

170924

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**




MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


**HARŞİT ÇAYINDAN (Tirebolu-Giresun) ELDE EDİLEN KIRILMIŞ DERE
MALZEMESİNİN BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Maden Müh. İbrahim ÇAVUŞOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Maden Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.06.2005
Tezin Savunma Tarihi : 07.07.2005**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ali Osman YILMAZ 
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL 
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ 

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT 

Trabzon 2005

ÖNSÖZ

Çalışma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada Harşit çayından elde edilen kırılmış dere malzemesinin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla buradan elde edilen malzemeler üzerinde Türk Standartlarına uygun deneysel çalışmalar yapılarak agregaların beton agregası olarak uygunluğu ve beton karışım deneyleri yapılarak beton içerisindeki dayanım değerlerini belirlemek amaçlanmıştır.

K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen 2003.112.008.1 no'lu "Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Taşocaklarının Mevcut Üretim Yöntemlerinin-Ocak Malzemesinin İncelenmesi ve En Uygun Üretim Yönteminin Geliştirilmesi" adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Gerekli desteği verdiği için K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana yardımcı olan ve verilerin yorumlanmasında gösterdikleri yardım ve yapıcı eleştirilerinden dolayı öncelikle danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ali Osman YILMAZ'a, bölüm başkanımız Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'e, Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALP'e, Yrd. Doç. Dr. Hacı DEVECİ'ye ve Yrd. Doç. Dr. Mithat VICİL'a teşekkürlerimi sunuyorum. Tezim boyunca bana manevi desteklerini esirgemeyen oda arkadaşlarım Araş. Gör. Tuğba YILMAZ'a, Araş. Gör. Oktay CELEP'e, Araş. Gör. Ersin Yener YAZICI'ya ve deneysel çalışmamda bana yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Ferdi CİHANGİR ve Araş. Gör. Bayram ERÇIKDI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca tez süresi boyunca tüm deneysel çalışmalarımı yapmam için bana olanak sağlayan DOĞUŞ-POLAT Ortak Girişim Grubu'nun çok değerli yetkilileri ve laboratuvar çalışanlarına da teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmamın başından beri her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen özellikle aileme ve arkadaşlarıma sevgilerimi sunuyorum.

İbrahim ÇAVUŞOĞLU
Trabzon 2005

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
ABSTRACT	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Agregalar	1
1.2. Agregaların Sınıflandırılması	3
1.2.1. Kaynağına Göre	4
1.2.1.1. Doğal Agregalar	4
1.2.1.2. Yapay Agregalar.....	5
1.2.2. Tane Şekline Göre	8
1.2.3. Yüzey Dokusuna Göre.....	9
1.2.4. Özgül Ağırlığına Göre	10
1.2.4.1. Hafif Agregalar.....	10
1.2.4.2. Normal Agregalar	11
1.2.4.3. Ağır Agregalar	11
1.2.5. Tane Büyüklüğüne Göre.....	11
1.2.5.1. İri	11
1.2.5.2. İnce	11
1.2.6. Jeolojik Kökenine Göre	12
1.2.6.1. Magmatik Kayaçlar	13
1.2.6.2. Tortul Kayaçlar.....	14
1.2.6.3. Metamorfik Kayaçlar.....	14
1.2.7. Mineralojik Yapısına Göre	15
1.2.8. Reaktif Özelliklerine Göre.....	15
1.2.9. Üretime Göre	15
1.3. Beton Agregalarına Uygulanan Deneyler.....	16
1.3.1. Agregalardan Numune Alma ve Hazırlama	16

1.3.2. Agreganın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler	18
1.3.2.1. Granülometri (Tane Dağılımı).....	18
1.3.2.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdesi	20
1.3.2.3. Agregalarda Birim Hacim Ağırlık.....	24
1.3.3. Agreganın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler	25
1.3.3.1. Agregalarda Dona Dayanıklılık.....	25
1.3.3.2. Aşınma Dayanımı (Los Angeles deneyi).....	26
1.3.4. Agreganın İçinde, Betona Zarar Veren Maddelerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler (Zararlı Maddeler)	27
1.3.4.1. İnce Madde Oranı Tayini (Yıkanabilir Maddeler)	27
1.3.4.2. Hafif Maddeler	28
1.3.4.3. Organik Maddeler.....	28
1.3.4.4. Alkali-Agrega Reaksiyonuna Sebep Olan Maddeler.....	29
1.4. Agreganın Üretim Yöntemleri.....	29
1.4.1. Taşocağı İşletmeciliği Yöntemleri.....	30
1.4.1.1. Galeri Üretim Yöntemi.....	30
1.4.1.2. Kademeli Üretim Yöntemi	32
1.2. Beton.....	35
1.2.1. Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkileri.....	36
1.2.2. Agreganın Tipinin Beton Dayanımına Etkileri ve Yapılan Bazı Çalışmalar	40
1.2.3. Kırmataş Kullanımının Beton Dayanımına Etkileri	43
1.3. Beton Karışım Dizaynı	45
1.3.1. Ağırlık veya Mutlak Hacim Metodu	46
1.3.1.1. Örnek Problem.....	47
1.4. Nokta Yük Dayanımı.....	50
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	54
2.1. Malzeme	54
2.2. Çalışma Sahasının Yeri ve İşletmenin Durumu	54
2.3. Bölgenin Jeolojisi	56
2.4. Araziden Numunenin Alınışı.....	58
2.5. Agregalara Yapılan Deneyler	58
2.5.1. Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı (Elek Analizi).....	59
2.5.1.1. Agregaların Karışım Değerleri ve Eğrisi	61
2.5.1.2. Agreganın İncelik Modülünün Hesaplanması	64
2.5.2. Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı	64

2.5.2.1. İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı.....	64
2.5.2.2. İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı.....	65
2.5.3. Agregalardaki İnce Madde Miktarı	66
2.5.4. Agregadaki Hafif Madde Oranı	67
2.5.5. Agregaların Birim Ağırlığı	68
2.5.5.1. Sıkışık Birim Ağırlık	68
2.5.5.2. Gevşek Birim Ağırlık	69
2.5.6. Yassılık İndeksi Tayini.....	70
2.5.7. Agregalardaki Dona Dayanıklılık Tayini	71
2.5.8. Agregaların Aşınma Dayanımı (Los Angeles Aşınma) Deneyi	73
2.6. Nokta Yük İndeksi Deneyi	74
2.7. Beton Karışım Deneyleri	76
2.7.1. 300 kg/m ³ Çimento Oranında Beton Karışım Miktarlarının Hesaplanması.....	77
2.7.2. Hazırlanan Bütün Beton Karışımların Miktarları	79
2.7.2. Beton Karışım Oranlarının Hacimce ve Ağırlıkça %'lik Dağılımları	80
2.7.3. Çökme Deneyi	84
2.7.4. Beton Küp Numunelerinin Hazırlanması ve Basınç Dayanımı Tayini	85
3. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME.....	87
3.1. Agregada Testleri	87
3.2. Beton Testleri	89
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
5. KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ÖZET

Agregalar, beton hacminin yaklaşık olarak %75'ini oluşturan mineral kökenli bir malzemedir. Beton içerisinde %75 gibi büyük bir paya sahip olan agregaların beton özellikleri üzerine de etkisi o denli önemlidir. Bu nedenle betonda kullanılan agregaların mevcut standartlara uygunluğu şarttır.

Bu çalışmada Harşit çayından elde edilen ve Kuşkayası kırma-eleme tesisinde (Tirebolu-Giresun) üretilen kırılmış dere malzemesinin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kırma-eleme tesisinde 0-9 mm, 9-15 mm ve 15-25 mm boyutunda 3 farklı malzeme üretimi yapılmaktadır. Malzemelerin elek analizi, özgül ağırlık ve su emme kapasitesi, birim hacim ağırlık (sıkışık ve gevşek), ince madde oranı, hafif madde oranı, yassılık indeksi, dona dayanıklılık, aşınma dayanımı (Los Angeles) ve nokta yük indeksi değerleri TSE standartlarına göre belirlenmiştir. Ayrıca bu üç malzemenin karışımından 300-350-400 kg/m³ çimento içeren ve her bir çimento miktarı için 0,45-0,55-0,65 su/çimento oranlarında betonlar üretilerek 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonrasında elde edilen verilerin standart verilere uygun olduğu ve malzemenin beton agregası olarak kullanılabileceği görülmüştür. Ölçülen 28 günlük ortalama basınç dayanım sonuçlarından yola çıkarak malzemeyle BS30'a kadar dayanımda betonlar için uygun karışımda betonlar üretilebileceği görülmüştür. Ayrıca beton dayanımının su/çimento oranının artmasıyla azaldığı, su/çimento oranı sabit olduğunda çimento dozajının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Agregas, Agregas Testleri, Beton, Beton Karışımı, Su/Çimento Oranı, Basınç Dayanımı, Nokta Yük İndeksi

ABSTRACT

Investigation of The Potential Use of The Crushed Material Obtained from Harşit River (Tirebolu-Giresun) as Concrete Aggregate

Aggregates are mineral-rooted materials that form 75% of concrete composition. Aggregates with such a big volume as 75% in the concrete, have a big effect on the characteristics of concrete. Therefore, the qualification of the aggregates used in concrete construction is compulsory to require current standarts.

In this study, the potential use of the crushed material in Kuşkayası crushing-screening plant (in Giresun-Tirebolu) as concrete aggregate was investigated. The material obtained from Harşit River, is crushed-screening in to three different size fractions 0-9 mm, 9-15 mm and 15-25 mm in the plant. Particle size distrubition, spesific gravity and water absorption, unit weight (tight and loose), ratio of material fine, ratio of lightweight material, frost resistance, Los Angeles abrasion and point load index were caried out on these materials according to TSE standarts. Furthermore, concrete mixtures using the different size fractions of the crushed material at different cement dosages for 300 kg/m³, 350 kg/m³, 400 kg/m³ and different water/cement ratios for 0,45-0,55-0,65 were prepared. And finally, concrete pressure strength for 28 and 7 days were measured. The results have shown that the material satisfies the requirements and could be used as concrete aggregate. Besides, concretes can be prepared to BS 30 for the measured 28 days compressive strength. It was also shown that the compressive strength of the concrete produced decreased with the increase in the water-cement ratio while it increased with the increase in the cement dosage.

Keywords : Aggregates, Aggregates Tests, Concrete, Concrete Mixture, Water/Cement Ratio, Compressive Strength, Point Load Index

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Agregaların sınıflandırılması.....	4
Şekil 1.2. Agregata tane şekillerinin diyagramatik gösterimi	8
Şekil 1.3. Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması	12
Şekil 1.4. Agregalara yapılan deneylerin grafiksel gösterimi	16
Şekil 1.5. Dörde bölerek küçültme	17
Şekil 1.6. Bölgeç aygıtı kullanarak numune küçültme	18
Şekil 1.7. Referans granülometri eğrileri ($D_{max} = 31,5$ mm).....	19
Şekil 1.8. Agregadaki farklı rutubet durumları.....	21
Şekil 1.9. İnce malzemenin özgül ağırlık ve su emme yüzdesinin hesabı.....	23
Şekil 1.10. Agregalara yapılan Dona dayanım deneyinin şekilsel gösterimi	25
Şekil 1.11. Los Angeles aşınma makinesi	26
Şekil 1.12. Agregalara yapılan Los Angeles aşınma dayanım deneyinin şematik gösterimi	27
Şekil 1.13. Alkali agregata reaksiyonunun diyagramatik gösterimi.....	29
Şekil 1.14. Agregata üretim yöntemleri	30
Şekil 1.15. Galeri patlatma yöntemi	30
Şekil 1.16. İdeal kademeli çalışma şekli ve kademelerdeki çalışma planı	32
Şekil 1.17. Taş ocaklarında oluşturulmuş ideal bir kademeli işletme sisteminin son durumu	33
Şekil 1.18. Kademeli işletme sistemindeki 3. ve 1. kademe sahalarında delme ve patlatma hazırlıkları yapılırken zemindeki taban sahasında ve 2. kademe sahasında ise yükleme ve nakliye çalışmaları yapılmaktadır	34
Şekil 1.19. Kademeli işletme sistemindeki zemindeki taban sahasında ve 2. kademe sahalarında delme ve patlatma hazırlıkları yapılırken 1. ve 3. kademe sahasında ise yükleme ve nakliye çalışmaları yapılmaktadır	34
Şekil 1.20. Beton dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki ilişki	37
Şekil 1.21. Su/çimento oranı basınç mukavemeti ilişkisi.....	38
Şekil 1.22. Beton basınç dayanımı ile çimento miktarı arasındaki ilişki	40
Şekil 1.23. Agregata türünün basınç dayanımı- su/çimento oranı üzerindeki ilişkisi.....	44
Şekil 1.24. Beton karışım dizaynı için bilinmesi gereken bazı koşulların diyagram biçiminde gösterimi.....	45

Şekil 1 25. Örnek şekilleri; (a) çapsal ,(b) eksenel, (c) blok ve (d) düzensiz şekilli örnekler	52
Şekil 2.1. Çalışma sahası	54
Şekil 2.2. Kuşkayası taşocağı kırma-eleme tesisinin akım şeması	55
Şekil 2.3. Harşit vadisi ve civarının jeolojisi	56
Şekil 2.4. Malzemelere yapılan deneysel çalışmalar	59
Şekil 2.5. Agregalara yapılan elek analizinde kullanılan elekler	60
Şekil 2.6. Agregasyon kombinasyon eğrisi	63
Şekil 2.7. TS 3694'e uygun Los Angeles aşınma makinesi	73
Şekil 2.8. Geçersiz kırılma gösteren numuneler	75
Şekil 2.9. Nokta yük indeksi sonuçları ile Deere sınıflandırmasının karşılaştırılması	76
Şekil 2.10. 300 kg/m ³ çimento 0,45 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	80
Şekil 2.11. 300 kg/m ³ çimento 0,55 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	81
Şekil 2.12. 300 kg/m ³ çimento 0,65 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	81
Şekil 2.13. 350 kg/m ³ çimento 0,45 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	82
Şekil 2.14. 350 kg/m ³ çimento 0,55 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	82
Şekil 2.15. 350 kg/m ³ çimento 0,65 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	83
Şekil 2.16. 400 kg/m ³ çimento 0,45 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	83
Şekil 2.17. 400 kg/m ³ çimento 0,55 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	84
Şekil 2.18. 400 kg/m ³ çimento 0,65 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları	84
Şekil 2.19. Çökme hunisinin doldurulması (a) ve çökme değerinin ölçülmesi (b)	85
Şekil 2.20. Beton küp numunelerin hazırlanması (a) ve beton basınç dayanım ölçümü (b)	86
Şekil 3.1. 7 günlük basınç dayanım değerleri	89
Şekil 3.2. 28 günlük basınç dayanım değerleri	90
Şekil 3.3. 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımı-su/çimento oranı ilişkisi	91
Şekil 3.4. 350 kg/m ³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 28 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki	91

Şekil 3.5. 350 kg/m ³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 7 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki	92
Şekil 3.6. 400 kg/m ³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 28 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki	92
Şekil 3.7. 400 kg/m ³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 28 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki	93



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Ülkemizde kullanılan mıcır numaraları ve çapları	1
Tablo 1.2. Agregaların tane şekline göre sınıflandırılması	9
Tablo 1.3. Agregaların yüzey özelliklerine göre sınıflandırılması	10
Tablo 1.4. Örnek beton karışımı dizaynı için malzeme miktarları	47
Tablo 1.5. Malzemelerin rutubet düzeltmesi	49
Tablo 2.1. 0-9 mm malzemenin elek analizi sonucu	60
Tablo 2.2. 9-15 mm malzemenin elek analizi sonucu	61
Tablo 2.3. 15-25 mm malzemenin elek analizi sonucu	61
Tablo 2.4. Malzemelerin elek analizi ve standart gradasyonu	62
Tablo 2.5. Denklem çözümü ile nihai gradasyon analiz sonucu	63
Tablo 2.6. İnce malzemenin özgül ağırlık ve su emme deneyi sonucu	65
Tablo 2.7. Kaba malzemenin özgül ağırlık ve su emme deneyi sonucu	66
Tablo 2.8. İnce madde oranı tayini	67
Tablo 2.9. Hafif madde oranı	67
Tablo 2.10. Birim ağırlık tayini deneyinde kullanılan ölçü kabı özellikleri	68
Tablo 2.11. Malzemelerin sıkışık birim ağırlıkları	69
Tablo 2.12. Malzemelerin gevşek birim ağırlıkları	69
Tablo 2.13. 9-15 mm malzemenin deney elekleri ile belirli tane büyüklüğüne ayrılması ..	70
Tablo 2.14. 15-25 mm malzemenin deney elekleri ile belirli tane büyüklüğüne ayrılması	71
Tablo 2.15. Yassılık indeksi sonuçları	71
Tablo 2.16. Dona dayanıklılık tayini deneyi için gerekli deney numunesi miktarı	72
Tablo 2.17. Agregaların sodyum sülfat (Na ₂ SO ₄) ile yapılan Dona dayanım sonuçları	72
Tablo 2.18. Los Angeles aşınma kaybı deney sonuçları	74
Tablo 2.19. Nokta yük indeksi sonuçları	75
Tablo 2.20. Nokta Yüğü Dayanım Sınıflandırması, I _{s(50)}	76
Tablo 2.21. 300 kg/m ³ çimento ve 0,45 su/çimento oranındaki karışım için veriler	77
Tablo 2.22. Rutubet hesaplanması	78
Tablo 2.23. Rutubet hesaplamasından sonra karışım miktarlarının yeniden düzenlenmesi	79
Tablo 2.24. Hazırlanan bütün beton küp numunelerinin bileşim miktarları	79

Tablo 2.25. Rutubet düzeltmesinden sonraki karışım miktarları.....	80
Tablo 2.26. Çökme deneyi sonuçları	85
Tablo 2.27. Küp numunelerin basınç dayanımları	86
Tablo 3.1. Agregaların fiziksel özellikleri.....	87
Tablo 3.2. Malzemelerin özelliklerinin standartlarla karşılaştırılması	88
Tablo 3.3. Beton sınıfları ve dayanımları	90



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Agregalar

Agrega, doğal, yapay veya her ikisinden yoğun mineral malzemenin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış ve/veya kırılmamış tanelerinin bir yığını olarak tarif edilen agregalar, inşaat sektöründe ve alt yapıda kullanılması zorunlu olan ve ikame edilemez temel girdi durumundadır (Yılmaz vd., 2003). Değişik boyutlardaki mineral kökenli sert tanelerden oluşan agregalar, en önemli yapı malzemelerinden olan betonun hacim olarak %60-%80'ini oluşturur. Ayrıca, agregalar kara yolları gibi mühendislik yapılarının ana malzemelerindendir (Baradan, 2004).

Agregalar, doğadan (akarsu yatakları, deniz kıyıları, çöl) doğrudan doğruya taneli olarak temin edilebildikleri gibi, taşocağı işletmeciliği ile üretilen taş bloklarının kırılıp eleme işlemleri sonucunda da elde edilebilirler. Bu şekilde elde edilen taneli malzemeye “kırmataş”, kırmataş tesislerinin atığı olan ince taneli malzemeye “kırmakum” (taşunu-filler) denilmektedir (Arioğlu vd., 1999a). Kırmataş ve kırmakuma “mıcır” adı da verilir. Ülkemizde kullanılan mıcır numaraları ve bunlarla ilgili elek çapları Tablo 1.1'de verilmiştir (Güner ve Süme, 2001). Ancak, hiçbir işlem gerektirmeyen temiz, uygun yapı ve dağılımda agrega da doğada bulunabilir. Genellikle köşesiz ve yuvarlak olan bu doğal malzemenin incesine “kum”, kabasına “çakıl” adı verilir. Kum ve çakılın bir arada bulunduğu malzemeye tüvenan agrega adı verilir (Baradan, 2004).

Tablo 1.1. Ülkemizde kullanılan mıcır numaraları ve çapları (Güner ve Süme, 2001).

Mıcır	Üzerinde kaldığı elek çapı (mm)	Geçtiği en küçük elek çapı (mm)
1 No	4	12
2 No	12	24
3 No	24	30
4 No	30	40

Beton agregaları için en küçük boyut 60 μm 'dir. 60 μm ile 2 μm arasındaki taneli malzeme "silt", 2 μm 'den ince malzeme "kil" olarak tanımlanır. Beton literatüründe kabaca 4,75 mm'den küçük malzemeye "ince agrega" veya sadece "kum" denilir. 4,75 mm ile en büyük boyut $d_{\text{max}} = 40$ mm (betonarme betonu) arasındaki taneli malzemeye ise "iri agrega" denir (Arıoğlu vd., 1999a).

Agregalar, beton yapımında çimento, su ve eğer gerekiyorsa ilave katkılarla birlikte kullanılır ve beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturduğu için özelliklerinin hayli önemli olduğu çok şaşırtıcı değildir. Uygun özelliklere sahip olmayan agregalarla beton üretilmeyebilir fakat agregaların özellikleri büyük ölçüde betonun durabilitesi ve yapısal performansını etkiler.

Beton yapımında kullanılan temel malzemeler (çimento, su ve agrega) arasında en pahalı olanı çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre oldukça düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olabildiği kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasını sağlar. Beton yapımında agrega kullanılmasının tek nedeni daha ekonomik beton üretmek değildir. Agreganın betonun mekanik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır. Agreganın sağladığı mekanik yararları şöyle özetleyebiliriz (Neville, 2000; Erdoğan, 2003);

- Çimento hamuru, zamanla, kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Betonun içerisinde bulunan agrega taneleri, çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin serbestçe yer alabilmesini belirli ölçüde engellemektedir. O nedenle, sadece çimento hamurundan oluşmuş olan bir malzemeye oranla, betonun göstereceği hacim değişikliği ve buna bağlı olarak yer alabilecek çatlaklar daha az olmaktadır.
- Beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle, sert ve dayanımı oldukça yüksek olan malzemelerdir. Agreganın dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkenlere karşı daha dayanıklı olabilmesine yardımcı olmaktadır.

Beton yapımında kullanılacak agreganın değişik özelliklerinin araştırılması gerekmektedir. Araştırılması gereken bu özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz; gradasyon, maksimum tane büyüklüğü, tane şekli, yüzey dokusu, su emme kapasitesi, birim ağırlık, özgül ağırlık, agregadaki zararlı yabancı maddelerin türü ve miktarı, aşınmaya

dayanıklılık, dona dayanıklılık, dayanım, elastiklik modülü ve ısısal özellikler. Yukarıdaki özelliklerin tümü, üretilecek betonun özelliklerini etkilemektedir (Erdoğan, 2003).

Genel olarak beton agregalarının seçiminde dikkat edilecek hususlar şunlardır (Özkan, 2000);

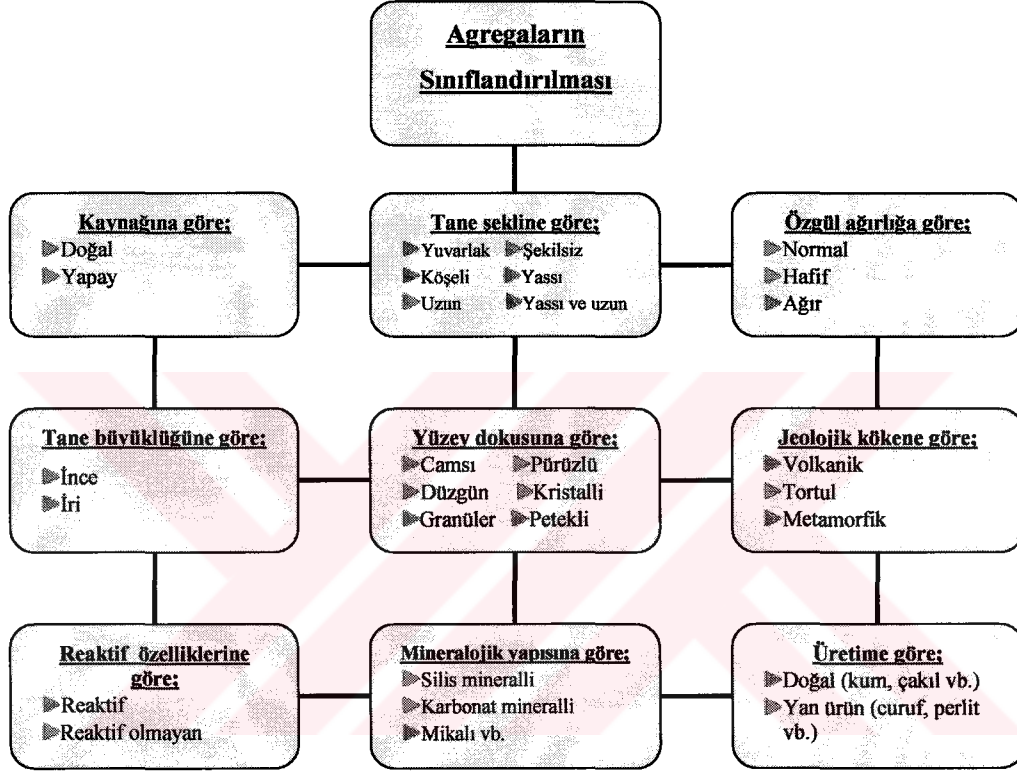
- ▶ Agregaların kompasitesi (doluluk oranı) maksimum, toplam yüzeyi minimum olmalıdır. Bu husus boşluksuz bir beton dokusu oluşturmaya yönelik olup, çimento ekonomisi ve işlenebilirlik için gerekli bir işlemdir.
- ▶ Beton üretiminde kullanılacak agreganın rutubet ve sıcaklık tesirinden dolayı hacim değişikliği göstermemesi gerekir.
- ▶ Agregaların sağlam, fiziki olarak sert ve su emme yüzdesinin ve porozitesinin düşük, dona karşı dayanımının da yüksek olması gerekir. Özellikle dona ve aşınmaya maruz betonlarda agreganın fiziki olarak sağlam olması koşulu aranır. Su emmesi ve porozitesi düşük agregalar betonun dona karşı dayanımında oldukça önemli rol oynarlar.
- ▶ Agregalar beton için zararlı maddeleri içermemelidirler. Bazı agregaların içerisindeki kalsiyum ve magnezyum sülfatlar, çimentonun hidratize alüminatları ile reaksiyona girerek büyük hacimli tuzları meydana getirerek betonun hacim genişlemesi ile parçalanmasına sebep olurlar.

