betonda sünme, normal sıcaklıkta ve düşük gerilmeler altında oluşur. Sünmeyi; betonun dayanımı, gerilme seviyesi, betonun yaşı, ortamın nemi ve ısı değişimleri agrega cinsi etkiler.

Kurumanın neden olduğu büzülme, ıslanmanın meydana getirdiği genişmeden daha etkilidir. Genleşme ve büzülme katsayıları, ısı değişikliğindeki her derece için fark eder ise de karışımdaki iri

agreganın cinsi ve miktarı, karışım suyu vb. etkilere bağlıdır. Genel olarak hesaplamalarda, ortalama bir değer olarak $10 - 12 \times 10^{-6}$ katsayısının alınabileceği belirtilmektedir (Şimşek, 2003).

2.2.3.7. Elastisite

Beton, genel olarak elastik bir malzeme olmayıp gerilme-deformasyon ilişkisi genellikle bir eğri şeklindedir. Eğrinin, doğrusal bir çizgiye başladığı kısımdan itibaren ki, başlama noktası gerilme-deformasyon oranı veya elastikiyet modülü olarak ifade edilebilir. Yükleme, çalışma bölgesi dışına çıktığında eğri, baş kısmındaki düzgünlükten ayrılacaktır. Betonun 28 günlük kırılma mukavemetlerinin % 75'ine kadar ki basınç dayanımları için, gerilme-deformasyon oranı oldukça uniformdur. Betonların 28 günlük elastiklik modülü yaklaşık olarak $1-4 \times 10^5$ kgf/cm² civarındadır. Elastikiyet modülü, bir beton örneğinin içinden geçirilen ses dalgalarının frekansı ile ölçülebilir. Bu ölçüm ile elde edilen elastikiyet modülüne, dinamik elastikiyet modülü denir (Şimşek, 2003).

2.2.4. Beton Özelliklerine Etki Eden Bazı Faktörler

2.2.4.1. Çimentonun Etkisi

Beton özelliklerine etki eden faktörler arasında en büyük rolü üstlenen elemanlardan birisi çimentodur. Çimentonun mineralojik yapısı, betonun bileşiminde çok önemli bir yer tutar. Portland çimentosunun bileşiminde Trikalsiyum silikat (C₃S), Dikalsiyum silikat (C₂S), Trikalsiyum alüminat (C₃A) ve Tetrakalsiyum alümino-ferrit (C₄AF)'in yüzde oranları yüksek ve etkilidir. Çimento içindeki C₃S, betona ilk dayanımı kazandırır. Hidratasyon ısısını yükseltir. C₂S, ilk dayanıma etkisi az olmakla birlikte son dayanıma çok etki eder ve hidratasyonu yavaştır.

Beton içindeki çimento hamuru, agrega taneleri arasında kalan boşlukları yeterince dolduracak miktarda olmalıdır. Betonun en pahalı bileşenlerinden biri olması nedeni ile beton üretiminde çimento miktarının en az olması, her zaman gerçekleştirilmesi istenilen bir husustur. Beton içinde gereğinden fazla çimento bulunması; rötre, sünmeye, yüzeysel ve kılcal çatlamalara, az olması ise, betonda istenmeyen boşluklar meydana getirdiği gibi dayanım yönünden de olumsuzluklara neden olmaktadır. Beton içindeki çimento miktarı agrega taneleri arasında birbiriyle bağlantılı boşluklar en az düzeyde olacak şekilde ayarlanmalıdır. Çimento tanesi ne kadar ince ise, mukavemeti ve su geçirmezliği o kadar yüksektir. Betonda kullanılacak çimento, su kusmayacak ve terlemeyecek özellikte olmalıdır.

Çimento hamurunun kohezyonlu olması, harç ve betonda su geçirmezliğin sağlanması ve dayanım yönünden istenilen özelliklerdendir.

2.2.4.2. Agreganın Etkisi

Betonun mekanik özelliklerine en çok etki eden çimento-agrega aderansıdır. Aderansın çok mükemmel oluşu, betonun dayanımın iyi yönde etkilemekle beraber plastik davranışlarını da kısıtlar. Betonun ortalama olarak % 70'ini meydana getiren malzeme agregadır. Aderansın iyi olabilmesi için agreganın sahip olması gereken bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

- Tanelerin en büyük boyutunun, en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olmamalıdır.
- Agregataneleri dayanıklı olmalıdır.
- Betonun priz yapmasını geciktirici, sertleşmesini ve bileşimini engelleyici, boşluk yapan ve beton donatısını korozyona uğratan zararlı madde içermemelidir.
- Agregat gradasyonu; kumun boşluklarını çimentonun, çakılın boşluklarını ise kumun doldurması sağlanacak şekilde olmalıdır.

2.2.4.3. Suyun Etkisi

Çimento hamurunun bağlayıcılık özeliği, büyük ölçüde çimentonun kalsiyum silikat bileşikleriyle su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan kalsiyum-silikat - hidrat (C-S-H) jellerinin oluşumuna dayanmaktadır. Kullanılan suyun içerisinde fazla miktarda bulunabilecek yabancı maddeler, hidratasyon ürünlerinin oluşumunu olumlu veya olumsuz yönde etkilediği gibi priz süresini de etkiler. Su, çimento hamurunun bağlayıcılık özeliğini ve betonun dayanımı etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Çimento hamuru, irili ufaklı agregatanelerinin yüzeyini kaplar ve taneler arasındaki bağı sağlar.

Karışım ve olgunlaştırma suyunun pH değeri, 7'den küçükse asit büyükse bazik olduğu bilinmektedir. Suyun pH değeri, betonun priz süresi üzerinde etkilidir.

2.2.4.4. Su/Çimento Oranı

Su/çimento (s/ç) oranı, betonun basınç dayanımı ve dış iklim faktörlerine karşı dayanıklılığı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Su ve çimentodan meydana gelen çimento hamurunda, suyun çimentoya

oranı ne kadar küçük olursa çimento hamuru o kadar koyu kıvamlı olur. Koyu kıvamlı hamurla elde edilen betonun, basınç ve dış faktörlere dayanımı ve hacim sabitliği oldukça iyi sonuç verir. Beton karışım hesabında s/ç oranı; çeşitli iklim koşullarına, beton dökülecek alana ve basınç dayanımına göre seçilir. Seçilen s/ç oranı beton özelliğine göre değişiklik gösterir. Betonun döküleceği ve servis vereceği ortam koşulları, önemli dış iklim etmeni altında ise s/ç oranı küçülür. Böyle durumlarda kılcal boşlukları süresiz ve en az olan betonlar üretmek, her zaman uyulması gereken bir husustur.

Betonun donma-çözölmeye karşı dayanıklılığını arttırmak için düşük s/ç oranı yanında hava sürükleyici kimyasal katkı maddesi kullanılmalıdır. Ayrıca hava sürükleyici kimyasal katkı maddesi, betonun işlenebilirliğini arttırdığından s/ç oranını azaltmak mümkündür.

S/ç oranı taze betonun işlenebilirliği üzerinde oldukça etkilidir. Fakat işlenebilme özelliği, bu orandan çok suyun mutlak değerine bağlanmaktadır. Belli bir cins ve gradasyona sahip agrega karışımı kullanılması halinde, uygulamadaki sınırlar dahilinde işlenebilme özelliğinin sadece su miktarı tarafından belirlendiğini ve çimento dozajından bağımsız olduğunu yaklaşık olarak kabul etmek mümkündür.

Su geçirilmesi istenmeyen ve kalınlığı 10-40 cm arasında olan betonlarda s/ç oranı, 0.60'dan büyük olmamalı, donma çözölmeye maruz kalan betonlarda s/ç oranı 0.60' dan ve agrega tane çapı 16 mm'den küçük olmamalıdır. Betonda hava sürükleyici katkı kullanıldığı durumda, hava miktarının 16 mm agrega için % 4-0 ve 31.5 mm agrega için % 3.5' den küçük olması öngörülmektedir.

Betonda s/ç oranı, mukavemetle ters orantılı olarak değişir. Karışımında kullanılan s/ç oranı küçüldükçe betonun mukavemeti artar ve kılcal boşlukların miktarı azalır. Boşluğu az olan betonun, basınç mukavemetinin yüksek ve diğer fiziksel özelliklerinin ise istenilen düzeylerde olduğu saptanmıştır.

Donma çözölmeye etkisi altındaki betonlarda, hava sürükleyici katkı maddesi kullanıldığı durumda s/ç oranı 0.70 olabilir, bununla birlikte agrega dona dayanıklı ise s/ç oranının 0.60'dan küçük alınması uygundur.

2.2.4.5. Diğer Faktörler

Diğer faktörler; betonun karıştırılması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve olgunlaştırılması olarak nitelendirilmektedir (Şimşek, 2003).

2.2.5. Taze ve Sertleşmiş Beton Kavramları

Çimento ve suyun birleştirilmesiyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta, plastik (yumuşak, şekil verilebilir) bir malzeme durumundadır. Ancak, çimento ve su arasında hemen başlayan ve devam etmekte olan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) etkisiyle, çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özeliği zaman ilerledikçe azalmaktadır. Böylece, bir veya birkaç saat içerisinde, çimento hamuru katılaşmakta ve daha sonraları da tamamen sertleşmiş bir duruma gelmektedir. Çimento hamurunun ilk zamanlarda plastik özellik göstermesi nedeniyle, beton da ilk karıldığı anı takip eden bir veya birkaç saatlik süre içerisinde plastik yapısını korumaktadır. Karıştırma işlemi tamamlanmış fakat henüz priz yaparak plastikliğini kaybetmemiş betona “taze beton” denir. Elde edilen plastik durumdaki taze betonun, istenilen şekildeki bir kalıba yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi mümkün olmaktadır.

Çimento hamurunun zaman ilerledikçe daha katı ve sert bir özellik kazanması nedeniyle, betonda da sertleşme ve dayanım artışı meydana gelmekte, istenilen boyutlarda ve şekilde taş gibi sert bir malzeme elde edilmektedir. Betonun katılaşma olayından sonraki safhasındaki bu durumu “sertleşmiş beton” olarak tanımlanmaktadır.

2.2.5.1. Taze Betonun Özellikleri

Gerek taze betonun ve gerekse sertleşmiş betonun tüm özellikleri, beton karışımının oluşturulmasında kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katkı maddelerinin özellikleri ve karışım içerisinde yer almış oldukları oranlar tarafından etkilenmektedir (Erdoğan, 2003).

Taze betonda işlenebilirlik ve homojenlik iki önemli özelliktir. Taze betonun kolayca karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır. Bu işlemler sırasında iri agregalarla çimento harcı arasında ayrışma olmamalıdır. Bu özelliklerin tümü “işlenebilirlik” olarak tanımlanmaktadır. Taze betonun homojenliği, beton özelliklerinin her tarafta aynı olması, betonun ayrışmaması ve su kusmaması anlamına gelir (Güner ve Süme, 2000).

İşlenebilirlik; betonun bileşimine ve beton malzemelerin özelliklerine, kalıp özelliklerine, kalıptaki donatının miktarına ve sıklığına ve yerleştirme ve sıkılama yöntemlerine bağlıdır (Güner ve Süme, 2000). İşlenebilirliğe etki eden faktörler ise; işlenebilirlik yeteneği, kıvamı, çimento hamuru miktarı, zaman ve ortam koşulları, çimento ve agrega özellikleri, katkı maddeleri, ayrışma (segregasyon) ve su kasma (terleme)’dir.

2.2.5.2. Sertleşmiş Betonların Bazı Özellikleri

Sertleşmiş beton, taze betonun katılaşmasından sonraki safhadaki durumu olarak tanımlandığı için, sertleşmiş betondan beklenen performans, önemli ölçüde taze betonun özelliklerine bağlı olmaktadır. Sertleşmiş betonun özelliklerini çok büyük ölçüde etkileyen başka faktörler de bulunmaktadır. Bunlar; taze betonun uygun tarzda taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzgünleştirilmesi ve hidrasyonun sağlıklı şekilde yer alabilmesi için kür edilmesi (bakım) işlemleridir. Sertleşmiş betondan beklenen özelliklerin elde edilebilmesi için bu işlemlerin uygun tarzda yerine getirilmiş olmaları gerekmektedir (Erdoğan, 2003).

Malzemenin seçiminde, uygulanacak olan yüklere karşı malzemenin gösterdiği direnç gözönünde bulundurulması gereken en önemli hususlardan birisidir. Birim deformasyon (birim boydaki deformasyon); malzemenin uygulanan yükler altındaki şekil değiştirmesini, gerilme (birim alana uygulanan yük) ise; yükün şiddetinin belirtilmesini ifade etmek için kullanılan terimlerdir. Gerilmenin malzeme üzerindeki uygulanış biçimine göre; basınç, çekme, eğilme, kesme ve burulma gibi çeşitleri bulunmaktadır. Malzemelerin gerilme-birim deformasyon ilişkileri; genellikle, dayanım, elastisite modülü, süneklik (veya gerginlik) ve tokluk (enerji emme kapasitesi) cinsinden ifade edilebilir.

Dayanım, malzemenin kırılma alabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanır. Beton basınç yükleri altında daha iyi davranış gösterdiğinden betonun dayanımından söz edildiğinde, diğer dayanımlar belirtilememişse eğer basınç dayanımı anlaşılır. Betonun dayanımı çimento hidrasyonunun bir fonksiyonu olduğundan ve bu işlem de zamana bağlı olduğundan dolayı dayanım genellikle betonun yaşıyla birlikte ifade edilmektedir.

Gerilme-birim deformasyon ilişkisinde, başlangıçta gerilme ve birim deformasyon birbirleriyle doğrusal orantılıdır ve yük kaldırıldığında malzeme eski şeklini alır. Bu davranışa “elastik davranış” ve bu bölgedeki deformasyona da “elastik deformasyon” adı verilir. Elastisite modülü, elastik davranış bölgesindeki gerilmeyle ona karşı gelen elastik birim deformasyonun oranıdır.

Bazı malzemeler için gerilme-birim deformasyon ilişkisi yükleme süresinden etkilenmez. Ancak, aralarında betonun da bulunduğu diğer bazı malzemelerde, bu ilişki yükleme süresine bağımlı olmayabilir. Bir beton numunesi dayanımının çok altında bir gerilmeye yeterince uzun süre maruz kaldığında kalıcı deformasyon gösterir. Sürekli yük altında malzemenin şekil değiştirmesine “sünme”

denir. Betonda, hiç yük uygulanmamışken bile, ortam rutubeti ve sıcaklığına bağlı olarak, deformasyonlar görülebilir.

Yukarıda özetlenen özelliklerin yanı sıra, malzeme seçiminde dikkate alınması gereken ve zaman zaman en az diğerleri kadar önemli olan bir husus da dayanıklılıktır. Dayanıklılık, bir malzemenin çevre koşullarına karşı direnci olarak tanımlanmakta olup geçirimsizlik, çirkinleşme, sülfatlar, deniz suyu ve alkali-agrega reaksiyonu tarafından etkilenmektedir. Genel olarak; geçirimsizliği az olan yoğun betonlar diğerlerine oranla daha dayanıklıdır (Özkul ve ark., 1999).

Yukarıda ana hatları ile tanımlanmış olan özellikler Çizelge 2.11’de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.11. Tipik Bir Betonun Çeşitli Özellikleri (Özkul ve ark., 1999)

Tipik Bir Betonun Çeşitli Özellikleri	
Basınç dayanımı	30 N/mm ²
Eğilme dayanımı	5 N/ mm ²
Çekme dayanımı	3 N/ mm ²
Elastisite modülü	25000 N/ mm ²
Poisson oranı	0.17
Isıl genişleme katsayısı	10 x 10 ⁻⁶ °C
Yoğunluk	2300 kg/m ³

Yapının projelendirmesi aşamasında saptanan ve hizmet yüklerinin taşınması yeteneğini simgeleyen dayanımlar (basınç ve çekme dayanımı, eğilme direnci, aşınma ve darbelere karşı direnç) kullanılacak betonun sınıfını belirleyici bir öge olup aynı zamanda betonun hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı zorlamalara karşı görevini başarıyla sürdürmesinde yardımcı olan doluluk, dayanıklılık, geçirimsizlik, elastiklik, ısıl genişleme, sünme ve büzülme gibi özelliklerinin de şartname ve standartlarda ön görülen sınırlar dahilinde bulunması gerekmektedir.

2.2.6. Diğer Yapı Malzemelerine Göre Betonun Avantajları ve Dezavantajları

2.2.6.1. Betonun Avantajları

Betonun çok değişik yapılarda çok değişik amaçlarla kullanılan önemli ve popüler bir yapı malzemesi olmasının nedeni, bu malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerden ileri gelmektedir. Betonun diğer yapı

malzemelerinden daha uygun kılan özellikleri, "betonun avantajları" olarak adlandırmak ve bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- i. Taze betonun plastik bir yapıya sahip olması ve bu özeliğini birkaç saat süreyle koruyabilmesi nedeniyle, taze betonu istenilen şekil ve boyutlardaki kalıpların içerisine kolayca yerleştirebilmek ve betonun yeterince sertleşmesinden sonra kalıpların sökülmesiyle de, istenilen şekil ve boyutlarda sertleşmiş beton elemanlar elde etmek mümkündür.
- ii. Sertleşmiş beton elemanlar yerinde üretilebildiği gibi bir fabrikada önceden de üretilebilmekte ve yapıya sertleşmiş beton elemanları olarak getirilip kullanılabilir. Projesine uygun şekil ve boyutlardaki beton elemanların üretilmesi işlemi, genellikle yerinde yapılmaktadır. Bunun için yerinde hazırlanan kalıpların içerisine taze beton yerleştirilmekte ve beton yeterince sertleştikten sonra kalıplar sökülür. Öte yandan; beton bloklar, borular, direkler, kirişler ve duvarlar gibi bazı elemanlar bir fabrikada önceden üretilmekte ve sertleşmiş durumdaki bu elemanlar daha sonra yapıdaki yerlerine taşınarak kullanılabilir.
- iii. Beton yerleştirme yöntemlerinde çeşitlilik ve kolaylık bulunmaktadır. Taze betonun plastik özeliğe sahip olması nedeniyle, erişilmesi güç noktalara bu malzemenin pompalanarak taşınabilmesi veya değişik eğimli yüzeylere püskürtülerek yerleştirilebilmesi mümkün olabilmektedir.
- iv. Sertleşmiş beton oldukça yüksek basınç dayanımına sahiptir. Uygun malzemelerle ve uygun yöntemlerle üretilen betonların basınç dayanımları bazı doğal taşların basınç dayanımlarına yakın değerler gösterebilmektedir.
- v. Sertleşmiş beton, hizmet gördüğü süre boyunca çevrede oluşan yıpratıcı etkenlere karşı diğer yapı malzemelerinin çoğundan daha dayanıklıdır. Bakım işlemleri ve masraf gerektirmemektedir. Beton, ahşap gibi kolayca yanmamakta, çelik gibi kolayca korozyona uğramamaktadır. Dışarıyla temasta bulunan ahşap malzemeyi bir süre sonra verniklemek veya boyamak ya da çelik malzemeyi korozyondan koruyabilmek amacıyla boyamak gerekirken, sertleşmiş beton için bu tür bakım önlemleri gerekmemektedir.
- vi. Beton, çelik donatılarla çok iyi aderans (kenetlenme) gösterebilecek kapasitede bir özeliğe sahiptir. Betonun çekme ve eğilme dayanımları düşük olduğundan, yapıda, beton elemanların çekme ve eğilmeye maruz kalacak bölgelerine çelik çubuklar yerleştirilerek, bu tür yükler çelik tarafından

taşılmaktadır. Beton ve çelik çubuklar arasında çok iyi bir aderans olması, bu iki malzemenin tek bir malzemeymiş gibi davranmasını sağlamaktadır. Ayrıca, beton ve çeliğin ısıl genişleme katsayılarının çok farklı olmaması, sıcaklık değişiklikleri nedeniyle bu iki malzemenin çok farklı davranmasını önlemektedir.

vii. Beton, diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomiktir. Betonun oluşturan malzemeler arasında enerji harcanarak fabrikada önceden üretilmiş olanı sadece çimentodur. Beton hacminin yaklaşık dörtte üçünü oluşturan agregalar, çimentoya göre çok daha ucuzdur. Ayrıca, agregalar, su ve gerektiğinde beton yapımında kullanılan ince taneli mineral katkıları, yapının bulunduğu bölgeden temin edilebilmektedir. Bölgesel malzemelerin kullanılması, betonun ekonomik olmasına yol açabilmektedir. Beton üretiminde ve kullanımında yeterli bilgiye ve deneyime sahip mühendis veya teknik adamlara gereksinim olmakla birlikte, iş hacminin büyük bir bölümü kalfalar veya düz işçiler tarafından yürütülmekte olup bu durum da ekonomiklik sağlayabilmektedir.

viii. Beton, estetik amaçlarla kullanılmaya uygun özellikte bir malzemedir. Beton elemanlara istenilen şekil ve yüzey dokusu verilebilmekte ve renklendirici katkı maddelerinin yardımıyla istenilen renkte beton üretilebilmektedir.

2.2.6.2. Betonun Dezavantajları

Mükemmel bir yapı malzemesi olarak nitelendirilebilecek olan betonun, diğer yapı malzemelerine göre bazı eksik yönleri de mevcut olup bu eksiklikleri "betonun dezavantajları" olarak adlandırmak ve bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür. Aslında; betonun dezavantajı olarak belirtilebilecek özelliklerin hiçbiri, betonun kullanımını engelleyecek nitelikte olmamakla birlikte betonun dezavantajlı tarafının bilinmesi ve bu eksikliklerin giderilmesine yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir.

i. Sertleşmiş beton, çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir. Beton, çekme veya eğilme yükleri altında kolayca çatlayabilmektedir. O bakımdan, beton elemanların çekmeye veya eğilmeye maruz kalabilecek bölgelerine çelik donatıların yerleştirilmesi ve bu elemanların betonarme veya öngerilmeli beton elemanlar olarak kullanılması gerekmektedir.

- ii. Sertleşmiş beton gevrek özelliğe sahiptir. Betonun gevrek bir malzeme olması, darbe yükleri karşısında yeterince dayanıklı olmamasına yol açmaktadır. Metallerle karşılaştırıldığında, betonun darbe dayanımı ve tokluk kapasitesi oldukça düşüktür.
- iii. Beton, çevreden maruz kalabileceği ıslanma-kuruma veya sıcaklık değişiklikleri karşısında bir miktar hacim değişikliği gösterebilmektedir. Taze beton, kuruma nedeniyle büzülme olup sertleşmiş beton ise ıslandığı takdirde, az da olsa genişlemektedir. Çevre sıcaklığının artması ve içerisindeki suyun bir bölümünü kaybetmesi (kuruması) sonucunda zamanla betonda büzülme olayı oluşmaktadır. Bu nedenle; yol, park yeri, havaalanı ve benzeri yapılarda, beton bloklar arasında derz denilen kısa bir aralık bırakmak ve böylece çatlamları kontrol altında tutmak gerekmektedir.
- iv. Beton, birçok yapı malzemesi gibi sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyon gösterebilmektedir. Normal servis koşullarında beton, taşımakta olduğu sabit yüklerin etkisiyle zamanla bir miktar kalıcı deformasyon (sünme) gösterebilmektedir. Öngörülen beton elemanlardaki betonun sünme göstermesi, önceden gerilmiş durumda olan çelik donatılar üzerindeki gerilme etkisini azaltabilmektedir. Bu nedenle; proje hesaplarının betonun büzülme veya sünme özellikleri gözönünde tutularak yapılması gerekmektedir.
- v. Beton, mükemmel bir geçirimsizliğe sahip değildir. İçerisine bir miktar su veya zararlı maddeler içeren sular sızabilmekte ve betonun dayanıklılığını azaltabilecek olaylara neden olabilmektedir. Betonun içerisine su sızması ve bu suyun donması, betonun çatlamasına yol açabilmektedir. Ayrıca; betonun içerisine sülfatlı veya asitli suların sızması durumunda, genişleme meydana gelmekte ve sertleşmiş betonun çatlamasına neden olabilmektedir. Betonun su geçirimsizliğini arttırmak için beton karışımının hazırlanmasında su/çimento oranının düşük tutulmasına dikkat edilmektedir. Sık sık ıslanma ve donma koşullarına maruz kalacak betonlar hava sürüklenmiş beton olarak yapılmaktadır.
- vi. Betonlardaki "dayanım/ağırlık" oranı, metallerde olduğu kadar yüksek değildir. Yüksek değerdeki yüklerin taşınabilmesi için, metallere göre, daha büyük boyutlarda beton elemanların kullanılması gerekmektedir (Erdoğan, 2003).

2.3. Asfalta Yönelik Literatür Araştırması

2.3.1. Giriş

Canlıların veya eşyaların herhangi bir yerden başka bir yere taşınması için çeşitli ulaşım sistemlerinden birinin tercih edilmesi gerekir. Ulaşım sistemleri; karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu olarak sınıflandırılabilir. Ülkemizde ve dünyada en çok tercih edilen karayolu taşımacılığıdır.

Yolun trafik yüklerini taşıyan ve gerilmeleri dağıtmak üzere, yolun taban yüzeyi üzerine yerleştirilen tabakalı kısmına üstyapı adı verilir (Terz, 2000). Asfalt agregası, yol kaplamalarında ve esnek kaplamalarda kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

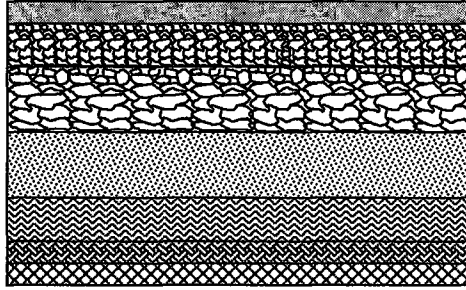
Kaplamalar, trafik ve çevre etkilerine karşı koyan ve trafik yüklerini zemine ileten yapılar olup performans (sürüş konforu ve emniyeti) ve stabilite (deformasyona karşı direnç) olmak üzere iki temel işlevi yerine getirmektedirler. Trafik yüklerini zemine iletmeye kabiliyetleri her bir tabakanın yük dağıtma özelliğine bağlıdır. Bu nedenle kaplama kalınlığı, zeminin taşıma gücüne ve kaplamanın tipine bağlı olarak değişir. Kaplama kalınlığına etki eden temel faktörler ise; trafik etkileri, iklim ve çevre etkileri, malzemenin etkisi ve yapım-bakım şartlarıdır.

2.3.2. Yol Kaplamaları

Yol ve havaalanı kaplamaları; rijit (beton), esnek (fleksibil), kompozit (karışık) olmak üzere üç farklı şekilde yapılmaktadır. Rijit kaplamalar, ağır ve yüksek trafik hacmine sahip yollarda granüler bir alttemel tabakası üzerine yapılan beton plaklardan ibarettir. Esnek kaplamalar, çok tabakalı bir yapı olup alt tabakaları dren kabiliyeti yüksek granüler malzemelerle ve üst tabakaları ise yüksek stabilite ve sürüş konforu sağlamak amacıyla bitümlü karışımlarla yapılmaktadır. Kompozit kaplamalar ise zamanla bozulmuş beton kaplamaların üzerine sıcak bitümlü karışım takviye tabakası yapılarak veya bazen de bozulmuş esnek kaplamaların üzerine beton kaplama yapılarak elde edilir.

2.3.2.1. Yol Kaplama Tipleri ve Tabakaları

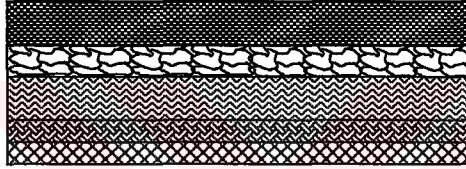
Kaplamalar; Şekil 2.5'de görüldüğü üzere, kaplamanın tipine göre farklı tabakalardan inşa edilen çok tabakalı bir yapıdır.



Kaplama Tabakası
Temel Tabakası
Alttemel Tabakası
Seçme Malzeme Tabakası (Gerektiğinde)
Zemin Islahı (Gerektiğinde)
Sıkıştırılmış Zemin

Dolgu ve Tabi Zemin

a. Esnek yol kaplamaları



Beton Plak
Alttemel Tabakası
Zemin Islahı (Gerektiğinde)
Sıkıştırılmış Zemin

Dolgu ve Tabi Zemin

b. Rijit yol kaplamaları

Şekil 2.5. Kaplama tipleri ve tabakaları (Tunç, 2001)

Yol kaplamalarında kullanılan tabakaların fonksiyonları ve amaçları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

i. Sıkıştırılmış Zemin

Kaplamanın üzerine oturacağı zemin yeterince sıkıştırılarak stabil bir temel görevi görmelidir. Bunun için bitkisel toprak kazılıp atılmalı ve zemin gevşetilip sıkıştırılmalıdır.

ii. Zemin Islahı (stabilizasyonu)

Yolun oturduğu zeminin taşıma gücünün artırılması, değişen su içeriği ile taşıma gücündeki değişmelerin azaltılması, don duyarlılığının azaltılması ve oturmaların minimuma indirilmesi gibi nedenlerden ötürü zeminlerin iyileştirilmesi (ıslahı) gerekebilir.

iii. Seçme Malzeme Tabakası

Yolun oturduğu zemin çok düşük taşıma gücüne sahip ise; bu zemin kaldırılıp atıldıktan sonra yerine uygun nitelikte bir seçme malzeme konulup sıkıştırılarak seçme malzeme tabakası elde edilmektedir. Kaplamanın oturacağı zeminin belli bir taşıma gücüne sahip olması ve zeminin

hacim değiştirmesinin (oturma, şişme, kabarma vb.) kaplamayı olumsuz etkilememesi açısından bu işleme gerek duyulmaktadır.

iv. Alttemel Tabakası

Zeminlerin don kabarması veya şişme ve büzülme gibi hacim değişimlerine karşı koymak, kaplama altında gerekli drenajı sağlamak, kaplamanın taşıma gücünü arttırmak vb. nedenlerden ötürü kaplamaların en altında alttemel tabakası yapılmaktadır. Rijit kaplamalarda ise; bunlara ek olarak ağır taşıtların yarattığı pompaj etkisini önlemek ve beton kaplama için yeter düzgünlükte ve stabilitede uygun bir platform yaratmak amacıyla alttemel tabakası yapılır. Alttemel tabakası, üstteki tabakalara nazaran daha az gerilmeye maruz kalacağından daha düşük kaliteli fakat dren kabiliyeti yüksek ve yeterince stabil olan granüler malzemelerden yapılır.

v. Temel Tabakası

Temel tabakası, kaplamaya ve banketlere temel teşkil etmek üzere granüler malzemelerden bağlayıcı ve bağlayıcı olarak farklı kalınlıklarda ve farklı tabakalar halinde yapılmaktadır. Temel tabakası kaplamalar için gerekli stabiliteyi ve yeterli drenajı sağlamakla yükümlüdür. Eğer temel tabakasının yüksek stabiliteli olması gerekiyorsa bitüm veya imento ile stabilize edilmelidir.

vi. Kaplama Tabakası

Esnek kaplamaların en üst tabakasını oluşturan bu tabaka, taşıtlara konforu ve emniyeti sağlamak amacıyla yapılırlar. Yüksek standartlı yollarda kaplama tabakası, aşınma ve binder olmak üzere iki tabaka halinde yapılmaktadır. Bu tabaka, yüksek kaliteli olup bitüm ısıtılarak sıcak karışım şeklinde yapılmaktadır. Düşük standartlı yollarda ise kaplama tabakası tek kat veya çift kat olarak sathi kaplama şeklinde yapılmaktadır.

vii. Beton Kaplama

Beton kaplamalar, trafik yüklerinden dolayı oluşan gerilmelere karşı koymak ve trafik yüklerini emniyetle zemine intikal ettirmek amacıyla ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda yapılmaktadır. Beton kaplamalar donatısız, kısmen donatılı veya sürekli donatılı olarak yapıldığı gibi öngerilmeli olarak da yapılabilir. Betonun sahip olduğu yüksek basınç mukavemeti ve rijitliği sayesinde rijit bir plaka gibi çalışır. Ayrıca taşıtların yarattığı yorulma ve eğilme gerilmelerine ek olarak zemin taşıma gücündeki değişimler, zeminin hacim değiştirmesi, kaplamanın alt ve üst kısımlarında günlük ve/veya mevsimsel ısı değişimlerinden dolayı oluşan eğilme ve

hacimsel burulmaların doğurduğu gerilmelere karşı koyabilecek ölçüde çekme mukavemetine sahip olmalıdırlar (Tunç, 2001).

2.3.2.2. Yol Kaplamasında Kullanılan Agregalar ve Aranan Özellikler

2.3.2.2.1. Yol Kaplamasında Kullanılan Agregalar

Asfalt kaplama karışımlarında kullanılan mineral agrega miktarı, ağırlıkça % 90-95 ve hacimce % 75-85 arasındadır. Mineral agreganın asıl görevi, üstyapının yük taşıma kapasitesini sağlamak olup ayrıca üstyapının performansını da oldukça etkilemektedir.

Yol kaplamalarında kullanılan malzemelerle ilgili tanımlamalar aşağıda verilmektedir.

- Mineral Agregası: Beton, bitümlü kaplama, granüler temel ve alttemel yapımında kullanılan kum, kırılmış çakıl, kırılmamış çakıl, kırılmış taş, cüruf ve taştözü gibi sert ve sağlam doğal mineral bileşiklerine mineral agrega denir.
- Kaba Agregası: Agregası karışımlarının 4 No'lu (4.75 mm) elek üzerinde kalan kısmına kaba agrega denir.
- İnce Agregası: Agregası karışımlarının 4-200 No'lu (4.75-0.075 mm) elekler arasında kalan kısmına ince agrega denir.
- Mineral Filler : En az % 65'i 200 No'lu (0.075 mm) elekten geçen agregaya mineral filler denir.
- Gradasyon: Agregası karışımlarındaki agrega tanelerinin boyutları dikkate alınarak yapılan ve toplam ağırlığın %'si olarak ifade edilen tane boyutu dağılımına gradasyon denir.
- Açık Gradasyonlu Agregası: Gradasyonlarında filler veya ince agrega olmayan veya çok az olan agrega karışımları olup sıkıştırıldıklarında çok yüksek boşluk içerirler.
- Yoğun (İyi) Gradasyonlu Agregası: Bitümlü karışımlarda kullanıldığında düşük boşluk ve yüksek stabilite veren, kabadan fillere her agrega boyutundan yeterli malzeme bulunduracak şekilde gradasyona sahip agregaya yoğun gradasyonlu agrega denir. Bitümlü karışımların stabilitesi, her bir agrega tanesinin temas noktası sayısına bağlıdır. Sürtünme direncine neden olan temas noktalarının sayısının artması stabiliteyi de arttırmaktadır. Temas noktaları yoğun gradasyonlu karışımlarda daha fazla olup karışımların stabilitesi de daha yüksektir.
- Tek Boyutlu Agregası: Bütün agrega tanelerinin boyutlarının birbirine çok yakın olduğu agrega karışımlarına denir.
- Kesikli Gradasyonlu Agregası: Gradasyonunda ara boyutlardaki agrega fraksiyonlarının bulunmadığı veya çok az olduğu agrega karışımlarına denir.

2.3.2.2.2. Yol Kaplamasında Kullanılan Agregalarda Aranılan Özellikler

Bitümlü sıcak karışım yapımında kullanılacak agregaların seçiminde; malzemenin elde edilebilirliği, maliyeti ve kalitesi dikkate alınmalıdır. Agregaların bitümlü kaplama yapımı için uygun olup olmadığı aşağıdaki fiziksel özellikleri dikkate alınarak belirlenebilir (Önal ve Kahramangil, 1993).

i. Maksimum Tane Boyutu ve Gradasyon

Bir agreganın maksimum tane boyutu, malzemenin % 100'ünün geçtiği en küçük elek açıklığı, nominal maksimum boyut ise agrega malzemesinin üzerinde kaldığı en büyük elek açıklığı olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin maksimum tane boyutu ve gradasyonu şartnamelerle kontrol edilmektedir.

ii. Temizlik

Bazı agregalar, asfalt kaplamada istenmeyen zararlı bazı yabancı maddeler içerebilirler. Böyle agregalar için şartnamelerde bu maddelere sınırlamalar getiren özel bölümler mevcuttur. Bitki artıkları, yumuşak malzemeler ve kil toprakları gibi maddeler bu tür maddelere örnek olarak verilebilir. Agregaların temiz olup olmaması genellikle gözle yapılan muayene ile veya yaş elek analizi ile anlaşılabilir, ayrıca kum eşdeğeri deneyi ile de malzemedeki zararlı ince malzeme yada kil boyutu malzeme oranı bulunabilmektedir.

iii. Tane Şekli

Tane şekli, karışımın işlenebilirliğini, sıkışabilirliğini ve stabilitesini etkiler. Yuvarlak malzemeler kolayca işlenebilmelerine karşın stabiliteyi düşürür. Yüksek stabilite için köşeli ve kırılmış malzemeler kullanılmaktadır.

iv. Tanelerin Yüzey Yapısı

Tanelerin yüzey yapısı stabiliteyi etkileyen en önemli özelliklerden biri olup bitümlü karışımlarda yük taşıma kapasitesini belirlemektedir. Çok pürüzlü yüzeylere sahip agregalar kayma gerilmelerine karşı çok yüksek direnç gösterirler.

v. Gözeneklilik

Tanelerin gözenekliliği, absorpsiyonu ve dolayısıyla bitüm %'sini etkileyen bir faktör olup su absorpsiyonu %'si ile belirlenebilmektedir. Karışım agregalarında agrega ile bitüm filmi arasındaki adezyonun sağlanması açısından bir miktar gözeneklilik gereklidir.

vi. Sağlamlık

Agregalar kırılmaya, degradasyona (ince malzemeye dönüşme) ve su etkisiyle ayrılmaya karşı dirençli olmalıdır.

vii. Bitümle Kaplanabilme (Soyulmaya Karşı Direnç)

Yol üstyapısında kullanılan bütün agregalar su etkisinde kaldıklarından dolayı, bitümlü karışımlarda kullanılan agregalar bitüm ile kaplandıklarında su etkisi ile soyulma (asfaltın agregadan ayrılması) göstermemelidir. Soyulma direnci düşük agregalar, özel katkı maddeleri ilavesiyle, bitümlü sıcak karışım imalinde kullanılabilirler (Önal ve Kahramangil, 1993).

Agrega-bitüm bağını (adezyonu) etkileyen faktörler; yüzey yapısı, tane boyutu, yüzey alanı, gözeneklilik, absorpsiyon, kimyasal aktivite ve yüzey enerjisi olarak ifade edilebilir.

2.3.3. Esnek Kaplamalar

Yol malzemesi olarak asfalt agregaları "esnek kaplamalar" olarak adlandırılır. Esnek kaplamalar, taşıtlar için gerekli performansa (sürüş konforu ve emniyeti sağlayabilme özelliğine) ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı yeterince stabiliteye (deformasyona karşı gösterdiği dirence) sahip olacak şekilde farklı özelliklere sahip tabakalardan yapılan çok tabakalı esnek bir yapıdır.

Esnek üstyapıların performansı ve stabilitesi, esnek üstyapıların aşağıda verilen özelliklere sahip olmasına bağlıdır.

- Sürüş konforu için pürüzsüz ve düzgün yüzeylere
- Sürüş emniyeti için yeterli kayma direnci
- Trafik yüklerinin yarattığı gerilmelerden ötürü kalıcı deformasyonlara karşı yeterli direnç
- Trafik yüklerini zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde yayabilecek kalınlık ve mukavemet

- Trafik, çevre ve iklimsel şartların aşındırmasına karşı yeterli direnç ve
- Kaplama üzerindeki yüzeysel suları temele ve zemine intikal ettirmeyecek şekilde geçirimsizlik

Esnek üstyapılar, düşük standartlı kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar)ve yüksek standartlı kaplamalar (bitümlü sıcak karışımlar) olmak üzere iki ayrı kalitede yapılırlar. Düşük standartlı kaplamalar, trafik hacminin düşük olduğu (genel olarak günlük ağır taşıt trafiği 500'den az olan veya 8.2 ton standart dingil yükünün 20 yıldaki tekerrür sayısı 2 milyondan az olan) yollarda ekonomik olup yeterli performansı sağlayabilmektedirler. Ancak yüksek standartlı karayolu ve otoyollarında ise bitümlü sıcak karışımlara sahip tabakalar ile yapılması gerekir.

2.3.3.1. Düşük Standartlı Kaplamalar

Düşük trafik hacimli yollarda, trafik yüklerinin tekerrür sayısının az olması nedeniyle daha az kaliteli malzemelerle daha ince ve ileri teknoloji gerektirmeyen düşük standartlı kaplamaların yapımı daha ekonomiktir.

Düşük standartlı esnek kaplama tipleri aşağıdaki gibidir.

- i. Stabilize (bağlayıcısız) Kaplamalar
- ii. Makadam Temeller (veya yollar)
 - Penetrasyon Makadam
 - Bitümlü Makadam
 - Suyla Kaynatılmış Makadam
- iii. Sathi Kaplamalar
 - Tek tabaka
 - Çift tabaka
- iv. Koruyucu Satıh Tabakaları
 - Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama (Seal Coat)
 - Penetrasyon Makadam Satıh Tabakası
 - Bitümlü Harçlar
 - * Emülsiyon Harcı Kaplama (Emulsion Slurry Seal)
 - * Bitümlü Satıh Tabakaları
 - Bitümlü Kaplama
 - Bitümlü Makadam Satıh Tabakası
 - Rodmiks Bitümlü Satıh Tabakası

- ☑ Plentmiks Soğuk Karışım Satış Tabakası
- * Bitümlü Düzeltme Tabakaları
 - ☑ Rodmiks Bitümlü Düzeltme Tabakası
 - ☑ Plentmiks Bitümlü Düzeltme Tabakası

Düşük standartlı esnek kaplamalarda, en düşük kaliteden en yüksek kaliteye kadar, trafik hacmi ve diğer faktörler göz önüne alınarak inşa edilmelidir. Korucuyu satış tabakaları daha ziyade esnek kaplamaların onarımlarında kullanılmaktadır.

Ülkemizde toplam eşdeğer standart dingil yükü (8.2 ton) sayısı ($T_{8.2}$) bağlı olarak uygulanan kaplama çeşitleri aşağıda verilmektedir. Her ne kadar ülkemizde trafik artış hızı fazla olsada karayolu ağımızın büyük kısmında ve köy yollarında trafik hacmi oldukça düşüktür. Halbuki stabilize ile tek katlı sathi kaplama arasında makadam temel artı koruyucu satış tabakası ve çift kat sathi kaplama ile beton asfalt tabakası arasında düşük standartlı harçlı kaplamalar yapılması mümkün iken uygulanmamaktadır. Aynı şekilde kent içi yollarımızda (sokak ve düşük trafik hacimli caddeler) sathi hatta makadam kaplamaların kullanılması mümkün iken beton asfalt kaplama yapılmaktadır (Tunç, 2001).

- 40.000'den az ise kaplamasız (stabilize)
- 40.000–100.000 ise tek kat sathi kaplama veya kaplamasız
- 100.000–500.000 ise tek kat sathi kaplama
- 500.000–2.000.000 ise çift kat sathi kaplama
- 2.000.000'dan fazla ise beton asfalt (BSK) kaplama

2.3.3.2. Yüksek Standartlı Esnek Kaplamalar

Yüksek standartlı esnek kaplamalar çok tabakalı yapılar olup tabakaları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

- i. Alttemel
- ii. Temel
 - Granüler
 - Plent-Miks
 - Çimento Bağlayıcı (veya Çimento Stabilizasyonu)

iii. Kaplama

- Bitümlü temel
- Binder
- Aşınma

Her bir tabakanın kalınlığı ve fonksiyonu birbirinden farklı olup tabakaların tipleri ve kalınlıkları yolun sahip olduğu trafiğin hacmi, zeminin taşıma gücü, çevresel faktörler ve kullanılan malzemenin mekanik özellikleri gibi hususlar gözönüne alınarak saptanabilir.

Yüksek standartlı esnek kaplamaları oluşturan tabakaların; stabilite ve dayanım (mukavemet) karakteristikleri, fonksiyonları ve performansları, sahip oldukları malzemelerin özellikleri, drenaj veya geçirimsizlik karakteristikleri, durabiliteleri, rijitlik veya esneklik karakteristikleri, yorulma mukavemetleri, yapım teknikleri ile süresi ve maliyetleri gibi özellikleri birbirlerinden çok farklıdır (Tunç, 2001).

2.3.4. Rijit (Beton) Kaplamalar

Beton kapmalar, çok yüksek trafik hacmine ve ağır trafiğe sahip karayollarında ve havaalanlarında taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve sürüş emniyetini temin etmek amacıyla yapılan yüksek standartlı rijit üstyapılardır. Beton kaplamalar yeter mukavemete sahip zeminler üzerine belirli bir kalınlıkta serilen granüler alttemel tabakası ile kısmen donatılı veya sürekli donatılı beton plakalardan meydana gelir.

Beton kaplamaların esnek kaplamalara göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

Avantajları:

- Mekanik özellikleri (mukavemet yorulma mukavemeti vb.) daha yüksek olduğundan daha az kalınlıkta yapılır ve daha uzun ömürlüdür.
- Bakım ve onarım ihtiyaçları son derece azdır.
- Çimento ülkemizde üretildiğinden ötürü dışa bağımlı değildir
- Enerji tüketimi daha azdır.
- 5 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda ve rutubetli havalarda inşa edilebildiklerinden dolayı inşaat mevsimi daha uzundur.

- Betonun üretimi daha kolay ve kontrolü nispeten daha azdır.
- Yağışlı havalarda nispeten daha fazla kayma direncine sahiptir.
- Gece görüntüleri daha kolaydır.

Dezavantajları:

- Yapım maliyeti çok yüksektir.
- Onarım süreleri çok uzun olduğundan ve onarım sırasında trafiğe kapatılması gerekli olduğundan dolayı servis yollarının yapılmasını gerektirmekte ve bu durum onarım maliyetini arttırmaktadır
- Beton plaklar arasındaki derzler sürüş konforunun azalmasına ve teker gürültüsünün artmasına neden olmaktadır.
- Beton kaplamaların inşası nispeten daha zordur.
- Kademeli inşaata uygun değildir.
- Derz dolguların onarım ihtiyacı fazla ve maliyetleri de yüksektir.

Bu avantaj ve dezavantajlarına rağmen trafik hacmi çok yüksek yollarda ve havaalanlarında beton kaplamaların yapımı kaçınılmazdır. Henüz ülkemizdeki trafik hacminin az oluşu nedeniyle beton kaplamalı yollar yapılmamakta ise de; uçuş trafiği yoğun olan havaalanlarında tüm kaplamalı sahalar (pist, taksirut ve apronlar), uçuş trafiği düşük havaalanlarında ise pist başları, limanlarda ve sanayi tesislerinde yükleme-boşaltma platformları, otoparklar vb. yerlerde beton kaplamalar yapılmaktadır (Tunç, 2001).

Betonun yapımı, uygulaması ve özellikleri ile ilgili bilgiler Bölüm 2.2’de verilmiştir.

2.3.5. Kaplamalarda Aranılan Özellikler

Agrega - asfalt karışımların yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için bazı belirli koşulları sağlaması gerekmekte olup bu koşullar, kaplamalarla ilgili Teknik Şartnamelerde verilmektedir. Karışımların dizayn edilmeleri sırasında dikkate alınan özellikler aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

i. Stabilitate

Stabilitate; agregalar arası içsel sürtünmeye ve bitüm-agrega kohezyonuna bağlı olup agregalar arası içsel sürtünme, agregata tanesinin şekli ve yüzey yapısı ile ilişkili kohezyon ise asfaltın yapışma özelliği

ile ilişkilidir. Kohezyon; yükleme hızı, asfaltın viskozitesi, belli bir noktaya kadar asfalt %'si arttıkça ve kaplama ısı azaldıkça artmaktadır. Ancak bitüm filmi daha fazla arttığına, içsel sürtünme ile birlikte stabilite de azalır.

Asfalt kaplamanın stabilitesi; trafik yüklerine karşı ötelenme ve tekerlek izleri oluşmayacak şekilde direnç gösterme yeteneğidir. Stabilite trafik yüklerini karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilite, çok sert bir karışım anlamına gelmektedir ki bu tür kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonlara uyamayıp çatlamaktadırlar. Bu nedenle düşük stabilite gibi çok yüksek stabilite de zararlıdır.

Düşük stabiliteye neden olan etkenler ve etkileri Çizelge 2.12'de verilmiştir.

Çizelge 2.12. Düşük Stabilite Nedenleri ve Etkileri (Önal ve Kahramangil, 1993)

DÜŞÜK STABİLİTE	
Nedenler	Etkiler
Yüksek asfalt % 'si	Oluklaşma, tekerlek izinde oturma ve kasma
Karışımda fazla kum % 'si	Sıkıştırma sırasında ve inşaat sonrasında yumuşaklık, sıkıştırma zorluğu
Yuvarlak agrega, kırılmamış veya az kırılmış agrega yüzeyi	Tekerlek izinde oturma

ii. Durabilite

Bir karışımın durabilitesi, karışımdaki asfaltın özelliklerinin değişmesine (oksidasyon), agreganın kırılmasına ve asfaltın agrega yüzeyinden soyulmasına karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmekte olup bu faktörler iklim, trafik veya her ikisinin birleşimi sonucu ortaya çıkmaktadır. Yüksek durabilite genellikle üç yöntemle sağlanmakta olup bunlar aşağıda verilmiştir.

- i. Yüksek asfalt % 'si kullanmak,
- ii. Yoğun gradasyonlu ve soyulma direnci yüksek agrega kullanmak
- iii. Karışımı en yüksek impermeabilite (geçirimsizlik) verecek şekilde dizayn edip sıkıştırmak.