Yapı mühendisliğinde yaygın kullanım alanı olan betonun üretiminde yuvarlak taneli doğal iri agreganın ve kumun bulunup kullanılması oldukça zordur. Bunun yerine taş ocaklarından sağlanan kırmataş iri agregaları ve kırmakum kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli beton üretiminde kırmataş iri agregası doğal çakıla göre mekanik dayanım bakımından daha iyi sonuç vermektedir (Taşdemir vd., 2003).

1.2. Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar genel olarak kaynağına göre, tane şekline göre, özgül ağırlığına göre ve tane büyüklüğüne göre sınıflandırılmaktadırlar. Ama bunların dışında çok değişik özellikleri ile de sınıflandırılabilirler (Şekil 1.1). Sınıflandırma işlemi, agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları kullanılacakları alana göre daha doğru tarzda kullanabilmek amacıyla yapılmaktadır (Yılmaz vd., 2003).

Sınıflandırma işlemi belirli bir sınıf içerisinde yer alan agreganın beton için uygunluğunu göstermez. Herhangi bir agreganın beton yapımı için uygunluğuna karar vermek için o agreganın deneysel olarak özelliklerinin saptanmasına ve agrega standartlarında belirtilen değerlere uygun olup olmadığının araştırılmasına gerek vardır (Erdoğan, 1995).



Şekil 1.1. Agregaların sınıflandırılması

1.2.1. Kaynağına Göre

1.2.1.1. Doğal Agregalar

Nehir yatakları, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, teraslar, taş ocakları gibi doğal kaynaklardan elde edilmiş fakat konkasörde kırma, eleklerden eleyerek değişik tane boyu sınıflarına ayırma ve yıkama işlemleri dışında, doğadaki yapılarında değişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmamış olan agregalardır. Kum, çakıl ve kırmataş, en tipik ve en çok kullanılan doğal agregalardır. Hafif beton yapımında kullanılan pomza taşı ve bims

gibi hafif agregalar ile ağır beton yapımında kullanılan hematit, magnetit, barit gibi demir cevherinin kırılmasıyla elde edilen ağır agregalar da, doğal agrega sınıfına girmektedir (Erdoğan, 2003).

Nehir yataklarındaki agrega ocakları en çok rastlanan ve genellikle en fazla arzu edilen kaynaklardır. Bunun nedeni ;

- ▶ Parçalar genellikle yuvarlaktır.
- ▶ Akıntı dolayısıyla agregalar ufalanmakta ve uygun bir granülometriye sahip olmaktadır.
- ▶ Sürüklenme sırasında meydana gelen aşınmalar zayıf parçaların ufalanarak kısmen elenmesini sağlamaktadır.
- ▶ Doğal agregalardan en iyi malzemeler derelerden elde edilendir. Bunlar, temiz ve düzgün tanelerden oluşurlar.

Deniz agregaları ise tekdüze taneli ve genellikle ince malzemelerdir. Deniz kenarındaki midye, istiridye kabukları (kavkı) bazı durumlarda sorun çıkarırlar. Bunlar agreganın yerleşmesini güçleştirir. Tane dayanıklılığını düşürür, bazen de düşük dayanımlı taneler oluştururlar.

Buzul yatakları, kuzey paralel dereceleri ile yüksek rakımlarda bulunmaktadır. Bunlar, buzul yatakları, gerçek ve nehir buzul yatakları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gerçek buzul yatakları akarsu hareketlerine maruz kalmadıklarından çok fazla üniformluluk gösterirler ve dolayısıyla beton agregası olarak kullanılmaya elverişli değildirler. Nehir buzullu yataklarında ise, genellikle uygun agrega malzemesi elde edilebilir.

Teras agregaları ise yamaç birikintilerinin dik ve yüksek yamaçlardan kayması ve kopan kaya parçalarının dip kısımda birikmesiyle meydana gelir (Güner ve Süme, 2001).

1.2.1.2. Yapay Agregalar

Beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün veya atık malzeme olarak ortaya çıkan malzemelerden üretilen agregalar veya bir malzemeye ısı işlem uygulayarak beton yapımı için uygun duruma getirilmiş agregalardır. Yapay agregalar arasında en çok kullanılanları şunlardır; Yüksek fırın cürufu, uçucu kül agregası, genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş kil agregası (Akpınar, 2002 ; Erdoğan, 2003).

Yüksek fırın cürufu agregası

Cevher içerisindeki demir oksitten demir elde edebilmek için, cevher yüksek fırınlarda kok kömürü (karbon) ve arıtma işleminde yardımcı madde (flux) olarak kullanılan kalker taşı ile birlikte yüksek sıcaklığa tabi tutulurlar. Redüklenme sonucunda, demir oksitteki oksijen, kok kömürünün karbonu ile birleşerek karbon monoksit ve karbondioksit olarak cevherden ayrılır. Geride eriyik durumunda demir ile birlikte kireç, kok kömürünün külü, silis, alümin ve diğer yabancı maddelerden oluşan cüruf kalır. Eriyiğin üst kısmında yer alan cüruf yan ürün olarak alınır. Yüksek fırından çıktığında cüruf eriyiği 1400–1600 °C'dır. Cüruf eriyiğinin soğutulması içyapısı açısından önemlidir. Soğutma yöntemi olarak en çok kullanılan sıcak cürufu ani olarak bol suda soğutup, granüle (taneli) duruma getirmektir. Granüle yüksek fırın cürufları daha çok çimento ve beton üretiminde kullanılır. Cüruf eriyiğinin soğuması havada yavaş yavaş oluyorsa, havada soğutulmuş cüruf adını alır. Yavaş soğumadan dolayı taş gibi sert, kristalli bir yapıya sahip olur. Bu tür cüruflar konkasörlerle kırılarak istenilen boyutlara getirildiklerinde beton agregası olarak kullanılırlar. Bu tür agregalar, çok fazla kükürt içerdiklerinde, beton dayanıklılığında bazı sorunlar yaratırlar. Kontrollü miktarda suyla soğutulan cüruf bu işlem esnasında içerisinde buhar hapsoldüğünden genişletilmiş ve köpürtülmüş duruma gelir. Bu tür cürufa köpürtülmüş cüruf adı verilir. Gözenekli yapıya sahip olduğundan kırılarak hafif agrega elde edilerek, hafif beton yapımında kullanılırlar (Akpınar, 2002).

Uçucu kül agregası

Uçucu küller betonda mineral katkı olarak kullanılan yapay bir puzolandır ve çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, sönmüş kireçle hidrasyon reaksiyonuna girerek suda sertleşirler. Uçucu küller elektrik üreten termik santrallerden elde edilir. Genellikle endüstride kullanılmayan düşük kalorili kömürlerin çok ince öğütülerek termik santral fırınında yakılması sırasında yukarıya yükselen uçucu küller, bacanın üst kısmında elektrofiltreler veya siklon adı verilen toz tutucularda, elektrostatik veya mekanik yöntemlerle tutularak depolanırlar. Küllerin parçacıkları küresel olup çapları 1-300 μ 'dir ve SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerirler. Uçucu küller beton teknolojisinde ya çimento ile birlikte doğrudan betona katılarak ya da betonda kum yerine kullanılabilirler.

Çimento üretimi sırasında klinkere katılıp öğütülerek uçucu küllü çimento olarak da değerlendirilebilirler. Kum yerine kullanıldığında özgül yüzey artarsa da kumdan az da olsa tasarruf sağlanır. Uçucu küllerin puzolanik özellikleri de olduğundan bunları çimento yerine kullanmak daha avantajlıdır. Uçucu küller daha büyük özgül yüzey ve inceliğe sahip olduklarından bağlayıcı hacminin artmasını ve çimentodan ekonomi yapılmasını sağlarlar. Araştırmalar ağırlıkça %20 oranında uçucu kül kullanılmasının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir (D.P.T., 1996; Topçu ve Canbaz, 2001).

Genleştirilmiş perlit agregası

Perlit, volkanik silikatlı bir kayaç olup, önce öğütülüp boyutlandırıldıktan sonra 400°C'ye kadar bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Daha sonra 700-1200°C arasında sıcaklığı olan bir ortama verildiğinde içindeki suyun buhar halinde çıkmasıyla kısa sürede mısır gibi patlayarak hacmi 4-30 kat artar. Bu şekilde genleştirilmiş perlit, çok gözenekli ve hafif camsı bir yapıya dönüşür. Bu olaya "intümesens" denilmektedir (D.P.T., 2001). Genleşmiş perlit beyaz renkli, gözenekli hafif (0,03–0,025 kg/dm³ gevşek kuru birim ağırlığında) tanelerden oluşmuş bir malzemedir (URL-1). Perlit tüketimini etkileyen en önemli faktör inşaat sektöründeki aktivitedir. Bu nedenle perlit talebi inşaat sektöründeki gelişme ve durgunluklara paralel bir durum arz etmektedir. İklim koşulları da yapılardaki yalıtım sistemlerinin geliştirilmesine, dolayısıyla perlit kullanımına etki eden bir diğer faktördür (D.P.T., 2001).

Genleştirilmiş kil agregası

Kil, döner fırınlarda 1000-2000°C'de ısı işleme tabi tutulduğunda sıcaklık nedeniyle açığa çıkan gazların bir miktarının malzeme içerisine hapsolmuş olmalarından dolayı genleşme olur. Böylece yoğunluğu 1,4-1,8 gr/cm³ olan hafif bir malzeme elde edilir. Genleştirilmiş kil agregası denilen bu hafif malzeme yuvarlak şekillidir (Akpınar, 2002).

Genleştirilmiş kil hafif yapı malzemelerinin basınç mukavemeti en yüksek olanlarından biridir. Genleşmiş kil için kullanılan hammaddeler erken sinterleşen kil, kumlu kil (lem, mil), killi şist ve şifertondur. Bunlar mineralojik olarak illit, serizit ve montmorillonit gibi tabakalı silikatlardan meydana gelir. Bazı hallerde bir miktar kaolinit

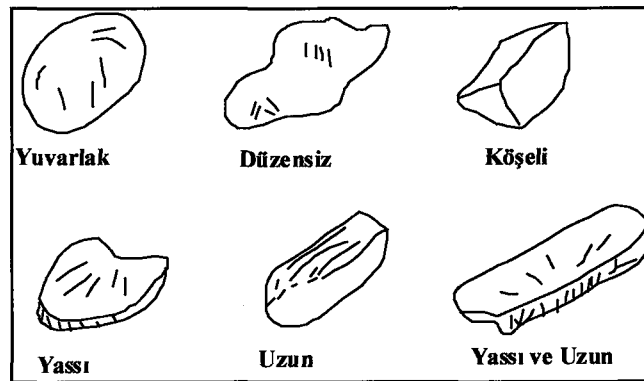
ve klorit ile değişen miktarlarda kuvars, feldspat, kalsit, dolomit ve limonit ihtiva ederler (URL-2).

1.2.2. Tane Şekline Göre

Agreganın petrografik özelliklerine ilave olarak agreganın dış özellikleri de (tane şekli ve yüzey yapısı) önemlidir. Tanenin üç boyutlu şeklini açıklamak oldukça zordur ve bu yüzden tane şeklini belli geometrik şekillerle tanımlamak uygundur (Şekil 1.2).

Yuvarlaklık, bir tanenin köşelerinin ve kenarlarının açığı veya keskinliğini izafi olarak ölçer. Yuvarlaklık, genellikle tanenin maruz kaldığı bir miktar aşınma ve ana kayacın aşınma dayanımı ve gerilimi tarafından kontrol edilmektedir. Kırılmış agregalarda ise yuvarlaklık sadece ana materyalin yapısına bağlı değil aynı zamanda kırıcı tipine de bağlıdır (Neville, 2000).

Yassı ve uzun tanelerin karışım içindeki payları ne kadar az ise tane şekli açısından agrega o kadar iyidir. Yassı ve uzun taneli agregaların kompasitesi düşüktür ve arzu edilen işlenebilirlik için gerekli ıslatma su miktarı fazladır. Köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların kullanımı durumunda agrega ile çimento harcı arasında oluşan mekanik yapışma çok güçlüdür. Yalnız bu tür agregalarla üretilen betonların işlenebilirliğinin yuvarlak agregalı beton karışımlarına kıyasla daha zor olduğu hatırd tutulmalıdır (Arıoğlu vd., 1999a). Köşeli agregalarla yapılan betonların dayanımı, yuvarlak agregayla yapılan betonların dayanımından daha yüksek olabilmektedir. Kaplan (Erdoğan, 2003) tarafından yapılan araştırmalarda, köşeli agregalarla yapılan betonların eğilme ve çekme dayanımlarında, sırasıyla %31 ve %22 artış olduğu görülmüştür.



Şekil 1.2. Agregatane şekillerinin diyagramatik gösterimi (Arıoğlu vd., 1999a).

Agregadaki kusurlu tanelerin oranının çok olması, taze betonun işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını ve hapsolmuş hava miktarını artırmaktadır. O nedenle, kusurlu taneler, beton dayanımının ve dayanıklılığının daha az olmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003). Tablo 1.2’de agregaların tane şekli açısından sınıflandırılması gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Agregaların tane şekline göre sınıflandırılması (Neville, 1981).

Sınıflama	Açıklama	Örnek
Yuvarlak	Tamamen aşınmayla şekillenmiş veya tamamen su-yıpranma ile (aşınma).	Nehir veya deniz kıyısı çakılı;Çöl, deniz kıyısı ve rüzgarın serpiştirdiği kumlar.
Şekilsiz	Tabi şekilsizlerdir veya sürtünme nedeniyle ve kenarları yuvarlanmış biraz şekillidirler.	Diğer çakıllar, kum veya çakmak taşları.
Köşeli	Kaba (Pürüzlü) düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği, keskin hatlara sahip agregalardır.	Kırılmış çakılların tümü, kırılmış cüruf, yamaç molozu.
Yassı	Kalınlığının diğer iki boyuta göre küçük katmanlı olduğu agregalardır.	Yapraklı (Laminalı) kaya.
Uzun	Genellikle köşeli, uzunluğu diğer iki boyutundan oldukça büyük olduğu agregalardır.	Yapraklı (Laminalı) kaya.
Yassı ve Uzun	Tane uzunluğunun eninden ve enin bariz bir şekilde kalınlıktan daha büyük olduğu agregalardır.	Yapraklı (Laminalı) kaya.

1.2.3. Yüzey Dokusuna Göre

Agregalar yüzey dokusuna göre 6 şekilde sınıflandırılabilirler (Tablo 1.3.). Kaba bir yaklaşımla tabloda yukarıdan aşağıya inildikçe betondaki çimento ve agregası arasındaki mekanik bağlanmanın artacağı söylenebilir (Uğurlu, 2002).

Beton üretiminde kullanılan agregalar ile çimento hamuru arasında büyük bir bağ kuvvetinin veya aderans dayanımının varlığı, betonun yüksek dayanım kazanmasına çok yardımcıdır. Agregası tanesi ile çimento hamuru arasında aderansı olumlu yönde etkileyen faktör, tanelerin yüzey pürüzlülüğüdür. Pürüzlülük büyük ise çimento hamuru ile agregası taneleri arasında geniş bir temas yüzeyi vardır (Baradan, 2004).

Mindes’e göre iri agregası yüzey dokusu ve şeklinin çimento hamuru ile agregası arasındaki kilitlenmeyi (bağlanma) önemli ölçüde arttırdığı, yüzeyi pürüzlü agregası kullanılması durumunda betonun eğilme ve çekme dayanımlarında pürüzsüz agregası

kullanılan betonlara göre yaklaşık %30 artış olabileceğini belirtmektedir (Uğurlu, 2002). Arıoğlu vd. ise yüzey özelliği düzgün olan agreganın çimento hamuru ile oluşturacağı mekanik aderansın diğer agregalara kıyasla daha az olacağını belirtmişlerdir. Bu nedenle aderans bakımından bu tür agregalar en elverişsiz özellik taşımaktadır. Özellikle çekme gerilmesine maruz kalan betonlarda yuvarlak şekilli agregaların temin edeceği aderans köşeli-kübik pürüzlü agregalara kıyasla daha azdır (Arıoğlu vd., 1999a).

Tablo 1.3. Agregaların yüzey özelliklerine göre sınıflandırılması (Arıoğlu vd., 1999a; Uğurlu, 2002).

Yüzey Karakteri	Açıklama	Örnek
Camsı	Konkoidal (Midye kabuğu) kırılması sonucu yüzeyler camsı.	Siyah çakmak taşı, obsidyen, camsı cüruf.
Pürüzsüz (Düğüün)	Tanesel veya Laminallı kayaçların pürüzsüz kırılması yada su içerisinde sürtünme nedeniyle ortaya çıkarlar.	Çakıl, çört, sleyt, mermer ve bazı riyolitler.
Taneli	Kırılma neticesinde yüzeydeki keskinliklerin üniform şekilde yuvarlaşması sonucu oluşmuş yüzeylerdir.	Kumtaşı, oolit.
Pürüzlü	Yapısında zorlukla görülebilen, orta ve ince tanesell kayaçların kırılması sonucu ortaya çıkan yüzeylerdir.	Bazalt, felsit, porfir, kireçtaşı.
Kristalli	Yapısında kolayca görülebilen kristal parçacıkları vardır.	Granit, gabro, gnays.
Peteksi	Yüzeyinde görülebilen boşluklar ve oyuklar vardır.	Tuğla, sünger taşı, köpük, cüruf, klinker, genleştirilmiş kil.

1.2.4. Özgül Ağırlığına Göre

Agregalar özgül ağırlıklarına göre hafif agregalar, normal agregalar ve ağır agregalar olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılmaktadır.

1.2.4.1. Hafif Agregalar

Özgül ağırlıkları $2,4 \text{ gr/cm}^3$ 'den küçük olan agregalar hafif agregalar olarak bilinmektedir. Genleştirilmiş kil, genleştirilmiş perlit gibi agregalar hafif agregalardır. Bu tür agregalarla hafif beton üretilmektedir (Erdoğan, 2003).

1.2.4.2. Normal Agregalar

Özgül ağırlıkları $2,4-2,8 \text{ gr/cm}^3$ arasında olan agregalar normal ağırlıklı agregalar olarak kabul edilmektedir. Kum, çakıl, kırmataş bu sınıfa girmektedir. Normal ağırlıklı agregadan söz edilirken, her seferinde normal ağırlıklı denilmemekte, sadece agrega denilmektedir. Bu tür agregalarla yapılan betonlara da, normal ağırlıklı beton denilmemekte, sadece beton denilmektedir (Erdoğan, 2003).

1.2.4.3. Ağır Agregalar

Özgül ağırlıkları $2,8 \text{ gr/cm}^3$ 'den daha büyük olan agregalar ağır agregalar olarak adlandırılmaktadır. Kırılarak taneli duruma getirilmiş hematit, magnetit, barit gibi demir cevherleri ağır agregalardır. Ağır agregalarla yoğunluğu yüksek olan ağır beton üretilebilmektedir. Ağır beton, nükleer santrallerde olduğu gibi, radyasyonun geçişini önlemek amacıyla özel olarak üretilmektedir (Erdoğan, 2003).

1.2.5. Tane Büyüklüğüne Göre

1.2.5.1. İri

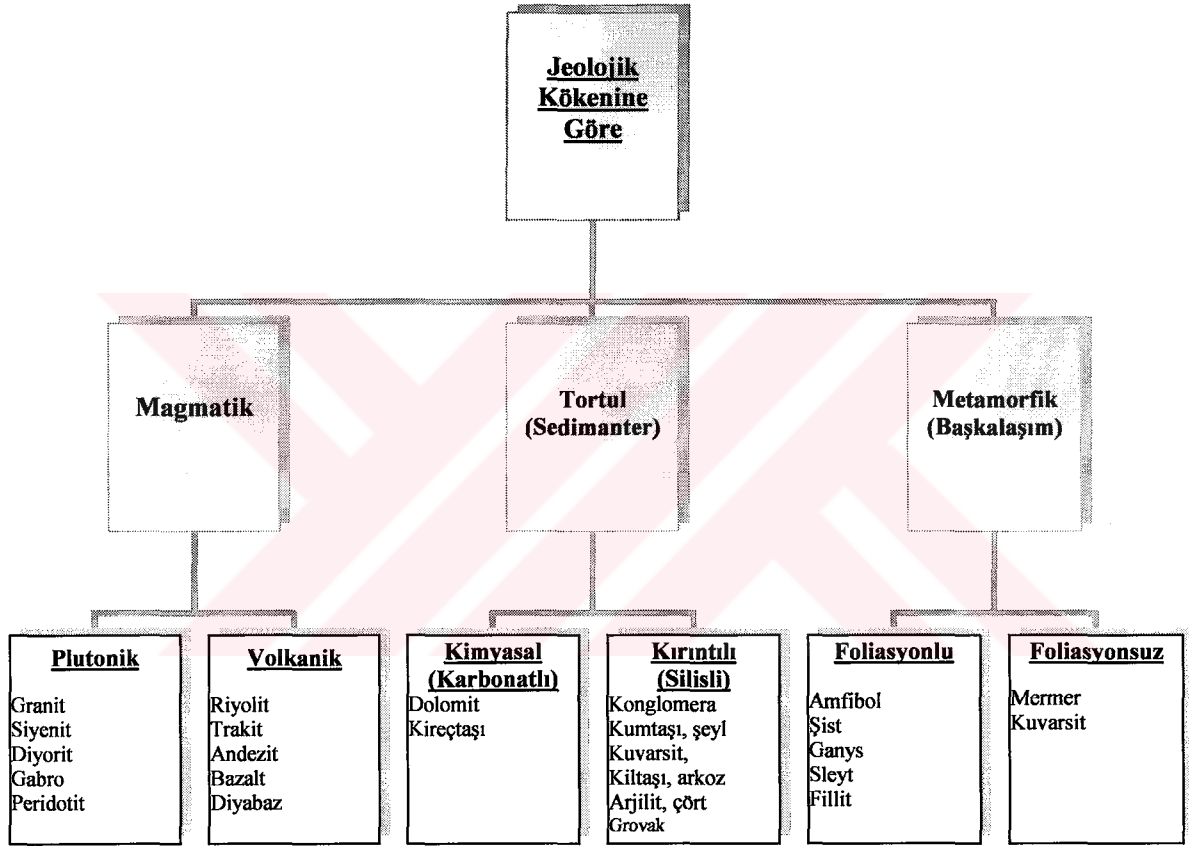
Değişik kaynaklarda veya değişik standartlarda farklı farklı tanımlanmaktadır. Genel olarak $4,76 \text{ mm}$ göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregaya denmektedir. Ülkemizde ise TS 706'a göre yapılan sınıflamada $4,0 \text{ mm}$ göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregaya iri agrega denmektedir.

1.2.5.2. İnce

$4,76 \text{ mm}$ göz açıklıklı kare delikli elekten geçen malzemeye denmektedir. Diğer bir tanıma göre $4,0 \text{ mm}$ göz açıklıklı kare delikli elekten geçen agregaya ince agrega denmektedir.

1.2.6. Jeolojik Kökenine Göre

Agregalar tabii kum ve çakıl ocaklarından veya kayaların parçalanmasıyla meydana gelen taş ocaklarından elde edilir ve petrografik yönden elde edildikleri bu kayaların özelliklerini taşırlar (Koç, 2001; Baradan, 2004). Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması (Arioğlu, 1999a; Koç, 2001).

Yapı malzemesi olarak kullanılan, doğal agregaların bileşimi kayaç ve minerallerdir. Mineraller kimyasal bileşimleri tanımlanmış, özel kristal yapıya sahip doğal oluşumlardır. Kayaçlar ise bu minerallerin bir araya gelmesiyle oluşmuşlardır.

Doğal agregalar olarak tanımlanan kırmataşları meydana getiren kayaçlar, kökenlerine göre magmatik (püskürük), sedimanter (tortul) ve metamorfik (başkalaşım) olmak üzere 3 ana gruba ayrılırlar (Koç, 2001).

Yer kabuğunun 9 ila 30 km'lik kısmı genellikle magmatik kayalarla, üst kısmı ise daha ince bir örtü biçiminde metamorfik ve tortul kayalarla kaplıdır. Bileşim olarak yer kabuğu ortalama bir magmatik kayaç bileşimine yakındır (İnan ve Tanyolu, 1982).

1.2.6.1. Magmatik Kayalar

Magmatik kayalar, magma denilen sıcak ve akışkan bir eriyikten soğuma ve kristalleşme yolu ile gelişirler. Magmasal kayalar silis oranı, kayada bulunan feldspat türü ve bunların karşılıklı oranları, ve doku ve tane boyutu gibi özellikleriyle 3 grupta toplanırlar (İnan ve Tanyolu, 1982).

Plutonik (Derinlik) kayaları

Magmanın yer kabuğu derinliklerinde soğumasıyla meydana gelmiş kayalardır. Magma derinlerde yavaş yavaş soğuduğundan iri ve tam kristallidir. Plutonik kayalar genellikle çatlaklıdır. Ancak taze, ayrışmamış oldukları zaman kırılmaya ve basınca karşı dayanıklıdır. Örnek olarak granit, siyenit, diyorit, gabro, peridotit verilebilir (Koç, 2001).

Volkanik kayalar

Magmanın litosferin yüzey ve yüzeyine çok yakın kısımlarında çok hızlı olarak soğumasıyla meydana gelmişlerdir. Yarı kristalli magmatik kayalardır. Hızlı soğuma nedeniyle camsı veya yarı camsı bir hamur içinde dağılmış halde kristaller olarak oluşmuşlardır. Volkanik kayalar 1 mm'den daha küçük tane boyutuna sahip minerallerden oluşmuşlardır. Volkanik kayalara örnek olarak riyolit, trakit, andezit, bazalt, diyabaz verilebilir (Koç, 2001).

Damar kayaları

Magmanın yer kabuğunun yüzeye yakın kısımlarında, çatlak ve yarıkları içinde soğuyup katılaşmasıyla oluşmuşlardır. Bu şekilde oluşan kayalar (tüfler ve lavlar) gaz kabarcıklarından dolayı oldukça boşluklu olmaktadır. Bu nedenden dolayı çoğu zaman

düşük mukavemetli, hafiftirler ve yüksek su emme kapasiteleri vardır. Beton agregası için çoğu zaman uygun değildir (Koç, 2001).

1.2.6.2. Tortul Kayaçlar

Magmatik ve metamorfik kayaçların çeşitli atmosferik ve tektonik olaylar sonucu parçalanarak tabakalar halinde tortullaşmasıyla meydana gelmiş, heterojen boşluklu ve fosil yapılu kayaçlardır. Yani tortul kayaçları oluşturan malzeme daha önce oluşmuş kayaçların parçaları ve kırıntılarıdır (İnan ve Tanyolu, 1982; Koç, 2001).

Genel olarak tüm tortul kayaçlar, içindeki malzemenin belli yönlerde dizilimi ile tabakalı bir yapıya sahiptirler. Tabakalar birbirinden renk, kalınlık ve tane boyutu farkları ile ayrılırlar. Bu kayaçlar içerisindeki iri taneler daha ince boyuttaki malzeme ile çimentolanarak birbirine sıkıca kenetlenirler. Çimento malzemesi olarak doğada en çok silis, karbonat ve demir oksit kullanılır. Genelde çimento malzemesi silis olan tortul kayaçların mukavemeti oldukça yüksek olmaktadır. Tortul kayaçlara dolomit, kireçtaşı konglomera, kumtaşı, kuvarsit, arkoz, kiltası, şeyl, arjilit, çört, grovak örnek olarak verilebilir (İnan ve Tanyolu, 1982).

Tortul kayaçlar sertten yumuşağa, ağırdan hafife ve yoğundan boşlukluya kadar değişik özelliklerde olup, agrega olarak uygunluğu bu özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sert ve yoğun olan kumtaşları ve kalkerler agrega için uygundur. Kumtaşları ve kalkerler, kayacı ufalanabilir, yumuşak ve su emici hale getiren kil de içerebilirler. Kil miktarının artması ile bunlar kumlu veya kalkerli şeyller sınıfına girmektedirler. Şeyller yumuşak, zayıf ve su emme kapasitesinin yüksek oluşu nedeniyle genellikle iyi agrega malzemesi değildir. Konglomeralarda işleme ve aşınma esnasında daha küçük parçalara ayrılmaya elverişli oldukları için agrega olarak uygun değildir (Koç, 2001).

1.2.6.3. Metamorfik Kayaçlar

Metamorfik kayaçlar ilkel kimyasal ve fiziksel oluşumlardan sonra değişikliğe uğramış kayaçlardır (İnan ve Tanyolu, 1982). Diğer bir ifadeyle püskürük ve tortul kayaçların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında kalarak yeni karakterler kazanması ile

meydana gelen kayalara metamorfik kayalar denmektedir. Bu tip kayalara örnek olarak amfibol, şist, gnays, sleyt, fillit, mermer ve kuvarsit verilebilir (Koç, 2001).

1.2.7. Mineralojik Yapısına Göre

Mineraller, doğada olan, fiziksel ve kimyasal özellikleri yönlerine göre değişmeyen veya çok az değişen, bir formülle gösterilen genellikle katı, homojen, inorganik maddelerdir. Agregalar ise bu minerallerin bir araya gelmesiyle oluşan malzemelerdir. Bir agreganın kökenini bilebilmek bu malzemenin özelliklerini anlamak açısından çok önemlidir. Ancak yalnızca tanım, bu malzemenin kullanım sırasında nasıl davranacağını göstermeyebilir. Bir çok faktörlere bağlı olarak ayrı kökenli malzeme değişik koşullarda farklı davranışlar gösterebilir (Baradan, 2004).

Agregalar mineralojik yapılarına göre;

- ▶ Silis mineralli
- ▶ Karbonat mineralli
- ▶ Mikalı vb. gibi sınıflandırılabilir.

1.2.8. Reaktif Özelliklerine Göre

Reaktif özelliklerine göre yani agregaların yapısında, çimento içerisindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonda genişmeye neden olabilecek reaktif silis, silikat ve karbonat içerip içermediklerine göre;

- ▶ Reaktif
- ▶ Reaktif olmayan gibi iki şekilde sınıflandırılabilir.

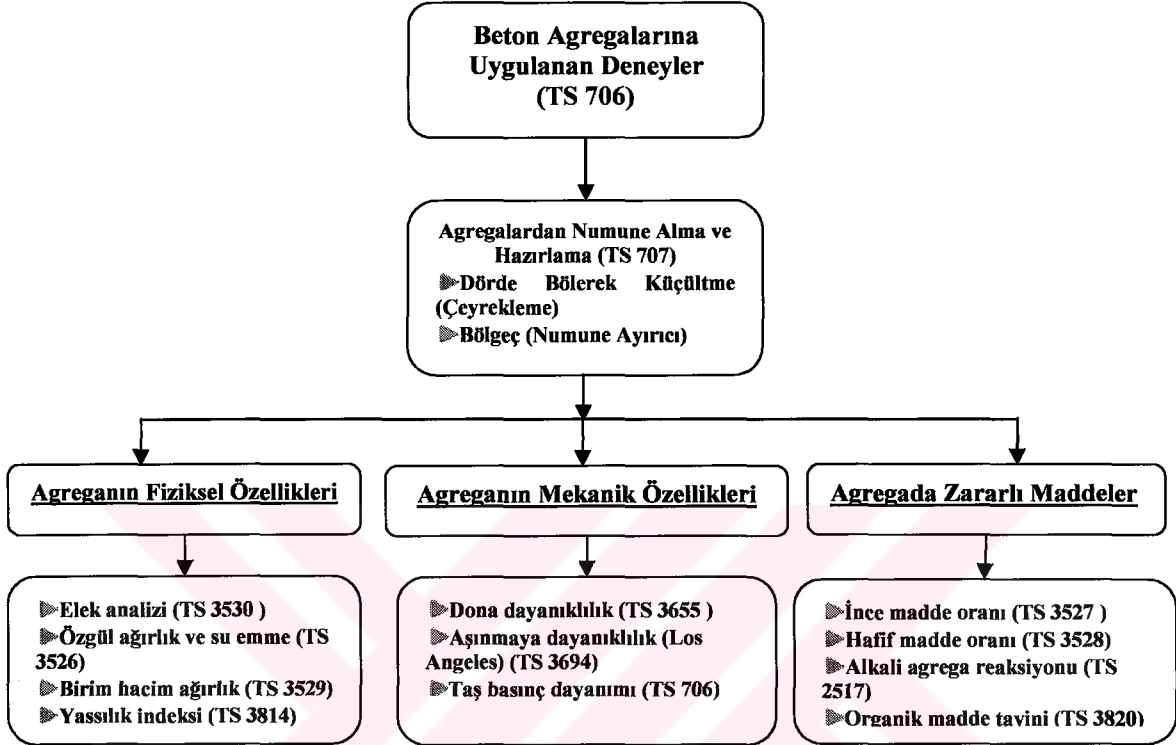
1.2.9. Üretime Göre

Agregalar üretimlerine göre,

- ▶ Doğal (Kum, çakıl vb. gibi)
- ▶ Yan ürün (Cüruf, perlit vb. gibi) şeklinde sınıflandırılır.

1.3. Beton Agregalarına Uygulanan Deneyler

Beton agregalarına TS 706'a göre uygulanan deneyler Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Agregalara yapılan deneylerin grafiksel gösterimi

1.3.1. Agregalardan Numune Alma ve Hazırlama

Bir agregat yığınının numune alınırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, numune örneğinin agregat yığınını temsil edebilmesidir. Agregat yığınının alınacak örnekler, yığının tepesi ve etek kısımlarından değil orta kısımlarından farklı noktalardan alınmalıdır. Elde edilen toplam örneğin tek bir deney için istenen miktara kadar küçültülmesi gerekir. Bu küçültme işlemi iki şekilde gerçekleştirilebilir (Özkul vd., 1999).

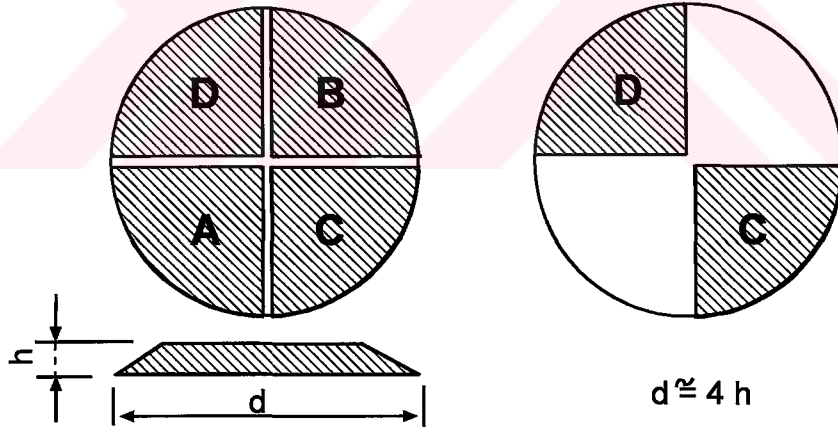
Dörde bölerek numune küçültme

Bu yöntemi uygulamak için numune önce temiz ve sert bir yüzey üzerine serilir. Sonra numunenin ince taneleri ayrışıp kaybolmayacak kadar nemlendirilir (veya

kurutulur), doymun kuru yüzeye yakın duruma getirilir. İyice karıştırıldıktan sonra yüksekliğinin yaklaşık dört katı olan kesik koni şeklinde biçimlendirilir. Daire şeklindeki alan uygun bir alet (mala) ile dört eşit kısma bölünür (A, B, C ve D) (Şekil 1.5). Bunlardan üçü (A, B ve C sıra ile), deney numuneleri üretilmesinde kullanılır. Dördüncüsü (D) ise gerektiğinde yararlanılmak üzere saklanır.

Deney numunelerinin elde edilmesinde kullanılacak kısımlardan, önce A yukarıda açıklandığı gibi dairesel bir alana her tarafı eşit yükseklikte olacak şekilde serilir ve malanın kenarı ile dört eşit kümeye bölünür. Bölünen bu dört kümeden karşılıklı iki tanesi deney numunesi olarak kullanılmak üzere uygun yerlere alınarak uzaklaştırılır. Diğer kısımlar ise yeniden bir araya getirilerek karıştırılır ve dairesel bir alan oluşturulacak şekilde yeniden serilir. Bir araya getirilen bu karışıma yukarıdaki işlem tekrar edilir ve gerekli deney numuneleri elde edilir.

Deneyle ikinci ve gerektiğinde üçüncü kez tekrarlanmakta kullanılacak deney numunelerini üretebilmek için yukarıda açıklanan işlemler numunenin B ve C kısımlarına da aynen uygulanır (TS 707).

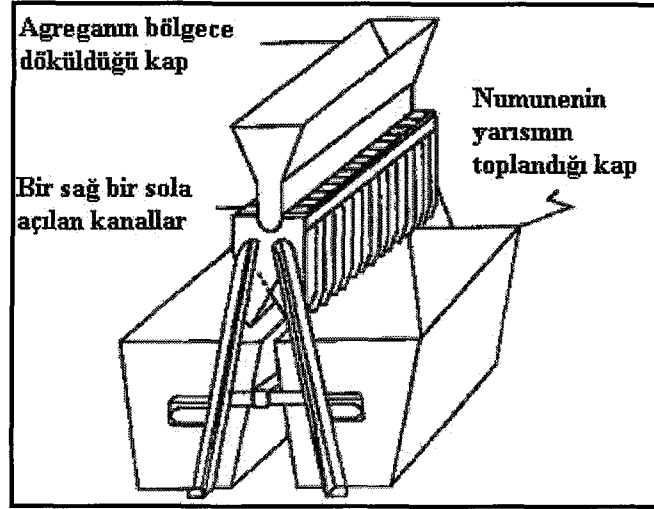


Şekil 1.5. Dörde bölerek küçültme (Çeyrekleme) (URL-3).

Bölgeç yardımıyla numune küçültme

Bu yöntemde, Şekil 1.6'da görülen bölgeç (numune ayırıcı) gibi bir aygıt kullanılarak agrega numunesi yaklaşık iki eşit miktara bölünmektedir. Bölgecin yanlarındaki kaplarda biriken ikiye bölünmüş agrega yığınının birisi, küçültülmüş

numune olarak kullanılmaktadır. Şayet, bu numune yeterince küçük değilse işlem tekrar edilmektedir (Erdoğan, 2003).



Şekil 1.6. Bölgeç aygıtı kullanarak numune küçültme

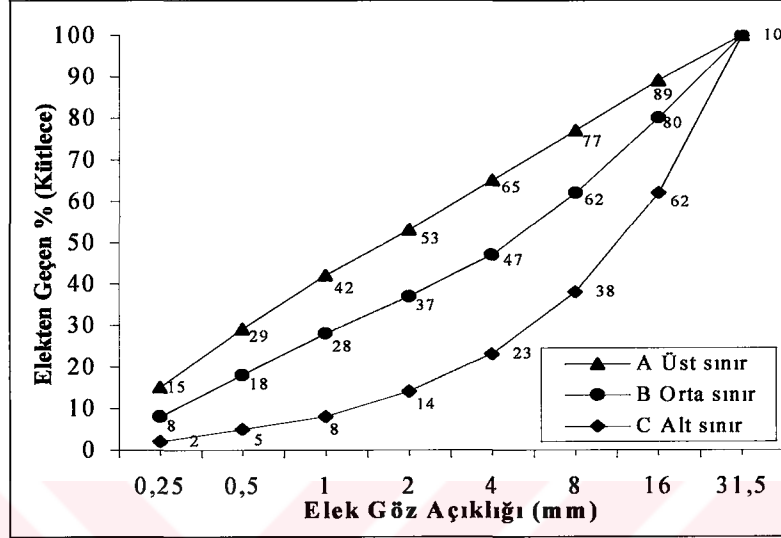
1.3.2. Agreganın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

1.3.2.1. Granülometri (Tane Dağılımı)

Bir agregada belirli boyutlardaki tanelerin dağılımını gösteren eğriye granülometri eğrisi denilir. Agreganın granülometri eğrisi elek analizi deneyi ile belirlenir. TS 706 göz önüne alındığında elek analizi deneyinde kare gözlü 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm , 0,25 mm'lik elekler kullanılır (Özkul vd., 1999).

Beton agregalarında kullanılacak karışım agregasının granülometrisinin ideal granülometri eğrileri ile uyuşmalı veya ideal bölgeler dediğimiz bölgeler içinde kalmalıdır. TS 706'da maksimum tane boyutuna bağlı olarak kabul edilen referans eğrileri ve bunlar arasında kalan ideal bölgeler tarif edilmektedir. Şekil 1.7'de 31,5 mm için ideal bölgeler gösterilmektedir. Şekle bakıldığında A-B eğrileri arasındaki bölge beton üretiminde kullanılacak karışım agregası için en iyi, B-C arası ise kullanılabilir bölgeler olmaktadır. Granülometrisi A ve C eğrileri dışında kalan agrega beton üretiminde kullanılmamalıdır (Özkul vd., 1999).

Bir agreganın granülometrik bileşiminin o agregayı kullanarak üretilen betonun özellikleri üzerine büyük etkisi vardır. Özellikle kompasite, yoğurma suyu miktarı, dayanım ve dayanıklılık üzerine etkisi büyüktür (Manzak, 1996).



Şekil 1.7. Referans granülometri eğrileri ($D_{max} = 31,5$ mm)

Karışım oranlarının belirlenmesi

Elek analizleri yapılmış ve gradasyonları belirlenmiş agrega gruplarının hangi oranlarda karıştırılarak nihai karışım gradasyonu elde edileceği aşağıdaki metodlardan biri ile saptanabilir;

- ▶ Deneme-yanılma metodu
- ▶ Denklem çözümü metodu
- ▶ Grafik metodu

Deneme-yanılma metodu; Farklı agrega grupları bir ön kabul yapılarak oranlandırılır ve sonuçlar standart limitleri içinde ise uygun olduğuna karar verilir. Eğer ilk yapılan oranlandırma değerleri uygun değilse ikinci defa oranları değiştirip tekrar nihai gradasyonu hesaplayıp standart limitler içinde olup olmadığı kontrol edilir. Bu işlem nihai gradasyonun uygunluğuna kadar yapılır.

Denklem çözümü metodu; Agregasyonlarının gradasyonları esasen çok bilinmeyenli bir denklem kümesidir. Ancak bir çok bilinmeyenli denklem kümesinde bilinmeyen sayısı denklem sayısına eşit olmadığından dolayı çözümü imkansızdır. Fakat uygun iki elekte iki bilinmeyenli iki denklemi çözerek agregasyon oranları saptanabilir.

Grafik metodu ; Uygulamada en çok kullanılan bir metot olmakla beraber çok pratik değildir. Fakat deneme-yanılma için ön yaklaşım sağlayarak daha az hesaplamayı gerektirdiği için yararlıdır (Tunç, 2001; Öztürk ve Gürsu, 1998).

İncelik modülü

İncelik modülü, bir agregasyonun tane dağılımı hakkında bilgi veren bir sayıdır. Bir agregasyonun granülometrisi incelik modülü olarak bilinen tek bir rakamla ifade edilebilir. İncelik modülü her bir elek üzerinde kalan agregasyonların kümülatif yüzdelerinin toplamının 100 ile bölümüyle elde edilir. İnce agregasyonlar için uygun limit 2-3,5 arası, kaba agregasyonlar için 5,5-8 arası, karışık veya bütün agregasyonlar için 4-7 arasıdır (Taylor, 1977).

$$\text{İncelik Modülü} = \frac{\text{Kümülatif Kalan \% (Toplam)}}{100} \quad (1)$$

Yukarıdaki hesaptan da anlaşılacağı üzere, incelik modülü elek sayısı ile ilgili bir büyüklüktür. Agregasyon taneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü artar (Özkuş vd., 1999; Özbayoğlu ve Ataman, 2005).

1.3.2.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdesi

Agregasyonların özgül ağırlığı, agregasyonu oluşturan tanelerin toplam ağırlığının tanelerin toplam hacmine oranı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle özgül ağırlıklar hesaplanırken kullanılan hacme taneler arasındaki boşluk dahil edilir. Fakat, tanelerin hacmi o maddenin su içerisine konulduğunda taşıdığı suyun ağırlığı ölçülerek bulunduğundan, agregasyon tanelerinin üzerinde veya geçirimli boşluklarında su bulundurup bulundurmaması, ya da su miktarı aynı agregasyonun değişik özgül ağırlık değerlerine sahip olmasına sebep olabilir.

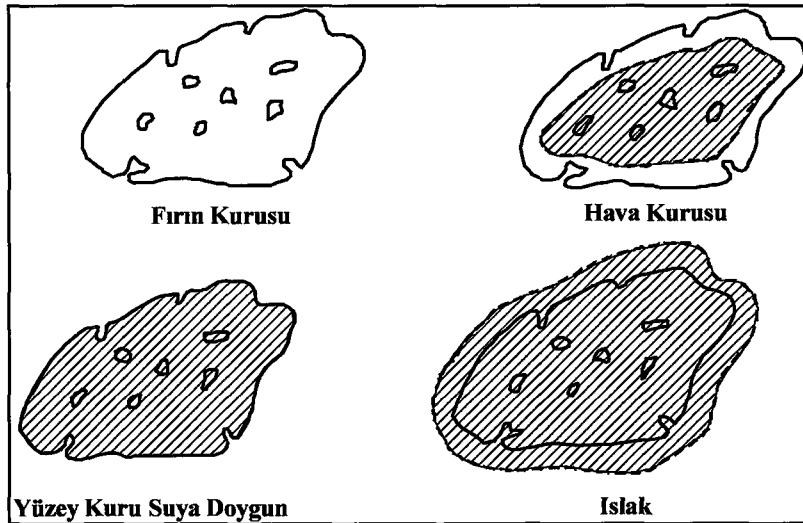
Ayrıca agreganın özgül ağırlığı içerdiği geçirimsiz boşlukların miktarından da etkilenmektedir. Agreganın taneleri çatlaklar ve gözenekler içerebilir ve su bu yapılara girebilir. Ayrıca su tanelerin yüzeyini kaplayarak bir nem tabakası oluşturabilir. Bu nedenle agregalar değişik miktarlarda nem içerirler. Eğer agreganın su emmeye eğilimi varsa, su çimento hamurundan sağlanacağından hamurun su içeriği azalacak ve betonun işlenebilirliği düşecektir. Karşıt şekilde, eğer agreganın yüzeyinde fazla su varsa, bu beton hamuruna eklenecek ve su içeriği istenenden fazla olacaktır (Özbayoğlu ve Ataman, 2005). Agreganın numunesi, içerdiği su miktarına göre dört değişik rejimde bulunur (Şekil 1.8). Beton karışım tasarımı açısından bu rejimdeki su içeriğinin bilinmesi önem taşımaktadır.

Tamamen kuru hal ; Agreganın boşluklarında su yoktur. Etüvde 110 °C'ta (± 5 °C) değişmeyen ağırlıkta kalıncaya kadar ısıtılmasıyla sağlanır.

Hava kurusu ; Agreganın dışarıya açık boşlukları içerisinde bir miktar su bulunur. Yalnız tüm boşluklar su ile dolu değildir. Agreganın yüzeyi tamamen kurudur.

Doğgun yüzey kuru durumu (DYK) ; Dışarıya açık ve birbirleriyle bağlantılı boşluklar tamamen su ile doludur. Agreganın yüzey kuru durumu ise agreganın taneleri doğgun olarak sudan çıkartıldıklarında tanelerin yüzeyinde çıplak gözle fark edilebilen su filmi kalmayınca kadar kurutulmasıyla gerçekleşen durumdur.

Islak-nemli durum ; Dışarıya açık, su geçirgen boşluklar ile tamamen doludur. Ayrıca, tanelerin yüzeyinde bir miktar su bulunur.