Düşük durabiliteye neden olan bazı etkenler ve etkileri Çizelge 2.13'de verilmiştir.

Çizelge 2.13. Düşük Durabilite Nedenleri ve Etkileri (Önal ve Kahramangil, 1993)

DÜŞÜK DURABİLİTE	
Nedenler	Etkiler
Düşük asfalt %'si	Kuru bir görünüş, agregaların sökülmesi
Yetersiz sıkışma ve dizayn hatası nedeniyle yüksek boşluk %'si	Kırılma ve ayrışmaya neden olan asfaltın erken yaşlanması
Soyulmaya karşı hassas agrega kullanımı	Asfaltın agregadan soyulması ve agregaların sökülmesi

iii. Geçirimsizlik

Geçirimsizlik, asfalt kaplamanın hava veya su geçişine olan direnci olarak tanımlanabilmekte olup karışımdaki hava boşluğu %'si ile belirlenmektedir. Karışımdaki boşlukların birbiri ile bağlantılı olması ve boşlukların yüzeye irtibatlı olması, geçirimsizliği etkileyen başlıca faktörlerdir. Karışımları geçirimli yapan nedenler ve etkileri Çizelge 2.14'de verilmiştir.

Çizelge 2.14. Karışımları Geçirimli Yapan Nedenler ve Etkileri (Önal ve Kahramangil, 1993)

GEÇİRİMLİLİK	
Nedenler	Etkiler
Düşük asfalt % 'si	İnce asfalt filmi erken yaşlanmaya ve sökülmeye neden olur
Karışım dizaynında yüksek boşluk %'si	Su ve hava kolaylıkla karışım içine girer, oksidasyona ve agregaların ayrışmasına neden olur.

iv. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın karıştırılması ve sıkıştırılmasındaki kolaylık olarak ifade edilebilir. Çok fazla kaba agrega bulduran karışımlar kolay işlenebilir olmazlar. Çok fazla filler de işlenebilirliği düşürür. Ancak işlenebilirliği çok iyi olan karışımlar yumuşak karışımlardır ve bunların trafik yükleri altında deforme olmaları kolaydır. İşlenebilirlik problemlerinin nedenleri ve etkileri Çizelge 2.15'de verildiği gibi özetlenebilir.

Çizelge 2.15. İşlenebilirlik Problemlerinin Nedenleri ve Etkileri (Önal ve Kahramangil, 1993)

İŞLENEBİLİRLİK PROBLEMLERİ	
Nedenler	Etkiler
Çok büyük tane boyutu	Pürüzlü bir yüzey, serim zorluğu
Çok fazla kaba agrega	Sıkıştırma zorluğu
Çok düşük karışım sıcaklığı	Kaplanmamış agrega, düşük durabilite, pürüzlü bir yüzey, sıkıştırma zorluğu
Çok fazla ara boyutlu malzeme	Karışımın silindir altında ötelenmesi, sıkışma zorluğu
Düşük filler % 'si	Yumuşak karışım, yüksek geçirgenlik
Yüksek filler % 'si	Karışım çok kuru görünür, durabil olmaz ve işlenmesi çok zor olur

v. Esneklik

Esneklik üstyapının, taban zeminindeki geçici oturma ve hareketlere karşı çatlamaya neden olmadan uyum gösterebilmesidir. Bitüm %'si yüksek, açık gradasyonlu karışımlar bitüm %'si düşük yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha esnektirler. Ancak bazen, esnekliği yüksek karışımların stabilitesi düşük olabilir.

vi. Yorulmaya Karşı Direnç

Bir üstyapının yorulmaya karşı direnci trafik yükleri altında oluşan tekrarlanan eğilmeye karşı direncidir. Karışımdaki boşluk %'si ve asfaltın viskozitesi yorulmaya karşı direnç üzerinde çok etkilidir. Yetersiz sıkışma, yüksek boşluk %' si, asfaltın yaşlanması ve sertleşmesi yorulma direncini azaltır. Üstyapının kalınlığı ve mukavemeti, taban zemininin taşıma gücü, üstyapı ömrünü etkileyen diğer faktörlerdendir. Çizelge 2.16'da zayıf yorulma direncinin nedenleri ve etkileri verilmiştir.

Çizelge 2.16. Zayıf Yorulma Direncinin Nedenleri ve Etkileri (Önal ve Kahramangil, 1993)

ZAYIF YORULMA DİRENCİ	
Nedenler	Etkiler
Düşük asfalt % 'si	Yorulma çatlağı
Yüksek dizayn boşluğu	Asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlağı
Yetersiz sıkışma	Asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlağı
Yetersiz üstyapı kalınlığı	Aşırı eğilmeyi takiben yorulma çatlağı

vii. Kayma Direnci

Asfalt kaplama yüzeylerinde, özellikle yağışlı havalarda araç tekerleğinin kaymasına karşı oluşan dirence kayma direnci denir. Kayma direncinin yüksek olması için hem agregası sert ve pürüzlü olmalı hem de asfalt kaplama yüzeyi pürüzlü olmalıdır. Maksimum tane boyutu 1/2 inç veya 3/8 inç olan açık gradasyonlu karışımların kayma direnci yüksek olur. Çizelge 2.17'de düşük kayma direncini oluşturan nedenler ve bunun etkileri verilmiştir (Önal ve Kahramangil, 1993).

Çizelge 2.17. Düşük Kayma Direnci Nedenleri ve Etkileri (Önal ve Kahramangil, 1993)

DÜŞÜK KAYMA DİRENCİ	
Nedenler	Etkiler
Fazla asfalt % 'si	Kusma, düşük kayma direnci
Agrega gradasyonunun kötü olması	Çok düzgün yüzeyli kaplama, suyun yüzeyden drene olamaması
Agrega cilalanma değerinin düşük olması	Düşük kayma direnci

2.3.6. Bitümlü Malzemeler

2.3.6.1. Bitümlü Malzemelerin Tanımı ve Özellikleri

Bitümlü maddeler siyah renkli ve reçine karakterinde organik maddeden meydana gelmiştir. Isıtıldıkları zaman katı halden sıvı hale geçiş yavaş ve yumuşama yoluyla olur. Katı halde belli plastikiğe sahiptirler. Üzerlerine sürüldükleri katı cismin yüzeylerine yapışırlar, suya dayanıklı, suyu geçirmeyen, asit ve tuzlarla reaksiyon yapmayan ve izolasyon özelliği yüksek maddelerdir.

Bitümlü malzemelerle ilgili bazı özellikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- i. Sertlik Derecesi
- ii. Viskozite
- iii. Parlama Noktası
- iv. Süneklik
- v. Çözünübilirlik
- vi. Özgül Ağırlık
- vii. Agrega Kaplama Özelliği

2.3.6.2. Bitümlü Malzemelerin Çeşitleri

Bitümlü malzemelerle ilgili malzeme çeşitleri aşağıda verilmiştir.

i. Bitüm (Asfalt)

Tabii termoplastik bir malzeme olan asfalt çok eskiden beri bilinen büyük molekül ağırlıklı bir hidrokarbon (H-C) bileşiğidir. Doğada kaya veya göl asfaltları olarak bulunduğu gibi özellikle günümüzde ham petrolden elde edilmektedir.

ii. Asfalt Çimentosu

Gösterilişi AC olan asfalt çimentosu ham petrolün destilasyon kalıntısıdır. İçinde minimum % 99 bitüm bulunur. Siyah renkli, özel kokulu, katı, yarı katı ve sıvı halde bulunan asfalt çimentosunun özgül ağırlığı suyun özgül ağırlığından büyüktür. Yumuşama noktası 80 °C'nin altındadır. Suyu geçirmez ve organik çözücülere dayanıklı değildir. Metalik yüzeylere aderansı zayıftır. Havada

zamanla okside olarak kırılgan hale gelirler. Asfalt çimentosu daha ziyade yol ve havaalanı gibi altyapı tesislerinin kaplamalarında kullanılır. Yalıtımda kesinlikle bağlayıcı ve yapıştırıcı olarak kullanılmamalıdır. Bu husus yalıtımdaki yanlış uygulamanın ülkemizde sık rastlanan bir örneğidir.

iii. Okside Asfaltlar

Asfalt çimentosuna veya asfaltik yağlara hava üfleme suretiyle elde edilirler. Böylece normal asfaltlara göre yumuşama noktası yükseltilmiştir. Siyah renkli, donuk veya parlak görünümlü, sert ve kırılgandır. Sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılıkları azdır. Yumuşama noktası üretim esaslarına bağlı olarak 80-115 °C arasındadır. Asfalt çimentolarına kıyasla kimyasal tuzlara daha dayanıklıdır. Suyu geçirmez ve havada geç oksitlenirler. Mikroorganizmaya karşı çok dayanıklıdır. Sıcak uygulanır, metalik yüzeylerle yeterli aderansı sağlarlar. Elektrik sanayiinde kullanılır ve su geçirmezler. Yalıtım amaçlı örtü kaplaması olarak elverişli bir malzemedirler.

iv. Kömür Katranı (Zift)

Kömürden elde edilen ham katranın destilasyon (yıkınmış) kalıntısına “zift” denir. Yarı katı veya katı halde bulunan zift, koyu kahverengi veya siyah renkli olup kırılgandır ve sıcak uygulanmalıdır. Zift; yol zifti üretiminde, elektrik sanayisinde, yapıların boru hatlarının ve depo tanklarının ve metalik yüzeylerin yalıtılmasında kullanılır. Güneş ışığında okside olmaya ve bozulmaya eğilimli olduklarından yeraltı tesislerinin yalıtımında kullanılırlar.

v. Asfalt Solüsyonları

Normal sıcaklıkta akıcı halde olan sıvı asfaltlara denir. Asfalt solüsyonları, okside asfalt veya asfalt çimentosu ile uygun bir çözücünün homojen bir karışımı olarak tanımlanır. Özellikle yalıtım işlerinde astar olarak kullanılır.

vi. Asfalt Emülsiyonları

Bitümlü malzemenin örneğin asfalt çimentosunun su içindeki dispersiyonuna (dağılımına) asfalt emülsiyonu denir. Yalıtımlarda asfalt emülsiyonlarında bitüm oranı % 40-60 arasında değişir. Emülsiyonlar, içindeki suyun buharlaşması ile sertleşir (Güner ve Süme, 2000).

3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

3.1. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada; Sivas ili, Merkez ilçesi, Çerçideresi Köyü sınırları içerisinde yer alan taşocağından alınan moloz boyutundaki bazalt taşları laboratuvar ortamında kırılmış ve deneylerde kullanılmak üzere sınıflandırılmıştır. İri agregalar mineral agrega olarak ayrılmış, geri kalan malzeme öğütülerek tekrar sınıflandırılmış ve ince malzeme mineral filler olarak deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılmıştır.

Ayrıca; ince kum olarak Sivas Hafik Kuru Deresi'nden alınan dere malzemesinden ve asfalt çimentosu olarak da Sivas Belediyesi asfalt şantiyesinde kullanılan bitüm malzemesinden yararlanılmıştır. Dere malzemesi yıkanıp elenerek 7mm elek altı alınmış, asfalt çimentosu olarak da cinsi AC 75 -150 ile ifade edilen 75–150 penetrasyonlu çimento kullanılmıştır.

Deney numunelerinin hazırlanabilmesi ve ilgili deneylerin yapılabilmesi amacıyla Karayolları 16. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği Beton, Bitüm ve Toprak Laboratuvarları ve Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait Cevher Hazırlama Laboratuvarları'ndan yararlanılmıştır.

3.2. Laboratuvar Deneyleri ve Sonuçları

3.2.1. Mineral Agrega Deneyleri

3.2.1.1. Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Agrega Gradasyonunun Belirlenmesi

Bu yöntem eleme yoluyla iri ve ince agregaların tane boyutu dağılımlarının saptanmasını kapsamaktadır. Özellikle agrega olarak kullanılacak malzemelerin gradasyonunun saptanması amacıyla kullanılır. Elde edilen sonuçlar, tane boyutu dağılımının uygunluğunun saptanması ve gerekli agrega karışımının ya da üretiminin kontrolü amacıyla kullanılır.

75 mm'den daha küçük malzeme miktarının bu yöntem ile doğru olarak saptanamaması durumunda; malzemenin yıkanması ve daha sonra kurutulmuş ve tartılmış olan agreganın birbiri ardı sıra küçülen aralıklara sahip eleklerden elenerek sınıflandırılması gerekmektedir (ASTM C 117, 1994; ASTM C 136, 1983). Tane büyüklüğüne ve elek çapına göre malzeme miktarları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tane Büyüklüğüne ve Elek Çapına Göre Malzeme Miktarları
(Önal ve Kahramangil, 1993)

Nominal Maksimum mm	Boyut (Kare Açıklık) İnç	Deney Numunesinin Minimum Ağırlığı, kg
9.5	(3/8)	1
12.5	(1/2)	2
19.0	(3/4)	5
25.0	(1)	10
37.5	(1 1/2)	15
50	(2)	20
63	(2 1/2)	35
75	(3)	60
90	(3 1/2)	100
100	(4)	150
112	(4 1/2)	200
125	(5)	300
150	(6)	500

Çerçideresi taşocağından alınan moloz boyutundaki bazalt taşları beton agregası olarak 1 ½" boyutunda seçilmiş ve Çizelge 3.1'e göre 15 kg malzeme alınarak laboratuvar ortamında kırılarak elek analizine tabi tutulmuştur.

Yol yapı malzemesi ve asfalt agregası olarak kullanılacak agregaya ait elek analizi sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yol Yapı Malzemesi ve Asfalt Agregası Olarak (Tüvenan) Kullanılacak Agregaya Ait Elek Analizi Sonuçları

Elek Boyutları		Çerçideresi Taşocağı Agregası
(İnç)	(mm)	% Geçen
3"	75	
2"	50	
1 ½"	37.5	100
1"	25	95
¾"	19	80
½"	12.5	62
3/8"	9.5	48
No:4	4.75	37
No:10	2	29
No:40	0.425	7
No:80	0.18	2
No:200	0.075	0

Ayrıca; çerçideresi taşocağından alınan moloz boyutundaki bazalt taşlarından betonun basınç dayanımını belirlemek amacıyla üretilecek betonda kullanılmak üzere 7-15 mm ve 15-30 mm malzemenin ayrı ayrı elek analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu iki boyut grubundaki malzeme uygun karışım oranlarında hazırlanarak basınç dayanımı deneylerinde kullanılmak üzere beton silindri haline getirilmişlerdir. Çizelge 3.3’de 7-15 mm agregaya ait elek analizi deney sonuçları ve Çizelge 3.4’de de 15-30 mm agregaya ait elek analizi deney sonuçları “Agregat Deney Kartları”na işlenmiş olarak verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (7-15 mm) Elek Analizi Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI						
		Proje : Çerçideresi Bazalt Taşocağı				
		Malzeme : Kırmataş (7-15)				
		Num. Alındığı yer : Çerçideresi Köyü				
		Numuneyi Alan : Ahmet YİĞİT				
Kaba Agregat Elek Analizi						
ELEK		Her Elek Üstünde Kalan	Kümülatif Ağırlık	Beher Elek Üstünde Kalan Kısım Yüzdesi	KÜMÜLATİF	
İnç	mm	(g)	(g)	(%)	% Kalan	% Geçen
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.1					100
1/2"	12.7	4590	4590	33.7	33.7	66
3/8"	9.5	2900	7490	21.3	55.0	45
No:4	4.76	6100	13590	44.8	99.8	0
No. 4 den Geçen						
Numune Ağırlığı						
AÇIKLAMA :				Malzemenin % si çakıldır.	

Çizelge 3.4. Çerçideresi Taşocağı İri Agregat (15-30 mm) Elek Analizi Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI						
		Proje : Çerçideresi Bazalt Taşocağı				
		Malzeme : Kırmataş (15-30)				
		Num. Alındığı yer : Çerçideresi Köyü				
		Numuneyi Alan : Ahmet YİĞİT				
Kaba Agregat Elek Analizi						
ELEK	Her Elek Üstünde Kalan	Kümülatif Ağırlık	Beher Elek Üstünde Kalan Kısım Yüzdesi	KÜMÜLATİF		
				(g)	(g)	(%)
İnç	mm	(g)	(g)	(%)	% Kalan	% Geçen
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					100
3/4"	19.1	7900	7900	51.6	51.6	48
1/2"	12.7	5600	13500	36.6	88.2	12
3/8"	9.5	1800	15300	11.7	99.9	0
No:4	4.76					
No. 4 den Geçen						
Numune Ağırlığı						
AÇIKLAMA :				Malzemenin % si çakıldır.

Beton basınç dayanımı deneyi için gerekli olan ve beton karışımında kullanılmak üzere Hafik Kuru Deresi'nden getirilen 0-7 mm ince malzeme elek analizine tabii tutulmuş ve elde edilen elek analizi sonuçları Çizelge 3.5'de verilen agregat deney kartına işlenmiştir.

Çizelge 3.5. Hafik Kuru Deresi İnce Agregat (0-7 mm) Elek Analizi Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI						
(Kum - Çakıl için)						
		Proje : Çerçideresi Bazalt Taşocağı				
		Malzeme : Dere Malz. 0-7 mm kum				
		Num. Alındığı yer : Hafik Kuru Deresi				
		Numuneyi Alan : Ahmet YİĞİT				
İnce Agregat Elek Analizi						
3/8"	9.5				7.1	100
No. 4	4.76		71		25.8	93
No. 8	2.38		258		49.3	74
No. 16	1.19		493		76.8	51
No. 30	0.59		768		96.0	23
No. 50	0.297		960		99.5	4
No. 100	0.149		995			0
No. 100 den Geçen						
Numune Ağırlığı						
AÇIKLAMA :				İncelik Modülü ... 3.54		...

3.2.1.2. Agreganın Birim Ağırlığının Tayini

Agreganın gevşek ve sıkışık olarak işgal edeceği hacmin saptanması amacıyla yapılmakta olup agreganın kap içindeki net ağırlığının kap hacmine bölünmesi yoluyla hesaplanmaktadır. Birimi kg/m^3 'tür. Agreganın kompasitesi ve işlenmesi esas bu deneyle anlaşılmaktadır (TS 3529, 1980).

Çizelge 3.6. Ölçü Kaplarının Boyutları (Şimşek, 2004)

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	İç Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Kalınlık (mm)	Yaklaşık Hacim (dm^3)
16	155	155	3.5	3
32	250	280	3.5	14
25	350	290	3.5	28

Ölçek kabının hacminin bulunması amacıyla; ölçek kabı 16.5°C 'deki su ile tamamen doldurulur ve tartılır. Ölçeğin su ile tamamen doldurulup doldurulmadığı; kap üstüne bir cam plaka sürülerek yerleştirildiğinde, altında hava kabarcığı olup olmama durumuna göre anlaşılır. Ölçeğin hacmi; su dolu ölçek ağırlığından boş ölçek ağırlığının çıkarılıp, elde edilen değer 16.5°C 'deki suyun birim ağırlığına (1000 kg/m^3 alınmalıdır) bölünmesiyle bulunmaktadır.

Birim ağırlık deneyinde kullanılacak agreganın iyice karıştırılmış agregadan alınmalı ve havada kurumuş olmalıdır. Birim ağırlık deneyi; sıkışık ve gevşek olmak üzere, iki şekilde gerçekleştirilmektedir.

i. Sıkışık Birim Ağırlık Tayini

Sıkışık birim ağırlık tayini; tane çapı 50 mm veya daha küçük agregalarda, malzemenin şişlenme suretiyle sıkıştırılması aracılığıyla uygulanır. Ölçek, yüksekliğinin 1/3'üne kadar denemesi istenen agreganın ile doldurulup yüzeyi düzeltilir ve şişleme çubuğu ile (bu çubuk 60 cm boyunda, 1.6 cm çapında bir ucu yuvarlatılmış düz bir çubuktur) yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde 25 defa şişlenir. Ölçeğe, yüksekliğinin 2/3'üne kadar tekrar malzeme konularak yine 25 defa şişlenir. Geri kalan 1/3 yükseklikte malzemeyle doldurulup yine 25 defa şişlenir. Daha sonra şişleme çubuğu aracılığıyla ölçek üst yüzeyi sıyrılarak düzeltilir. İlk tabakanın şişlenmesi sırasında ölçeğin tabanına şiddetle vurulmamalıdır. Diğer tabakaların şişlenmesi sırasında ise, ancak alt tabakanın üst yüzeyine girecek kadar kuvvetle şişleme yapılmalıdır.

Tane çapı 50 mm'den daha büyük agregalarda ise sıkışık birim ağırlık tayini sarsma suretiyle gerçekleştirilir. Bu amaçla, kabın karşılıklı kenarları beton gibi sert bir zemin üzerinde sıra ile 5 cm kaldırılıp yere düşürülür. Ölçek; her 1/3 miktar malzeme için, her bir kenar 25 defa

düşürülmek suretiyle toplam 50 defa düşürülür. Numunenin net ağırlığının ölçek hacmine bölümü, numunenin birim ağırlığını verir.

ii. Gevşek Birim Ağırlık Tayini

Ölçek; üst kenardan 5 cm yüksekliğe kadar ayrışım olmamasına dikkat edilerek agregaya ile doldurulur ve agregaya sathı elle, fazla çıkıntılarının boşlukları doldurması sağlanarak düzeltilir ve tartılır. Ölçek kabı ve agregaya ağırlığından ölçek kabının darası düşürülerek agreganın net ağırlığı bulunur. Bu değerin ölçek kabının hacmine bölünmesi aracılığıyla de söz konusu agreganın gevşek birim ağırlığı hesaplanır.

$$\text{Agrega birim ağırlığı (kg/m}^3\text{)} = \frac{B - A}{C}$$

Burada;

A: Ölçeğin boş ağırlığı (kg),

B: Ölçek + Malzeme ağırlığı (kg),

C: Ölçek hacmi (m³)'dir.

Beton karışımlarında kullanılan Çerçideresi taşocağına ait 7-15 mm ve 15-30 mm iri agregaya ve Hafik Kuru deresine ait 0-7 mm ince agregaya üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilen sıkışık ve gevşek birim ağırlık tayini deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.7,3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.7. Hafik Kuru Deresi İnce Agrega (0-7 mm) Birim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI				
(Kum - Çakıl için)				
Proje		: Çerçideresi Bazalt Taşocağı		
Malzeme		: Dere Malz. 0-7 mm kum		
Num. Alındığı yer		: Hafik Kuru Deresi		
Numuneyi Alan		: Ahmet YİĞİT		
Agregatın Birim Ağırlığı				
M E T O D	Sıkışık		Gevşek	
	Çakıl	Kum	Çakıl	Kum
Ölçeğin hacmi, cm ³				
Ölçeğin su dolu ağırlığı, gr.				
Ölçeğin boş ağırlığı, gr.				
Ölçeğin agregatla dolu ağırlığı, gr.	8430		7870	
Agregatın birim ağırlığı, kg/m ³	1783		1570	
AÇIKLAMA :				

Çizelge 3.8. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (7-15 mm) Birim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI				
Proje		: Çerçideresi Bazalt Taşocağı		
Malzeme		: Kırmataş (7-15)		
Num. Alındığı yer		: Çerçideresi Köyü		
Numuneyi Alan		: Ahmet YİĞİT		
Agregatın Birim Ağırlığı				
M E T O D	Sıkışık		Gevşek	
	Çakıl	Kum	Çakıl	Kum
Ölçeğin hacmi, cm ³				
Ölçeğin su dolu ağırlığı, gr.				
Ölçeğin boş ağırlığı, gr.				
Ölçeğin agregatla dolu ağırlığı, gr.	33660		30080	
Agregatın birim ağırlığı, kg/m ³	1768		1514	
AÇIKLAMA :				

Çizelge 3.9. Çerçideresi Taşocağı İri Agregata (15-30 mm) Birim Ağırlık Tayini Denev Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI				
Proje		: Çerçideresi Bazalt Taşocağı		
Malzeme		: Kırmataş (15-30)		
Num. Alındığı yer		: Çerçideresi Köyü		
Numuneyi Alan		: Ahmet YİĞİT		
Agregatın Birim Ağırlığı				
M E T O D	Sıkışık		Gevşek	
	Çakıl	Kum	Çakıl	Kum
Ölçeğin hacmi, cm ³				
Ölçeğin su dolu ağırlığı, gr.				
Ölçeğin boş ağırlığı, gr.				
Ölçeğin agregatla dolu ağırlığı, gr.	33200		29920	
Agregatın birim ağırlığı, kg/m ³	1735		1504	
AÇIKLAMA :				

Elde edilen sonuçların kontrolünü sağlamak amacıyla her deney en az iki kez yapılmış ve her iki sonuç arasındaki farkın % 1'den fazla olmaması hususu dikkate alınarak nihai deney sonuçları kartlara işlenmiştir.

3.2.1.3. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi

Denev numunelerinin hazırlanmasında kullanılan mineral agreganın fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak iri ve ince agregalar için özgül ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.3.1. İri Agregata İçin Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık değeri; genellikle portland çimentosu betonu, asfalt betonu ve diğer karışımlarda kullanılan iri agreganın özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (ASTM C 127, 1992).