Şekil 1.8. Agregadaki farklı rutubet durumları

Kaba agregaların özgül ağırlık ve su emme yüzdesinin hesaplanması

Kuru özgül ağırlık; Burada katı maddenin hacmi ile birlikte boşlukların hacmi de hesaba dahil edilmelidir.

$$\rho_k = \frac{W_{fk}}{W_{dky} - W_{ds}} \quad (2)$$

Doygun kuru yüzey özgül ağırlık; Burada agrega suya doymun fakat yüzeyi kuru olarak hesaplama yapılır. Bu nedenle agreganın ağırlığı, katı tanelerin ağırlığı ile geçirimli gözeneklerdeki suyun ağırlığının toplamıdır. Agreganın hacmi hesaplanırken boşlukların hacmi de katılır.

$$\rho_{dky} = \frac{W_{dky}}{W_{dky} - W_{ds}} \quad (3)$$

Görünür özgül ağırlık; Bu durumda hacim olarak kuru agreganın hacmine eşit hacimdeki suyun ağırlığı kullanılmaktadır.

$$\rho_g = \frac{W_{fk}}{W_{fk} - W_{ds}} \quad (4)$$

Su emme yüzdesi ; Agregaların su emme oranı (absorpsiyon kapasitesi) bir agreganın emebileceği maksimum su miktarını gösterir. Doymun kuru yüzey ve fırın kurusu durumundaki ağırlıklarının farklarından hesaplanır ve fırın kurusu ağırlığı yüzdesi olarak ifade edilir.

$$w_s = \frac{W_{dky} - W_{fk}}{W_{fk}} \times 100, \% \quad (5)$$

Yüzey nemi ; Bir miktar suyun agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak bir nem tabakası oluşturmasıdır. Burada yüzey nemi, ıslak haldeki agreganın ağırlığı ve doymun kuru yüzey

haldeki ağırlığı arasındaki farkın tamamen kuru olduğu durumdaki ağırlığına oranıyla elde edilir.

$$w_y = \frac{W_1 - W_{dky}}{W_{fk}} \times 100, \% \quad (6)$$

Burada;

W_{fk} = Fırın kuru ağırlık (Havada).

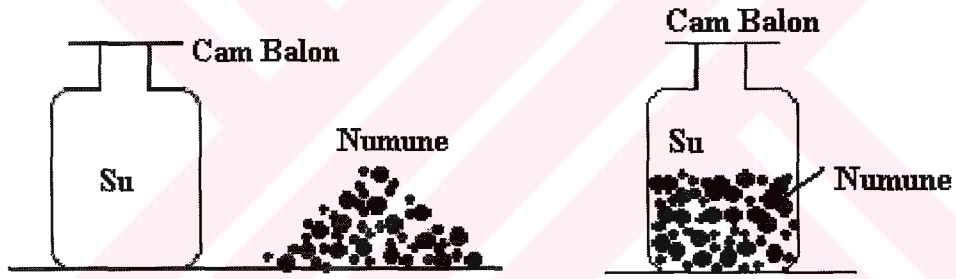
W_{hk} = Hava kuru ağırlık (Havada).

W_{dky} = Doygun-kuru yüzey ağırlık (Havada).

W_{ds} = Doygun haldeki numunenin ağırlığı (Suda).

W_1 = Islak haldeki numunenin ağırlığı (Havada).

İnce agregaların özgül ağırlık ve su emme yüzdesinin hesaplanması



Şekil 1.9. İnce malzemenin özgül ağırlık ve su emme yüzdesinin hesabı

Kuru özgül ağırlık; $\rho_k = \frac{W_{fk}}{W_{dky} + W_{c+s} - W_{c+s+n}} \quad (7)$

Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı; $\rho_{dky} = \frac{W_{dky}}{W_{dky} + W_{c+s} - W_{c+s+n}} \quad (8)$

Görünür özgül ağırlık; $\rho_g = \frac{W_{fk}}{W_{fk} + W_{c+s} - W_{c+s+n}} \quad (9)$

Su emme yüzdesi:

$$w_s = \frac{W_{dky} - W_{fk}}{W_{fk}} \times 100, \% \quad (10)$$

Burada;

W_{fk} = Fırın kurusu ağırlık (Havada).

W_{dky} = Doygun-kuru yüzey ağırlık (Havada).

W_{c+s} = Cam balon + Su ağırlığı.

W_{c+s+n} = Cam balon + Su + Numunenin ağırlığı.

1.3.2.3. Agregalarda Birim Hacim Ağırlık

Agrega birim ağırlığı, belirli hacimdeki bir kabı dolduran agregatanelerinin toplam ağırlığının, kabın hacmine bölünmesiyle elde edilir. Başka bir ifadeyle yığın halindeki agreganın birim hacminin ağırlığıdır. Agregaların birim ağırlığı, tane şekli ve dağılımı, nem durumu, tanelerin kap içinde gevşek yada sıkışık olması gibi etkenlere bağlıdır (Özbayoğlu ve Ataman, 2005). Birim ağırlık tayini “sıkışmış birim ağırlık tayini” ve “gevşek birim ağırlık tayini” olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Sıkışmış birim ağırlık tayininde, agregalar silindir şeklindeki bir kap içerisine, her seferinde kabın yüksekliğinin 1/3’ünü dolduracak şekilde, üç aşamada doldurulmakta ve her aşamada demir bir çubukla 25’er kez şişlenerek sıkıştırılmaktadır. Gevşek birim ağırlık tayini için, agregatın içerisine bir kürek yardımıyla doldurulmakta herhangi bir sıkıştırma yapılmamaktadır.

$$\gamma_g = \frac{W_a}{V_{kap}} \quad (11)$$

Burada;

γ_g = Birim ağırlık.

W_a = Agregatın ağırlığı.

V_{kap} = Deney kabının hacmi.

1.3.3. Agreganın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

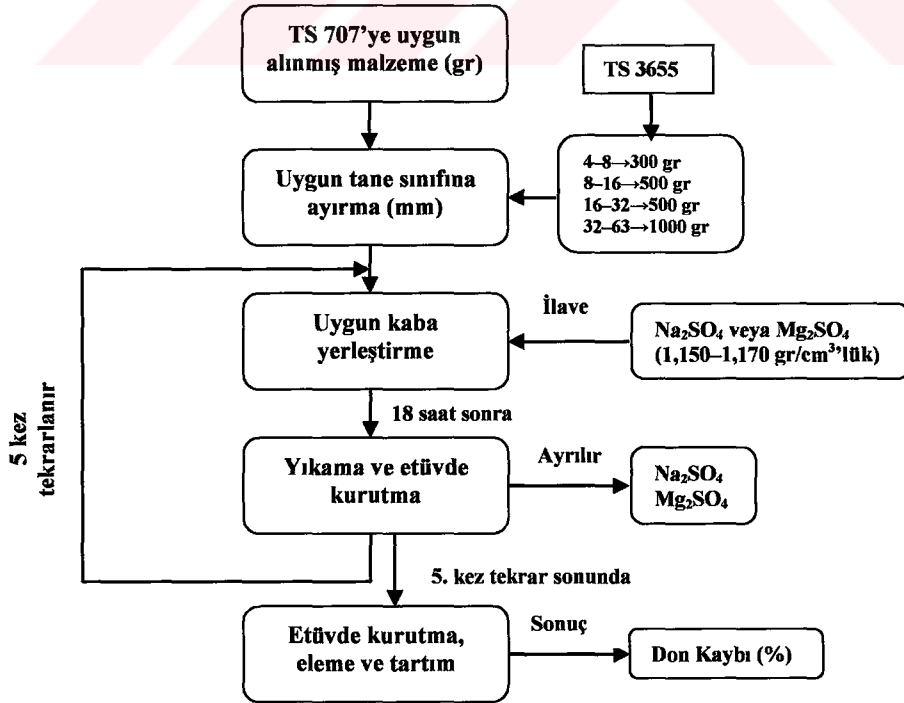
1.3.3.1. Agregalarda Dona Dayanıklılık

Agrega tanelerinin gözenekli yapıda olduğu ve bu gözeneklere fazla miktarda su girdiği durumlarda, soğuk havada donan suyun hacmini artırarak genişmesi nedeniyle, donma çözülme olayları agregaları, dolayısıyla bu agregaların kullanıldığı betonu olumsuz yönde etkilemektedir. Genleşen su etrafında hidrolik bir basınç yaratmakta ve bu basınç gerek agrega tanelerini, gerekse bu taneleri çevreleyen çimento hamurunu çatlatabilmektedir. Bu nedenle donma etkisinde kalacak betonlarda kullanılacak agreganın da dona dayanıklı olması istenir (URL-3).

TS 3655’de iki farklı dona dayanıklılık deney yöntemi bulunmaktadır ;

- Dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında belirlenmesi (suda ve havada donma)
- Dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle belirlenmesi (Sodyum Sülfat veya Magnezyum Sülfat)

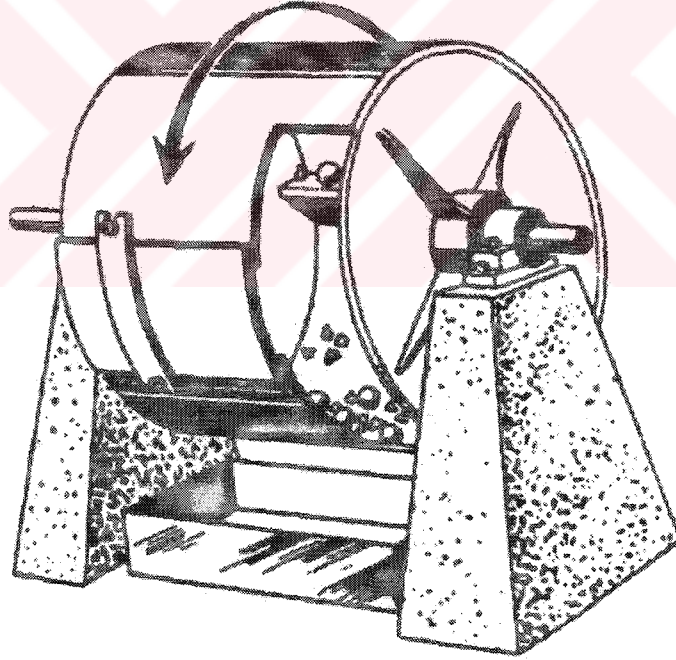
Dona dayanım deneyinin TS 3655’göre kimyasal yöntemle belirlenmesi Şekil 1.10’da gösterilmiştir.



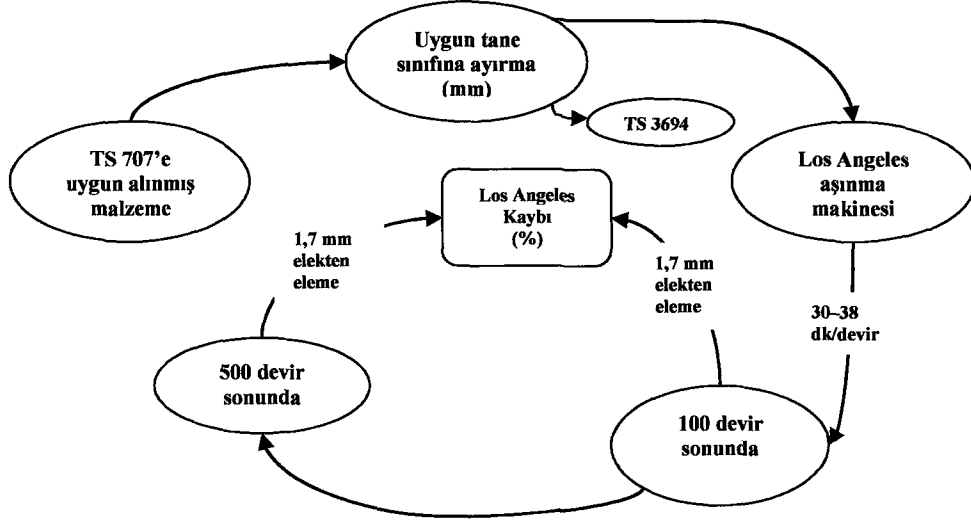
Şekil 1.10. Agregalara yapılan Dona dayanım deneyinin şekilsel gösterimi

1.3.3.2. Aşınma Dayanımı (Los Angeles deneyi)

Beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı, kaldırım ve döşeme betonları, üzerinde ağır trafik bulunan beton yollar, barajlar ve su taşıyan sistemler vb., durumlarda agreganın aşınma dayanımına bakılır. Özellikle, agrega tanelerinin basınç dayanımı düşükse, aşınmaya dayanıklılığında şüphe duyuluyorsa ve yapay agrega kullanılmışsa aşınma dayanımı deneyleri yapmak gerekir. İyi bir agrega sert, yoğun ve güçlü olmalı, gözenekli ve dağılabilir olmamalıdır. Aşınma dayanımı deneyleri sadece iri agregalar üzerinde yapılır. Bu deneyde Los Angeles isimli iki tarafı kapalı, eksenini etrafında dönebilen, iç çapı 710 mm, boyu 508 mm olan bir çelik silindirden oluşan cihaz kullanılmaktadır. Silindir içinde belirli ağırlıkta ve sayıda çelik bilyeler mevcuttur (Şekil 1.11). Deney, aletin silindirinden 100 ve 500 devir sonunda çıkarılan numunenin göz açıklığı belirlenmiş kare gözlü elekten elenerek, alta geçen miktarın %'si ile hesaplanır (Şekil 1.12).



Şekil 1.11. Los Angeles aşınma makinesi



Şekil 1.12. Agregalara yapılan Los Angeles aşınma dayanım deneyinin şematik gösterimi

1.3.4. Agreganın İçinde, Betona Zarar Veren Maddelerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler (Zararlı Maddeler)

Zararlı maddeler, betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompasitesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılışı ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır; Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar (TS 706).

1.3.4.1. İnce Madde Oranı Tayini (Yıkanabilir Maddeler)

Yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya topak halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taşundur. Agregada bulunan yıkanabilir maddeler çok miktarda veya agrega tanelerine yapışık olup, kolaylıkla ayrılmaz durumda veya topaklar beton yapımı sırasında yumuşayarak kolaylıkla dağılmayacak şekildeyse, bu maddeler zararlı etki yapar.

Yıkanabilir maddeler TS 3527'e göre, 0,063 mm açıklıklı kare gözlü elekten geçen madde olarak tayin edilmektedir (TS 706). İnce maddeler, betonun karma su ihtiyacını arttırmakta, işlenebilirliğini ise azaltmaktadır. Ayrıca, ince maddeler agrega ve çimento arasındaki bağı zayıflatmakta, betonun dayanımını azaltmaktadır (Özbayoğlu ve Ataman, 2005).

1.3.4.2. Hafif Maddeler

Doğal agregada bulunan kömür veya diğer şişen organik maddelerin yoğunluğu, mineral menşeli agrega tanelerinin yoğunluğundan genellikle daha düşük olur. Bu nedenle görünümüne göre ayıklanarak bulunan veya bunun yeterli olmadığı hallerde $2,0 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu sıvıda yüzdürülerek bulunan taneli organik maddeler miktarı ağırlıkça %5'ten çok olmamalıdır (TS 706). Agregalarda hafif madde oranı tayini TS 3528'e göre yapılmaktadır.

1.3.4.3. Organik Maddeler

Humuslu veya diğer organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zarar verebilirler. Taneli halde buldukları zaman renk değişimine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olabilirler. İnce dağılmış, sertleşmeye zarar veren organik maddelerin varlıkları hakkındaki bilgi, agreganın sodyum hidroksitle muayenesinden elde edilir. Sodyum hidroksitle yapılan deneyde sıvı renginin renksizden açık sarıya kadar olması halinde organik maddelerin önemli miktarda bulunmadığına karar verilebilir. Koyu sarı, kahverengi veya kırmızı rengin olması halinde, bu renklerin az miktardaki taneli organik maddelerden meydana geldiği kuşkusuz yoksa, zararlı miktarda organik maddelerin bulunduğu karar verilebilir (TS 706). Agregalarda organik madde TS 3820'e göre tayin edilmektedir.

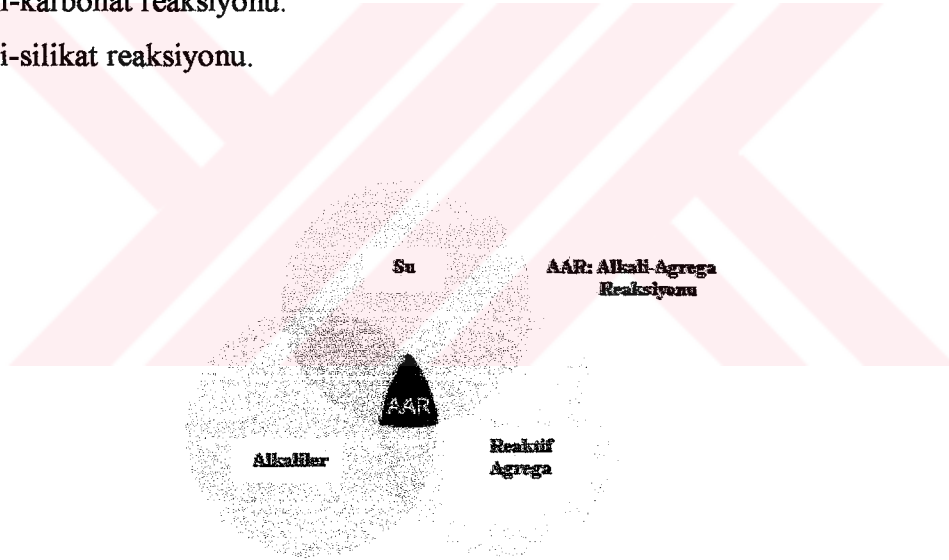
Agregaların organik maddeler içermemesi gerekir. Eser miktarlarda dahi olsa, agregaya karışan humuslu toprak, bitki ve hayvan kalıntıları, akaryakıt ve diğer organik kökenli maddeler çimento hidratasyonunu geciktirerek, hatta engelleyerek, sonuçta betonun katılaşmasını çok yavaşlatır veya durdurur (Özbayoğlu ve Ataman, 2005; Manzak, 1996).

1.3.4.4. Alkali-Agrega Reaksiyonuna Sebep Olan Maddeler

Alkali-agrega reaktivitesi, agregada içinde bulunan bazı minerallerin portland çimentosunda bulunan alkali oksitleri (çimento alkalinitesi) ile reaksiyona girerek alkali silikatları oluşturmasıdır (Şekil 1.13). Bütün agregalar her ne kadar reaktif olarak dikkate değer olsalar da, gerçekten betonda hasara neden olan sadece bunlardan bazılarıdır. Daha önce yapılan çalışmalar, betonda alkali miktarının çok fazla bulunmasının betonda bir büyüme reaksiyonuyla birlikte atağı arttırdığını göstermektedir. Aynı zamanda az miktarda kaliteli agreganın kullanımı ve yüksek dayanımlı beton üretimi de bu etkiyi meydana getirebilir (Manzak, 1996; Ramachandran ve Beaudoin, 2001). Alkali-agrega reaksiyonu tayini TS 2517'e göre kimyasal yöntemle yapılmaktadır.

Literatürde 3 çeşit alkali-agrega reaksiyonu ifade edilmiştir;

- ▶ Alkali-silis reaksiyonu.
- ▶ Alkali-karbonat reaksiyonu.
- ▶ Alkali-silikat reaksiyonu.

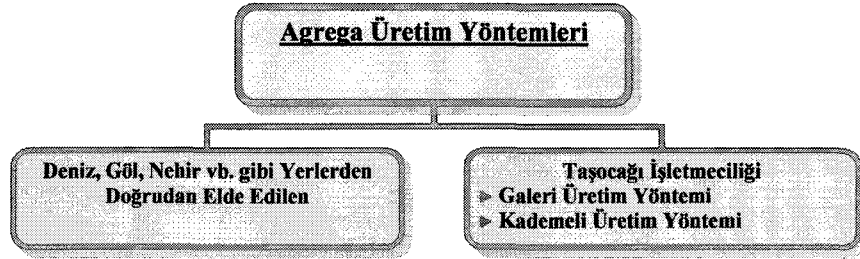


Şekil 1.13. Alkali agregada reaksiyonunun diyagramatik gösterimi

1.4. Agregada Üretim Yöntemleri

Agregaların üretimi, genel olarak açık ocak işletmeciliği ile yapılmaktadır. Üretim yöntemi olarak denizlerden, göllerden, nehirlerden, yamaçlardan vb. gibi yerlerden doğrudan doğruya elde edilebileceği gibi taşocağı işletmeciliği ile de agregada üretimi gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.14). Taşocağı işletmeciliği ile iki şekilde üretim

yapılmaktadır. Bunlardan birincisi galeri üretim yöntemi ve diğeri kademeli üretim yöntemidir.

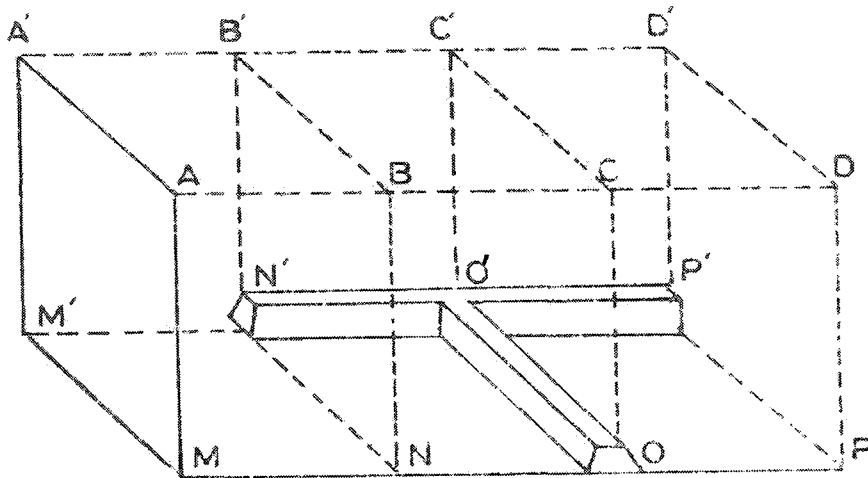


Şekil 1.14. Agregatör üretim yöntemleri

1.4.1. Taşocağı İşletmeciliği Yöntemleri

1.4.1.1. Galeri Üretim Yöntemi

Galeri yöntemi emniyet ve uygulama açısından ele alındığında, işin başlangıcından bitiş aşamasına kadar tüm safhalarda risk, tehlike ve çalışma zorluğu yarattığı için madencilikte pek uygulanmak istenmeyen bir yöntem olmasına karşın, taşocağı işletmeciliğinde faaliyette bulunan kişi veya firmalarca yıllardır gelen alışkanlık nedeniyle ve makine ile delme patlatmaya kıyasla daha kolay, zahmetsiz ve ucuz bir işçilikle daha çok malzeme alınabildiği kanaatiyle galeri yöntemi tercih edilmektedir (Güney, 2000).



Şekil 1.15. Galeri patlatma yöntemi (Saltoğlu, 1992).

Galeri üretim yönteminin şematik gösterimi Şekil 1.15'de verilmektedir. Şekilde bir ana galeri (OO') açılmakta, bunu takiben (O'N') ve (O'P') kanat galerileri sürülmektedir. Daha sonra kanat galerilerine gerekli patlayıcı doldurulmakta, sıkılama sonrası patlatma işlemi gerçekleştirilmektedir (Saltoğlu, 1992).

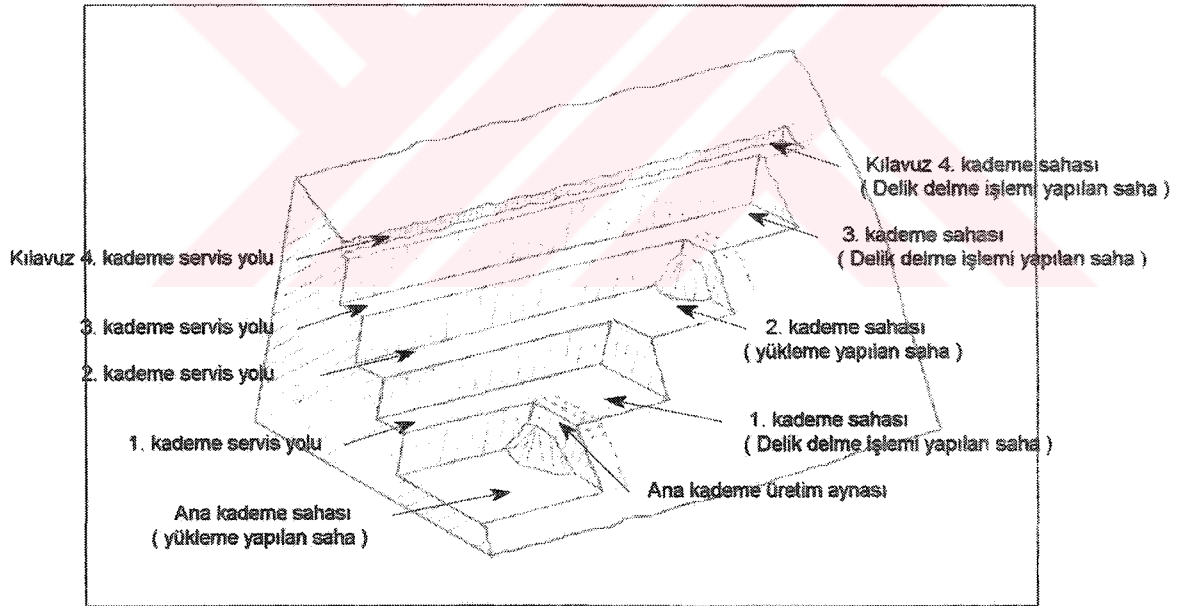
Galeri patlatma yönteminden kaynaklanan sorunlar (Yılmaz vd., 2002; Yılmaz vd., 2003; Yılmaz ve Çavuşoğlu, 2003; Yılmaz vd., 2004);

- ▶ Galerî yöntemi ile ateşleme yapılırken çok miktarda patlayıcı madde kullanıldığında ortaya çıkan aşırı basınç enerjisi sıkıştırma etkisiyle zeminde sarsıntı yaratarak, bina, tesis vb. yapıların zarar görmesine, çevre bölgelerde oynama yaparak arazi oturmalarına, zemin çatlamlarına veya heyelanlara neden olmaktadır.
- ▶ Fazla miktarda patlayıcı madde fazla gürültü çıkmasına neden olmakta, çevre sakinleri rahatsız edilmekte, aşırı miktarda gaz ve tozun bir anda açığa çıkarak etrafa yayılması çevre sağlığı yönünden büyük sakınca doğmaktadır.
- ▶ Patlatılan kütlede zayıflık düzlemleri, damarlar ve çatlak olması halinde, ateşleme anında taş püskürtmelerine neden olduğu gibi yapılan ateşlemeden verim alınamamaktadır.
- ▶ Ateşleme ile patlamanın olduğu noktadaki malzemeler aşırı basınca maruz kalarak ufalanmakta, patlatma noktasından uzaklaştıkça oluşan basınç etkisi azaldığı için çıkan malzemenin boyutu iri olmakta, sonuçta dengesiz bir boyut dağılımı içeren taş malzemesi elde edilmektedir.
- ▶ Galerî ateşlemesi sonrası yeni oluşan aynadaki var olan mevcut çatlaklar oynayarak hareket etmekte veya yeni çatlaklar oluşmakta, buna bağlı olarak her an düşerek tehlike yaratabilecek taş veya kaya kopmaları olmaktadır.
- ▶ Yapılan ateşleme sonucu oluşan basınç kuvvetleri ocak aynasının en üst noktalarını etkileyememekte ve altı boşaldığı için desteksiz kalan ocak aynasının üst kısımları, yapısal çatlaklarından koparak heyelan yapmakta veya tam kopmadığından şapka şeklinde durarak tehlike yaratmaktadırlar.
- ▶ Ayrıca topografik yapının dik olduğu yerlerde, düşük seviyelerde başlayan ocak aynası ilerleyen çalışma süreleri sonunda (ocak aynasının kademesiz çalışması) 80-100 m gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu durum ise her türlü çalışma şartının daha da zorlaşmasına neden olmaktadır.

Tüm bu açıklanan ifadelerden anlaşılacağı üzere ocakta yapılan tüm çalışmalar bir risk ve tehlike altında emniyetsiz olarak yürütülmekte, yapılan çalışmalardan verim alınmamaktadır.

1.4.1.2. Kademeli Üretim Yöntemi

Kademeli yöntemlerden biri dik delik delme yöntemidir. Bu yöntemde bir veya birden fazla delikler açılarak patlayıcılarla doldurulur ve ateşleme yapılır. Delinen deliklerin çapları aralarındaki uzaklık, derinlik ve delik sayısına, formasyonun niteliğine ve üretilecek malzemenin miktarına göre değişmektedir. Delik delme işlemi için vagon drill kompresör ya da truck drill tipi iş makineleri kullanılmaktadır. Delik delme işleminin tabakalar üzerinde yapılması gerektiğinden ocaklarda bu yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle işletme kademelerinin oluşturulması gerekmektedir (Şekil 1.16) (DPT, 2001).



Şekil 1.16. İdeal kademeli çalışma şekli ve kademelerdeki çalışma planı (Güney, 2000).

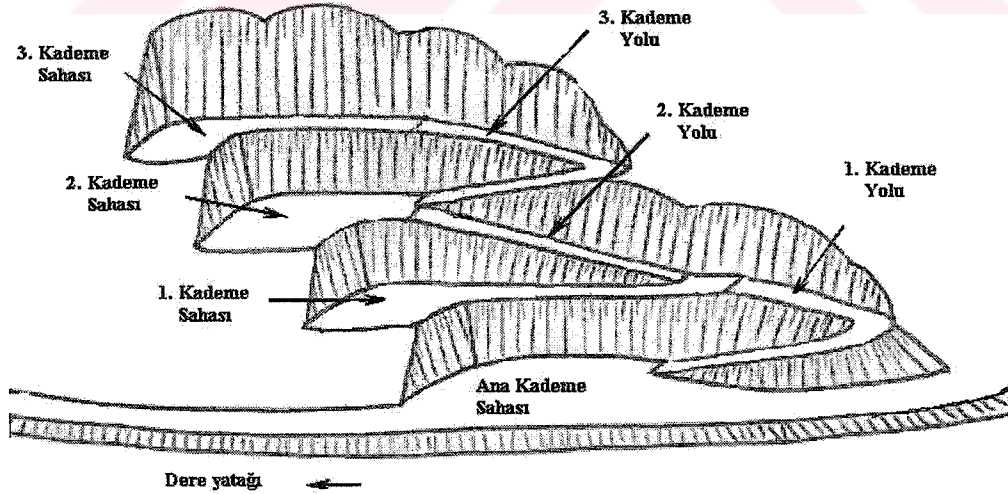
Diğer bir kademeli üretim yönteminde ise; arazinin topografyasına ve optimum kazı planına göre kademeler uygun bir şekilde oluşturulur. Topografyaya uygun olarak özellikle tepe ve yamaçlara oluşturulacak olan taşocaklarında kademeler aşağıdan başlayarak yukarıya doğru oluşturularak üretim gerçekleştirilir.

Bu tarz bir üretim yönteminin sağlayacağı fayda; taş ocağında kademeli işletme yöntemi oluşturmak amacıyla ocağın üst noktasına ulaşılmaya çalışılırken, arazi yapısından kaynaklanan zorluklar nedeniyle bu işlem en ekonomik ve en kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmekte ve bir taraftan da taş üretimi yapabilmektedir.

Önerilen bu uygulama sisteminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

- ▶ Ocaktaki kademe oluşturma safhasındaki hazırlık çalışmaları, ocağın en alt katından en üst katına doğru yapılırken, üretim safhasında ise ocağın en üst katından en alt katına doğru ilerleyen bir hareket tarzı izlemektedir.
- ▶ Herhangi bir kademe sahasının hemen üzerindeki kademe sahasına ait kademe yolu ve kademe sahası teşkil edildiği andan itibaren, bir alttaki kademe sahasındaki taş üretimi durdurulmalı, üstteki yeni kademe sahasındaki üretim çalışmalarına ağırlık verilmelidir.
- ▶ Üstteki kademe sahası önde, alttaki kademe sahası geride olmak kaydı ile taş ocağında işletme çalışmaları devam edebilir.

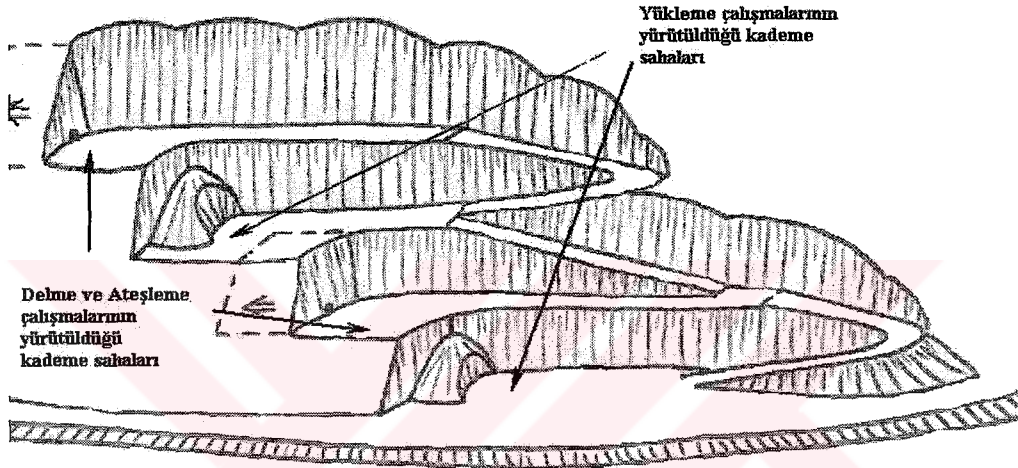
Arazideki zorluklar nedeniyle en alt kottan başlayarak en üst kote doğru kademe sahasları teşkil edilmiş olan bir ocaktaki kademeli işletme sisteminin son durumu Şekil 1.17'de görülmektedir.



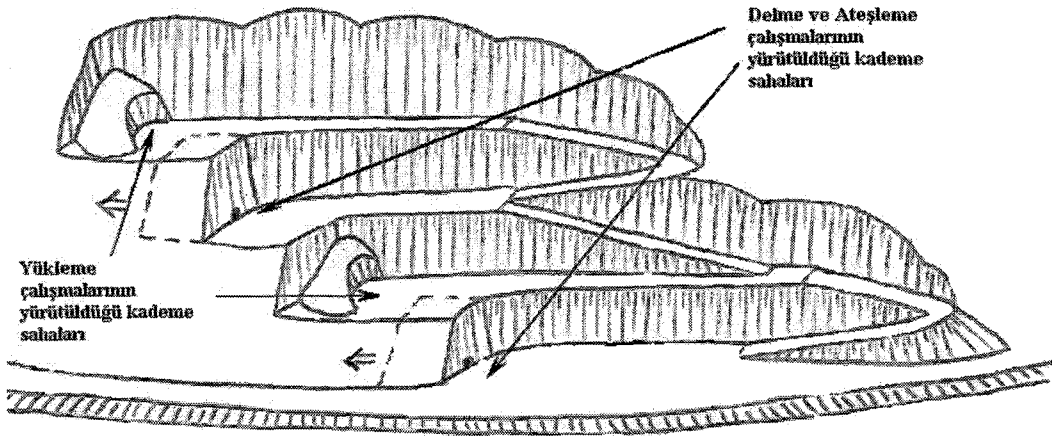
Şekil 1.17. Taş ocaklarında oluşturulmuş ideal bir kademeli işletme sisteminin son durumu

Bu işletme sisteminde yapılacak planlama ile Şekil 1.18'de görüleceği gibi önce 3. ve 1. kademe sahasında delme ve patlatma hazırlıkları yapılırken zemindeki taban sahasında ve 2. kademe sahasında ise yükleme ve nakliye çalışmalarına devam edilir.

İkinci aşamada, 3. ve 1. kademe sahalarında yapılan ateşlemelerde yükleme ve nakliye çalışmalarına geçilirken bu sefer zemindeki taban sahasında ve 2. kademe sahasında ise delme ve patlatma çalışmaları yapılır. Bu şekilde periyodik dönüşümlerle ocaktaki üretim çalışmaları devam eder (Şekil 1.19).



Şekil 1.18. Kademeli işletme sistemindeki 3. ve 1. kademe sahalarında delme ve patlatma hazırlıkları yapılırken zemindeki taban sahasında ve 2. kademe sahasında ise yükleme ve nakliye çalışmaları yapılmaktadır



Şekil 1.19. Kademeli işletme sistemindeki zemindeki taban sahasında ve 2. kademe sahalarında delme ve patlatma hazırlıkları yapılırken 1. ve 3. kademe sahasında ise yükleme ve nakliye çalışmaları yapılmaktadır

1.2. Beton

Beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan yapay bir malzemedir. Çimentonun suyla birleşmesiyle oluşan çimento hamuru agrega yüzeylerini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevi yapmaktadır. Betonun aktif yapıtaşını oluşturan çimento hamurudur ve betonun performansı büyük ölçüde çimento hamuru tarafından belirlenmektedir. Beton da ayrıca kimyasal katkılar ve mineral katkılar da kullanılmaktadır. Betondaki katkılar hızlandırıcı, geciktirici, hava sürükleyici, su azaltıcı, akışkanlaştırıcı vb. gibi bazı faydalı etkiler sunar ve bunlar çimento-katkı etkileşimiyle ilişkilidir. Yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. gibi mineral katkılar aynı zamanda betonun dayanımını artırır. Betonun performansı, bileşenlerinin kalitesine, onların oranlarına, yerleşimlerine ve mevcut koşullara bağlıdır (Çağlayan, 1999; Ramachandran ve Beaudoin, 2001).

Çimento hala beton yapımında kullanılan önemli bir materyaldir. Fakat günümüz betonlarında artık bu önemini yitirmeye başlamıştır. Günümüz betonları artık basit bir su, çimento ve agrega karışımı olmaktan çok betona belirgin üstün özellikler kazandıran mineral bileşenleri ve kimyasal katkılarda içermektedir (Aitcin, 2000).

Betonun kütle ve hacim olarak en büyük bileşeni olan agrega, taze ve sertleşmiş betonun performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bağlayıcı maddeye göre maliyeti oldukça düşük olan ve genellikle dolgu malzemesi olarak kabul edilen agregaya, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını arttırmakta, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli dayanımı sağlayabilmektedir (Çağlayan, 1999).

Betonun mekanik dayanımları arasında değeri en büyük olanı, basınç dayanımıdır ve beton kalitesinin önemli bir ölçütüdür. Beton çoğunlukla bu özelliğinden yararlanılarak yapılarda basınç gerilmeleri etkisinde bırakılarak kullanılır. Ancak bazı uygulamalarda örneğin su yapıları ve yol kaplamalarında beton, basınç gerilmeleri yanında aşınma ve çarpma etkileri de altındadır (Çağlayan, 1999).

Postacıoğlu (1987) kaynağına göre, betonun basınç dayanımı bileşiminin bir fonksiyonudur ve beton bileşiminin basınç dayanımının yüksek olmasını sağlayacak şekilde belirlenmesi ile betonda aranan diğer özellikler kendiliğinden oluşacaktır. Uygun

çimento seçildiği takdirde betonun sahip olduğu dayanımı zamanla kaybetmemesi için şu koşulların yerine getirilmesi lazımdır;

- ▶ 1 m³ beton içerisindeki kg cinsinden çimento miktarı olarak tanımlanan dozaj normal hallerde 250-400 kg/m³ arasında kalmalıdır.
- ▶ Karışım suyu miktarı fazla olmamalıdır.
- ▶ Betonun kompasitesi yüksek olmalıdır.

1.2.1. Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkileri

Uygun sıcaklık ve nem ortamında kür edilmiş olan betonun herhangi bir yaştaki dayanımı öncelikle sadece iki faktöre bağlı olduğu varsayılır;

- Su/çimento oranı
- Sıkıştırma derecesi

Beton tamamıyla sıkıştırıldığı zaman, dayanımı su/çimento oranıyla tamamen ters orantılıdır. Bu ilişki, Duff Abrams tarafından 1919'da belirlenmiştir ve gerçek bir kural olarak bilinmektedir. Abrams eşitliği;

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{w/c}} \text{ 'dir.} \quad (12)$$

Burada;

f_c ; Betonun dayanımı,

w/c ; Su/çimento oranı (hacimce), ve

K_1 - K_2 ; Ampirik sabitlerdir.

1896'da Feret, beton dayanımını suyun ve çimentonun hacmiyle ilişkilendirmiş ve formüle etmiştir. Abrams ve Feret kuralları birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiş olmasına karşın genel bir kural olarak birbirlerine benzerler. Feret eşitliği;

$$f_c = K \left(\frac{c}{c + w + a} \right)^2 \text{ 'dir.} \quad (13)$$

Burada;

f_c ; Betonun dayanımı,

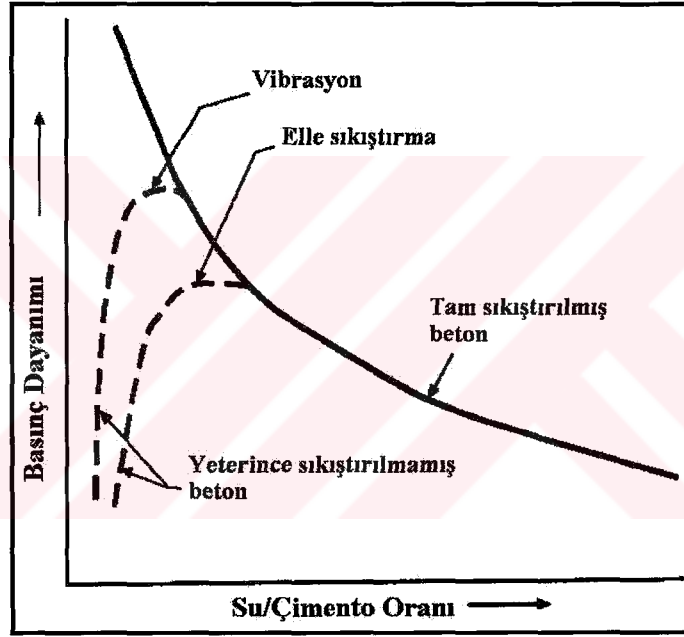
c ; Çimento (hacimce),

w ; Su (hacimce),

a ; Hava (hacimce),

K ; Sabittir.

Dayanım ve su/çimento arasındaki ilişkinin eğrisinin genel bir biçimi Şekil 1.20’de görülmektedir.



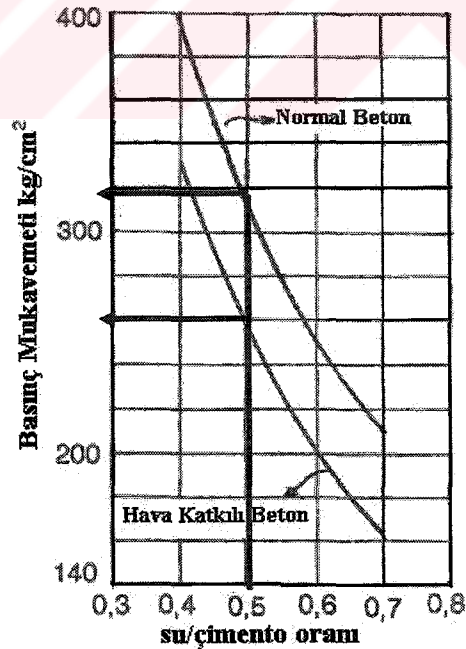
Şekil 1.20. Beton dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki ilişki (Neville, 2001).

Su/çimento oranı herhangi bir hidratlaşma seviyesinde sertleşmiş beton hamurunun gözenekliliğini belirler. Bundan dolayı su/çimento oranı ve sıkıştırma derecesi betonda boşluk oranını etkiler. Şekil 1.20 su/çimento oranının kabul edilebilir aralığının sınırlandırıldığını göstermektedir. Çok düşük su/çimento oranlarında sıkıştırma artık mümkün olmadığından dolayı eğri devam etmemektedir. Ayrıca şekilde artan su/çimento oranıyla beton basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Ancak su/çimento oranındaki azalma çok olduğu takdirde, böyle bir betonu tam olarak sıkıştırabilmek zor olduğundan,

betonun içerisindeki boşluklardan tamamen kurtulunamamaktadır. O nedenle, çok düşük su/çimento değerlerine sahip olan betonların dayanımlarında, kesikli çizgilerle belirtildiği gibi, düşüş olmaktadır. Sıkıştırılması vibrasyonla yapılan betonların dayanımının elle sıkıştırılma yapılanlara göre daha yüksek olduğu da görülmektedir (Neville, 2001).

Feret ve Abrams'ın çalışmaları betonun kullanılmasına ve özelliklerinin anlaşılmasına önemli ölçüde yardımcı olmuştur. Ancak kullandıkları çimentolar modern çimentolardan daha kaba öğütülmüşlerdi ve kimyasal bileşimleri de farklıydı. Ayrıca, bugün kullanılan betonlarda ilave bileşenlerde bulunmaktadır. Feret ve Abrams yaptıkları betonlarda hiçbir ilave katkı kullanmamışlardı (Yeğinobalı, 2003).

Postacıoğlu (1987) kaynağında 0,4-0,7 su/çimento oranı arasında hava katkılı beton ve normal betonun basınç dağılımları grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 1.21). Şekilde su/çimento oranının artmasıyla her iki beton tipinde de basınç dayanımının düştüğü ancak hava katkılı betonların basınç dayanımlarının normal betonlara göre aynı su/çimento oranı için daha düşük olduğu görülmektedir. Örneğin 0,5 su/çimento oranında normal betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak 320 kg/cm^2 olurken hava katkılı betonlarda ise yaklaşık 260 kg/cm^2 olmaktadır.



Şekil 1.21. Su/çimento oranı basınç mukavemeti ilişkisi (Postacıoğlu, 1987).

Dayanım mühendislik açısından betonun en önemli özelliğidir. Beton dayanımının, değişen su/çimento oranı ve çimento dozajı tarafından etkilendiği bilinmektedir. Beton dayanımını geliştirmek için, kaya ve agreganın dayanımını, doku ve mineralojik karakteristiklerini, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek gerekir. Kayaların dayanımı mineralojileriyle yakından ilgilidir (Yaşar, 2003).

Bilindiği üzere su/çimento oranı betonun bilinen bütün özelliklerini doğrudan etkileyen en önemli bir parametredir. Beton dayanımı ve dayanıklılığı su/çimento oranından birinci derecede etkilenir. Su/çimento oranı hem çimento hamuru yapısını hem de agrega-çimento hamuru ara yüzeyini doğrudan etkileyen bir parametredir. Su/çimento oranının büyümesi ile beton içerisinde boşluklu zayıf bir yapı oluşur. Keza yüksek su/çimento oranında betonda terleme artar ve agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki porozite büyür. Bu şekildeki bir beton dokusunda yüzey enerjisi ve bağ dayanımı azalır (Koç, 2001; Uğurlu, 2002).

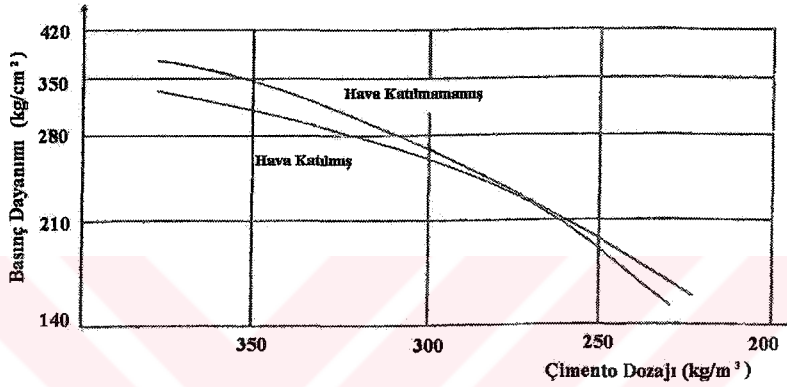
Postacıoğlu (1987) kaynağında, beton üretimi sırasında kullanılan karışım suyu miktarının optimum düzeyde olması gerektiği, optimum miktardan az su kullanılması halinde;

- ▶ Çimentonun hidratasyonunu tamamlayamayacağı,
- ▶ Agregta taneleri arasındaki aderansın zayıflayacağı,
- ▶ Betonun işlenebilme özelliğinin yeterli olmayacağı,
- ▶ Optimum miktardan çok fazla karışım suyu kullanılması halinde ise;
- ▶ Çimentonun mekanik dayanımı olarak tanımlanan üzerine gelen gerilmelere kendi başına dağılmadan karşı koyma özelliğinin azalacağı,
- ▶ Fazla suyun betonun sıkışmasına engel olarak boşlukları arttıracığı, ve bunların sonucunda beton basınç dayanımının düşük olacağı bildirilmiştir.

Uğurlu (1989) ve Akyüz (1991), beton kalitesindeki zayıflığı, kılcal boşluk ve beton işlenebilirliği için gereğinden fazla kullanılan suya bağlamaktadır. Bu nedendir ki su/çimento oranı, çimento dozajına bağlı olarak karışım suyu miktarını belirten önemli bir orandır. Bu oranın küçülmesi beton basınç dayanımının büyümesini sağlar.