Bu yöntem kaba agregata absorpsiyonu ile özgül ağırlığın tayinini kapsamakta olup 4.75 mm (No. 4) elek üzerinde kalan tane boyutundaki agregalara uygulanmaktadır. Bu yöntem ile tayin edilen özgül ağırlıklar aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- Hacim Özgül Ağırlığı: Belirli bir sıcaklıkta, agregata tanelerinin geçirimli ve geçirimsiz boşlukları içeren hacminin kütlelerinin, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun kütlelerine oranıdır.

- Yaş Hacim Özgül Ağırlığı: Belirli bir sıcaklıkta, agregâ tanelerinin geçirimli ve geçirimsiz boşlukları içeren hacminin kütlesi ile geçirimli boşlukları dolduran suyun kütlesinin, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun kütlesine oranıdır.
- Zahiri Özgül Ağırlık: Belirli bir sıcaklıkta, agregâ tanelerinin geçirimsiz boşlukları içeren hacminin kütlesinin, aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun kütlesine oranıdır.
- Absorpsiyon: Malzeme tanelerinin boşluklarına dolan suya bağılı olarak agregâ ağırlığındaki artışın agregânın kuru ağırlığına göre yüzdesi olarak ifade edilmektedir.

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

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

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

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

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

Burada;

A: Kuru ağırlık (gr),

B: Doygun yüzey kuru ağırlık (gr),

C: Sudaki ağırlık (gr)'dir.

Çerçideresi taşoçağına ait 7-15 mm ve 15-30 mm iri agregâ üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ve özgül ağırlık hesaplamalarında kullanılan veriler ve tanımlanan özgül ağırlık değerleri toplu olarak Çizelge 3.10 ve 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.10. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (7-15 mm) Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI		
	Proje	: Çerçideresi Bazalt Taşocağı
	Malzeme	: Kırmataş (7-15)
	Num. Alındığı yer	: Çerçideresi Köyü
	Numuneyi Alan	: Ahmet YİĞİT
Kaba Agregatın Özgül Ağırlığı ve Absorpsiyonu		
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı gr.	4930
B	Doygun yüzey kuru malzeme ağırlığı gr.	5000
C	Doygun malzemenin suda ağırlığı gr.	3257
A/B-C	Hacim özgül ağırlığı - kuru	2.82
B/B-C	Hacim özgül ağırlığı - doygun yüzey, kuru	2.86
A/A-C	Zahiri özgül ağırlık	2.94
(B-A/A)*100	Absorpsiyon yüzdesi	1.41
AÇIKLAMA :		

Çizelge 3.11. Çerçideresi Taşocağı İri Agrega (15-30 mm) Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI		
	Proje	: Çerçideresi Bazalt Taşocağı
	Malzeme	: Kırmataş (15-30)
	Num. Alındığı yer	: Çerçideresi Köyü
	Numuneyi Alan	: Ahmet YİĞİT
Kaba Agregatın Özgül Ağırlığı ve Absorpsiyonu		
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı gr.	4955
B	Doygun yüzey kuru malzeme ağırlığı gr.	5000
C	Doygun malzemenin suda ağırlığı gr.	3260
A/B-C	Hacim özgül ağırlığı - kuru	2.84
B/B-C	Hacim özgül ağırlığı - doygun yüzey, kuru	2.87
A/A-C	Zahiri özgül ağırlık	2.92
(B-A/A)*100	Absorpsiyon yüzdesi	0.90
AÇIKLAMA :		

3.2.1.3.2. İnce Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi

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

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

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

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

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

Burada;

A: Kuru ağırlık (gr),

V: Piknometre hacmi (cm³),

W: Su ağırlığı (gr)'dir.

Hafik Kuru deresine ait 0-7 mm ince agrega üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ve özgül ağırlık hesaplamalarında kullanılan veriler ve tanımlanan özgül ağırlık değerleri toplu olarak Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Hafik Kuru Deresi İnce Agrega (0-7 mm) Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI		
	Proje	: Çerçideresi Bazalt Taşocağı
	Malzeme	: Dere Malz. 0-7 mm kum
	Num. Alındığı yer	: Hafik Kuru Deresi
	Numuneyi Alan	: Ahmet YİĞİT
İnce Agregatın Özgül Ağırlığı ve Absorpsiyonu		
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı gr.	487.0
B	Doymun yüzey kuru malzeme ağırlığı gr.	500
C	Volumetrik kab + Su + İnce agregat ağırlığı gr.	963.1
D	Volumetrik kab + 500 ml. İşaretine kadar su dolu ağırlığı gr.	625.0
E	Volumetrik kabın boş net ağırlığı - Vol. Kab. No. gr.	119.6
A/B+D-C	Hacim özgül ağırlığı - kuru -	2.58
B/B+D-C	Hacim özgül ağırlığı - doymun yüzey, kuru -	2.65
A/A+D-C	Zahiri özgül ağırlık	2.76
(B-A/A)*100	Absorbsiyon yüzdesi	2.66
AÇIKLAMA :		

3.2.1.4. Agregaların Isı Değişikliklerine Karşı Çabuklaştırılmış Mukavemet Deneyi (Dona Karşı Mukavemet Deneyi)

Soğuk iklim kuşaklarında yapılan yollarda, hava sıcaklığının 0 °C'den düşük oluşu don olayını meydana getirir. Isı artışına bağlı olarak donun çözülmesi ve bu sırada agrega bünyesinde oluşacak değişiklikler, don deneyi aracılığıyla belirlenir. Ancak don olayının agrega üzerinde yaratacağı etkilerin, ısı değişimi oluşturarak laboratuvar koşullarında belirlenmesi uzun zaman gerektireceğinden, yaklaşık değerleri daha kısa bir süre içerisinde veren deneylere başvurulmaktadır.

Donun agregaya etkisi, genel olarak, donma anında agreganın yüzeyinde bulunan boşluklara giren suların genişlemesi ile çatlakların oluşması şeklinde görülür. Donun çözülmesi ve tekrar don olayının görülmesi ile çatlaklar artarak agregadan parçacıklar kopar ve ufalanmalar meydana gelir. Yol üzerinde ısı değişiminin yarattığı bu etki laboratuvar koşullarında, agregaya Na₂SO₄ veya MgSO₄ eriyiği emdirilmek aracılığıyla gerçekleştirilir.

Belirli eleklerden alınan agrega, delikli özel bir kaba konularak sodyum sülfat eriyiği içine batırılır. 18 saat bekletildikten sonra çıkartılır ve 105°C' de kurutulur. Bu işlem 5 kez tekrar edilir ve sonuçta elde edilen agrega elenerek her elekten geçen kayıplar ağırlık olarak bulunur. Numunenin her tane gradasyonu için bulunan kayıp ortalama yüzdeleri toplamı, o agrega için ortalama don kaybını verir. Don kaybı yüzde oranı 0–10 arasında olan agregalar bitümlü kaplamalarda kullanılır (TS EN 1367-2, 2001; BS 812, 1970).

Beton ve asfalt agregası olarak kullanılacak olan mineral agrega üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde dona karşı mukavemet deneyi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.13. Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Olan Mineral Agregaya Uygulanan Dona Karşı Mukavemet Deneyi Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI											
				Proje		: Çerçideresi Bazalt Taşocağı					
				Malzeme		: Kırmataş					
				Num. Alındığı yer		: Çerçideresi Köyü					
				Numuneyi Alan		: Ahmet YİĞİT					
Agregatın Na ₂ So ₄ Mahlülü ile Sağlamlık Denemesi											
ELEK		Geçe	Kalan	No.	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Deneme sonu % geçen (gerçek kayıp) (g)	% geçen (%)	Esas Granülometri	Düzeltilmiş % kayıp	AÇIKLAMA
1"											
3/4"					670	670	10	1.0	0.121	0.12	
1/2"					330						
3/8"					300	285	15	5.0	0.020	0.10	
No. 4											
Çökme											
Ufalanma											
Ayrılma											
Çatlama											
Yapraklanma											

3.2.1.5. Kaba Agreganın Aşınma Deneyi (Los Angeles Yöntemi)

Bu yöntem Los Angeles aşınma düzeneği yardımıyla 37.5 mm'den (1 1/2 inç) küçük iri agregalar üzerinde aşınma deneyinin gerçekleştirilmesini kapsamaktadır (ASTM C 131, 1994). ASTM C 535'te ise, 19.0 mm'den (3/4 inç) daha büyük agregalar için deney yöntemi verilmektedir.

Los Angeles deneyi, aşınma ve darbeleme etkileri sonucu mineral agreganın standart gradasyonunun bozulmasının sağlanması deneyidir. Bu aşınma ve çarpma etkileri, numunenin gradasyonuna bağlı olarak seçilen sayıdaki çelik kürelerin dönen bir silindir içine konulmasıyla oluşturulur. Silindir döndükçe, numune ve bilyeler raflarda toplanır ve belli bir yüksekliğe gelince çarpma ve ezilme etkisine neden olacak şekilde, silindirin karşı yüzeyine düşürülür. Daha sonra bunlar silindir içinde yuvarlanarak, yeniden raf tarafından toplanana kadar aşınır. Makine istenilen sayıda döndükten sonra içindekiler çalkalanır ve agrega elenerek maksimum % kayıp bulunur. Kayıp deney öncesi ağırlıkla deney sonrası ağırlık arasındaki farkın ilk ağırlığa göre %'si olarak ifade edilmektedir.

Los Angeles deneyi, aynı mineral kompozisyona sahip çeşitli agrega kaynaklarının birbirine göre kalitesinin veya uygunluğunun bir göstergesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sonuçlar oldukça farklı yapıda ve farklı kompozisyon veya orijine sahip agrega kaynakları arasında otomatik olarak geçerli karşılaştırmalar yapılmasına izin vermez.

Gradasyon tipine göre küre sayısı ve yük ağırlıkları değerleri Çizelge 3.14'de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Gradasyon Tipine Göre Küre Sayısı ve Yük Ağırlığı (Önal ve Kahramangil, 1993)

Gradasyon	Küre Sayısı	Yük Ağırlığı, g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Deney numunesi yıkanır ve 105–110 °C'lik fırında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Fraksiyonlarına ayrılan numune, Çizelge 3.14'e uygun olarak tartılır ve bu fraksiyonlar birleştirilir. Deney öncesi numune ağırlığı 1 gr hassasiyetle kaydedilir. Deney numunesi ve yükleri Los Angeles deney düzeneğinin içine yerleştirildikten sonra, dakikada 30–33 devir olacak şekilde makineye 500 devir yaptırılır. Gerekli sayıda devir tamamlandıktan sonra numune çıkarılır ve 1.70 mm (No. 12) elekten elenir. 1.70 mm elek üstünde kalan malzeme yıkanır ve 105–110 °C'lik fırında sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur ve 1 gr hassasiyetle tartılır.

Elek açıklıkları ve gradasyon tipine göre alınacak numune miktarları Çizelge 3.15'de verilmiştir.

Çizelge 3.15. Deney Numunelerinin Gradasyonları ve Alınacak Numune Miktarları (Önal ve Kahramangil, 1993)

Geçtiği Elek mm (inç)	Geçtiği Elek mm (inç)	Alınacak Miktarlar, g			
		A	B	C	D
37.5 (1 1/2)	25 (1)	1250±25			
25 (1)	19 (3/4)	1250±25			
19 (3/4)	12.5 (1/2)	1250±10	2500±10		
12.5 (1/2)	9.5 (3/8)	1250±10	2500±10		
9.5 (3/8)	6.3 (1/4)			2500±10	
6.3 (1/4)	4.75 (No. 4)			2500±10	
4.75 (No. 4)	2.36 (No. 8)				5000±10
TOPLAM		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

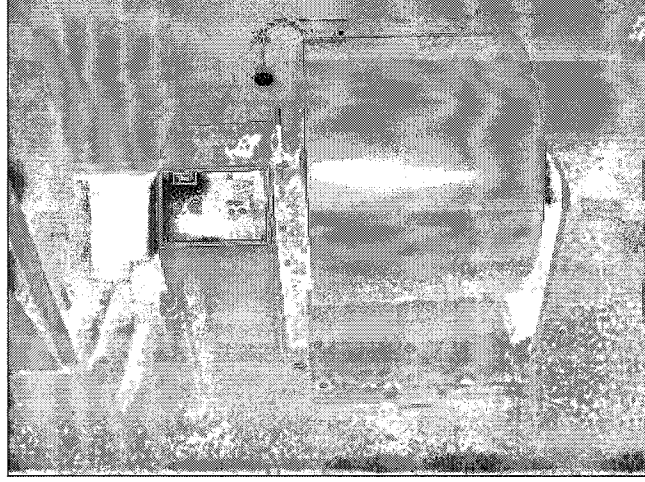
Beton ve asfalt agregası olarak kullanılacak olan mineral agregası üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde Los Angeles deney düzeneği aracılığıyla gerçekleştirilen kaba agreganın aşınma deney sonuçları Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Olan Mineral Agregaya Uygulanan Kaba Agreganın Aşınma Deneyi Sonuçları

7580109 - AGREGAT DENEY KARTI		
	Proje	: Çerçideresi Bazalt Taşocağı
	Malzeme	: Kırmataş
	Num. Alındığı yer	: Çerçideresi Köyü
	Numuneyi Alan	: Ahmet YİĞİT
Agregatın Los Angeles Aşınma Deneyi		
	Granülometriye göre aşınma sınıfı	A
B	İlk ağırlık	5000
C	Son ağırlık	495.4
B - C	Fark	4.6
(B-C/B)*100	Aşınma yüzdesi	1.0
AÇIKLAMA :		

Deneye alınan malzemenin homojen olup olmadığı, 100 devirden sonraki kayıp hesaplanarak bulunabilir. Bu kayıp, 1.70 mm elek üzerindeki kısım yıkanmadan hesaplanmalıdır. Homojen sertliğe sahip malzemeler için, 100 devirden sonraki kaybın 500 devirden sonraki kayba oranı 0.20'yi geçmemelidir. Homojenlik saptaması yapıldıktan sonra malzeme hiç bir tanesi kaybedilmeden, çıkan toz kısımla birlikte, tekrar makineye konmalı ve geri kalan 400 devir tamamlanmalıdır.

Los Angeles yöntemi ile kaba agreganın aşınma deneyinin gerçekleştirildiği Los Angeles Aşınma Deney Düzeneği Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Los Angeles aşınma deney düzeneği

3.2.1.6. Agreganın İçindeki Boşlukların Tayini

Agreganın içindeki boşlukların yüzdesi, ince ve kaba agreganın oranlandırılması ve iyi bir beton elde edilmesi açısından önemli bir parametredir.

$$1 \text{ m}^3 \text{deki boşluk yüzdesi} = \frac{(\text{Hacim Özgül Ağırlık} \times 1000) - \text{Birim Ağırlık}}{\text{Hacim Özgül Ağırlık} \times 1000} \times 100$$

Burada; hacim özgül ağırlık kuru esasa göre alınmakta, birim ağırlık ise 1 m³ agreganın ağırlığını ifade etmektedir

Beton agregası olarak kullanılacak olan mineral agreganın gevşek ve sıkışık boşluk miktarları ve sonuçları Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Beton Agregası Olarak Kullanılacak Olan Mineral Agreganın Gevşek ve Sıkışık Boşluk Miktarları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (%)
Agrega İçindeki Boşluklar	Sıkışık Boşluk Miktarı	
	* 7-15 Boyutlu Agreganın Boşluk Miktarı	37.30
	* 15-30 Boyutlu Agreganın Boşluk Miktarı	38.91
	Gevşek Boşluk Miktarı	
	* 7-15 Boyutlu Agreganın Boşluk Miktarı	46.31
	* 15-30 Boyutlu Agreganın Boşluk Miktarı	47.04
	İnce Agreganın (Kum) Boşluk Miktarı	39.14

3.2.2. Beton Deneyleri

3.2.2.1. Taze Beton Deneyleri

İstenilen özellikleri içeren ve teorik beton karışım hesabına göre hazırlanıp dökülen betonun, aynı özellikleri ne derece sağlanabileceğinin anlaşılabilmesi için taze betona aşağıdaki deneylerin uygulanması gerekmektedir.

- i. Çökme deneyi
- ii. Mala deneyi
- iii. Birim ağırlık ve verim deneyi
- iv. Hava miktarı deneyi
- v. Priz (sertleşme) süresi deneyi

3.2.2.1.1. Çökme Deneyi

Taze betonun çökme hunisi yöntemi yardımıyla işlenebilirliğinin saptanması amaçlanmıştır. Bu yöntemde; taze beton, taban çapı (200+2)mm, üst yüz çapı (100+2)mm ve yüksekliği (300+2)mm olan kesik huninin içerisine sıkıştırılarak doldurulur. Çökme hunisinin yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra, taze beton kütesindeki çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Aradaki yükseklik farkı, (mm) cinsinden çökme değeri olarak betonun işlenebilirliğini verir (TS EN 12350-2, 2002; ASTM C 143, 1978).

Çökme değeri 10 mm ile 200 mm arasında olan betonlar kıvamındaki değişimlere duyarlıdır. Bu sınırlar dışındaki çökme değerine sahip olan betonlarda ise bu değer ölçülebilmesi için diğer kıvam tayin yöntemleri kullanılmaktadır.

En büyük agrega tane büyüklüğü 40 mm'den daha fazla olan betonlarda çökme deneyi uygun değildir.

Beton numunesi, önceden içi nemli bir bezle ıslatılmış ve su emmeyen bir zemine yerleştirilmiş huniye üç eşit tabakada doldurulur. Her tabaka, 61 cm uzunluğunda, 16 mm çapında ve uçlarından biri yuvarlatılmış bir demir çubukla 25'er defa şişlenir. Şişleme bütün yüzeye homojen bir şekilde dağılmalı ve bir alt tabakaya nüfuz etmelidir. Son tabaka şişlendikten sonra üstteki fazla beton mala ile sıyrılır ve düzeltilir. Bu aşamalar sırasında huninin oynamaması için kulakçıklara ayaklarla basılması gerekmektedir.

Fazla beton sıyırıldıktan hemen sonra ayaklar kaldırılır ve huni kulplarından tutularak dikey olarak dikkatle yukarı doğru çekilir. Betonun huniden çıktıktan hemen sonra alacağı ortalama yükseklik ile huni yüksekliği arasındaki fark "cm" olarak ölçülür.

Kıvam tayini bittikten sonra beton yığınının kenarlardan hafif bir şekilde şişleme çubuğu ile dokunulur. Bu dokunma sonucunda şeklin bozulmaması; betonun yapışkanlığını, işlenebilirliğini yerine yerleştirmedeki kolaylık derecesini ve agrega segregasyonu, su ayrışması ve karışım oranlarının uygun olmadığını gösterir.

Taze betonun çökme sınıflaması Çizelge 3.18'de verilen kritere göre değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.18. Taze Betonun Çökme Sınıflaması (Şimşek, 2003)

Sınıf	Çökme (mm)*	Tolerans (mm)
S1	10–40	±10
S2	50–90	±20
S3	100–150	±30
S4	160–210	±30
S5	≥220	±30

*Çökme (s) ölçümü, en yakın 10 mm'ye yuvarlatılmalıdır

Çizelge 3.19. Taze Betona Uygulanan Çökme Deneyi Sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (mm)
Çökme Deneyi	Slamp (Çökme) miktarı	
	* Dozajı, 350 kg/m ³	10
	* Dozajı, 375 kg/m ³	9.5
	* Dozajı, 400 kg/m ³	9.0

Deneyin uygulanması sırasında dikkat edilecek hususlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Deney, ancak taze beton çökmesinin düzgün şekilde gerçekleşmesi durumunda geçerli olmaktadır. Düzgün çökme; beton kütesinin, deney sonucunda bütün olarak ve simetrik şekilde kalmasını ifade etmektedir.
- Numunenin kayması halinde, yeni numune kullanılarak deney tekrarlanmalıdır.

- iii. Ardı ardına yapılan iki deneyde de beton kütesinden kayarak ayrılan parça olması, taze betonun düzgün çökme deneyi yapılması için gerekli plastiklik ve kohezyona sahip olmadığını gösterir.
- iv. Düzgün çökme meydana gelen deneyde, çökme değeri (h) ölçülür ve en yakın 10 mm'ye yuvarlatılarak kaydedilir.

3.2.2.1.2. Mala Deneyi

Standart bir yöntem olmamakla birlikte, oldukça iyi bir yaklaşıklıkla karışım oranlarının uygunluğunu gösteren bir deney olduğu için, hala kullanılmaktadır. Karıştırılmış beton üzerinde mala 6 defa sağa, 6 defa sola perdah yapar gibi sürülerek doluşturılır. Taze betona uygulanan mala deneyi sonucu Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20. Taze Betona Uygulanan Mala Deney Sonucu

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer
Mala Deneyi	Yüzey Düzgünlüğü	İyi

Deney sonucunda, yapılan gözlemlere bağlı olarak aşağıdaki yargılara varılabilir.

- i. Perdahlanmış kısımdaki çakılların arası boşluklu gözüktüyorsa harç yüzdesi eksiktir. Bu tip betonun karıştırılması ve yerleştirilmesi zor olup sert, delikli satıh ve su geçirir beton elde edilir.
- ii. Mala üzerinde harç toplanıyorsa harç miktarı fazladır. Böyle betonlar plastik, işlenebilir ve düzgün satıh verirlerse de verimi az olup ekonomik değildirler. Bu tip betonlar geçirimsizlik ve aşınma bakımından kötü sonuçlar verebilir.
- iii. Düzgün bir yüzey elde ediliyorsa, harç miktarı, başka bir deyişle kum, çimento ve çakıl oranı uygundur.

3.2.2.1.3. Birim Hacim Ağırlık ve Verim Deneyi

Taze beton; hacmi, kullanılan agreganın maksimum boyutuna göre seçilen birim ağırlık kovanının içine, aşağıda açıklandığı şekilde doldurulduktan sonra tartılır ve birim ağırlığı hesaplanır. Agreganın boyutu 5 cm'den fazla ise birim ağırlık kovanının hacmi 28.32 lt ve agreganın boyutu 6 cm'ye kadar ise birim ağırlık kovanının hacmi 14.16 lt'dir.

Beton, birim ağırlık kovanına 3 eşit tabakada doldurulur ve 1.6 cm çapında 60 cm uzunluğunda ve ucu hafif yuvarlatılmış çelik çubukla şişlenerek sıkıştırılır. 28.32 lt'lik kab içindeki beton 50 defa ve 14.32 lt'lik kabtaki beton ise 25 defa şişlenir. Darbeler beton yüzeyine üniform olarak dağılmalıdır. Şiş kabın dibine sert olarak vurmamalıdır. Şişleme bittikten sonra kalıp dışına lastik tokmakla 10 -15 defa vurularak mümkün olduğu kadar az boşluk kalması sağlanır. Bundan sonra aynı şekilde 2. ve 3. tabakalar da doldurulup şişlenir ve tokmaklanarak sıkıştırılır. Özellikle katı kıvamlı betonların birim ağırlık ve veriminin tayini için, iç vibratör kullanılması daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

İkinci ve üçüncü tabakalar sıkıştırılırken, çubuk bir alttaki tabakaya 2.5 cm girecek şekilde vurulmalıdır. Sıkıştırma sonucunda kalıbın üstünde kalan fazla beton sıyrılır ve üst kısım bir çelik cetvelle mümkün olduğu kadar düz bir yatay meydana gelecek şekilde düzeltilir. Kalıp üzerine bulaşmış beton dikkatle temizlendikten sonra 5 gr hassasiyetle tartılır ve birim ağırlığı aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanır.

$$B = \frac{T - K}{V}$$

Burada;

B: Betonun birim hacim ağırlığı (kg/m^3),

T: Beton + Kabın ağırlığı (kg),

K: Kabın ağırlığı (kg),

V: Kabın hacmi, (m^3)'tir.

Taze beton üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilen birim hacim ağırlık ve verim deneyleri sonuçları Çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21. Taze Betona Uygulanan Birim Hacim Ağırlık ve Verim Deneyi Sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (kg/m ³)
Birim Hacim Ağırlık Deneyi	Betonun Birim Hacim Ağırlığı	
	* Dozajı, 350 kg/m ³	2471
	* Dozajı, 375 kg/m ³	2478
	* Dozajı, 400 kg/m ³	2485
		Ölçülen Değer (%)
Verim Deneyi (Randıman)	Beton verimi	
	* Dozajı, 350 kg/m ³	97.41
	* Dozajı, 375 kg/m ³	97.69
	* Dozajı, 400 kg/m ³	97.61

3.2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.2.2.2.1. Basınç Dayanımı İçin Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı (Kürtü)

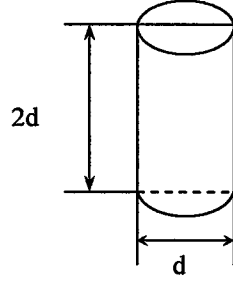
Beton basınç dayanımı deney numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi, sıkılaştırılması, numunelerin korunması ve taşınması işlemlerini kapsamakta olup tüm bu işlemler sırasında TS EN 12390-2, 2002 ve BS 1881-2'ye göre dikkat edilmesi gereken esaslar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

i. Beton deneylerinde kullanılan aletler ve özellikleri

* Numune kalıpları

- Numune kalıpları, çimento ve beton katkı maddeleri ile reaksiyona girmeyen su emmeyen ve su geçirmeyen özellikteki malzemelerden yapılmış olmalıdır. Kalıp birden fazla parça halinde imal edilmişse bu parçaların sıkıca birleşmesini sağlayacak bir kelepçe sistemi bulunmalıdır.
- Kalıpların iç yüzeyleri, pürüzsüz ve kaygan olmalıdır. Kullanılmadan önce kalıp yüzeyleri madeni bir yağ ile hafifçe yağlanmalı ve varsa parçaların birleşme yerleri kalın gres, parafin gibi maddeler sürülerek su geçirimsiz hale gelmelidir.
- Silindir kalıplar ise demir döküm, çelik, alüminyum alaşım veya kolay deforme olmayan plastik malzemelerden yapılmış olmalıdır.

Beton basınç dayanımı için kullanılan silindir kalıpların boyutları Şekil 3.2'de verilmiştir.



d(mm)	100	113*	150	200	250	300
*Bu boyut için yükleme alanı 10.000 mm ² dir						

Şekil 3.2. Silindir kalıp ve anma boyutları

Silindirin üst yüzü (ağız) ve altı (tabanı) ile silindir eksenine arasındaki açıları $90^\circ \pm 0.5^\circ$ olmalıdır. Silindirin değişik yerlerinde ölçülen iç çaplar birbirlerinden % 2 oranından daha fazla farklı olmamalıdır. Silindirin iç çapı ve derinliği deney yönteminde öngörülen boyutlara sıra ile % 1 ve % 2 toleransla uygun olmalıdır.

Basınç dayanımı deneylerinde kullanılmak üzere; silindir kalıplar içerisinde, 15 x 30 cm boyutlarında 18 adet silindir numuneler hazırlanmıştır.

* Beton sıkıştırma cihazları

Beton yerleştirilmesinde genellikle şişleme, daldırma veya titreşim masası kullanılmaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen deneylerde daldırma tipi (iç) vibratör kullanılmıştır. Kullanılan vibratör, kullanım sırasında en düşük frekansı yaklaşık 120 Hz ve dakikadaki titreşim sayısı ise en az 7200 titreşimli olan vibratördür. Vibratörün uç çapının, deney numunesinin en küçük boyutunun 1/4'ini geçmemesine dikkat edilmelidir.

ii. Kalıpların hazırlanması ve betonun kalıplara doldurulması

- * Betonun kalıba yapışmasını önlemek üzere; doldurma öncesinde, kalıp iç yüzeyi çimento ile etkileşmeyen kalıp ayırıcı bir malzeme ile ince bir tabaka halinde kaplanmalıdır
- * Doldurma başlığı kullanılmışsa; kalıba doldurulan taze beton, sıkıştırıldıktan sonra doldurma başlığı içerisinde de belirli kalınlıkta bir tabaka kalacak miktarda olmalıdır.
- * Bu tabakanın kalınlığı, deney numunesi yüksekliğinin % 10'u ile % 20'si arasında olmalıdır.

- * Deney numuneleri, her tabaka 100 mm'den daha kalın olmamak üzere, en az iki tabaka halinde sıkıştırılmalıdır.
- * Beton kalıba boşaltılırken kullanılan kürek kalıbın üst yüzü boyunca hareket ettirilerek, betonun homojen bir şekilde kalıbın içine dağılması sağlanmalıdır. Böylece iri agreganın ayrışması önlenmelidir. Betonun kalıbın içerisine uygun olarak yerleştirilmesinde şişleme çubuğundan da faydalanılır. Bazı durumlarda sıkışmadan dolayı kalıpta eksilmeler meydana gelmektedir. Bu eksik kalan kısmın doldurulmasında kullanılan beton aynı özellikte olmalıdır.

iii. Betonun sıkıştırılması

Sıkıştırma işlemi beton numune kalıbına yerleştirildikten hemen sonra tam sıkışma elde edilecek şekilde gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında ayrışma olmamalı ve yüzeye ayrı şerbet çıkmamalıdır. Her beton tabakası, mekanik titreşim veya elle sıkıştırma yöntemlerinden herhangi birisi kullanılarak sıkıştırılmalıdır.

Deneyde sıkıştırma işlemi, mekanik titreşim (vibrasyon) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tam sıkışma beton yüzeyinde büyük hava kabarcıkları oluşumunun sona ermesi ve yüzeyin göreceli şekilde düz ve parlak görünüm kazanmasıyla sağlanmıştır.

iv. Yüzey tesviyesi

Sıkıştırma işleminden sonra kalıplardaki beton yüzeyi düzeltilip perdahlanmıştır.

Bu amaçla kalıp üst yüzeyinden taşan beton, şişleme çubuğu ve mala ile testere hareketi yapılarak dikkatlice tesviye edilip düzlenmiş ve düzenlenen yüzey mala veya mastar ile perdahlanmıştır. Elde edilen numune yüzeyinde, kalıp kenarıyla aynı düzeyde girinti çıkıntı var ise bunların boyutlarının 3 mm'yi geçmemesine dikkat edilmiştir.

v. İşaretleme

Deney numuneleri, numuneye zarar verilmeden görünür ve kalıcı şekilde işaretlenmiştir. Numune alma işleminden sonra deney yapılmaya kadar izleyebilmek üzere numune kayıtları beton deney kartlarında muhafaza edilmiştir.

vi. Deney numunelerinin kütü

- * Deney numuneleri, kalıp içerisinde, 24 saat (20 ± 2) °C'de saklanmıştır.

Deney numuneleri, kalıp içerisinde, 16 saatten az, 3 günden daha fazla olmamak üzere, yeterli sertliğe ulaşıncaya kadar saklanmalıdır. Numune kalıpları şoktan, titreşimden ve kurumadan korunarak, (20 ± 2) °C (veya sıcak iklimlerde (25 ± 2) °C) sıcaklıktaki ortamda tutulmalıdır.

* Kalıptan çıkarıldıktan sonra, deney anına kadar, (20 ± 2) °C sıcaklıktaki su içerisinde ve küre odasında beton silindirlerden 9'u 7 gün, diğer 9'u 28 gün küre tabii tutulmuştur.

vii. Deney numunelerin nakliyesi

Nakliye işleminin tüm aşamalarında; sıcaklık değişimini ve rutubet kaybını önlemek üzere, sertleşmiş deney numunelerinin ıslak kum ve talaş içerisinde saklanması veya numunelerin, içerisinde su bulunan ve sızdırmaz bir plastik kap içerisine konularak taşınması gibi gerekli önlemler alınmıştır.

Basınç dayanımında kullanılacak numunelerin hazırlanmasından deneyde kullanılacak duruma getirilmesine kadar geçen sürede yapılan işlemler ve bunlara yönelik sonuçlar Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.22. Sertleşmiş Betona Uygulanan İşlemler ve Deney Sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer
Basınç Dayanımı İçin Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı	Kalıpların hazırlanması Betonun kalıplara doldurulması Betonun sıkıştırılması Yüzey tesviyesi İşaretleme Deney numunelerinin kütü Deney numunelerin nakliyesi	İyi

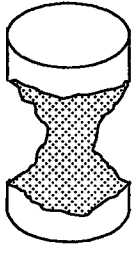
3.2.2.2.2. Beton Basınç Dayanımı Tayini

7 günlük ve 28 günlük beton silindir numunelerin birim alanının taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karışımla üretilen beton ile elde edilen ve uygulamaya yönelik bir elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir yürütmek amacıyla gerçekleştirilen bir deney olup izlenen prosedür aşağıda verilmiştir (TS EN 12390-3, 2002).

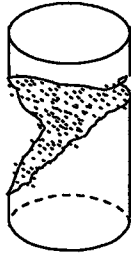
- i. Deney numuneleri ktr odasından çıkarıldıktan sonra üzerindeki su bir bez veya havlu ile alınır.
- ii. Numune ağırlığının, ölçülen numune hacmine bölünmesiyle yaklaşık birim hacim ağırlığı saptanır.
- iii. Boyutları 1 mm duyarlılıkla ölçülür.
- iv. Numunelerin dikliği kontrol edilir.
- v. Numunelerdeki boy farkı, kaba çıkıntılar ve pürüzler gerekli görüldüğünde kesme veya aşındırma ile uygun hale getirilir.
- vi. Numunelerin görünür yoğunluğunun belirlenmesi için gerekli ölçüm ve tartım işlemi yapılır.
- vii. Başlıklama grafit-kükürt karışımı ile yapılır. Deney numunesi 2 saat içinde deneye tabi tutulur.
- viii. Deney presinin numune ile temas eden başlık yüzeyleri iyice temizlenir ve silindir deney numunelerinin alt yüzü, dökme yönüne dik olarak yerleştirilir.
- ix. Deney numunesi yavaş yavaş oynatılarak deney numunesi düşey ekseninin pres üst başlık bloğunun merkezi ile çakışması sağlanır.
- x. Yükleme hızı darbe etkisi yapmayacak şekilde ve $0.2 - 0.35 \text{ kgf/cm}^2/\text{saniye}$ 'lik üniform bir gerilme artışı sağlanacak şekilde uygulanır.
- xi. Deney numunesinin kırıldığı andaki pres ibresinin gösterdiği en yüksek yük (F) okunur.

Deney sonucu numune üzerinde meydana gelen kırılma betonun tatmin edici kırılma şekline uygun olmalıdır. Deney işlemlerinde yeterli itina gösterilmemesi, numune alet başlığının aksenal olmaması, deney presinin kusurlu olması (balık hareketi), beton numunesi kırılmadan önce başlıkta meydana gelen çatlama ve kırılmalar nedeniyle tatmin edici bir kırılma şekli olmayabilir. Silindir numunelere ait kırılma şekilleri Şekil 3.3'de verilmiştir.

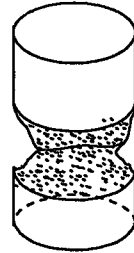
Çerçideresi taşocağından alınan malzeme ile hazırlanan deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanım deneyleri sonucunda numunelerde Şekil 3.3'de verilen D, E, G ve L şekillerinde bir kırılma gözlenmiştir.



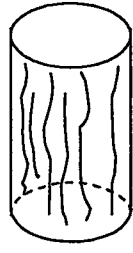
A



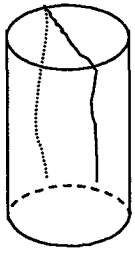
B



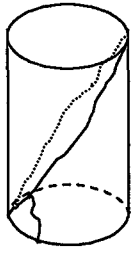
C



D



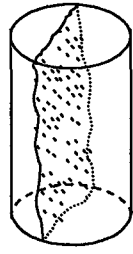
E



F



G



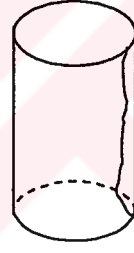
H



I



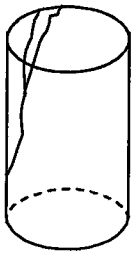
J



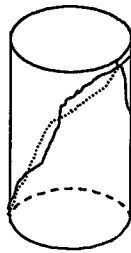
K



L



M



N



O

Şekil 3.3. Silindir numunelerde kırılma şekilleri

Basınç dayanımı aşağıdaki bağıntıya göre ve tam sayıya yuvarlatılarak bulunur.

$$f_c = (F/A_c) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Burada;

f_c : Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²),

F: Kırılma yükü (N),

A_c : Deney numunesi ortalama kesit alanı (mm²)'dir.

Hazırlanan beton numuneleri üzerinde yukarıda verilen prosedür doğrultusunda gerçekleştirilen basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 3.23'de verilmiştir.

Çizelge 3.23. Sertleşmiş Betona Uygulanan Beton Basınç Dayanımı Tayini Deney Sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (Ortalama) (kg/cm ²)
Beton Basınç Dayanımı Tayini	Ortalama Basınç Dayanımı	
	— 7 Günlük	
	* Dozajı, 350 kg/m ³	170
	* Dozajı, 375 kg/m ³	185
	* Dozajı, 400 kg/m ³	221
	— 28 Günlük	
	* Dozajı, 350 kg/m ³	250
* Dozajı, 375 kg/m ³	284	
* Dozajı, 400 kg/m ³	330	

3.2.2.3. İnce Kum (Dere Malzemesi) Deneyleri

3.2.2.3.1. No. 200 (0.074 mm) Elekten Geçen Malzeme Miktarının Belirlenmesi Deneyi

Bu deney yöntemi, numuneyi yıkayarak içindeki silt ve kil miktarının belirlenmesini kapsamaktadır (TS 706, 1980).

Numunenin hazırlanması, deneyin yapılması ve sonucun belirlenmesi amacıyla ayrışmayı önleyecek kadar rutubetli ve iyice karıştırılmış malzemedan agrega tane çapına göre 500–3000 gr temsili numune alınır. Numune önce 105 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tartılır. Sonra bir kaba aktarılan numune üzerini tamamen örtecek kadar su ile doldurularak en az (8) saat bekletilir. Islatılan bu malzeme; altta 0.074 mm (No: 200) elek ve üstte 1.190 mm (No. 16) elek bulunan, elek takımına aktarılır. Malzeme doğrudan doğruya

0.074 mm elekten yıkanmamalıdır. Aksi halde bu elek kısa sürede tahrip olur. Yıkama işlemine berrak su elde edilinceye kadar devam edilir. Yıkama sırasında elek üzerinde kalan malzeme toplanarak tekrar yıkanan malzeme üzerine ilave edilmelidir. Yıkama işleminden sonra numune tekrar ettive konarak sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutur ve tartılır.

0.074 mm elekten geçen malzeme oranı aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanır.

$$0.074 \text{ mm elekten geçen malzeme miktarı (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Burada;

A: Numunenin ilk kuru ağırlığı (gr)

B: Yıkanmış malzemenin kuru ağırlığı (gr)'dir.

Beton üretiminde kullanılmak üzere Hafik Kuru deresinden alınan ince kum üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 3.24'de verilmiştir.

Çizelge 3.24. (No.200) 0.074 mm Elekten Geçen Malzeme Miktarının Belirlenmesi Deneyi Sonucu

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (%)
(No.200) 0.074 mm Elekten Geçen Malzeme Miktarının Belirlenmesi	0.074 mm Elekten Geçen Malzeme Miktarı	1.00

3.2.2.3.2. Kil Topaklarının Tayini Deneyi

Bu deney, agrega içindeki kil topakları oranının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır (ASTM C 142, 1994).

Malzeme, iri ve ince agrega karışımı halindeyse, önce 4.760 mm (No: 4) elekten elenerek kaba ve ince agrega olmak üzere ikiye ayrılır. Deney numunesi bu malzemedan bir bölgeç vasıtasıyla veya dörtleme suretiyle alınır. Bu arada numunedeki kil topaklarının bozulmamasına dikkat

edilmelidir. Numune 110°C sıcaklığı geçmeyen bir etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur ve tartılır.

1.190 mm (No. 16)'den daha büyük parçacıkları içeren ince agregadan deney için en az 100 gr numune tartılır. Kaba agrega numunesi ise elenerek Çizelge 3.25'de verilen ağırlık değerlerinden az olmamak koşuluyla kısımlara ayrılır.

Çizelge 3.25. Malzemenin Tane Büyüklüğüne Göre Alınacak Numune Miktarları ve Yıkama Eleği Açıklıkları (Öztabak, 2002)

Numuneyi Teşkil Eden Malzemenin Tane Büyüklüğü (mm)	Numuneden Alınacak En Az Miktar (g)	Yıkama Eleğinin Açıklığı (mm)
38.1 mm den iri	5000	4.760
19.1 - 38.1	3000	4.760
9.52 - 19.1	2000	4.760
4.76 - 9.52	1000	2.380
1.90 - 4.76	100	0.590

Numune, bir kap içinde ince bir tabaka halinde yayılır ve üzeri suyla örtülür. 24 saat böylece bırakıldıktan sonra su dikkatle boşaltılır. Parmakla ezilip ince parçalara bölünen yumuşak taneler ufalandıktan sonra Çizelge 3.25'de verilen ilgili yıkama eleklerinden yıkanarak kilden temizlenir. Yıkama işleminden sonra malzeme 110 °C'deki etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur ve tartılır.

$$\text{Kil topakları yüzdesi} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Burada;

A: Numunenin ilk kuru ağırlığı (gr),

B: Yıkandıktan sonra kuru ağırlığı (gr)'dir.

İnce kum içindeki kil topaklarının yüzdesinin belirlenmesi amacıyla yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 3.26'da verilmiştir.

Çizelge 3.26. Kil Topakları Tayini Deney Sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer
Kil Topakları Tayini	Kil Topakları Miktarı	0.00 %

3.2.2.3.3. Yabancı Organik Madde Tayini Deneyi

Bu deney, beton veya çimento harcı imalinde kullanılacak kumda organik madde olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Temsili olarak alınmış ½ kg ince agrega numunesi etüvde 105 ± 5 °C'de kurutulur. Numune 8 mm'lik elekten elenerek elek altına geçen malzeme ölçekli bir şişenin içerisine, şişenin 130 cm³'lük işaret çizgisine kadar, doldurulur. Daha sonra şişenin içerisine şişenin 200 cm³'lük işaret çizgisine kadar, NaOH (sodyum hidroksit) doldurulur. Şişenin ağzı lastik veya cam tıkaç ile iyice kapatılarak çalkalanır. En az 24 saat sonra deney numunesi üzerindeki sıvının almış olduğu renk tespit edilir ve ilgili standartlar dikkate alınarak malzemenin organik madde içeriği hakkında bir değerlendirme yapılır (TS EN 1744-1, 2000; ASTM C 40-87, 1973).

İnce kum (dere malzemesi) içerisindeki yabancı organik maddelerin belirlenmesi amacıyla, Hafik Kuru Deresi'nden alınan ince kum üzerinde yukarıda açıklandığı şekilde gerçekleştirilen yabancı organik madde tayini deney sonucu Çizelge 3.27'de verilmiştir.

Çizelge 3.27. Yabancı Organik Madde Tayini Deney Sonucu

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer
Yabancı Organik Madde Tayini	Organik Madde Durumu	Renksiz

3.2.2.3.4. İnce Modüllü Tayini

İncelik modüllü, agreganın incelik veya kalınlığını ifade eden bir terim olup delik açıklığı birbirinin iki misli artan elekler üzerinde kalan malzemenin kümülatif yüzdeler toplamının yüzde bölünmesiyle elde edilmektedir. İncelik modüllü hiç bir zaman gradasyonu ifade etmez, zira çeşitli agregaların gradasyonlarından elde edilecek incelik modülleri aynı değeri alabilir.

İnce kum olarak Hafik Kuru Deresi'nden alınan dere malzemesi üzerinde gerçekleştirilen elek analizi deney sonuçlarından yararlanılarak sözkonusu malzemenin incelik modülünün hesabı Çizelge 3.28'de verilmiştir.

Çizelge 3.28. İncelik Modülü Hesabı

Elek Açıklığı	Elek Üzerinde Kalan Malzeme Miktarı	Kümülatif Kalan	Kümülatif Geçen
İnç mm	(gr)	(%)	(%)
3/8"	9.5	7.1	100
No. 4	4.76	71	93
No. 8	2.38	258	74
No. 16	1.19	493	51
No. 30	0.59	768	23
No. 50	0.297	960	4
No. 100	0.149	995	0
Toplam		354.5	354.5/100
AÇIKLAMA :		İncelik Modülü: 3.54	

3.2.3. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Asfalt çimentosunun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneylerde kullanılan malzeme; Sivas Belediyesi asfalt şantiyesinden temin edilen ve AC 75–150 olarak ifade edilen 75–150 penetrasyonlu asfalt çimentosudur.

3.2.3.1. Penetrasyon Deneyi

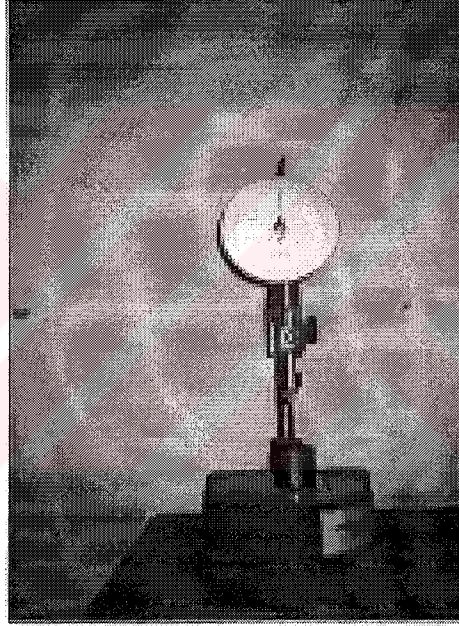
Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir.

Şekil 3.4'de gösterilen penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Numune istenen sıcaklıkta olmalıdır (genellikle 25 °C'de). İğne genellikle 100 gr yük altında, numune yüzeyine degecek şekilde ayarlanır. İğne belirli bir zaman aralığında serbest bırakılır. Genellikle 5 sn'lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kabın kenarından ve birbirinden 1'er cm'lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetra klorür, tri klor etilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir (TS 118, 1998).

Asfalt çimentosunun penetrasyon değerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen penetrasyon deney sonucu Çizelge 3.29'da verilmiştir.

Çizelge 3.29. Penetrasyon Deneyi Sonucu

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer
Penetrasyon Deneyi	Penetrasyon değeri	89 (AC 75-150) penetrasyonlu asfalt



Şekil 3.4. Penetrasyon deney aleti

Viskozite ve penetrasyon derecesi benzer sayılarla verilmesine karşılık (Örneğin 80-100 penetrasyonlu asfalt, 50-100 viskoziteli asfalt gibi.) bu iki ifade birbirinden farklıdır ve bunların benzer şekilde ifade edilmesi yanlışlara yol açar. Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusu olup viskozitede ise durum terstir. Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcağa daha dayanıklıdır (Umar ve Açar, 1991).

3.2.3.2. Parlama Deneyi

Isıtılan asfaltın hangi ısıda parlayacağını veya diğer bir ifade ile şantiye asfaltının yanmadan hangi ısıya kadar emniyetle ısıtılabilceğinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bir deney olup parlama noktası (veya ısısı), ısıtılan asfalt buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya başlamadığı en düşük ısıdır (TS 1080, 1980).

Asfalt çimentosunun parlama ve yanma değerlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen parlama deney sonucu Çizelge 3.30'da verilmiştir.

Çizelge 3.30. Parlama Noktası Deneyi Sonucu

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (°C)
Parlama Noktası	Parlama Değeri	315
	Yanma Değeri	322

3.2.3.3. Özgül Ağırlık Deneyi

Marshall Stabilité deneyi karışım dizaynı hesapları için asfaltın özgül ağırlığı bilinmesine gerek vardır. Bu nedenle, piknometre boş olarak ve tamamen su ile doluyken tartılır. Piknometrenin 1/3'ü bitümlle doldurulur. Hava kabarcıkları çıkartılır. 1-1.5 saat 25 °C su banyosunda bırakılır. Asfalt numunesi ve su ile tamamen dolu olan piknometre hassas bir şekilde tartılır.

Bitüm özgül ağırlığı;

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

formülü aracılığı ile hesaplanır.

Burada;

A: Piknometre ağırlığı (gr),

B: Piknometre + su ağırlığı (gr),

C: Piknometre + bitümlü numune ağırlığı (gr),

D: Piknometre + bitümlü numune + su ağırlığı (gr)'dir.

Asfalt çimentosunun özgül ağırlığının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen özgül ağırlık deney sonucu Çizelge 3.31’de verilmiştir.

Çizelge 3.31. Özgül Ağırlık Deneyi Sonucu

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (gr/cm ³)
Özgül Ağırlık Deneyi	Özgül ağırlık değeri	1.013

3.2.4. Asfalt Agregası Deneyleri

3.2.4.1. Yapışma Deneyi (Vialit Yöntemi)

Bu deney, özellikle sathi kaplama mıcırı olarak kullanılacak agregası ile bağlayıcı arasındaki yapışmanın su etkisi altında azalmasının göreceli olarak değişimini görmek amacıyla gerçekleştirilir.

19 mm (3/4 inç) elekten geçen ve 9.5 mm (3/8 inç) elek üzerinde kalan mıcır numunesi iyice yıkayıp kurutulduktan sonra bu numune içerisindeki yassı ve uzun olmayan kübik şekilli 100 adet mıcır ayrılır.