Çelik'e göre yüksek dayanımlı beton üretimi için su/çimento oranının 0,40 civarında tutulması uygun olacaktır. TS 802'e göre soğuk bölgelerde su/çimento oranı 0,53 ılıman bölgelerde ise basınç dayanımına göre seçilmesi gerekir (Özyürek, 1995).

Beton bileşeni çimentonun beton dayanımına etkisi oldukça fazladır. Dozajın artması doğal olarak çimento hamurunun hacmini artırarak betonda oluşan zorlamalar altında çimento hamurunda meydana gelen gerilmelerin küçük değerler almasını sağlar. Diğer bir ifadeyle betonun basınç dayanımı çimento miktarının artmasıyla artar. Ancak çimento miktarı 400 kg/cm^3 'ün üstüne çıktığında betonun dayanım kazanma etkinliği hemen azalır ve özellikle 600 kg/cm^3 miktarına doğru yaklaştığında sifira ulaşır. Çimento miktarı ile basınç dayanımı arasındaki değişim Şekil 1.22'de görülmektedir (Özyürek, 1995).



Şekil 1.22. Beton basınç dayanımı ile çimento miktarı arasındaki ilişki (Özyürek, 1995).

Su/çimento oranıyla ilgili Yaşar vd., (2003) yapmış oldukları çalışmalarında 0-5, 0-10, 0-20, 10-20, 5-10 mm gibi 5 farklı boyutta kireçtaşı ile 0,3-0,5 arası farklı su/çimento oranlarında betonlar üreterek, bu betonların basınç dayanımının değişen su/çimento oranına ve boyutuna bağlı olarak değişimlerini incelemiştir. İnceleme sonucunda en yüksek basınç dayanımının 0-5 mm agrega boyutunda ve 0,3 su/çimento oranındaki beton örneklerinde olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak beton dayanımının azalan su/çimento oranıyla önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir.

1.2.2. Agrega Tipinin Beton Dayanımına Etkileri ve Yapılan Bazı Çalışmalar

Dayanım performansı mühendislik açısından betonun en önemli yapısal özelliği olarak bilinir. Beton bileşimi ve mekanik özellikleri arasındaki ilişki araştırmacılar tarafından uzun zaman ele alınmıştır. Beton dayanımı harç, iri agrega ve ara yüzeyin özellikleri tarafından belirlenir. Benzer nitelikteki harçlar için; farklı şekil, doku,

mineraloji ve dayanıma sahip farklı tipte iri agregalar farklı beton dayanım sonuçları verebilir (Özturan ve Çeçen, 1997; Wu, 2001). 0,4'ten daha büyük su/çimento oranına sahip beton karışımlarında, harç dayanımı ve iri agrega-harç arasındaki bağ malzemenin dayanımı ile sınırlıdır. Bundan dolayı normal dayanımlı betonlarda iri agreganın beton dayanımı üzerine etkisi dikkate değer değildir. 40 MPa'dan daha büyük basınç dayanımına sahip ve genellikle 0,4'ten daha küçük su/çimento oranıyla elde edilen yüksek basınç dayanımına sahip betonlar için ara yüzey bağı ve harç dayanımı, iri agrega dayanımı ile orantılı olabilmektedir. Bu yüzden uygun yapı ve mineralojik özelliklere ve daha yüksek dayanıma sahip iri agrega kullanımı beton dayanımını artırıcı yönde etki etmektedir (Özturan ve Çeçen, 1997; Zia, 2005).

Beshr vd., (2003) agrega kalitesinin beton dayanımı üzerini etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalarında kalkerli kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kuvarsitik kireçtaşı ve çelik curuf iri agregaları gibi 4 farklı agrega kullanmışlardır. Her bir malzeme için 0,35 su/çimento oranı ve 450 kg/m³ çimento miktarı kullanarak silindirik beton numuneler hazırlayıp 3, 7, 14, 28 ve 180 günlük basınç dayanımlarını test etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışma sonucunda artan zamanla birlikte beklenildiği gibi basınç dayanımlarında da bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca en yüksek basınç dayanımı çelik cüruf agregalarıyla yapılan beton örneklerinde en düşük basınç dayanımı ise kalkerli kireçtaşlarında olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda özellikle yüksek dayanımlı betonlarda beton basınç dayanımının agrega kalitesine bağımlı olduğunu belirtmişlerdir.

Agrega tipinin yüksek ve normal dayanımlı betonların mekanik özellikleri üzerine etkilerini inceleyen Özkan vd., (2000) bazalt, kumtaşı, gri kireçtaşı ve beyaz kireçtaşı gibi 4 farklı agrega kullanarak normal ve yüksek dayanımlı betonlar üretmiştir. Yapmış oldukları çalışmalarında beyaz kireçtaşının üretilen normal dayanımlı beton örneklerinde diğer agregalara göre biraz daha yüksek dayanım sonucu verdiğini, bazalt agregasının ve gri kireçtaşının ise üretilen yüksek dayanımlı beton örneklerinde diğerlerine göre oldukça yüksek dayanım sonucu verdiğini görmüşlerdir. Bu sonuçlardan yola çıkarak beyaz kireçtaşının yüzey özelliklerinin ve mineralojisinin beton dayanımında olumlu rol oynayarak dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca bu agregayla yapılan beton dayanımının diğerlerine göre yüksek oluşunu, agrega ve harç karışımı arasındaki güçlü ara yüzey bölgesi ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Yüksek dayanımlı betonlarda ise kayacın dayanımı ne kadar yüksek ise betonun dayanımı da o kadar yüksek olmaktadır.

Akpınar (2002) kaynağında akarsu kökenli bir ocaktan alınan yıkanmış ve tuvenan agrega ile yıkanmış kireçtaşı agregası ve bazalt agregasının beton kalitesi üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Her bir malzeme için önce değişik su/çimento oranlarında daha sonra sabit su/çimento oranında beton numuneler oluşturularak basınç dayanımlarını belirlemiştir. Deneyler sonucunda her deney koşulu altında bazalt numunesinin en yüksek dayanım değerine sahip olduğunu belirtmiştir. Bütün örnekler için en yüksek dayanım değerleri, çimento miktarının %20 arttırıldığı ve su/çimento oranının düşük olduğu örneklerde olduğunu vurgulamıştır. Genel olarak en düşük dayanım değerini ise akarsu kökenli tuvenan agregasıyla elde edilen beton örneklerinde tespit etmiştir. Birleştirilmiş mukavemet değerlerini incelediğinde maksimum dayanımı, çimentonun arttırıldığı veya agrega içindeki ince malzeme miktarının azaltıldığı ve nispeten iri malzemenin arttığı beton örneklerinde tespit etmiştir. Buradan da agrega boyutunun ve tipinin beton dayanımına önemli etkisi olduğu sonucuna varmıştır.

Agrega tipinin beton dayanımı üzerine etkisini inceleyen Özturan ve Çeçen (1997) çalışmalarında çakıl, kireçtaşı ve bazalt agregaları kullanmışlardır. 30, 60 ve 90 MPa 28 günlük hedef basınç dayanımlarına sahip olan 0,58, 0,40 ve 0,30 su/çimento oranlarında ve her bir su/çimento oranı için 340, 450 ve 550 kg/m³ çimento içeriğinde 3 farklı beton karışım dizaynı hazırlamışlardır. Betonda işlenebilirliğin agrega tipine büyük oranda bağlı olduğunu ve bütün beton karışımlarında yuvarlak çakıl agregasının en fazla çökme değeri verdiğini belirtmişlerdir. Diğer yandan 60 ve 90 MPa hedef dayanımlı beton örneklerinde bazalt ve kireçtaşı agregalarıyla üretilen betonların yuvarlak agregalı betonlara göre daha yüksek dayanım sonucu verdiğini yaptıkları çalışmada ortaya koymuşlardır. Çakıl agregalarıyla yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımları kireçtaşı ve bazalt agregalarıyla karşılaştırıldığında %10-20 arasında daha düşük olmaktadır. Bu durumu çakıl tanelerinin düzgün yüzeyli ve yuvarlak oluşunun karışımdaki bağ dayanımı düşürmesiyle açıklamışlardır. 30 MPa hedef dayanımlı betonlarda çakıl ve bazalt agregalarıyla yapılan beton dayanımlarının birbirine yakın olduğu, kireçtaşı agregasının ise bu hedef dayanım için daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumu ise kireçtaşı ile harç arasındaki bağ dayanımını arttırabilen bazı arayüzey kimyasal reaksiyonlar gerçekleşmiş olması ile açıklamışlardır. Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak beton basınç dayanımı üzerine iri agrega tipinin etkisi normal ve yüksek dayanımlı betonlarda oldukça etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

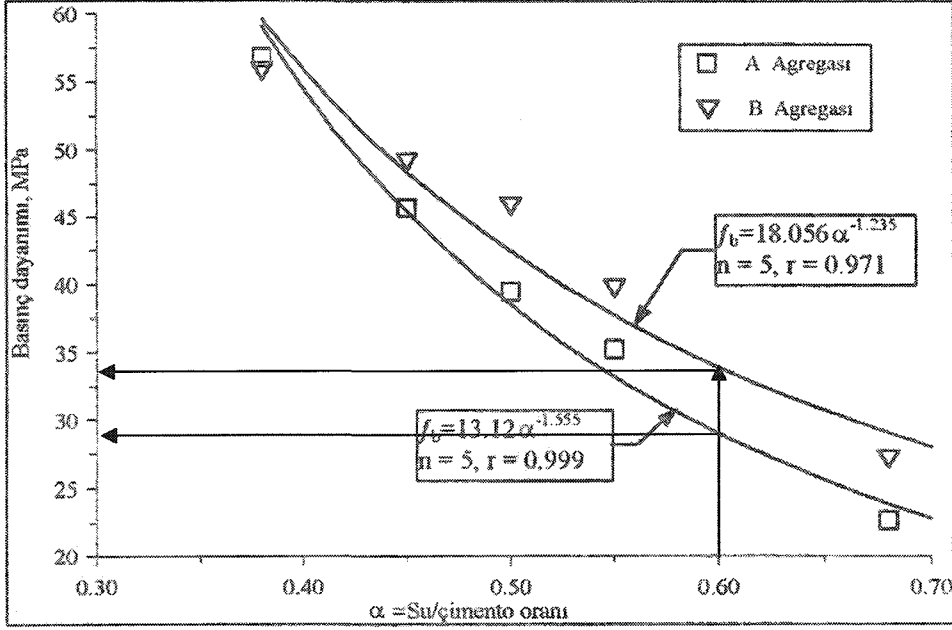
1.2.3. Kırmataş Kullanımının Beton Dayanımına Etkileri

İnşaat sektöründe doğal agrega kullanımının, sektördeki hızlı gelişmeye bağlı olarak mevcut kaynakların hızla tükenmesi ve çevresel etkiler göz önüne alındığında zamanla azalacağı beklenmektedir. Diğer taraftan kırma-eleme işlemleriyle kırılmış agrega üretimi ve kullanımı giderek artmaktadır. Ayrıca, agrega şeklinin beton dayanımında önemli bir rol oynadığı göz önüne alındığında, uygun kırıcı ekipmanlar kullanılarak kübik şekilli tanelerin üretilebilmesi kırılmış agrega kullanımını arttıracaktır (Alp, 2003). Yüksek mukavemetli beton üretiminde kırmataş iri agregasının, doğal çakıla göre mekanik dayanım bakımından daha iyi sonuçlar verdiği de bilinmektedir (Taşdemir, 2003).

Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agreganın betonun performansına olan etkisi belirgindir. Maksimum su/çimento oranı ile minimum çimento dozajı gibi sınırlamalar betonun dayanımı ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler (Taşdemir, 2003).

Taşdemir vd., (2003) yaptıkları çalışmada iri agregası kırmataş, ince agregası kırılmakum olan betonlar üretilmiş ve 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları elde edilmiştir. Hazırlanmış oldukları betonlarda 220-300 kg/cm³ aralığında 5 farklı çimento dozajı kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde artan çimento dozajıyla 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımlarının arttığını görmüşlerdir. Ayrıca çalışmada kullanılan kırılmakum, %12,6'sı 0,075 mm elek altına geçen mikrofiller malzemedir. Bu mikrofiller malzemenin daha yoğun ve boşluksuz bir iç yapı oluşturmasına bağlı olarak basınç dayanımlarını arttırdığı, ancak aşırı artışıyla yüzey alanının artışına bağlı olarak su ihtiyacını arttırdığı gözlenmiştir.

Köşeli-küp şekline yakın kırmataş agregalarının yuvarlak agregalara kıyasla çimento hamuru ile oluşturdukları aderans (yapışma) çok daha güçlüdür. Arıoğlu (1999a) kaynağına göre aynı su/çimento oranına sahip kırmataş agregasından oluşturulan betonun basınç dayanımı (B) yuvarlak taneli agregadan yapılan betonun basınç dayanımından (A) daha büyüktür (Şekil 1.23). Örnek olarak 0,60 su/çimento oranındaki basınç dayanımları incelenebilir. Bu olguyu köşeli agregaların çimento hamuruyla oluşturdukları güçlü aderans bağı ile açıklamışlardır. Kuşkusuz köşeli agrega kullanımında istenen işlenebilirliği sağlamak bakımından ıslatma gereksinimi daha fazladır. Ayrıca artan su/çimento oranıyla dayanımların önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Kırılmış çakıl kullanıldığı beton karışımlarının gerek basınç gerekse çekme dayanımları kırılmamış çakıla ait beton dayanım değerlerinden daha büyüktür.



Şekil 1.23. Agregat türünün basınç dayanımı- su/çimento oranı üzerindeki ilişkisi (Arioğlu, 1999a).

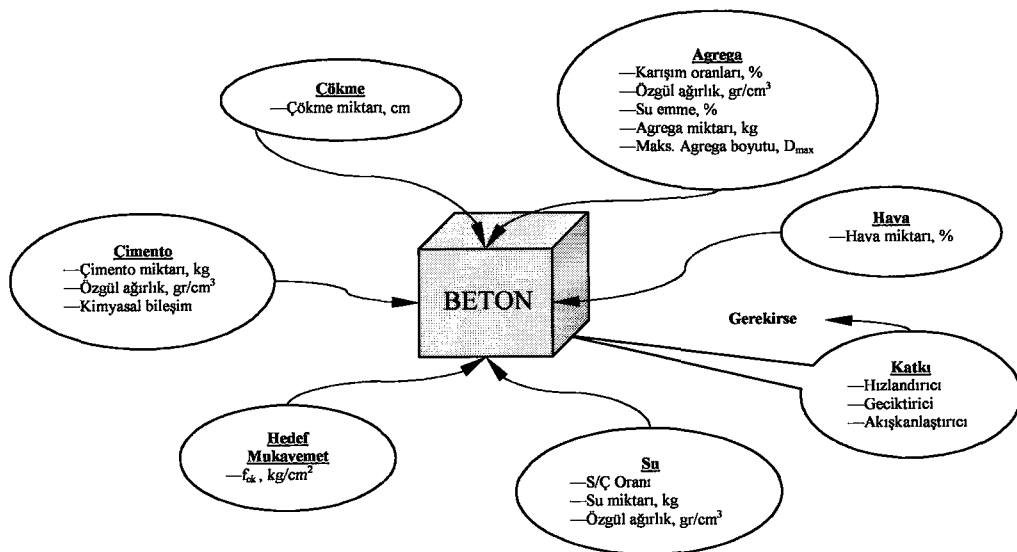
Eren (1998) yapmış olduğu çalışmada doğal ve kırmataş agregaların beton davranışı üzerine fiziksel ve ekonomik yönden etkilerini incelemiştir. Çalışmasında çoğu küreselleşmiş, yassılığı ve uzunluğu çok fazla olmayan ocak doğal agregası ve hemen hemen tamamı köşeli ve kırılma şekli kübik olan kırılmış kireçtaşı agregası kullanmıştır. Yapmış olduğu testlerle kullandığı agregaların standartlara uygunluğunu ancak kırmataş agregasının doğal agregaya oranla yıkanabilir madde miktarının fazla olduğunu ortaya koymuştur. Yaptığı beton deneyleri sonucunda kırmataş agregalarıyla yapılan beton örneklerinin dayanımlarının doğal agregayla yapılan beton örneklerinden fazla olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca karma suyun arttırılmasıyla doğal agregayla yapılan beton örneklerinde dayanımın çok fazla düştüğünü, kırmataş agregalarıyla yapılan betonlarda ise bu düşüşün daha az yaşandığını belirlemiştir. Çimento hamuru-agrega arasındaki aderansı (yapışma özelliği) incelediğinde, kırmataş agregalarının dayanım testinde kırıldığını, doğal agregaların ise çimento hamurundan sıyrıldığını görmüştür. Bu davranış biçiminin beton dayanımı açısından kırmataş agregalarının lehine bir durum olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kırmataş betonlarının doğal agregayla üretilen betonlara göre daha ucuz olduğu sonucunu ortaya koymuştur.

1.3. Beton Karışım Dizaynı

Beton karışım tasarımının temel amacı verilen dayanım, işlenebilirlik ve dayanıklılık koşullarını sağlayan karışım bileşenlerinin (çimento, su, iri agrega ve ince agrega) miktarlarının en ekonomik şekilde belirlenmesidir. Beton daha yakından incelendiğinde iki ana kavram önem kazanmaktadır (Arioğlu vd., 2004);

- Basınç dayanımı = $f \left(\alpha = \frac{Su}{Çimento} \right)$
- İşlenebilirlik = $f (Çökme)$

Beton ağırlık oranlarının tespiti için bir çok usul mevcutsa da bunların hiçbiri, istenilen özellikteki betonu bir defada hesaplamaya yeterli olmaz. Bunlar karışım oranlarını bulmak için başlangıç noktalarıdır. Tam değerleri denemelerle tespit etmek gerekir. Zira beton karışımlarında esas; istenilen derecede işlenebilme kabiliyetine sahip olan ve sertleştikten sonra istenilen özelliklerini gösteren bir karışım teşkil eden en ekonomik ve en uygun agrega, çimento, su ve bazı hallerde katkı maddelerinin miktarlarının tayinidir. Bu faktörlerin hepsini arzu edilen derecede tayin etmek ancak bir seri denemelerle, gerekli düzeltmeler yapmak sureti ile mümkün olur. Genellikle betondan istenilen özelliklerin bir kısmı veya hepsi iş şartnamelerinde belirtilir ve karışım oranlarını tespit edecek şahsa bırakılmaz.



Şekil 1.24. Beton karışım dizaynı için bilinmesi gereken bazı koşulların diyagram biçiminde gösterimi

Beton karışım hesap ve denemelerine başlamadan önce bilinmesi gerekli bazı terim ve değerler vardır (Şekil 1.24). Bunlar sırası ile şunlardır:

- ▶ Maksimum su/çimento oranı,
- ▶ Minimum çimento miktarı,
- ▶ Hava miktarı,
- ▶ Çökme (slump),
- ▶ Maksimum agrega boyutu,
- ▶ Mukavemet,
- ▶ Katkılar, özel tipteki çimentolar ve agregalar gibi projenin tamamlanması ile ilgili isteklerdir.

Yukarıdaki gerekli bilgiler haricinde, kullanılan malzeme özelliklerinden bilinmesi gerekenler ise:

- ▶ Kaba ve ince agrega kuru özgül ağırlığı ve su absorpsiyon yüzdesi,
- ▶ Kaba agreganın kuru, şişlenmiş (sıkışık) birim ağırlığı,
- ▶ İnce agreganın incelik modülü,
- ▶ Çimentonun özgül ağırlığı,
- ▶ İnce ve kaba agreganın rutubet yüzdesi,

Beton karışım oranlarının belirlenmesinde, agregaların tane boyut dağılımı, özgül ağırlığı ve su emme özelliklerinin bilinmesi 1 m^3 beton içerisinde kullanılacak agrega ve su miktarını etkilemektedir. Tane boyut dağılımının bilinmesi homojen bir beton elde etmek açısından önemlidir. Öte yandan özgül ağırlık ve su emme özellikleri karışıma girecek olan bileşenlerin miktarlarını doğrudan etkilemektedir (Koç, 2001).

1.3.1. Ağırlık veya Mutlak Hacim Metodu

Bu metodun esası, betonu oluşturan malzemelerin birim hacimdeki beton içerisindeki ağırlıklarının veya hacimlerinin saptanmasıdır. Birim hacim ise sıkıştırılmış 1 m^3 betonun mutlak hacmi olup, malzemelerin ayrı ayrı zahiri hacimlerinin toplamından küçük olmalıdır. Zira sıkıştırılmış 1 m^3 betonda çakılların boşlukları kum ile kumun boşlukları çimento hamuru ile doldurulmaktadır.

1.3.1.1. Örnek Problem

Bir beton şartnamesinde aşağıdaki koşullar bulunmaktadır (Tablo 1.4). Maksimum agrega boyutu $D_{max.} = 16$ mm ve 0-4 mm ve 4-16 mm'lik iki tane sınıfı olduğuna göre verilenler ışığında 1 m^3 beton için gerekli malzeme miktarını hesaplayın?

Tablo 1.4. Örnek beton karışımı dizaynı için malzeme miktarları

Agrega	Oran (Ağırlıkça)	Özgül ağırlık ρ_{dkv}	Absorbsiyon (%) w_s	Rutubet (%) w_y	Çimento
0-4 mm	$\frac{W_{(0-4)}}{W_{(4-16)}} = 0,70$	2,40	2	5	350 kg
4-16 mm		2,60	2	3	Özgül Ağ. $\rho_c = 3,10$

→S/Ç = 0,50 (su/çimento oranı)

→H = %1 (Hava miktarı)

→ $\rho_s = 1$ (Suyun özgül ağırlığı)

Çözüm :

Önce mutlak hacimler bulunur:

$$V_f = \frac{350}{3100} = 0,113 \text{ m}^3$$

$$\frac{S}{Ç} = 0,50 \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{S}{Ç} = 0,50 \Rightarrow S = 175 \text{ kg}$$

$$V_s = \frac{175}{1000} = 0,175 \text{ m}^3$$

$$V_h = 0,01 \text{ m}^3 \text{ (1 m}^3\text{'ün \% 1'i)}$$

Toplam karışım 1 m^3 olacağından ve karışıma su, hava, çimento ve agrega gireceğinden;

$$V_T = 1 \text{ m}^3$$

$$V_T = [V_a + V_c + V_s + V_h] \quad (14)$$

$$V_a = 1 - [V_c + V_s + V_h] = 1 - [0,113 + 0,175 + 0,01]$$

$$V_a = 0,702 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_{(0-4)} + V_{(4-16)} \quad (15)$$

Bir malzemenin ağırlığı hacmiyle özgül ağırlığının çarpımına eşit olduğundan ;

$$W_{(0-4)} = V_{(0-4)} \times \rho_{a(0-4)} \Rightarrow 2,40 \times V_{(0-4)} \quad (16)$$

$$W_{(4-16)} = V_{(4-16)} \times \rho_{a(4-16)} \Rightarrow 2,60 \times V_{(4-16)} \quad (17)$$

$$\frac{W_{(0-4)}}{W_{(4-16)}} = 0,70 \Rightarrow \frac{2,40 \times V_{(0-4)}}{2,60 \times V_{(4-16)}} = 0,70$$

$$V_{(0-4)} = 0,76 \times V_{(4-16)}$$

(15) numaralı formülde yerine konulursa,

$$0,702 = (0,76 \times V_{(4-16)}) + V_{(4-16)}$$

$$V_{(4-16)} = 0,399 \text{ m}^3$$

(15) numaralı formülde yerine konulursa,

$$V_{(0-4)} = 0,303 \text{ m}^3$$

Agrega ağırlıklarının hesaplanması :

$$W_{(0-4)} = V_{(0-4)} \times \rho_{a(0-4)} = 0,303 \times 2400 = 727 \text{ kg}$$

$$W_{(4-16)} = V_{(4-16)} \times \rho_{a(4-16)} = 0,399 \times 2600 = 1040 \text{ kg}$$

1m³ beton içersindeki toplam ağırlıklar :

Çimento	; 350 kg
Su	; 175 kg
Agrega (0-4)	; 727 kg
Agrega (4-16)	; 1040 kg
Toplam	; 2292 kg

Rutubet düzeltmesi ; Yapılan hesaplamalar agregaların “doğun kuru yüzey” olduğu durum içindir. Oysa örnekteki her iki tane sınıfı da rutubetlidir. Yapılan rutubet düzeltmesi sonrası agregalarda bulunan fazladan su miktarı Tablo 1.5’de hesaplanmıştır.

Tablo 1.5. Malzemelerin rutubet düzeltmesi

Agrega (mm)	Absorbsiyon (%) [1]	Rutubet (%) [2]	Fark (%) [2]-[1]	Hesap Ağırlığı (kg)	Fazla su (kg)
0-4 mm	2	5	+ 3	727	+22 (0,03x727)
4-16 mm	2	3	+ 1	1040	+10 (0,01x1040)
TOPLAM				+ 32 kg	

Bulunan bu değerler kadar agregalarda fazladan su bulunmaktadır. Gerekli rutubet düzeltmesi yapılmadığı takdirde agregadaki bu yüzey nemi karışım suyuna ilave olacak ve su/çimento oranını arttıracaktır. O halde beton karışımına katılacak su toplam agregadaki yüzey nemi kadar azaltılmalıdır.

Buna göre son karışım şu şekilde düzeltilmelidir ;

Çimento	= 350 kg
Su	= 143 kg [175-32] (fazla su mevcut su’dan çıkartılır)
Agrega (0-4)	= 749 kg [727+22] (azalan su kadar agregaya ilave edilir)
Agrega (4-16)	= 1050 kg [1040+10] (azalan su kadar agregaya ilave edilir)
Toplam	= 2292 kg olacaktır.

Burada;

- V_{ϕ} ; Çimentonun hacmi, m^3 .
- V_T ; Toplam beton hacmi, m^3 .
- V_s ; Suyun hacmi, m^3 .
- V_h ; Havanın hacmi, m^3 .
- V_a ; Toplam agregaya hacmi, m^3 .
- $V_{(0-4)}$; 0-4 mm agregaya hacmi, m^3 .
- $V_{(4-16)}$; 4-16 mm agregaya hacmi, m^3 .

Burada dikkat edilecek husus, agreganın rutubet durumuna göre karışım oranlarının ayarlanmasıdır. Agreganın miktarları yüzey nemi kadar artırılmış, su miktarı ise agrega yüzey nemi kadar azaltılmıştır. Agreganın kuru halde olsaydı, karışıma katılacak su miktarı agregaların su emme miktarları kadar artırılması gerekecekti.

1.4. Nokta Yük Dayanımı

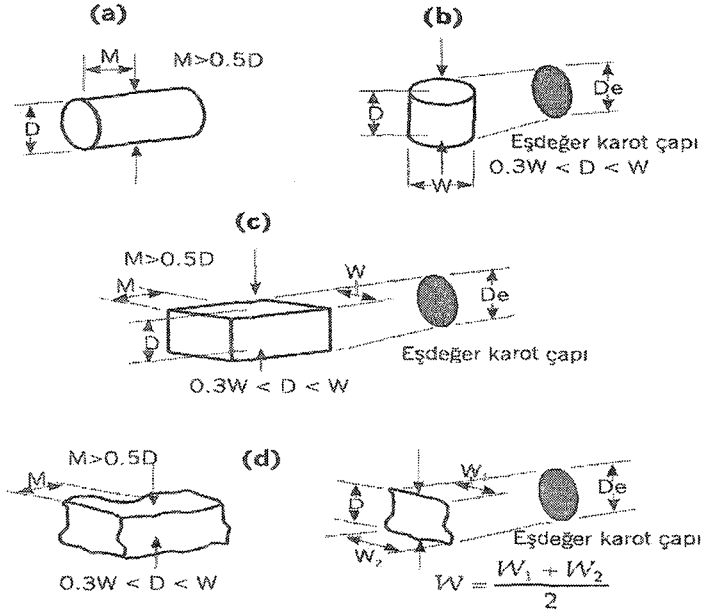
Nokta yük indisini tanımlayan “nokta yük deneyi” ilk defa 1972 yılında “Uygulamalı Kaya Mekaniği Disiplini”nde kayacın bir anlamda çekme dayanımından hareketle basınç dayanımının belirlenmesine yönelik olarak geliştirilmiştir. Nokta yük deneyinin, universal test makinesinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanımı deneyine kıyasla daha basit, pratik ve ekonomik olması anılan deneyin en belirgin üstünlüklerini oluşturmaktadır. Nokta yük deneyinde, deney için numune uçlarının kesilmesi, düzgün yüzey elde edilmesi ve deney başlıklarının hazırlanması gibi zaman alan ve zahmetli olan “ön hazırlık işlemleri” yoktur. Bu da ön hazırlık işlemlerinden kaynaklanacak deney içi değişkenleri büyük ölçüde azaltabilir (Arioğlu, 1999b).

Nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kayacın malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır. Bununla birlikte, günümüzde nokta yükü dayanım indeksinin tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla pek kullanılmaması yönünde bir eğilim mevcuttur. Deney sonucu esas alınarak; kayacın “nokta yükü dayanım indeksi” ve ayrıca “dayanım anizotropi indeksi” de hesaplanmaktadır.

Bu deney için silindirik karot örneklerinin yanı sıra blok ve düzensiz şekilli örneklerde kullanılabilir. Karot örneği konik yükleme başlıklarının arasına karot eksenine dik veya paralel konumda yerleştirilebilir. Nokta yükleme deneyi 3 şekilde yapılır (Ulusay, 2001);

- Çapsal deney (karot eksenine dik yönde yükleme)
 - Bu deney için karot örneğinin uzunluğunun (L) çapına (D) oranı Şekil 1.24 a’da gösterildiği gibi, 1’den büyük olmalıdır.
 - Kayacın örneği heterojen ve anizotrop ise, deney en az 10 örnek üzerinde yapılmalıdır.

- Çapı ve uzunluğu kompas ile ölçülen örnek, konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilir.
- Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P), yük göstergesinden okunur.
- ▶ Eksenel deney (karot eksenine paralel yönde yükleme)
 - Bu deney için D/W oranı 0,3-1,0 arasında olan karot örnekleri kullanılmalıdır.
 - Kayaç örneği heterojen ve anizotrop ise, deney en az 10 örnek üzerinde yapılmalıdır.
 - Örnek çapı ve boyu kompasla ölçüldükten sonra, konik uçlar arasına yükleme yönüne paralel olacak şekilde yerleştirilir.
 - Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P), yük göstergesinden okunur.
- ▶ Blok ve düzensiz örneklerde
 - 50(±35) mm boyutundaki ve Şekil 1.24 c ve d’de gösterilen blok ve düzensiz şekilli örnekler bu tür deney için uygundur. Kalınlık (D) ve genişlik (W) oranı 0,3-1,0 arasında tercihen 1’e yakın , Şekil 1.24 c ve d’de gösterilen ve konik uçların temas noktası ile en yakın serbest uç arasındaki mesafeyi tanımlayan M mesafesi ise en az 0,5D olmalıdır. Bu örneklerin eşdeğer çaplarının yaklaşık 50 mm olması tercih edilir.
 - Kayaç örneğinin heterojen ve anizotrop olması koşulunda, deney en az 10 örnek üzerinde yapılmalıdır.
 - Örnek konik başlıkların arasına yerleştirilir. Yükleme yönüne dik konumdaki en küçük örnek genişliği $W \pm \%5$ duyarlılıkla, konik başlıkların örnekle olan temas noktaları arasındaki D mesafesi nokta yük aletinin gövdesindeki metal cetvel kullanılarak, $\pm \%2$ duyarlılıkla ölçülür. Örneğin kenarları birbirine paralel değilse, W uzunluğu, Şekil 1.24 d’de gösterildiği gibi, $W = \frac{W_1 + W_2}{2}$ eşitliğinden belirlenir.
 - Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P), yük göstergesinden okunur.



Şekil 1.25. Örnek şekilleri; (a) çapsal ,(b) eksenel, (c) blok ve (d) düzensiz şekilli örnekler (Ulusay, 2001).

Nokta yük indeksi hesaplamasının kabul edilen en yaygın metodu Broch ve Franklin tarafından takdim edilmiştir. Ayrıca Broch ve Franklin 50 mm çapındaki örneklerin nokta yük indeksi dayanımı belirlemede daha iyi olacağını belirtmişlerdir (Richardson, 1989).

Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \text{ MPa} \quad (18)$$

1) Çapsal deneyde;

$$D_e^2 = D^2 \quad (19)$$

2) Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde ise;

$$D_e^2 = 4 \times \frac{A}{\pi} \text{ mm}^2 \quad (20)$$

($A = W \times D$; konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı)

Boyut düzeltmesi

I_s değeri; çapsal deneyde D 'nin, diğer deney türlerinde ise D_e 'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle, I_s değerinin standart bir karot çapına ($D=50$ mm) göre düzeltilmesi gerekir.

Bu amaçla düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi ;

$$I_{s(50)} = F \times I_s \text{ MPa} \quad (21)$$

Burada boyut düzeltme faktörü F şu şekilde hesaplanır ;

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0,45} \text{ (burada } D_e \text{'nin birimi mm'dir)} \quad (22)$$

Burada;

I_s = Nokta yük indeksi, MPa.

$I_{s(50)}$ = Düzeltilmiş nokta yük indeksi, MPa.

P = Yenilme yükü, N.

D_e = Eşdeğer karot çapı, mm.

D = Karot çapı, mm.

A = Kesit alanı, mm^2 .

W = Genişlik, mm.

F = Boyut düzeltme faktörü.

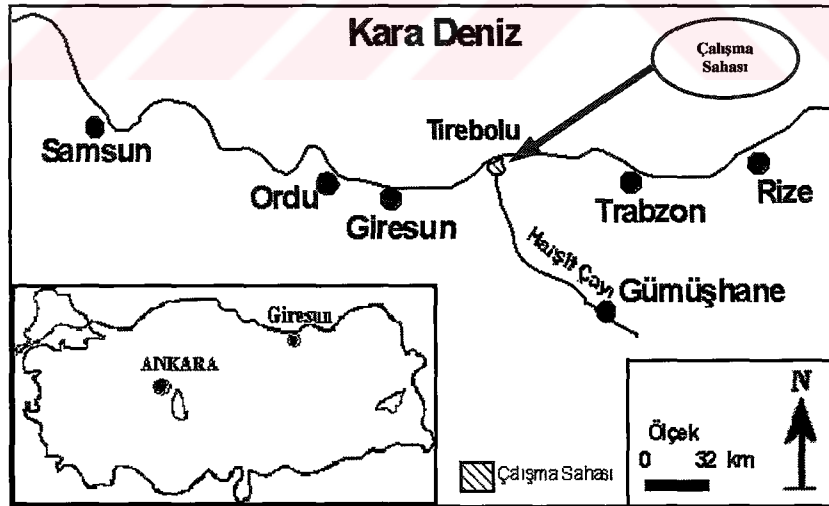
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan materyal, Giresun-Tirebolu Harşit çayından elde edilen ve Kuşkayası Taşocağı kırma-eleme tesisinde işlenip ürün haline getirilen agrega örnekleridir. Bu agregalar ile birlikte beton yapımında bağlayıcı olarak Ünye Çimento fabrikasının ürettiği PKÇ 32,5 R tipi çimento ve beton karışımında Araklı ilçesinin şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Çalışma Sahasının Yeri ve İşletmenin Durumu

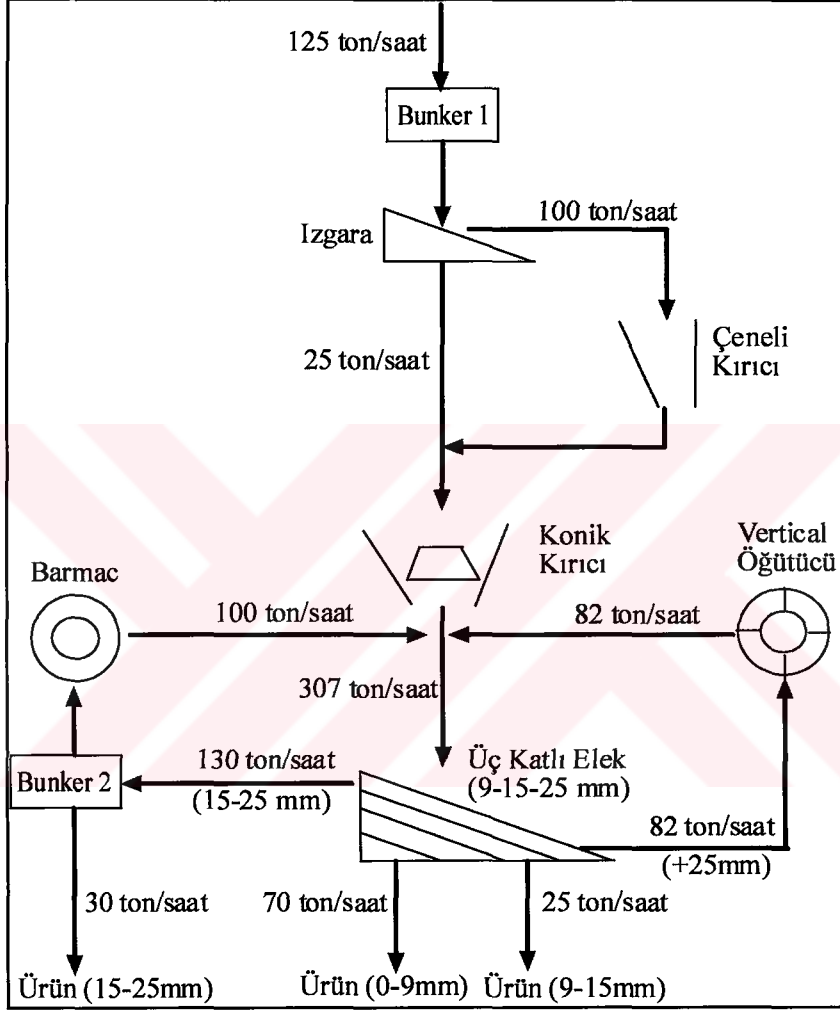
Materyalin alındığı çalışma sahası Gümüşhane'nin sınırları içerisinde doğup Giresun-Tirebolu ilçesinin 3 km doğusundaki sahil kesiminden denize dökülen Harşit çayının, denize döküldüğü bu alandan itibaren yaklaşık 3 km güneyde yer alan alanı kapsamaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışma sahası

Bu çalışmada kullanılan materyal, çalışma sahasının içinde bulunan ve 125 ton/saat kapasiteli Kuşkayası taşocağı kırma-eleme tesisinde işlenerek ürün haline getirilmektedir. Tesiste 3 farklı boyutta malzeme (0-9 mm, 9-15 mm, 15-25 mm) üretimi yapılmaktadır.

Üretilen bu malzemelerden yaklaşık olarak 0-9 mm'den 70 ton/saat, 9-15 mm'den 25 ton/saat, 15-25 mm'den 30 ton/saat üretim yapılmaktadır. 2 nolu silodan (bunker2) istenildiği zaman ürün alınmakta, tesisin durumuna göre diğer ürünlerden elde etmek için buradan besleme yapılmaktadır (Şekil 2.2).

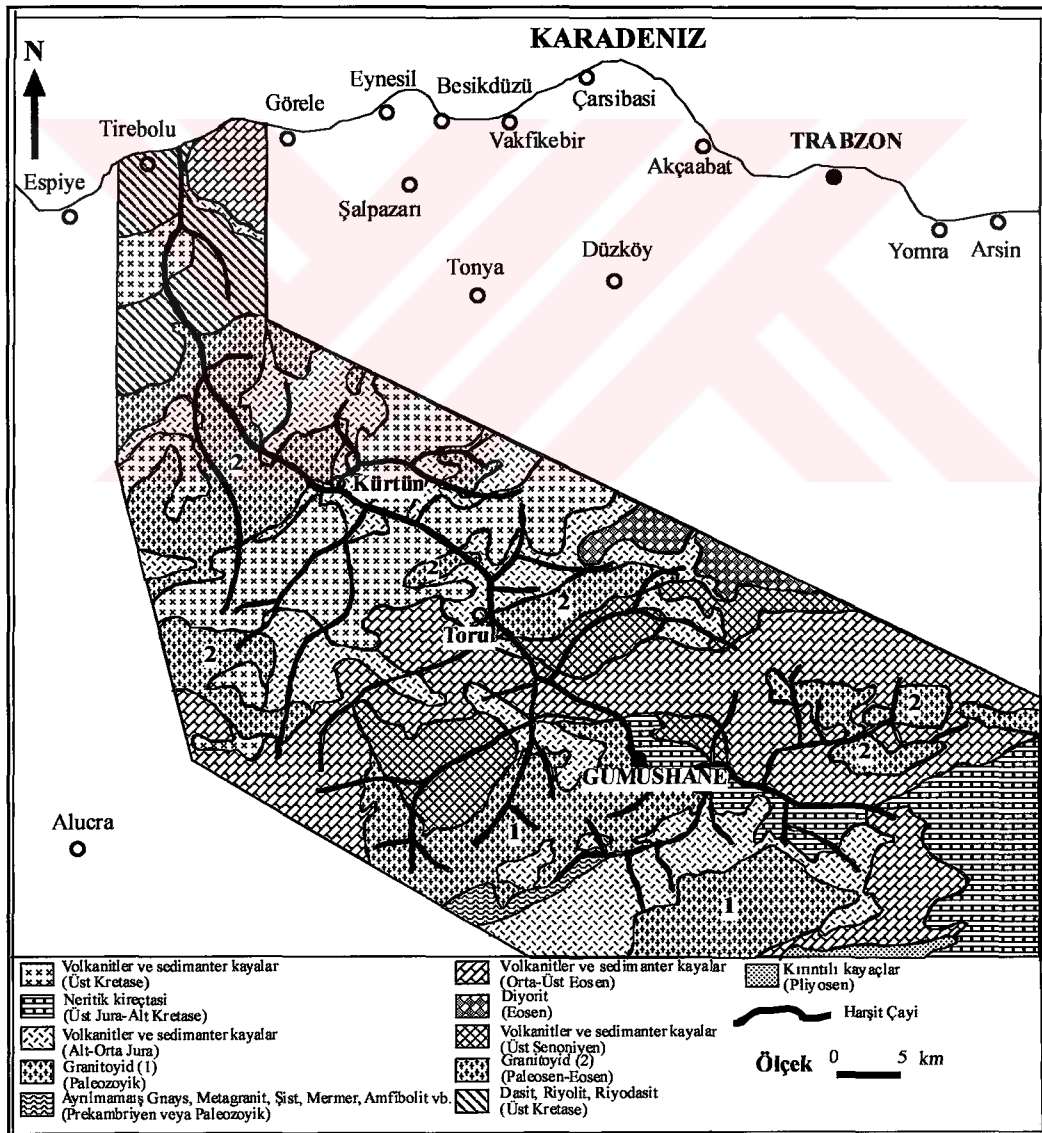


Şekil 2.2. Kuşkayası taşocağı kırma-eleme tesisinin akım şeması

Çalışma sahasından gelen malzeme besleme ağzına (Bunker 1) doldurulur. Malzeme daha sonra buradan ağız açıklığı 75 mm olan ızgara üzerine gelir ve burada +75 mm malzeme çeneli kırıcıya, -75 mm malzeme konik kırıcıya gider. Konik kırıcıdan geçen malzeme 3 katlı eleğe geçerek çeşitli boyutlara elenir ve ürünler elde edilir. Elek üzerinde kalan malzeme vertical öğütücü ile tekrar bir kırma işlemine tabi tutulur. Kırılan bu malzeme yeniden bantlar vasıtasıyla 3 katlı eleğe gönderilir.

2.3. Bölgenin Jeolojisi

Coğrafi bakımdan Doğu Karadeniz Bölgesi “Doğu Pontidler” olarak adlandırılan jeoteknik bir birime tekabül eder. Doğu Pontidler jeoteknik birimi ise benzer nitelikte maden yatakları içermesi nedeniyle bir maden provansı niteliğindedir (Aslaner, 1984). Harşit vadisi ve civarı, Doğu Karadeniz Bölgesinin karakteristik volkanitlerini içeren, kalın bir litostratigrafik istif gösterir (Acar, 1976). Bu sahada yaklaşık 11 adet birimin varlığı söz konusudur (Şekil 2.3) ve kullanılan malzemede de bu birimlerin varlığı görülmektedir. Harşit Çayı çıkış noktasından itibaren vadi boyunca bu birimlerden sürükleyerek çalışma sahasına kadar getirmiştir.



Şekil 2.3. Harşit vadisi ve civarının jeolojisi (MTA, 2001).

Bölgedeki birimler;

1-Ayrılmamış metamorfikler (Gnays, şist, mermer, amfibolit vb.) karbonifer yaşında, Gümüşhane granitleri ise alt permilyen yaşındadır. Harşit vadisi içerisinde suların getireceği en eski birim ayrılmamış metamorfiklerdir. Bu metamorfikler Gümüşhane ilinin güney-batısında dar bir alanda yaklaşık 17 km uzunluğunda ve 2 km genişliğinde güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzanım göstermektedirler. Kayaçları gnayslar, metakarbonatlar, metabazit ve şistlerdir.

2-İkinci yaşlı birim olarak paleozoyik-permiyen yaşlı Gümüşhane granitoyitidir. 1.yayılımı Gümüşhane Harşit vadisinden kuzeydoğu-güneybatı uzanımında 25 km uzunluğunda 12 km genişliğinde uzanmaktadır. 2. yayılımı Gümüşhane'nin güneydoğusunda 12 km uzunluğunda 8 km genişliğinde uzanım göstermektedir. Kayaçları granit, granadiyorit, monzogranit, granofir ve kuvarslı diyorittir.

3-Bölgede dağınık olarak bulunan bu volkanitlerde bazaltlar, andezitler, tüfler, tüfitler bulunmaktadır. Daha çok liyosen volkanitleri en çoktur. Liyosenin bu volkanitleri genellikle vişne çürüğü rengindedir. Aşırı derecede ayrılmış çok kırıklı ve parçalıdır.

4-Harşit çayının çıkış noktalarında ve Gümüşhane'nin çevresinde yer alan bu kireçtaşları 40 km'lik mesafede dağınık olarak bulunmaktadır. Harşit vadisi içinde daha dar iken Harşit çayının çıkışlarından itibaren daha geniş bir alanı kapsarlar. Bu birimde tabanda juranın kırmızı kireçtaşları, kumlu kireçtaşları, kumtaşları bulunmakta tavana doğru aglomera, tuf, tüfitlerle devam eder. Bunların üzerine berdiga kireçtaşları denilen tabanda dolomitik üst seviyelerde kristalize kireçtaşları yer alır.

5-6-Kretasenin birimleri alt-üst kretase olarak bazik ve asidik birimlerden oluşmaktadır. Alt kretasede bazikler bazalt, andezit ve piroklastlar olarak oluşmuşlardır ve oldukça da kırıklı ve paralanmışlardır. Üst kretaseye geçerken dasitler çoğalır. Dasitlerle beraber riyolit ve riyodasitler bulunmaktadır. Dasitler piritçe zengin oldukları için bunlara cevherli dasit denmektedir. Bu birimlerin ayrıca proplastikleri de bulunmaktadır. Aynı birimin aralarında üst kretasenin kırmızı kireçtaşları da bulunmaktadır.

7-Üst kretasenin sonunda oluşan (Eocene kadar devam eden) genç granitoyitler Harşit vadisi içerisinde de yer almaktadırlar. En fazla yayılımı Doğan kent'ten Kürtün'e kadarki mesafede görmekteyiz. Torul'dan itibaren doğuya doğru Gümüşhane'nin doğusuna doğru Yağmurdere'ye kadar yüzeylenmişlerdir. Bu birim granit, granadiyorit, kuvarslı diyorit, diyorit gibi birimleri içerir. Paleozoyik granitlerine göre daha sağlam ve yer yer blok vermektedir. Özellikle Doğan kent çevresindekiler işletilmiştir.

8-Torul'un güneyinde üst kretasenin üstüne gelen volkanitler ve tortullar andezit, dasit ve piroklastları ile tortul seri kuzeydoğu-güneybatı istikametinde oluşmuşlardır.

9-Gümüşhane yöresinde Harşit çayının kolları üzerinde en geniş yayılım gösteren kayalardan birisi de eosen volkanitleridir. Bu birim andezit, bazalt ve piroklastlardan oluşmakta olup Torul-Gümüşhane arasında doğu-batı yönünde bütün sahayı kesen bir yayılım gösterirler. Çok fazla kırıklı ve ayrılmış yapıya sahip değildir ve üzeri bitki örtüsünden zayıf kayaç grubudur.

10-Eosen yaşlı diyoritler Torul'un kuzeydoğusunda yer almakta en genç ve sağlam kayalardır.