- Mıcırların düşmemesi için plaka kafesinin hemen altındaki yerine yerleştirilir ve mekanik sericinin her bölümüne birer tane mıcır 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 düzgün bir şekilde yayılır. Deney öncesinde levhalar üzerinde pas veya asfalt lekeleri bulunmamalıdır.
- Asfaltlı deney levhası mekanik sericinin içine yerleştirildikten sonra, mıcırların altındaki plaka süratle çekilerek mıcırların asfalt tabakası üzerine serbestçe düşmesi sağlanır.
- Silindirme sırasında levha üzerindeki mıcırların kaymasını önlemek amacıyla mıcır serildikten sonra levhanın hafifçe soğuyup silindirmeye uygun bir sıcaklığa düşmesi için 2-3 dakika beklenir. Silindirme, lastik bandajlı silindir, agregası serilmiş levha üzerinden üç defa bir yöne ve üç defa da buna dik yönde olacak şekilde altı defa geçişi ile gerçekleştirilir (bir gidiş-geliş bir geçiş sayılır). Silindir mıcırların üzerinden ilk geçişi sırasında taşların silindir önünde kaymamasına dikkat edilmelidir.

- v. Silindirlenmiş deney levhaları oda sıcaklığında 1 saat bekletildikten sonra 35°C'lik su banyosunda 24 saat tutulur.
- vi. Deney aleti, ayar vidaları yardımı ile yatay duruma getirilir. Banyodan çıkarılan deney levhası, agregalar alta gelecek şekilde aletin üç sivri ucunun üzerine yerleştirilir. Agreganın soyulmaya karşı dayanıklılığını arttırmak için asfalta belirli oranda katkı malzemesi (DOP) ilave edilmiş ve deney bu asfalt ile yapılıyor ise doplu ve dopsuz deney levhaları, 24 saat bekletilmek üzere aynı su banyosuna konulmamalıdır. Bilye, 50 cm yükseklikteki hafif eğimli yerinden bırakılarak levhanın tam ortasına 10 saniye ara ile 3 defa düşürülür. Düşürüldükten sonra levha yerinden çıkartılır ve düşen mıcırlar sayılır. Bu deney üç deney levhası üzerinde gerçekleştirilir.
- vii. Sonuç olarak; düşen mıcırlar sayısı toplam mıcırlar sayısının yüzdesi olarak hesaplanır ve üç deney levhası üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen değerlerin ortalaması verilir.

Asfalt agregası olarak kullanılacak olan mineral agregaya uygulanan yapışma deneyi sonuçları Çizelge 3.32'de verilmiştir.

Çizelge 3.32. Yapışma Deneyi (Vialit Yöntemi) Sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (%)
Yapışma Deneyi (Vialit Yöntemi)	Agrega ile bağlayıcı arasındaki yapışmanın su etkisi altındaki rölatif değişimi	
	• Dopsuz	13.0
	• Doplu (% 0.02)	1.00
	• Doplu (% 0.04)	0.00

3.2.4.2. Soyulma Mukavemeti Deneyi (Nichollson Yöntemi)

Agrega taneleri yüzeylerinin bitümlü malzeme ile sarılmasından sonra, yağışlı bölgelerde, suyun agregaya üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı, bitümlü malzeme agregaya yüzeyinden ayrılır ve bu olay soyulma olayı olarak ifade edilir. Diğer bir ifadeyle; soyulma, agregaya yüzeyi ile bitümlü bağlayıcı arasındaki adhesiv bağın suyun etkisiyle kırılmasıdır. Doğada yol yüzeyinde meydana gelen bu olayın laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi gerekmektedir.

Bu deney, agregaya yüzeyindeki bitüm filminin, su varlığında hangi oranda tutulabildiğini belirlemek amacıyla agreganın bitümlü malzeme ile kaplanması, suya daldırılması ve gözle

inceleme olmak üzere üç aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Yöntem, sıvı petrol asfaltlarına, emülsiyon asfaltlarına, asfalt çimentolarına ve katranlara uygulanabilir.

Agrega numunesinin 9.5 mm (3/8") elekten geçen ve 6.3 mm (1/4") elek üzerinde kalan kısmından yaklaşık 200 gr alınarak saf su ile yıkanır ve 110°C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Kurutulmuş agregaya kullanılacağı zamana kadar desikatörde muhafaza edilir.

i. Kaplama

Hazırlanmış agregadan 100 ± 0.5 gr tartılır ve bir behere konur. Deney asfalt ile yapılıyor ise, içinde agregaya olan behere 135-150 °C sabit sıcaklıktaki etüvde 1 saat bekletilir ve ayrıca asfaltta 135-150 °C'de ısıtılır. Deney katran ile yapılıyor ise, agregaya 80-110 °C, katran da 90-120 °C'de ısıtılır. 5.0 ± 0.1 gr bitümlü malzeme 250 ml'lik cam behere konur ve behere kum banyosuna yerleştirilir. Bunun üzerine önceden etüvde ısıtılmış agregaya ilave edilir ve ısıtılmış cam bagetle, bütün agregaya yüzeyi bitümlü iyice kaplanıncaya kadar, 2-3 dakika karıştırılır.

ii. Suya daldırma

Bitümlü kaplanmış agregaya 10 cm çapındaki iki petri kabına eşit miktarlarda aktarılır. Cam bagetle agregaların petri kabı içinde homojen bir şekilde dağılması sağlanır. Numuneler 15 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra petri kapların, içi saf su ile doldurulmuş tepsilere konarak, tamamen su ile örtülmeleri sağlanır, tepsilerin üzeri örtülür ve 24 saat bekletilmek üzere 60 °C sıcaklıktaki etüve konur.

iii. Gözle inceleme

24 saat sonunda etüvdeki petri kapları çıkartılır, bitümlü kaplanmış agregaları sarsmadan üzerlerindeki su banyosu boşaltılır ve yeni saf su ilave edilerek yandan gelen ışık altında agregaya yüzeyleri dikkatlice incelenir. Deney sonucunda, soyulmamış agregaya yüzeyinin toplam agregaya yüzeyine oranı soyulmaya karşı dayanıklılık olarak verilir.

Asfalt agregası olarak kullanılacak olan mineral agregaya uygulanan soyulma mukavemeti deneyi sonuçları Çizelge 3.33'de verilmiştir.

Çizelge 3.33. Soyulma Mukavemeti Deneyi (Nichollson Yöntemi) Sonuçları

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (%)
Soyulma Mukavemeti Deneyi (Nichollson Yöntemi)	Agrega yüzeyi ile bitümlü bağlayıcı arasındaki adhesive bağın suyun etkisi ile kırılması (Soyulma Mukavemeti) <ul style="list-style-type: none">• Dopsuz• Doplu (% 0.02)• Doplu (% 0.05)	5–10 75–80 90–95

3.2.4.3. Yassılık İndeksi Tayini

Yassılık indeksi tayini amacıyla kullanılan standart deney yöntemi; kalınlığı, nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agregatanelerinin yassı olarak sınıflandırılmasını esas alan bir yöntemdir. İki elek arasında kalan tanenin nominal boyutu, bu iki elek açıklığının aritmetik ortalamasıdır. Yassılık indeksi, yassı tanelerin ayrılması ile bulunan ağırlığının deneye alınan toplam numune ağırlığına göre yüzdesi olarak ifade edilir. Deney, 6.3 mm'den büyük ve 63 mm'den küçük malzemeye uygulanır (BS 812, 1970).

Çizelge 3.34'de yassılık indeksinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilecek olan deneyde kullanılması gereken minimum malzeme miktarları elek açıklıklarına bağlı olarak verilmiştir. Asfalt ve beton agregasının maksimum tane boyutu 1 ½" olduğundan deneye tabii tutulacak minimum malzeme miktarı çizelgeden 8 kg bulunmuştur.

- i. Yassılık indeksi deneyi yapılacak numuneye önce elek analizi deneyi yapılır ve elek analizi sonucuna göre; 37.5 mm elek altı ve 6.3 mm elek üstü malzeme miktarı, kullanılması gereken minimum malzeme miktarlarını verecek şekilde ayarlanır.
- ii. Her elek aralığında gerekli miktarda malzeme alınır.
- iii. Her elek arasında kalan malzeme tanelerinin, şablon üzerindeki kendi açıklığından geçip geçmediği el ile teker teker denenir. Her fraksiyonun yassı tanelerinin ağırlığı tartılarak kaydedilir.
- iv. Her fraksiyonun yassı tane yüzdesi ayrı ayrı hesaplanır. Her fraksiyona ait yassı tane yüzdesi, o fraksiyonun düzeltilmiş gradasyon yüzdesi ile çarpılarak, gerçek yüzde bulunur. Fraksiyonlara ait düzeltilmiş yassı tane yüzdelerinin toplamı, malzemenin yassılık indeksini verir.

Çizelge 3.34. Yassılık İndeksi Tayini Deneyinde Kullanılacak Minimum Malzeme Miktarı
(Önal ve Kahramangil, 1993)

Elek Açıklığı mm	İnç	Her Fraksiyon için Deneye Alınacak Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63-50	2 ½ - 2	25
50-37.5	2 - 1 ½	18
37.5-25	1 ½ - 1	8
25-19	1 - ¾	2.5
19-12.5	¾ - ½	1
12.5-9.5	½ - 3/8	0.5
9.5-6.3	3/8 - 1/4	0.250

Asfalt ve beton agregası olarak kullanılacak olan mineral agregaya uygulanan yassılık indeksi tayini deney sonucu Çizelge 3.35'de verilmiştir.

Çizelge 3.35. Yassılık İndeksi Tayini Deney Sonucu

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer (%)
Yassılık İndeksi Tayini	Agrega tanelerinin yassılık oranının sınıflandırılması (Yassılık İndeksi)	30

3.2.4.4. Marshall Stabilite Deneyi

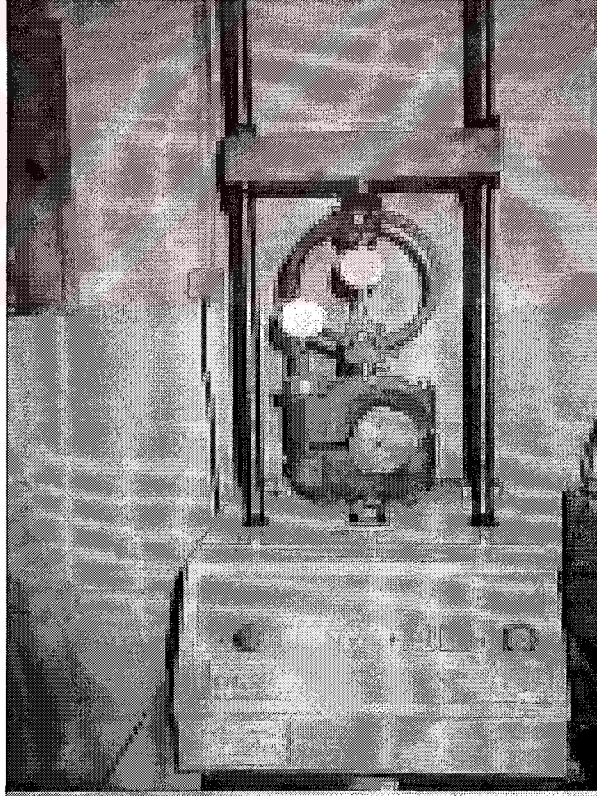
Bu deney, Marshall Stabilite deney aleti yardımıyla bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yapılarak plastik akmaya karşı gösterdikleri direncin ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir (ASTM D 1559-89, 1992). Deneyin gerçekleştirildiği Marshall stabilite deney aleti Şekil 3.5'de verilmiştir.

Ülkemiz karayollarında bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyi olup bu deney esas olarak bir serbest basınç deneyidir (Umar ve Açar, 1991).

Marshall deney numuneleri en az bir gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doygun-yüzey kuru ağırlıkları tartılır ve deneye alınır. Numuneleri istenilen sıcaklığa getirmek için 30-40 dakika su banyosunda veya 2 saat ettüvde bekletilir. Banyo veya ettüv sıcaklığı asfalt çimentolu briketler için 60 °C'dir. Numune çelik bir halkanın iki segmanı

arasına yerleştirilir. Akma ölçer (flowmeter) yerleştirilerek sıfırlanır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50.8 mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Maksimum yük kaydedilir. Akma ölçer boşaltılır ve akma değeri ölçülür. Deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 sn'den fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63.5 mm'den (2 1/2 inç) farklıysa Marshall Stabilite deneyi sonucu elde edilen maksimum yük değerlerine düzeltme faktörü uygulanmalıdır (ASTM D 1559–89, 1992).

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



Şekil 3.5. Marshall stabilite deney aleti

Asfalt agregası olarak kullanılan Çerçideresi bazaltı aşınma dizaynı (Marshall deneyi) sonuçları Çizelge 3.36'da verilmiş ve ayrıca sonuçlar Şekil 3.6'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.36. Marshall Deneyi Sonuçları

Bitüm Penetrasyonu : 89
 Bitüm Özgül Ağırlığı (Gb) : 1,013
 Agreganın Bitüm Absorpsiyonu (Pba) : 0,91
 Agreganın Etkatif Özg. Ağırlığı, (Gef) : 2,897
 Agreganın Hacim Özg. Ağırlığı, (Gsb) : 2,824
 Agreganın Zahirî Özg. Ağırlığı, (Gsa) : 2,969

Gef. Deney : 2,897
 Gef. Hesap : 2,896

Karışım. Mıcur : 1150 gr

ÇERÇİDERESİ BAZALTI AŞINMA DIZAYNI (Marshall Deneyi)

Kaba Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, (Gkht) 2,812
 Kaba Agreganın Zahirî Özgül Ağırlığı, (Gkz) 2,972
 İnce Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı, (Gih) 2,823
 İnce Agreganın Zahirî Özgül Ağırlığı, (Giz) 2,973
 Fillerin Zahirî Özgül Ağırlığı, (Gfz) 2,919

V=B-C
 Gsb=100/(%K/Gk_h+%/G_i)+%/f/(Gf.z)
 VMA=100-(Dp*(100-Wa/(1+Wa/100)))/Gsb
 Vf=(VMA-Vh)*100/VMA
 Pb=100*Gp*(Gef-Gsb)/(Gef*Gsb)
 Dt=(100+Wa)/((100+Gef)+(Wa/Bitüm penetrasyonu+H2))

Vh=(Dt-Dp)*100/Dt

Dizayn Gradasyonu

1 1/2"	100,0	No.4	47,5
1"	100,0	No.10	31,5
3/4"	100,0	No.40	15,0
1/2"	91,5	No.80	10,5
3/8"	80,0	No.200	7,0

AŞINMA

No	BITÜM		Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER				Havada Ağırlık, g A	Sudaki Ağırlık, g C	Doy. Yüz. Ağırlık, g B	Hacim Cm ³ V	Hacim Özg. Ağırlık Dp	Maks. Teo Özgül. Ağ. Dt	% Boşluk Vh	% V.M.A	Asf. Dolu Boşluk Vf	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltme Faktörü	Düzeltim Stabilite kg
	Wa,%	g		1	2	3	Ort.													
1	4,00	46,0	145	62,9	62,7	63,2	62,9	1190,7	712,9	1203,2	490,3	2,429				41,0	2,54	1226	1,013	1242
2	4,00	46,0	147	62,1	62,0	62,5	62,2	1190,7	710,1	1202,3	492,2	2,419				2,29	1204	1,033	1244	
3	4,00	46,0	147	61,9	61,9	61,9	61,9	1190,3	712,8	1202,4	489,6	2,431				2,29	1195	1,042	1245	
4	4,50	51,8	148	62,0	62,2	62,0	62,1	1199,3	715,3	1208,3	493,0	2,433				2,79	1239	1,037	1285	
5	4,50	51,8	146	62,1	62,1	62,2	62,1	1199,0	717,0	1209,1	492,1	2,436				3,05	1270	1,035	1315	
6	4,50	51,8	148	62,4	62,6	62,3	62,4	1198,2	716,9	1208,5	491,6	2,437				2,54	1248	1,027	1281	
7	5,00	57,5	147	61,9	61,2	61,3	61,5	1203,8	723,5	1208,0	484,5	2,485				2,79	1358	1,054	1432	
8	5,00	57,5	148	61,9	61,6	61,8	61,8	1203,3	725,5	1208,6	483,1	2,491				2,74	1314	1,046	1374	
9	5,00	57,5	147	62,8	62,9	62,5	62,7	1200,9	718,0	1203,3	485,3	2,475				2,74	1314	1,019	1339	
10	5,50	63,3	148	62,9	62,4	61,8	62,4	1206,4	722,8	1208,8	486,0	2,482				2,64	1138	1,029	1171	
11	5,50	63,3	148	61,1	61,4	61,1	61,2	1205,8	725,2	1208,9	483,7	2,493				3,05	1151	1,062	1223	
12	5,50	63,3	148	60,8	61,2	61,2	61,1	1206,9	723,8	1209,9	486,1	2,483				2,54	1107	1,066	1181	
												2,486				2,96			1191	

Çizelge 3.36. (Devam)

ÇERÇİDERESİ BAZALTI AŞINMA DIZAYNI (Marshall Deneyi)

Bitüm Penetrasyonu	: 89
Bitüm Özgü Ağırlığı (Gb)	: 1,013
Agreganın Bitüm Absorpsiyonu (Pba)	: 0,91
Agreganın Etkerli Özg. Ağırlığı, (Gef)	: 2,897
Agreganın Hacim Özg. Ağırlığı, (Gsb)	: 2,824
Agreganın Zahirî Özg. Ağırlığı, (Gsa)	: 2,969

Gef. Deney	:	2,897
Gef. Hesap	:	2,896
Karışım. Micir	:	1150 gr

Dizaynı Gradasyonu

1 1/2"	100,0	No.4	47,5
1"	100,0	No.10	31,5
3/4"	100,0	No.40	15,0
1/2"	91,5	No.80	10,5
3/8"	80,0	No.200	7,0

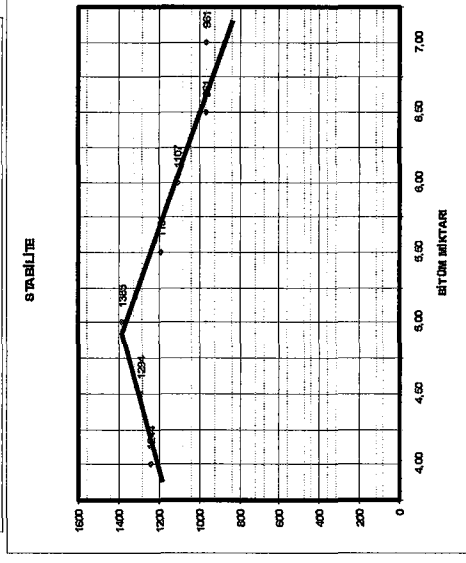
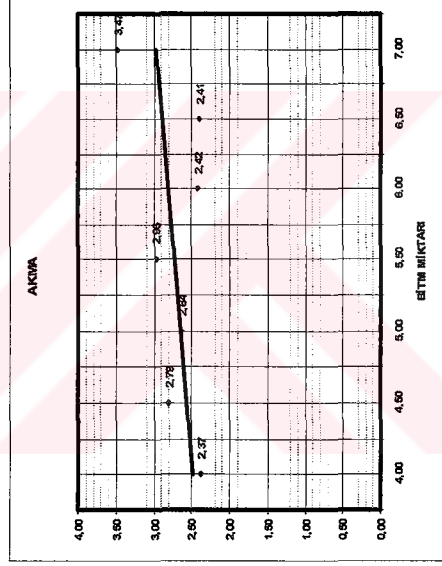
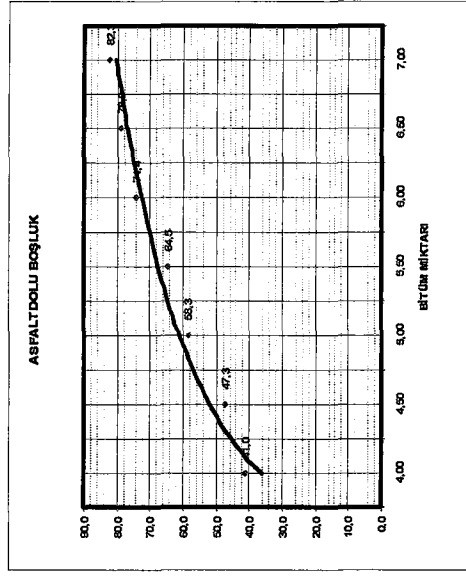
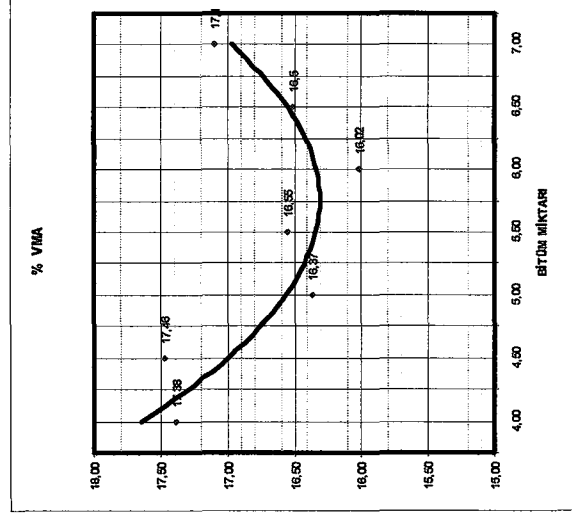
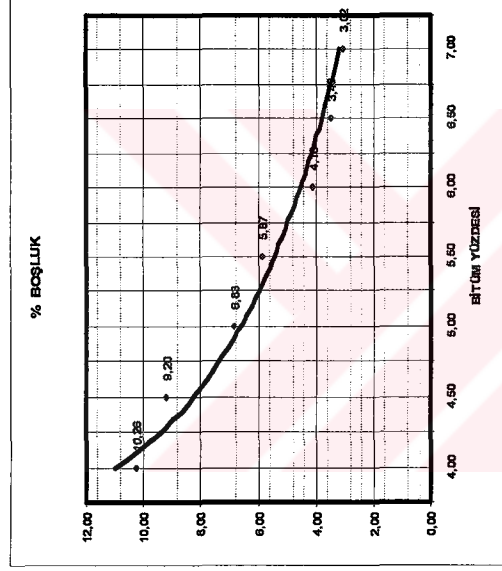
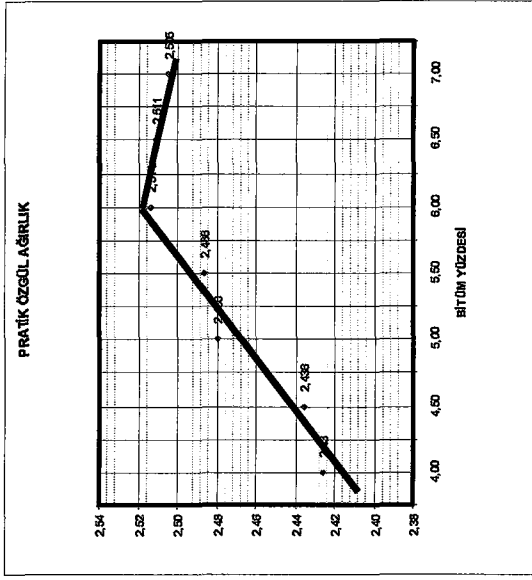
Kaba Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, (Gkht)	2,812
Kaba Agreganın Zahirî Özgü Ağırlığı, (Gkz)	2,972
İnce Agreganın Hacim Özgü Ağırlığı, (Giht)	2,823
İnce Agreganın Zahirî Özgü Ağırlığı, (Giz)	2,973
Fillerin Zahirî Özgü Ağırlığı, (Gfz)	2,919

Kaba agrega %si, (%K)	52,5
İnce agrega %si, (%I)	40,5
Filler %si, (%F)	7,0

V=B-C
 Gsb=100*(%K/Gk_{ht}+%I/Gi_{ht}+%F/Gf_z)
 VMA=100-(Dp*(100-Wa/(1+Wa/100))+Gsb)
 Vf=(VMA-Vh)*100/YMA
 Pb=100*Gb*(Gef-Gsb)/(Gef*Gsb)
 Dt=(100-Wa)/(100+Gef)+(Wa/Bitüm penetrasyonu-H2)

AŞINMA

No	BITÜM		Sıcaklık C	YÜKSEKLİKLER					Havadaki Ağırlık, g	Havada Ağırlık, g	Sudaki Ağırlık, g	Doy. Yüz. Ağırlık, g	Hacim Cm ³	Hacim Özg. Ağırlığı Dp	Maks. Teo Özgl. Ağ. Dt	% Boşluk Vh	V.M.A. %	Asf. Dolu Boşluk Vf	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltme Faktörü	Düzeltim Stabilite kg
	Wa, %	g		1	2	3	Ort.	A														
13	6,00	69,0	147	60,9	60,9	60,9	60,9	1210,8	729,2	729,2	1213,2	484,0	2,502					3,05	984	1,071	1054	
14	6,00	69,0	148	60,3	60,4	60,6	60,4	1212,8	731,9	731,9	1214,9	483,0	2,511					2,54	1028	1,086	1116	
15	6,00	69,0	147	60,5	60,8	60,3	60,5	1213,8	732,9	732,9	1215,3	482,4	2,516					2,29	1015	1,083	1099	
16	6,50	74,8	148	60,5	60,6	60,4	60,5	1214,9	733,4	733,4	1215,8	482,4	2,518	2,621	4,10	16,02	74,4	2,42			1107	
17	6,50	74,8	147	60,2	60,6	60,4	60,4	1214,8	732,8	732,8	1215,7	482,9	2,516					2,03	916	1,084	993	
18	6,50	74,8	147	60,8	61,2	61,0	61,0	1215,7	731,2	731,2	1216,8	485,6	2,504					2,29	916	1,087	996	
19	7,00	80,5	148	60,5	60,8	60,7	60,7	1214,7	731,1	731,1	1216,0	484,9	2,505	2,602	3,49	16,50	78,9	2,41			961	
20	7,00	80,5	147	60,4	60,4	60,3	60,4	1215,5	732,8	732,8	1216,9	484,1	2,511					3,30	916	1,078	988	
21	7,00	80,5	148	60,4	61,1	60,4	60,6	1210,3	728,0	728,0	1212,4	484,4	2,499					3,30	888	1,088	966	
22	7,50	86,3	148	60,3	60,4	60,2	60,3	1216,0	730,3	730,3	1217,4	487,1	2,496					3,81	779	1,090	848	
23	7,50	86,3	147	61,4	61,0	61,1	61,2	1218,0	730,7	730,7	1220,5	489,8	2,487					3,05	726	1,063	772	
24	7,50	86,3	148	61,8	61,8	61,2	61,6	1215,6	728,0	728,0	1216,6	488,6	2,488					2,74	788	1,050	828	
4,65	OPTIMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafikten)															3,20				816		
4,65	OPTIMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef_deneyle)															2,70	73,0	12,9	2,70	Fill/Bit	1370	
4,65	OPTIMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla Gef_hesapla)															2,70	49,0	17,6	2,70	2,70	1370	
AŞINMA DIZAYN KRİTERLERİ															2,70	49,1	17,6	2,70	1,51	1370		
															(2-4)		Min 14	(65-75)	Max 1,5	Min 900		



Şekil 3.6. Marshall Deneyi Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi

4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARINI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Mineral Agregası Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1. Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çerçideresi bazaltları üzerinde gerçekleştirilen elek analizi deneyleri sonucunda elde edilen elek analizi sonuçları; agreganın yol yapı malzemesi ve asfalt agregası olarak kullanılması durumuna göre, ilgili şartnameler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca beton basınç dayanımında kullanılacak olan iri ve ince agregalar üzerinde de elek analizi deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar yine ilgili şartnameler ile karşılaştırılmıştır.

Kullanım yerlerine göre agregalara ait elek analizi sonuçları ilgili şartname sınır değerleri ile birlikte Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yol Yapı Malzemesi Olarak Kullanılacak Agregaya Ait Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elek Boyutları		Çerçideresi Taşocağı Agregası % Geçen	Altemel Malzemesi için Agregalar (Y.F.Ş., 2004)		Temel Malzemesi için Agregalar (Y.F.Ş., 2004)		PMT (Y.F.Ş., 2004)		ÇBGT (Y.F.Ş., 2004)	
(İnç)	(mm)		Alt sınır	Üst sınır	C-Tipi	D-Tipi	Tip I	Tip II	Alt sınır	Üst sınır
3"	75		100	100						
2"	50									
1 ½"	37.5	100	85	100			100		100	100
1"	25	95			100	100	72-100	100	72	100
¾"	19	80			75-100	80-100				
½"	12.5	62					60-92	80-100	60	92
3/8"	9.5	48	45	100	50-85	60-100	40-75	50-82	40	75
No:4	4.75	37	25	85	35-65	50-85	30-60	35-65	30	60
No:10	2	29			25-50	40-70	20-45	23-50	20	45
No:40	0.425	7	7	40	12-30	20-45	8-25	12-30	8	25
No:80	0.18	2								
No:200	0.075	0	0	12	0-12	0-12	0-10	2-12	0	10

Çizelge 4.1’den de görüleceği üzere; tüvenan malzeme için standart elek aralıklarında gerçekleştirilen elek analizi deney sonucunda 37.5mm, 9.5 mm, 4.75 mm ve 0.075 mm elek altına geçen malzeme yüzdeleri sırasıyla % 100, % 48, % 37, % 7 ve % 0 olup bu değerler altemel malzemesi olarak kullanım için Yollar Fenni Şartnamesi (Y.F.Ş.) 66’da verilen alt-üst sınır

değerleri arasında (sırasıyla 85-100, 45-100, 25-85, 7-40 ve 0-12) kalmaktadır. İlgili şartname sınırları yol yapı malzemeleri için olup istenilen sınırlar içerisinde malzeme üretime uygun elek takımları kullanmak suretiyle sağlanabilir.

Çizelge 4.2. Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Agregaya Ait Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elek Boyutları		Çerçi deresi Taşoc ağı Agreg ası	Değerlendirme (Asfalt Agregası Şartname Sınırları)													
			Tek ve Çift Tabakalı Sathi Kaplama Mıdırı (Y.F.Ş., 2004)								Bitümlü Temel Y.F.Ş., 2004		Binder Tabakası Y.F.Ş.:2004		Aşınma Tabakası Y.F.Ş.,2004	
(İnç)	(mm)	% G	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst
			Tip 1		Tip 2		Tip 3		Tip 4		Tip B		Y. Tip 3		Y. Tip 2	
1 ½"	37.5	100									100	100				
1"	25	95	100								80	100	100	100		
¾"	19	80	90	100	100						70	90	80	100	100	100
½"	12.5	62	0	35	90	100					61	81	58	80	83	100
3/8"	9.5	48	0	10	0	40	100		100		55	75	48	70	70	90
No:4	4.75	37	0	5	0	5	75	100	85	100	42	62	30	52	40	55
No:10	2	29					0	10	0	35	30	47	20	40	25	38
No:40	0.425	7					0	2	0	5	15	26	8	22	10	20
No:80	0.18	2									7	17	5	14	6	15
No:200	0.075	0	100								1	8	2	8	4	10

Asfalt agregası olarak kullanılacak agregaya yol kaplamalarında ve esnek kaplamalarda üst yapı elemanı olarak kullanılmaya olup Çizelge 4.2'de elde edilen elek analizi sonuçlarının asfalt agregası şartname sınırları ile karşılaştırılması görülmektedir. Tek ve çift tabakalı sathi kaplama mıdırı olarak kullanılacak agregada ince agregaya istenmemekte olup bitümlü sathi kaplama tabakaları olan bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları için ise ince agregaya önem arz etmektedir. İlgili şartname sınırları içerisinde uygun malzeme elde etmek için uygun elek takımları kullanılmalıdır.

Çizelge 4.3. Çerçideresi Taşocağı 7-15 mm ve 15-30 mm İri Agregası Eleme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eleme Boyutları		Çerçideresi Taşocağı Agregası		Değerlendirme (Beton Agregası Şartname Sınırları)					
		7-15mm	15-30mm	Agregalar (Y.F.Ş., 2004)					
(İnç)	(mm)	% Geçen	% Geçen	Kare Delikli Standart Elekten Geçen % Oranları					
				(1) % ağırl.	(2) % ağırl.	(3) % ağırl.	(4) % ağırl.	(5) % ağırl.	(6) % ağırl.
3"	75								100
2 1/2"	63.5							100	95-100
2"	50						100	95-100	-
1 1/2"	37.5		100			100	95-100	-	35-70
1"	25		48		100	90-100	-	35-70	-
3/4"	19	100	12	100	90-100	-	35-70	-	10-30
1/2"	12.5	66	0	90-100	-	25-60	-	10-30	-
3/8"	9.5	45		40-70	20-55	-	10-30	-	-
No:4	4.75	0		0-15	0-10	0-10	0-5	0-5	0-5

Tüvenan malzemenin beton agregası olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla 7-15 mm ve 15-30 mm elek takımları kullanılarak gerçekleştirilen elek analizi deneyleri sonucunda, 7-15 mm agregası için (1) no'lu elek takımının, 15-30 mm agregası için ise (5) no'lu elek takımının kullanılması gerekmektedir. Beton için ikili karışım yapılmış olup % 55 oranında 7-15 mm agregası ve % 45 oranında da 15-30 mm agregası kullanılmıştır.

Çizelge 4.4. Hafik Kuru Deresi İnce Agregası Eleme Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eleme Boyutları		Hafik Kuru Deresi İnce Agregası (0-7 mm)	Değerlendirme (İnce Agregası Şartname Sınırları)	
			Agregalar (Y.F.Ş., 2004)	Kare Delikli Standart Elekten Geçen % Oranları
(İnç)	(mm)	% Geçen	% ağırlık	
3/8"	9.5	100	100	
No.4	4.75	93	95-100	
No.8	2.38	74	80-100	
No.16	1.19	51	50-85	
No.30	0.6	23	25-60	
No.50	0.3	4	10-30	
No.100	0.15	0	0-10	

Hafik Kuru Deresi'ne ait ince agrega üzerinde gerçekleştirilen elek analizi deney sonuçlarının ilgili şartname sınırları ile karşılaştırılmasını içeren Çizelge 4.4'den de görüleceği üzere, şartname sınırları dışında olan ince agreganın sınıflandırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak; Çerçideresi taşocağı agregasının yol yapı malzemesi (alttemel, temel, plentmiks temel, çimento bağlantılı granüller temel) ve asfalt agregası (tek ve çift tabakalı sathi kaplama, bitümlü temel, binder tabakası ve aşınma tabakası) olarak kullanımı için, ilgili şartname limitlerini sağlayacak şekilde uygun elek takımları kullanılması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle, malzemenin uygun elek takımları kullanılmak suretiyle ilgili şartname limitlerine uygunluğu sağlanmalıdır.

4.1.2. Mineral Agregaya Yönelik Diğer Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Mineral agregaya yönelik olarak gerçekleştirilen diğer deneylerden elde edilen sonuçlar ve bunlara ilişkin sınırlamalar Çizelge 4.5'de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- i. Beton karışımında kullanılan Çerçideresi taşocağına ait 7-15 mm ve 15-30 mm iri agrega ve Hafik Kuru Deresi'ne ait ince agreganın sıkışık ve gevşek halde birim ağırlık değerleri Yollar Fenni Şartnamesi'ne ve Erdoğan (2003)'a göre değerlendirilmiş ve bu malzeme gruplarının birim ağırlık açısından beton ve asfalt agregası olarak kullanımlarının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- ii. Beton karışımında kullanılan Çerçideresi taşocağına ait 7-15 mm ve 15-30 mm iri agrega ve Hafik Kuru deresi'ne ait ince agreganın hacim özgül ağırlıkları ile su emme değerleri Yollar Fenni Şartnamesi ve ASTM C 127, 1992'e göre değerlendirilmiş ve sözkonusu malzemelerin hacim özgül ağırlıkları ile su emme değerleri açısından beton ve asfalt agregası olarak kullanımlarının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- iii. Beton karışımında kullanılan Çerçideresi taşocağına ait iri agreganın sağlamlık (don zayıyatı) değerinin Yollar Fenni Şartnamesi'ne ve BS 812'ye göre, aşınma (malzeme kaybı) değerinin ise Yollar Fenni Şartnamesi'ne ve ASTM C 131'e göre değerlendirilmesi sonucunda beton ve asfalt agregası olarak kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- iv. Beton ve asfalt agregası olarak kullanılacak içerisindeki boşluklar açısından şartnamelerde bir sınırlama yoktur. İlgili değerler, sadece beton ve bitümlü sıcak karışım hesaplamalarında birer sayısal değer olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4.5. Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılacak Mineral Agregaya Uygulanan Deneylerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer	İlgili Standart'a Uygunluk	Değerlendirme							
				Şartname Sınırları							
				Alt Temel	Temel Tabakası	Sarhi Kaplama Mıçırı	Bitüm Temel	Binder Tabakası	Aşınma Tabakası	Beton ve Sanat Yapıları	
Agrega Birim Ağırlığı	Sıkışık Birim Ağırlık							Alt	Üst	İnce	İri
	* 7-15 Boyutlu Agreganın Ağırlığı	1768 Kg/m ³									≥1520
	* 15-30 Boyutlu Agreganın Ağırlığı	1735 Kg/m ³									
	* İnce Agregası (Kum) Ağırlığı	1783 Kg/m ³	TS 3529'e göre uygundur	≥ 1450						≥ 1680	≥ 1460
	Gevşek Birim Ağırlık	1514 Kg/m ³ 1504 Kg/m ³ 1570 Kg/m ³									≥ 1440
Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon	Kaba Agregası Hacim Özgül Ağırlığı	2.82 g.									
	* 7-15 Boyutlu Agreganın Ağırlığı	2.84 g.									
	* 15-30 Boyutlu Agreganın Ağırlığı	1.41 %									
	Kaba Agregası Absorpsiyonu	0.90 %	ASTM C 127, 1992-AAASHTO-T 85'e göre uygundur	≤ 3 Absorpsiyon	≤ 2.5 – 0.5 Absorpsiyon						< 2.4 Haf. Agr. 2.4-2.8 Nor. Agr. > 2.8 Ağır Agr. ≤ 3 Abs. ≤ 2.5 Abs.
	* 7-15 Boyutlu Agreganın Absorpsiyonu	2.58 g. 2.66 %									
* 15-30 Boyutlu Agreganın Absorpsiyonu											
* İnce Agregası (Kum) Hacim Özgül Ağırlığı											
* İnce Agregası (Kum) Absorpsiyonu											
Sağlamlık	Don Zayıtlatı	1.50 %	BS 812'e göre uygundur	≤ 25	≤ 15	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 10	≤ 10	≤ 12
	Malzeme Kaybı	10.7 %	ASTM C 131'e göre uygundur	≤ 50	≤ 40	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 22	≤ 30	≤ 40
Aşınma	Sıkışık Boşluk Miktarı										
	* 7-15 Boyutlu Agregası Boşluk Miktarı	37.30 %									
	* 15-30 Boyutlu Agregası Boşluk Miktarı	38.91 %									
	Gevşek Boşluk Miktarı	46.31 %	TS-3673'e göre uygundur								Belirli bir şartname limiti yoktur
	* 7-15 Boyutlu Agregası Boşluk Miktarı	47.04 %									
* 15-30 Boyutlu Agregası Boşluk Miktarı	39.14 %										
İnce Agregası (Kum) Boşluk Miktarı											

4.2. Beton Deneý Sonuçlarının Deęerlendirilmesi

4.2.1. Taze Beton Deneý Sonuçlarının Deęerlendirilmesi

Betonun imali Y.F.Ő. (1994)'ye uygun olarak yapılmıştır. Karışım oranı TS–802 ve K.G.M. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı beton karışım oranları tayin rehberine göre belirlenmiş ve bağlayıcı malzeme olarak PL B 32.5 R tipiimento kullanılmıştır. Kullanılan kaba agreganın en büyük taneapı 38 mm ve kullanılan su miktarı her karışım oranı için aynı olup 179 kg'dır.

Taze beton üzerinde gerçekleŐtirilen deneýlerden elde edilen sonuçlar ve ilgili sınırlamalar izelge 4.6'da verilmiŐ olup deęerlendirme sonuçları aŐaęıda maddeler halinde verilmektedir.

- i. erideresi taŐocaęına ait 7-15 mm ve 15-30 mm iri agregası, Hafik Kuru Deresi'ne ait ince agregası, PL B 32.5 R tipi ve Sivas 02.2004 tarihliimento ve su ile yapılan beton karıŐımını üzerine uygulanan çökme deneýi sonucunda elde edilen çökme miktarları ilgili Őartnamelere göre deęerlendirilmiŐ ve söz konusu değerlerin kullanım alanı açısından bir sorun oluŐturmadıęı sonucuna varılmıŐtır.
- ii. Beton karışımının yüzey düzgünlüğü Öztabak (2002)'a birim hacim ağırlık değerleri TS 2941, ASTM C 138 ve izelge 2.9'a ve beton karışımının uygun Şekilde yapılıp yapılmadığını belirleyen verim değerleri ise TS 2941, ASTM C 138 ve Şimşek (2004)'e göre değerlendirilmiş ve elde edilen değerlerin taze betonun özellikleri açısından uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.6. Taze Betona Uygulanan Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer	İlgili Standart	Değerlendirme
Çökme deneyi	Slamp (Çökme) miktarı * Dozajı, 350 kg/m ³ * Dozajı, 375 kg/m ³ * Dozajı, 400 kg/m ³	10 mm 9.5 mm 9.0 mm	TS EN 12350-2, ASTM C 143	Kullanım Alanı Beton ve Sanat Yapıları Çizelge 2.10'e göre; Nemli Toprak Kıvamında TS EN 12350-2, ASTM C 143'e göre uygundur
Mala Deneysel	Yüzey Düzgünlüğü	İyi	Öztabak,, (2002) (K.G.M., TADB)	Öztabak,F.H., 2002 ve (K.G.M., TADB) 'e göre uygundur
Birim Hacim Ağırlık Deneysel	Betonun Hacim Birim Ağırlığı * Dozajı, 350 kg/m ³ * Dozajı, 375 kg/m ³ * Dozajı, 400 kg/m ³	2471 kg/m ³ 2478 kg/m ³ 2485 kg/m ³	TS 2941, ASTM C 138	Çizelge 2.9'a göre; Normal Beton
Verim Deneysel (Randıman)	Beton verimi * Dozajı, 350 kg/m ³ * Dozajı, 375 kg/m ³ * Dozajı, 400 kg/m ³	0.9741 0.9769 0.9761	TS 2941, ASTM C 138	TS 2941, ASTM C 138 ve Şimşek, (2004)'e göre uygundur.

4.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bölüm 4.2.1’de belirtildiği şekilde elde edilen beton karışımın, hazırlanmış olan 15 cm x 30 cm silindir kalıplara doldurulması, vibratörle sıkıştırılması, yüzey tesviyesi ve işaretleme işlemlerinin yapılmasından sonra kür odasında kireçli suya yatırılması ve talaş içinde deneye tabii tutulmak üzere nakliyesi ile ilgili standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmiş ve hazırlanan numuneler beton basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar ilgili değerlendirme kriterleri ile birlikte Çizelge 4.7’de verilmiş, beton sınıfları ise Çizelge 4.8 ve 4.9’da verilen şartnamelere göre tayin edilmiştir.

Sonuç olarak; deney numunelerinin hazırlanması ve bakımı TS EN 12390-2 ve BS 1881-2’e göre değerlendirilmiş elde edilen ve gözlemlenen değerler açısından beton numunesi olarak kullanım için uygun işlemler yapıldığı sonucuna varılmıştır.

Betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla her karışım dozajı için 3’er adet silindir numune hazırlanmış ve deneye tabii tutulmuştur. Her dayanım için üç numunenin ortalaması alınarak elde edilen ortalama basınç dayanımı değerleri Y.F.Ş. 47’ye göre değerlendirilerek beton sınıfları BS 16, BS 20 ve BS 25 olarak bulunmuştur. Elde edilen beton sınıflarına göre 1 m³ sıkışmış beton için gereken malzeme miktarları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Elde edilen dayanım değerleri ve kullanılan malzeme miktarları baz alındığında, beton basınç dayanımını etkileyen en önemli parametrelerin ince malzeme miktarı ve çimento miktarı olduğu görülmektedir. Su/çimento oranı azaldıkça mukavemet de doğru orantılı olarak artmaktadır.

Çizelge 4.7. Sertleşmiş Betona Uygulanan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer	İlgili Standart	Değerlendirme
Basınç Dayanımı için Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı	Kalıpların hazırlanması Betonun kalıplara doldurulması Betonun sıkıştırılması Yüzey tesviyesi İşaretleme Deney numunelerinin kütürü Deney numunelerinin nakliyesi	-	TS EN 12390-2, BS 1881-2	TS EN 12390-2, BS 1881-2'e göre uygundur
Beton Basınç Dayanımı Tayini	Ortalama Basınç Dayanımı — 7 Günlük * Dozajı, 350 kg/m ³ * Dozajı, 375 kg/m ³ * Dozajı, 400 kg/m ³ — 28 Günlük * Dozajı, 350 kg/m ³ * Dozajı, 375 kg/m ³ * Dozajı, 400 kg/m ³	170 kg/m ² 185 kg/m ² 221 kg/m ² 250 kg/m ² 284 kg/m ² 330 kg/m ²	TS EN 12390-3 (K.G.M., TADB Beton Karışım Rehberi)	Çizelge 4.9.'a göre; Ortalama Basınç Dayanımı için beton sınıfları belirlenmiştir. — 7 Günlük * BS 16 Beton sınıfı * BS 20 Beton sınıfı * BS 25 Beton sınıfı — 28 Günlük * BS 16 Beton sınıfı * BS 20 Beton sınıfı * BS 25 Beton sınıfı

Çizelge 4.8. Karakteristik Basınç Dayanımına Göre Beton Sınıfları (Şimşek, 2004)

Basınç Dayanımı Sınıfı	28 Günlük Basınç Dayanımı	
	150x300 mm silindir F _{ck} , MPa(N/mm ²)	150x150 mm küp f _{ck} , MPa (N/mm ²)
C 8/0	14	16
C12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Çizelge 4.9. Karakteristik Basınç Dayanımına Göre Beton Sınıfları
(Yollar Fenni Şartnamesi-Y.F.Ş., 2004)

Beton sınıfı	Karakteristik 28 Günlük Basınç Dayanımı		Karakteristik 28 Günlük Basınç Dayanımı		28 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı		Elastisite Modülü (28 Günlük)	
	Silindir (F _{ck}) Kgf/cm ²	(N/mm ²)	Eş Değer Küp(F _{ck}) Kgf/cm ²	(N/mm ²)	Silindir (F _{em}) Kgf/cm ²	Küp (F _{em}) Kgf/cm ²	Kgf/cm ² (N/mm ²)	
BS 14	140	14	160	16	180	220	261500	264500
BS 16	160	16	200	20	200	250	270000	270000
BS 20	200	20	250	25	260	325	285000	285000
BS 25	250	25	300	30	310	370	302500	302500
BS 30	300	30	350	35	360	420	318000	318000
BS 35	350	35	400	40	430	490	332000	332000
BS 40	400	40	450	45	480	540	345500	345500
BS 45	450	45	500	50	530	590	358000	358000
BS50	500	50	550	55	580	640	369500	369500

İlk dört satırdaki beton sınıfları normal beton, diğerleri yüksek dirençli (dayanımlı) beton olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.10. Beton Sınıfına Göre 1 m³ Sıkışmış Beton İçin Gereken Kuru Malzeme Miktarları

KULLANILAN MALZEME	BETON SINIFI ve MİKTARLARI			
	BS 16	BS 20	BS 25	
	Miktarı, Kg	Miktarı, Kg	Miktarı, Kg	
Su	179	179	179	
Çimento (PLÇ B 32.5 R - Sivas 02.2004)	358	384	411	
Kum	0-7 mm	768	749	725
Çakıl	7-15 mm	646	646	646
	15-30 mm	520	520	520
Hava (dm ³)	10	10	10	
Su/Çimento Oranı	0.50	0.46	0.44	

4.2.3. İnce Kum (Dere Malzemesi) Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hafik Kuru Deresi'nden getirilen ince kum üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan şartname sınır değerleri Çizelge 4.11'de, sonuçlar ve değerlendirmeler ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Betonda Karışımında Kullanılan İnce Agrega Şartname Sınırları (Y.F.Ş., 2004)

Agregaya Uygulanan Deneyler	Maksimum Şartname Limitleri %
	İnce
Kil Topakları	0.50
0.074 mm elekten geçen (Yıkabilir Maddeler)	
* Yüzeyi Aşınmaya Maruz Betonlarda	4
* Diğer Tip Betonlarda	5
Isı Değişikliklerine Dayanım (Don Zayıflığı Na ₂ SO ₄)	10
Organik Madde	Standart renkten koyu olmayacak
İncelik Modülü Limitleri	2.1-3.4

Çizelge 4.12. İnce Kum (Dere Malzemesi) Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer	İlgili Standart	Değerlendirme
(No.200) 0.074 mm Elekten Geçen Malzeme	0.074 mm Elekten Geçen Malzeme Miktarı	1.00 %	TS 706	TS 706 ve Çizelge 4.11'e göre; Uygundur
İnce Agregada Kil Topakları	Kil Topakları Miktarı	0.00	ASTM C 142	ASTM C 142 ve Çizelge 4.11'e göre; Uygundur
Beton İnce Agregasında Yabancı Organik Madde Tayini	Organik Madde Durumu	Renksiz	TS EN 1744-1, ASTM C40 ve C 87	TS EN 1744-1, ASTM C40 ve C 87 ve Çizelge 4.11'e göre; Uygundur
İncelik Modülünün Tayini	İncelik Modülü	3.54	-	Çizelge 4.11'e göre; Uygun değildir.
Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon	İnce Agregada (Kum) Hacim Özgül Ağırlık ve İnce Agregada (Kum) Absorpsiyonu	2.58 g. 2.66 %	ASTM C 127, 1992	ASTM C 127, (1992) ve Çizelge 4.5'e göre; Uygundur.

Sonuç olarak; beton karışımında kullanılan 0-7 mm Hafik Kuru Deresi ince agrega malzemesi (No.200) 0.074 mm elekten elenmiş ve elekten geçen malzeme miktarı TS 706'ya göre değerlendirilmiş ve malzemenin beton agregası olarak kullanım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde; malzeme içerisindeki kil topakları miktarı ASTM C 142 ve Çizelge 4.11'e organik madde miktarı ise TS EN 1744-1, ASTM C 40, ASTM C 87 ve Çizelge 4.11'e göre değerlendirilmiş ve malzemenin hem kil topakları hem de organik madde açısından beton agregası olarak kullanım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. İncelik modülü ise Çizelge 4.11'e göre değerlendirilmiş ve elde edilen incelik modülü değeri malzemenin beton agregası olarak kullanım için uygun olmadığını göstermiştir.

4.3. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Asfalt çimentosu olarak kullanılan Sivas Belediyesi asfalt şantiyesinden getirilen bitüm malzemesinin bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerin ilgili standartlara göre değerlendirilmesi Çizelge 4.13'de verilmiştir. Çizelge 4.13'den de görüleceği üzere, asfalt çimentosunun penetrasyon, parlama, yanma ve özgül ağırlık değerleri ilgili standartlara ve şartname sınır değerlerine uygundur.

Çizelge 4.13. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer	İlgili Standart	Değerlendirme	
				Şartname Sınırları	(Safli Kaplamalar ve Bitümlü Sıcak Karışımlar)
Penetrasyon Deneyi	Penetrasyon Değeri	89	ASTM D 5, 1992 ve TS EN 1426, 2003	75-150	ASTM D 5, 1992 ve TS EN 1426, (2003)'e göre; Uygundur (AC 75-150) penetrasyonlu asfalt
Parlama Noktası	Parlama Değeri Yanma Değeri	315 °C 322 °C	TS EN 1080-22592, 2003	Parlama: Minimum - 230 °C Yanma : -	TS EN 1081-22592, (2003)'e göre; Uygundur
Asfalt Çimentosu Özgül Ağırlık Deneyi	Özgül Ağırlık Değeri	1.013	KGM, TADB., 1993	-	KGM, TADB., (1993)'e göre; Uygundur

4.4. Asfalt Agregası Denev Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Asfalt agregası üzerinde gerçekleştirilen denev sonuçları, ilgili standartlar ve şartname sınır değerleri ile birlikte izelge 4.14'de verilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- i. erideresi taşocağına ait 1 ½"lik agreganın sağlamlık (don zayıatı) ve aşınma (malzeme kaybı) değerleri TS EN 1367-2, BS 812, ASTM C 131 ve izelge 4.14'de verilen şartname sınır değerlerine göre değerlendirilmiş ve agreganın sağlamlık ve aşınma açısından asfalt agregası olarak kullanım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- ii. Yol, esnek kaplamalar ve tek ve çift tabakalı sathi kaplamalarda kullanılacak olan agreganın yapışma (adhesive) ve soyulma mukavemeti değerleri nal (1993), K.G.M., TADB ve izelge 4.14'e göre değerlendirilmiş olup yapışma ve soyulma mukavemeti değerleri açısından malzemenin asfalt agregası olarak kullanımın uygun olmadığı görülmüştür. ITERLENE IN 400 S tipi dop kullanılarak denevler tekrarlanmış ve % 0.04-0.05 dopla en iyi sonuçlar alınmıştır. Yapışma açısından % 0.04 dop ve soyulma mukavemeti açısından ise % 0.05 dop kullanıldığı taktirde malzemenin asfalt agregası olarak kullanım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- iii. Bitümlü sıcak karışım tabakalarında kullanılan agreganın Marshall Stabilite değerleri ASTM D 1559-89 (1992) ve izelge 4.14'e göre değerlendirilmiş ve malzemenin asfalt agregası olarak kullanım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- iv. Optimum bitüm yüzdesinin tayin edilebilmesi için çeşitli bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait Marshall stabilite, birim ağırlık, bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu yüzdesi ve boşluk oranının grafikleri çizilmiştir. Asfalt imentosunun Marshall stabilite değerini maksimum yaptığı değer, maksimum birim ağırlığı veren asfalt imentosu oranı, şartnameye uygun olarak bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu yüzdesini % 80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı ve % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranı değerleri çizilen Şekil 3.6'daki grafikten bulunmuş ve bulunan dört asfalt oranının ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdesi miktarı % 5.54 olarak belirlenmiştir. Akma-bitüm grafiği aracılığıyla, bu orana karşılık gelen akma değerinin şartnamede belirtilen değerleri (10-20) arasında olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Çizelge 4.14. Asfalt Agregası Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney Adı	Ölçülen Özellik	Ölçülen Değer	İlgili Standart'a Uygunluğu	Değerlendirme									
				Şartname Sınırları					Değerlendirme				
				Alt Temel	Temel Tabakaları	Sahî Kaplama Mıçırı	Bitüm Temel	Üst	Alt	Binder Tabakası	Üst	Alt	Üst
Sajlanlık	Don Zayıflık	1.50 %	TS EN 1367-2, BS 812'ye uygundur	≤ 25	≤ 15	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 12	≤ 22	≤ 10	≤ 30
Asınma	Malzeme Kaybı	10.7 %	ASTM C 131'e Uygundur	≤ 50	≤ 40	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 22	≤ 30	≤ 30
Yapışma Deneyi	Agrega ile Bağlayıcı Arasındaki Değişim	13.0 % 1.00 % 0.00 %	Önal.M.A., 1993, (K.G.M., TADB)'e Uygundur	-	-	≤ 12 (Doplu:≤ 5)	-	-	-	-	-	-	-
Soyulma Mukavemeti Deneyi	Soyulma Mukavemeti	5-10 % 75-80 % 90-95 %	Önal.M.A., 1993, (K.G.M., TADB) Uygundur	-	-	≥ 50 (Doplu:≤ 5)	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50
Yassılık İndeksi Tayini	Agrega tanelerinin yassılık oranının sınıflandırılması (Yassılık İndeksi)	30 %	(BS 812)'ye uygundur	≤ 35	≤ 30	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 30	≤ 30
Marshall Stablitte Deneyi	Plastik akıma karşı direncin ölçümünü	75											
	* Darbe Sayısı (Her iki yüze)	1370 kg											
	* Stablitte	5.87 %											
	* Boşluk, Vh	64.5 %											
	* Asfalt Dolu Boşluk, Vf	1.51	ASTM D 1559-89, (1992)'ye Uygundur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	* Filler/Bitüm Oranı	1676 kg											
	* Maks. Teo. Özg. Agr., Dt	16.55 %											
	* Agregalar Arası Boşluk, VMA	2.96 mm											
	* Akma	5.54 %											
	* Opt. Bitüm Yüzdesi (Asf.Cimt.)												

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırma konusu olan ocak Çerçideresi köyü sınırları içerisinde yer almakta olup Çerçideresi köyü ile ocak alanı arasındaki mesafe 1050 m'dir. Deneyle ve literatür araştırmasıyla bazalt olduğu anlaşılan kayaç yayılımının, geniş olmakta birlikte altere olmuş seviyeler göz ardı edildiğinde, görünür rezervinin 1.000.000 m³ civarında olduğu söylenebilir. Betonlu oluşturan malzemeler içerisinde en büyük orana (yaklaşık % 75) sahip olan agreganın gelişen teknoloji ile birlikte hazır beton sektöründeki stratejik önemini her geçen gün arttırdığı yol yapı malzemesi olarak % 90-95'lik bir kısmı oluşturması nedeniyle yol yapım işlerinde alternatifsiz bir malzeme olduğu ve yerleşim yerlerine yakınlığı gibi etkenler göz önüne alındığında bu rezervin yöre için önemli bir kaynak oluşturduğu görülmektedir. 1999 yılında İstanbul'da düzenlenen II. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'nda dile getirildiği gibi, bu alanda ciddi planlamalar yapıp, önlemler alınmazsa, yakın gelecekte, agregaya ithali bile söz konusu olacaktır.

Çerçideresi Taşocağı bazaltlarının beton ve asfalt agregası olarak kullanılabilmesi için önem arz eden hususlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- i. Agregaya birim ağırlığı için belirli bir şartname sınırı olmayıp hafif agregalarda birim ağırlık, ince agregada 1200 kg/m³ ve kaba agregada ise 850 kg/m³'den daha az olmalıdır. Birim ağırlık; beton karışım hesabında ve boşlukların tayininde, hafif agregalarda ise şartnameye göre kalite kontrolünün yapılmasında kullanılmaktadır.
- ii. Bitümlü sathi kaplama tabakası olan aşınma tabakası gradasyonundan şartname limitleri içerisinde malzeme elde edilebilmesi açısından No.4 elek altı malzemenin tersiyer kırma ile küçültülmesi gerekmektedir.
- iii. Alttemel, grantler temel, plentmiks temel ve çimento bağlantılı grantler temel gibi yol alt yapı malzemeleri ile tek ve çift tabakalı sathi kaplama mıcırı, bitümlü temel, binder tabakası ve aşınma tabakası gibi üst yapı malzemelerinin üretimi için taşocağında işletme yaparken, üretilecek malzemeye göre elek takımları kullanılmalıdır.
- iv. Laboratuvar ortamında hazırlanan beton karışımı, karışımında kullanılan numunelerin kuru ağırlığına göre yapılmış olup şantiyedeki rutubet durumuna göre düzeltmeler yapılmalıdır.
- v. Kaba agregaya için % 0.25 ve ince agregaya için % 0.5 (maksimum % 1.0)'in altında kil topağı içeren agregaların beton agregası olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir. Daha fazla kil

topağı içeren agregalar ise mutlaka yıkanarak kullanılmalldırlar. Zira fazla kil topağı; beton içindeki bağlantıyı azaltmakta, beton yoğurma suyunun artmasına neden olmakta ve betonun basınç ve eğilme mukavemetlerini azaltmaktadır.

- vi. Beton karışımındaki 0-7 mm ince agrega sert ve sağlam taneciklerden oluşmalıdır.
- vii. Beton basınç dayanımı ve dayanıklılığı ince agreganın boşlukları iyi doldurmasına ve gradasyonuna bağlıdır. Mutlaka ince agreganın şartname sınırları içerisinde olduğu kontrol edilmelidir.
- viii. İnce agrega içerisinde çürümüş bitki kőkleri, meyveleri veya yaprakları gibi çeşitli asit ve türevlerini oluşturan malzemelerin yanısıra 0.074 mm elek altı malzeme oranı da önemli olduğundan agrega, mutlaka yıkanmış ve elenmiş olmalıdır.
- ix. Asfalt agregası, sathi kaplama olarak kullanıldığı zaman genelde AC 150–200 tipi asfalt imentosu kullanılır. Dopsuz yapılan deneylerde şartname limitlerinin tutturulamadığı görülmüştür. İTERLENE IN 400 S tipi dop kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan bu deneylerde % 0.04–0.05 dopla en iyi sonuçlar alınmıştır. Soyulma mukavemetinde % 0.05 yapışmada ise % 0.04 dop kullanılmalıdır.
- x. Agregaların kurutulması ve iyi bir karışırma ve işlenebilirlik sağlamak için asfalt çimentosunun uygun bir akıcılığa getirilmesi amacı ile karışırılmadan önce agrega ve asfalt çimentosunun (bitüm) ısıtılmaları gerekmektedir.
- xi. Asfalt agregasının sıcak karışımlarda kullanılabilirliğini incelemek için Marshall deneyi yapılmıştır. Bu deneyde en önemli amaç, optimum bitüm oranını tespit etmektir. Optimum bitüm oranı kayalara göre farklılık göstermektedir. Ayrıca, gradasyon çok önemlidir. Sıcak karışım gradasyonunu elde etmek için mevcut agrega muhakkak tersiyer kırıcıdan geçirilmelidir.
- xii. Asfalt agregası olarak aşınma tabakasının esas alınması ve aşınma tabakasında istenen bütün agrega özelliklerinin şartname limitlerine uygun olması, agreganın hem beton agregası hem de asfalt agregası olarak kullanılabileceğini göstermektedir.
- xiii. Sonuç olarak; Çerçideresi taşocağı malzemesi,
 - * Beton üretiminde,
 - * Alttemelde,

- * Temelde,
 - * Sıcak karışım tabakaları için malzeme üretiminde,
 - * Sathi kaplamada ve
 - * Sanat yapılarında
- kullanılabilmeye uygun nitelikte bir malzemedir.

xiv. Agregâ üretim ve kullanımında standardizasyonun temini ve sektörde yaşanan sorunların çözülebilmesi açısından bir Agregâ Üreticileri Birliği'nin (AGÜB) kurulması ve hazır betonda olduğu gibi, agregâ üretiminde de, standartlara uygunluğu ve kaliteyi hedefleyen bilinçli üreticilerin bir araya gelmesi sektörün geleceği açısından kuşkusuz önemli bir gelişme olacaktır.



KAYNAKLAR

- Ağar, E., Sütaş, İ., Öztaş, G., 1998. "BETON YOLLAR," İTÜ İnşaat Fak, İstanbul.
- ASTM C 117, 1994. Standard Test Metod for Matarials Finer than 75- μ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 123, 1994. Standard Test Metod for Lightweight Pieces in Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 127, 1981. Standard Test Metod for Specific Gravitiy and Absorption of Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 131, 1994. Standard Test Metod for Resistanse to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrosion and Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 136, 1983. Standard Metod for Sieve Analysis of fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 138, 1994. Standard Test Metod for UnitWeight, Yield, and Air Content of Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 142, 1994. Standard Test Metod for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 143, 1978. Standard for Slump of portland Cement Concrete, American for testing and materials.
- ASTM C 33, 1994. Standard Specification for Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 40, 1994. Standard Test Metod for Organic Impurities in Fine Aggregates in Fine Aggregates for Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 87, 1994. Standard Test Metod for Efect of Organic Impurities in Fine Aggregates in Fine Aggregate on Strength of Mortar, Annual Book of ASTM Standards.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2004. "Yollar Fenni Şartnamesi," Ankara
- BS 1881, 1975. Methods of testing fresh concrete, British Standards, Part 2.
- BS 812, 1970. Aggregate, British Standards. Part 1-4
- BS 882, 1983. Aggregates from Naturel Sources, British Standards.
- Cook, H.K., 1966. "Thermal Properties of Aggregates," Significance of tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, ASTM STP 169-A, pp.476-486.
- Demirci, A., 2005. "Sözlü Bilgi," Sivas.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. Ankara

- Güner, M.S., Süme, V., 2000. Yapı Malzemesi ve Beton, Erzurum
- Hacıömeroğlu, S., vd., Haziran 2001. K.G.M. "Nihai Çed Ön Araştırma Raporu," Ankara.
- Kaplan, M.F., 1959. "Flexsural and Compressive Strength of concrete as Affected by the Properties of Aggregates," J. Of American Institute, 55, pp. 1193-1208.
- Lees, G., 1964. "The Measurement of Particle Elongation and Flakines: A Cricikal Discussion of Britsh Standard and Other methods" Magazine of Concrete Research, Vol.16, No.49, pp.225-230.
- Mindess, s., Young, J.F., 1981. Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Mitchell, L.J., 1966. "Thermal Properties of Concrete," Significance of tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, ASTM STP 169-A, pp.202-210.
- Neville, A.M., 1981. Properties of concrete, Longman Scientific & Technical, England.
- Önal, M., Kahramangil, A.M., 1993. "Bitümlü Karışımlar El Kitabı," Ankara.
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., Aralık 1999. "Her yönüyle BETON," Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Öztabak, F.H., Gürsu, Y., 2002. "Beton ve Beton Malzemeleri Ders Notları" K.G.M. Teknik Araştırmalar Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Öztaş, T., vd., 1999. "2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu," Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Popovics, S., 1979. Concrete – Making Materials, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- Şimşek, O., 2003. Yapı Malzemesi II., 2. Baskı, İstanbul.
- Taşdemir, C., Başkoca, A., Özbek, E., 1997. "Betonda kalker Filler Kullanımı," 3. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Eskişehir, s.209-222.
- Terz, S., 2000, "Mermer toz atıkların asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması," Yüksek Lisans Tezi. Isparta.
- Topçu, İ.B., 1998. "Taşunu Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi," Hazır Beton, Sayı 29, s.67-70.
- TS 1080, 1980. "Parlama Noktası Tayini Metodu" - Tagliabue Açık Kabı ile-, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 118, 1980. "Bitümlü Maddelerin Penetrasyon Deniyi için Metot" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2941, 1978. "taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini," Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3526, 1980. Beton Agregalarında Birim Ağırlık Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3527, 1980. Beton Agregalarında İnce Madde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 3528, 1980. Beton Agregalarında Hafif Madde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarında Birim Ağırlık Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3655, 1981. Beton Agregalarının Dona Dayanıklılık Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3673, 1973. Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3694, 1981. Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık-Aşınma Oranı Tayini Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3814, 1983. Beton Agregalarında Tane Şekli Sınıfı Tayini Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3820, 1983. Beton Agregaları - Organik Maddelerin Harç Dayanımına Etkisinin Tayini Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706, 1980. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802, 1985. Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12350-2, 2002. Beton. Taze Beton Deneyleri., Çökme (Slamp) Deneyi., Bölüm:2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2, 2002. Beton. "Sertleşmiş Beton Deneyleri," Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi. Bölüm:2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2002. Beton. "Sertleşmiş Beton Deneyleri," Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini., Bölüm:3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-1, 2001. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler- Bölüm:1 Donma ve Çözünmeye Karşı Direncin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, 2001. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler- Bölüm:2 Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1, 200. "Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler," Kimyasal Analiz, Bölüm:1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları., İstanbul.
- Vail, J.G., 1979. Soluble Siligates, Vol.1, Reinhold Publising Corp., New York, pp.98-99.
- Woolf, D.O., 1966. "Toughness, Hardness, Abrosion, Strenght, and Elastic Properties of Aggrettes," Significance of tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, ASTM STP 169-A, pp.462-475.
- www.agrega.org.tr, 2005. Agrega.
- Yiğit, A., 2000. Taş Ocağı İşletmeciliği (Bitirme Tezi). Sivas

ÖZGEÇMİŞ

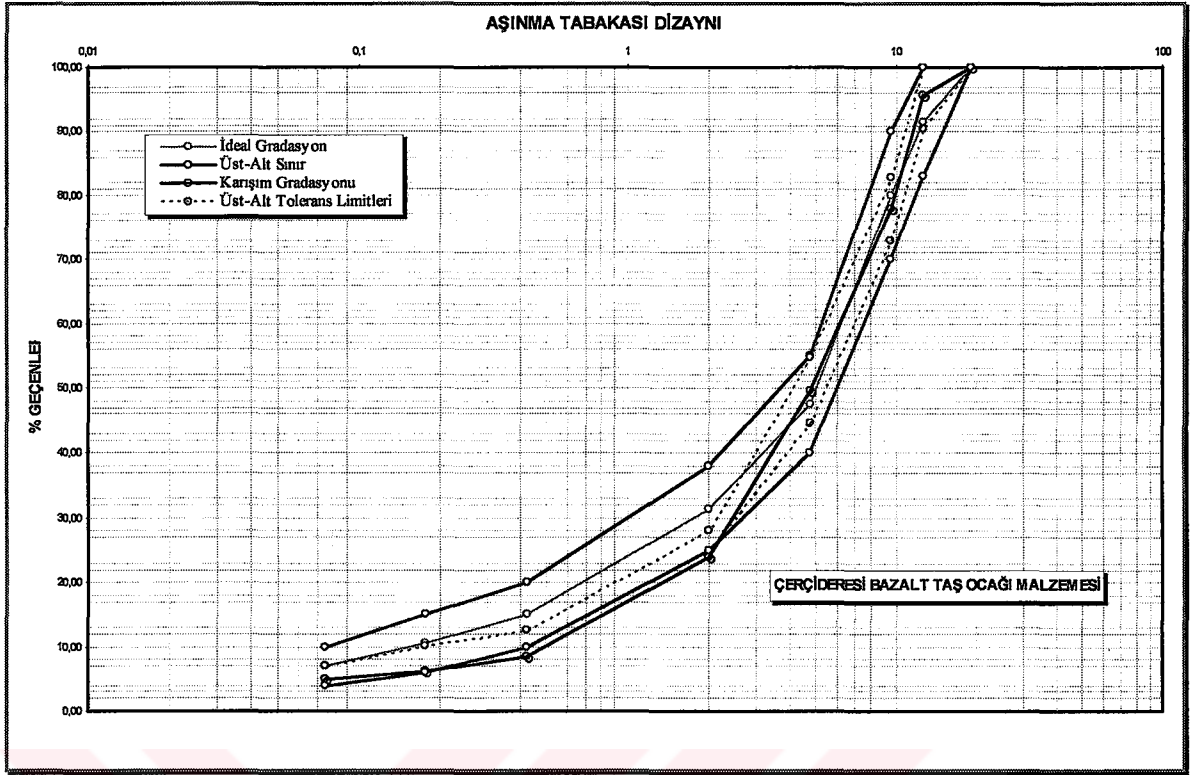
Ahmet Yiğit, 1972 yılında Sivas'ta doğdu. İlk, Orta ve Lise tahsilini Sivas'ta tamamladı. 1992 yılında KGM'ünde memuriyete atandı. 1995 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2000 yılı dönem birincisi olarak mezun oldu. 2002 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2004 yılında KHGM'ne geçiş yaptı. Halen, Sivas Valiliği İl Özel İdaresi'nde şantiye şefi olarak çalışmaktadır.

Orta derecede Almanca ve altı ay İngilizce kursu almıştır. Evli ve üç çocuk babasıdır.



EK – A

ÇERÇİDERESİ BAZALT TAŞ OCAĞI MALZEMESİ GRADASYON GRAFİĞİ



AŞINMA TABAKASI											
Elek BOYLARI		1	2	3	4	ŞARTNAME	İDEAL	KARIŞI M	TOL.SINIR.		
3/4	19	100,00	100,00	100,00	0,00	100	100	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2	12,5	87,40	100,00	100,00	0,00	83	100	91,50	95,59	90,59	100,00
3/8	9,5	37,00	100,00	100,00	0,00	70	90	80,00	77,95	72,95	82,95
No. 4	4,75	0,90	42,40	90,80	0,00	40	55	47,50	49,66	44,66	54,66
No. 10	2	0,80	5,70	50,20	0,00	25	38	31,50	24,01	25,00	28,01
No. 40	0,425	0,80	3,20	16,90	0,00	10	20	15,00	8,53	10,00	12,53
No. 80	0,177	0,80	3,00	11,70	0,00	6	15	10,50	6,15	6,00	10,15
No. 200	0,075	0,70	2,70	9,20	0,00	4	10	7,00	4,93	4,00	6,93



EK – B
AGREGA DENEY KARTI

EK – C
AGREGA DENEY KARTI

Kaba Agregatın Özgül Ağırlığı ve Absorbsiyonu			
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı gr.		
B	Doygun yüzey kuru malzeme ağırlığı gr.		
C	Doygun malzemenin suda ağırlığı gr.		
A/B-C	Hacim özgül ağırlığı - kuru		
B/B-C	Hacim özgül ağırlığı - doymun yüzey, kuru		
A/A-C	Zahiri özgül ağırlık		
(B-A/A)*100	Absorbsiyon yüzdesi		
AÇIKLAMA :			

İnce Agregatın Özgül Ağırlığı ve Absorbsiyonu			
A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı gr.		
B	Doygun yüzey kuru malzeme ağırlığı gr.		
C	Volumetrik kab + Su + İnce agregat ağırlığı gr.		
D	Volumetrik kab + 500 ml. İşaretine kadar su dolu ağırlığı gr.		
E	Volumetrik kabın boş net ağırlığı - Vol. Kab. No. gr.		
A/B+D-C	Hacim özgül ağırlığı - kuru -		
B/B+D-C	Hacim özgül ağırlığı - doymun yüzey, kuru -		
A/A+D-C	Zahiri özgül ağırlık		
(B-A/A)*100	Absorbsiyon yüzdesi		
AÇIKLAMA :			

Agregatın Los Angeles Aşınma Deneyi			
	Granülometriye göre aşınma sınıfı		
B	İlk ağırlık		
C	Son ağırlık		
B - C	Fark		
(B-C/B)*100	Aşınma yüzdesi		
AÇIKLAMA :			

Agregatta No. 200 den Geçen İnce Malzeme			
A	Numune kuru ağırlığı, gr.		
B	Temizlendikten sonra kuru ağırlığı, gr.		
A - B	Kayıp miktarı. (fark)		
(A-B/A)*100	No. 200 den geçen ince malzeme yüzdesi		
AÇIKLAMA :			

Agregatın Birim Ağırlığı				
M E T O D	Sıkışık		Gevşek	
	Çakıl	Kum	Çakıl	Kum
Ölçeğin su dolu ağırlığı, gr.				
Ölçeğin hacmi, cm ³				
Ölçeğin su dolu ağırlığı, gr.				
Ölçeğin boş ağırlığı, gr.				
Ölçeğin agregatta dolu ağırlığı, gr.				
Agregatın birim ağırlığı, kg/m ³				
AÇIKLAMA :				

Agregatın İçindeki Boşluklar			
Hacim özgül ağırlığı x 1000 - doymun yüzey kuru -			
Birim ağırlığı, kg/m ³			
Hava boşlukları, %			
AÇIKLAMA :			