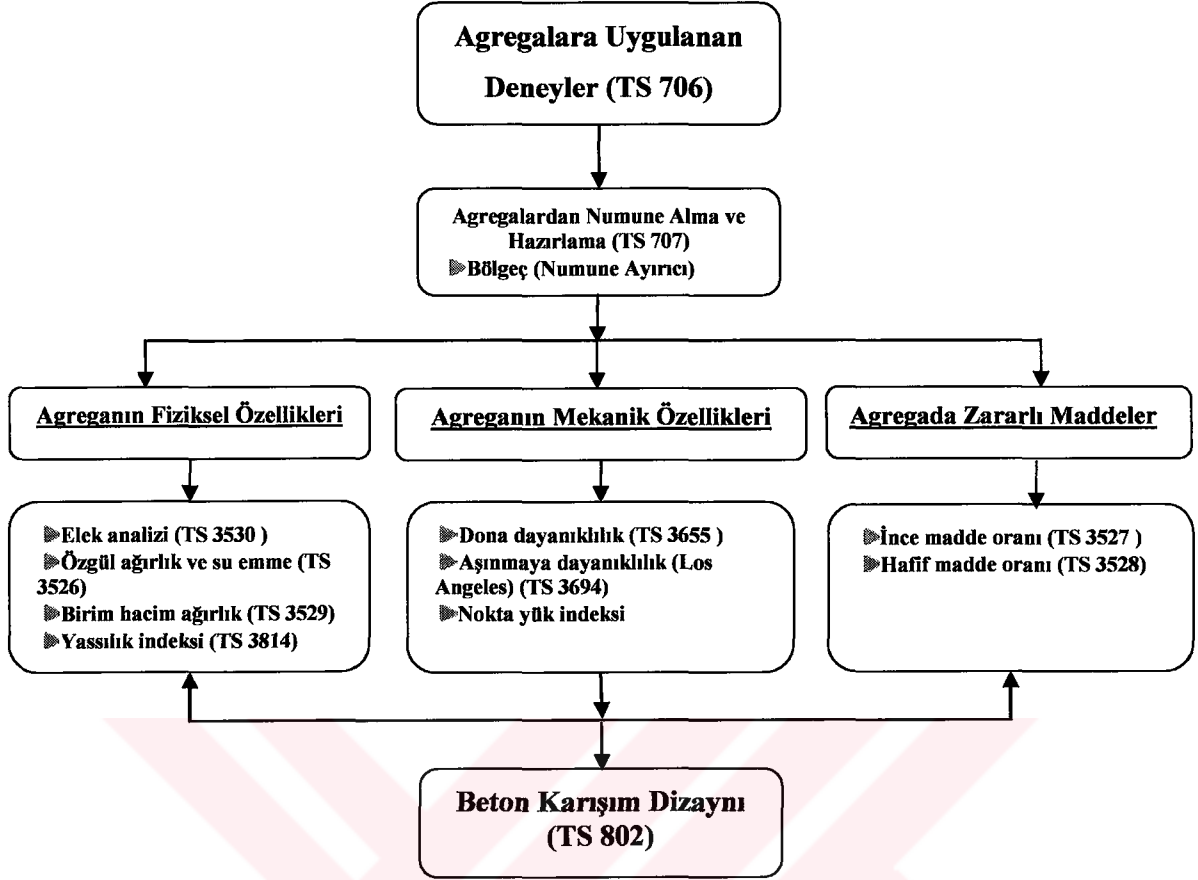
11-Yörede bu birimler dışında vadiler boyunca genç olan yamaç molozları ve Harşit vadisinde alüvyonlar mevcuttur.

2.4. Araziden Numunenin Alınışı

Deneylerde kullanılacak numuneler kırma-eleme tesisinde depolanan malzemelerden TS 707'ye göre alınmıştır. İlk önce deneyde kullanılacak malzeme miktarı yapılacak olan deneylere göre yaklaşık olarak belirlendi. Hesaplamalar sonucunda yaklaşık olarak 1000 kg numunenin gerekli olabileceği belirlendi. Daha sonra tesisten numune alınmasına geçildi. Tesisteki agregalar depo alanına hareketli bantlar sayesinde taşındığından, bantın yönü eşit aralıklarla değiştirilerek her seferinde yaklaşık eşit miktarda agrega alındı ve numune toplama kaplarına konuldu. Numuneleri alındıkları yerden gönderilecekleri yere ulaşmaya kadar geçen süre içinde, ince tanelerin dökülüp yok olmasına olanak vermeyecek bir yapıya sahip, kolayca yırtılmayacak ve delinmeyecek sağlam torbaların içine yerleştirildi. Her bir deney için gerekli malzeme bölgeç yardımıyla verilen miktara indirildi.

2.5. Agregalara Yapılan Deneyler

Beton yapımında kullanılacak agreganın değişik özelliklerinin araştırılması gerekmektedir. Burada betonun bileşimine girecek olan agregaların uygunluğunu saptamak üzere Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirlenen standartlar çerçevesinde öncelikle agregalara aşağıdaki deneyler yapılmıştır (Şekil 2.4).



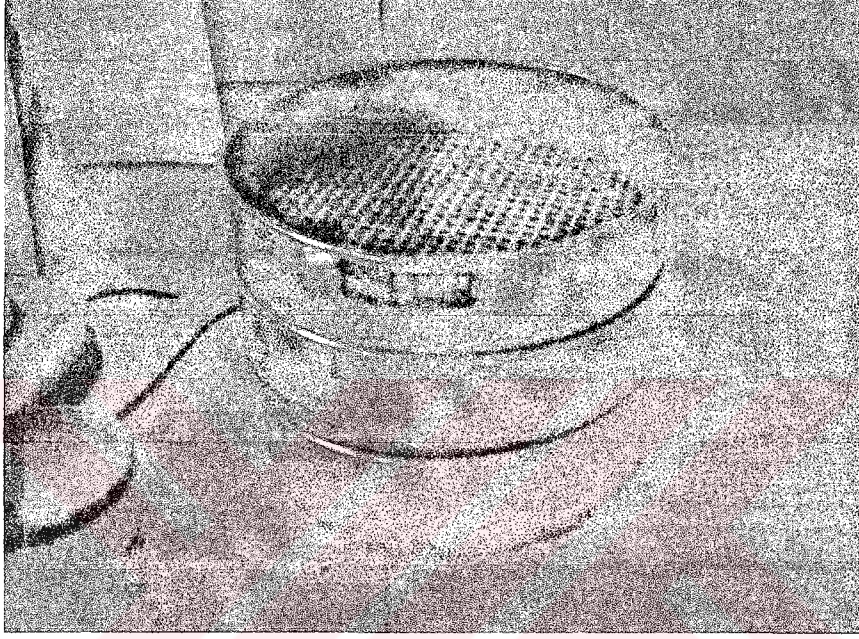
Şekil 2.4. Malzemelere yapılan deneysel çalışmalar

2.5.1. Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı (Elekt Analizi)

Tane dağılımı, malzemenin bir seri eleme işlemi yardımıyla, azalan büyüklüğe sahip farklı tane boyutları halinde belirlenmesinden oluşur. Agregaya yığını içerisindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılımına, “gradasyon (veya granülometri)” denilmektedir. Gradasyonun saptanmasında, agregaya numunesinin içerisindeki taneler, büyüklüklerine göre, belirli boy gruplarına ayrılmaktadır. Her boy grubunda agregaya tanelerinin toplam ağırlıkları bulunarak, tüm agregaya yığınının içerisinde ne oranda yer aldıkları belirlenmektedir (Çavuşoğlu, 2004).

Deney, TS 3530’a uygun olarak yapılmıştır ve gerekli malzeme bölgeç yardımıyla TS 707’ye uygun olarak alınmıştır. Kullandığımız malzemeler 3 farklı boyutta olduğu için her bir malzeme ayrı ayrı eleme işlemine tabi tutulmuştur. Malzemelerimiz ilk olarak 105°C (±5°C) etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletildi. Etüvden çıkartılan numune oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletildikten sonra 0,1 gr duyarlılıktaki terazide

tartılıp sonuçları kaydedildi. Daha sonra malzemelerimizi en üst elek üzerine boşaltarak eleme işlemine başlandı (Şekil 2.5). Eleme işlemi elle yapıldı ve her bir elek üzerinde malzeme kalmadığından emin oluncaya kadar gerçekleştirildi. Eleme işlemi bittikten sonra elekler fırça ile iyice temizlenip her elek üzerinde kalan malzeme tartılarak Tablo 2.1, 2.2 ve 2.3’de kaydedildi.



Şekil 2.5. Agregalara yapılan elek analizinde kullanılan elekler

Tablo 2.1. 0-9 mm malzemenin elek analizi sonucu

Elek Ebadı (mm)	Her Elek Üzerinde Kalan W (gr)	Kümülatif Ağırlık Wy (gr)	Her Elek Üzerinde Kalan Wk (%)	Kümülatif Ağırlık (gr)	
				Kalan (%)	Geçen (%)
16	0	0	0	0	100
8	67,5	67,5	4,20	4,20	95,80
4	512,1	579,6	31,89	36,09	63,91
2	402,3	981,9	25,05	61,15	38,85
1	206,8	1188,7	12,87	74,03	25,97
0,5	155,3	1344,0	9,67	83,70	16,30
0,25	106,2	1450,2	6,61	90,32	9,68
Tepside Kalan	155,4	1605,6	9,67	100	0
Numune Ağırlığı	1605,6	-	-	-	-

Tablo 2.2. 9-15 mm malzemenin elek analizi sonucu

Elek Ebadı (mm)	Her Elek Üzerinde Kalan W (gr)	Kümülatif Ağırlık Wy (gr)	Her Elek Üzerinde Kalan Wk (%)	Kümülatif Ağırlık (gr)	
				Kalan (%)	Geçen (%)
16	0	0	0	0	100
8	3971,6	3971,6	99,00	99,00	1
4	35	4006,6	0,87	99,87	0,13
2	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-
0,5	-	-	-	-	-
0,25	-	-	-	-	-
Tepside Kalan	3,2	4009,8	0,07	99,94	0,06
Numune Ağırlığı	4009,8	-	-	-	-

Tablo 2.3. 15-25 mm malzemenin elek analizi sonucu

Elek Ebadı (mm)	Her Elek Üzerinde Kalan W (gr)	Kümülatif Ağırlık Wy (gr)	Her Elek Üzerinde Kalan Wk (%)	Kümülatif Ağırlık (gr)	
				Kalan (%)	Geçen (%)
31,5	0	0	0	0	100
16	2749	2749	73,30	73,30	26,70
8	988,7	3737,7	26,37	99,70	0,30
4	2,4	3740,1	0,06	99,80	0,20
2	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-
0,5	-	-	-	-	-
0,25	-	-	-	-	-
Tepside Kalan	8,7	3748,8	0,20	100	0
Numune Ağırlığı	3748,8	-	-	-	-

2.5.1.1. Agregaların Karışım Değerleri ve Eğrisi

İki veya daha fazla agrega numunesinin elek analizleri yapılmış ve gradasyonları biliniyor ise, bu numunelerin hangi oranlarda bir araya getirilmeleri halinde istenilen gradasyon özelliklerine sahip yeni bir agrega karışımının elde edilebilmesi, hesap yöntemiyle belirlenmektedir (Erdoğan, 2003). Bu agrega gruplarının karışımını standartlarda belirtilen gradasyon limitleri içine sokmak için belirli oranlarda karıştırılarak nihai gradasyon elde edilmektedir (Tunç, 2001).

Malzemenin karışım oranlarını belirlemek için denklem çözümü metodu kullanılmıştır. Bu metotla Tablo 2.4.'te verilen sonuçlar yardımıyla iki ve üç bilinmeyenli denklemler oluşturularak sonuca gidildi.

Tablo 2.4. Malzemelerin elek analizi ve standart gradasyonu

Elek Ebadı (mm)	A (0-9 mm) % Geçen	B (9-15 mm) % Geçen	C (15-25 mm) % Geçen	TS 706 Sınır Değerleri %		
				Alt Sınır A ₃₂	Üst Sınır C ₃₂	Ort. Değer B ₃₂
31,5	100	100	100	100	100	100
16	100	100	26,7	62	89	80
8	95,8	1	0,30	38	77	62
4	63,91	0,13	0,20	23	65	47
2	38,85			14	53	37
1	25,97			8	42	28
0,5	16,30			5	29	17
0,25	9,68			2	15	8

31,5mm ve 16mm elekler için iki bilinmeyenli denklem çözülecek olursa;

$$100 A + 100 B + 100 C = 100$$

$$100 A + 100 B + 26,7 C = 80$$

$$73,3 C = 20 \text{ den } C = \frac{20}{73,3} \Rightarrow C = 0,27 (\%27)$$

C' yi 0,27 (%27) kabul ederek 31,5 mm ve 8 mm'lik elekler için yapılan denklemde yerine konulduğunda;

$$100 A + 100 B + 100 C = 100$$

$$95,8 A + 1 B + 0,3 C = 62$$

$$100 A + 100 B = 73 \quad (\Rightarrow \text{Denklemin her iki tarafını } 100\text{'e böleriz})$$

$$95,8 A + B = 61,9$$

$$A + B = 0,73$$

$$95,8 A + B = 61,9$$

$$94,8 A = 61,17 \text{ den } \Rightarrow A = \frac{61,17}{94,8} \Rightarrow A = 0,64 (\%64)$$

A (0,64) ve C (0,27) bulunduktan sonra 31,5 mm elek için 3 bilinmeyenli denklemden;

$$100 A + 100 B + 100 C = 100 \Rightarrow \text{Denklemin her iki tarafını } 100\text{'e böleriz}$$

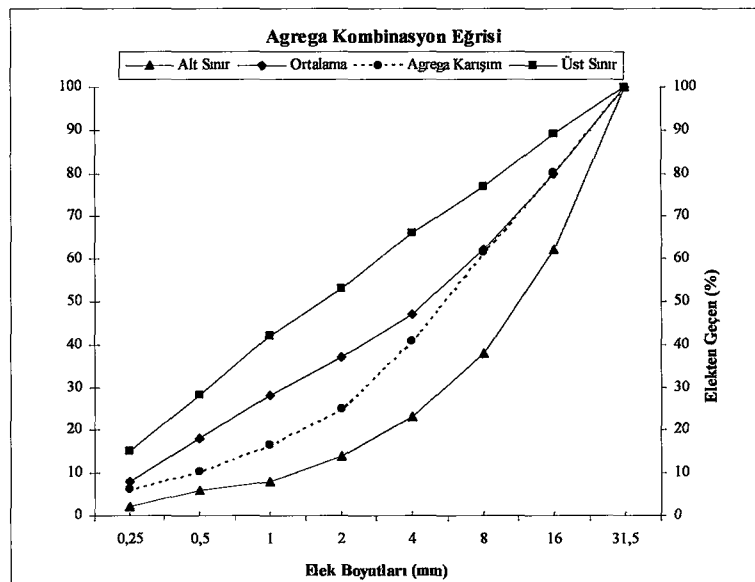
$$A + B + C = 1 \Rightarrow 0,64 + B + 0,27 = 1 \text{ 'den } B = 1 - 0,91 \Rightarrow \underline{B = 0,09 (\%9)}$$

Bulunan bu çözümler sonrasında nihai gradasyon Tablo 2.5.'teki gibi elde edildi ve standart gradasyona uygun olduğu görüldü.

Tablo 2.5. Denklem çözümü ile nihai gradasyon analiz sonucu

Elek Ebadı (mm)	A (0-9 mm) %64	B (9-15 mm) %9	C (15-25 mm) %27	Nihai Gradasyon	Kümülatif Kalan (%)	Standart Sınırları (Alt-Üst)	Standart Ort.	Sonuç
31,5	64	9	27	100	0	100	100	Uygun
16	64	9	7,21	80,21	19,79	62-89	80	Uygun
8	61,31	0,09	0,081	61,48	38,52	38-77	62	Uygun
4	40,90	0,009	0,054	40,96	59,04	23-65	47	Uygun
2	24,86			24,86	75,14	14-53	37	Uygun
1	16,62			16,62	83,38	8-42	28	Uygun
0,5	10,43			10,43	89,57	5-29	17	Uygun
0,25	6,20			6,20	93,80	2-15	8	Uygun

Oluşan bu yeni malzemenin karışımının elek analizi grafiği Şekil 2.6'daki gibidir.



Şekil 2.6. Agreg a kombinasyon eğrisi

2.5.1.2. Agreganın İncelik Modülünün Hesaplanması

Yapılan elek analizleri sonucunda her üç malzemenin karışım oranları belirlendi ve nihai elek analizi sonucu Tablo 2.5'teki gibi oluşturuldu. İncelik modülü, nihai elek analizi sonucunda bulunan kümülatif kalan (%) toplamının 100'e bölünmesiyle elde edilir. Buna göre incelik modülü;

$$\text{İncelik Modülü} = \frac{\text{Kümülatif Kalan \% (Toplam)}}{100} = \frac{460}{100} = 4,60$$

TS 802'ye (1985) göre en büyük tane çapı 32 mm olan beton agregası için incelik modülü 3,30 ile 5,48 arasında değişmektedir.

2.5.2. Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

Agregaların kuru özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle tayin edilmiştir.

2.5.2.1. İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

TS 707'ye uygun olarak oluşturulan deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek alındı ve bir tava içine yayıldı. Tava tablalı ısıtıcı üzerine konarak kurutulmaya bırakıldı. Doygun kuru yüzey hale çabuk gelmesi için saç kurutma makinesi ile hava akımı oluşturuldu. Doygun kuru yüzey haline gelen malzeme 0,1 gr duyarlılıktaki terazide tartıldı (W_2). Sonra doygun kuru yüzey haldeki numune sabit ağırlığa gelinceye kadar (etüv kurusu) kurutuldu. Numune kurutulduktan sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletildi ve cam ölçü kabına konulup tartıldı. Daha sonra ölçü kabının ağırlığı düşülerek numunenin net kuru ağırlığı hesaplandı (W_1). İnce agreganın kaptaki iken ölçü kabı yaklaşık 20°C'deki su ile yarıya kadar dolduruldu. Düz bir yüzey üzerinde hafif hafif vurularak ve döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlandı. 1 saat bekletildikten sonra ölçü kabı 20°C'deki su ile daha önceden belirlenmiş seviyesine kadar doldurulup tartıldı (W_3). Aynı bir yerde ölçü kabı belirlenmiş bir seviyesine kadar 20°C'deki su ile doldurulup ağırlığı tartıldı (W_4). İki

defa gerçekleştirilen bu işlemler sonunda belirlenen değerler ile aşağıdaki formüller yardımıyla ortalama özgül ağırlık ve su emme yüzdeleri hesaplandı (Tablo 2.6).

Tablo 2.6. İnce malzemenin özgül ağırlık ve su emme deneyi sonucu

İnce Malzeme	Hesaplama	(0-9 mm)	
		1	2
Kuru numune ağırlığı	W_1	292,6	292,0
Doygun kuru yüzey ağırlığı	W_2	300	300
Cam balon+Su+Numune ağırlığı	W_3	1605,6	1626,3
Cam balon+Su ağırlığı	W_4	1421,1	1441,8
Kuru özgül ağırlık	$\frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3}$	2,534	2,528
		2,531	
Doygun kuru yüzey özgül ağırlık	$\frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3}$	2,597	2,597
		2,597	
Görünen özgül ağırlık	$\frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3}$	2,706	2,716
		2,711	
Su emme yüzdesi	$\frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$	2,529	2,739
		2,634	

2.5.2.2. İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

En büyük tane çapına göre TS 707'ye uygun olarak numune alındı. Numune 20°C'deki su bulunan kaba kondü. Hafifçe sallayarak taneler üzerindeki toz ve yabancı maddelerin temizlenmesi sağlandıktan sonra en az 24 saat su içerisinde bekletildi. Daha sonra numune su içerisinden çıkartılarak suyu süzülürdü. Taneler üzerinde su tabakası (film) kalmayınca kadar kurutuldu. Tanelerin üzerinde su tabakası kalmaması için havlu ile tanelerin üzeri tamamen temizlendi. Bütün bu işlemlerden sonra numune hemen tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı bulundu (W_2). Tartım işleminden sonra numune kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırıldı. Taneler arasında hava kabarcığı kalmaması için sağa ve sola sallanarak daldırma işlemi yapıldı. Daha sonra sepet terazinin ortasına yerleştirilip doygun kuru yüzey malzemenin sudaki ağırlığı hesaplandı (W_3). Sonra numune sudan çıkartılıp etüv kurusu durumuna gelinceye kadar kurutulmuş bekletildi. Oda sıcaklığına gelinceye kadar

soğutulan malzemenin havadaki kuru ağırlığı bulundu (W_1). İki defa gerçekleştirilen bu işlemler sonunda belirlenen değerler ile aşağıdaki formüller yardımıyla ortalama özgül ağırlık ve su emme yüzdeleri hesaplandı (Tablo 2.7).

Tablo 2.7. Kaba malzemenin özgül ağırlık ve su emme deneyi sonucu

Kaba Malzeme	Hesaplamalar	9-15mm		15-25mm	
		1	2	1	2
Kuru numune ağırlığı	W_1	1391,3	1334,1	2367,0	2288,0
Doygun kuru yüzey ağırlığı	W_2	1405,1	1348,1	2391,6	2312,4
DKY numunenin sudaki ağırlığı	W_3	879,5	843,6	1496,4	1448,2
Kuru özgül ağırlık	$\frac{W_1}{W_2 - W_3}$	2,647	2,644	2,644	2,648
		2,646		2,646	
Doygun kuru yüzey özgül ağırlık	$\frac{W_2}{W_2 - W_3}$	2,673	2,672	2,672	2,675
		2,673		2,674	
Görünen özgül ağırlık	$\frac{W_1}{W_1 - W_3}$	2,718	2,723	2,719	2,724
		2,719		2,722	
Su emme yüzdesi	$\frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$	0,99	1,05	1,04	1,07
		1,02		1,06	

2.5.3. Agregalardaki İnce Madde Miktarı

Agregalardaki ince madde oranını belirlemek için standartlarda iki yöntem bulunmaktadır; İnce madde oranının çökelterek tayini yöntemi ve ince madde oranının yıkama ile tayini yöntemi. Bu yöntemlerden ince madde oranının yıkama ile tayini yöntemine göre malzememizin ince madde oranı belirlendi.

TS 707'ye göre uygun olarak yeterli deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilerek ağırlığı hesaplandı (W_1). Daha sonra 8 mm, 1 mm ve 0,063 mm göz açıklıklı elekler sıra ile dizildi. Su ile birlikte çalkalanan deney numunesi en üsteki eleğin içerisine boşaltıldı. Eleme işlemi yapıldıktan sonra her elek üzerinde kalan agregalar bir araya toplanarak etüv kurusu durumuna getirildi ve tartıldı (W_2) (Tablo 2.8).

Tablo 2.8. İnce madde oranı tayini

İşlem	0-9 (mm)	9-15 (mm)	15-25 (mm)
Kuru Ağırlık (gr) → A	2008,7	4009,8	3748,8
Yıkandıktan Sonraki Kuru Ağırlık (gr) → B	1854,5	4006,6	3740,1
Geçen → $\frac{A - B}{A} \times 100$ (%)	7,68	0,1	0,2

2.5.4. Agregadaki Hafif Madde Oranı

Agregadaki hafif madde oranını belirlemek için TS 3528'de verilen deney sıvılarından herhangi bir tanesi veya birkaç tanesi kullanılarak özgül ağırlığı 2 gr/cm³ olacak şekilde deney sıvısı hazırlanır. Deneyde Çinko Klorür (ZnCl₂) kullanılmıştır. Çinko Klorür'ün (ZnCl₂) sudaki çözeltisi 2 gr/cm³ yoğunluğa ayarlanmıştır. Yaklaşık olarak 1 lt su ile yaklaşık 3,125 kg Çinko Klorür (ZnCl₂) karıştırılarak 2 gr/cm³ yoğunluklu deney sıvısı elde edilmiştir.

Deneyde kullanacak olduğumuz agregaya ise TS 707'ye uygun olarak alındı ve deney TS 3528'e göre yapıldı. Deneyde yalnızca 0-4 mm malzeme kullanıldı. Bu malzemeyi elde etmek için 0-9 mm malzemesi 4 mm elekten elenerek elek altı malzemesinden standartta belirtilen miktarda elde edildi. Elde edilen bu malzeme etüv kurusu durumuna getirildikten sonra deney sıvısının içine kondu. Deney sıvısının içinde iyice karıştırılan malzemeden yoğunluğu 2 gr/cm³'den daha küçük olan hafif maddeler sıvının yüzeyinde toplanmıştır. Bu malzemeler bir kevgir yardımıyla sıvının yüzeyinden alınarak tartıldı (Tablo 2.9).

Tablo 2.9. Hafif madde oranı

İşlem	0-4 (mm)
Deney Numunesinin Kuru Ağırlığı (gr) → W ₁	251,5
Hafif madde kuru ağırlığı (gr) → W ₂	0,2
Hafif madde oranı (%) → $m_h = \frac{W_2}{W_1}$	0,07

2.5.5. Agregaların Birim Ağırlığı

Agregalarda birim ağırlık tayini sıkışık birim ağırlık tayini ve gevşek birim ağırlık tayini olmak üzere iki şekilde yapılmıştır.

2.5.5.1. Sıkışık Birim Ağırlık

Deneyde kullanılacak numune miktarı en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak TS 707'ye uygun olarak alındı. Deneyde kullanılacak ölçü kabı da her bir malzeme için ayrı ayrı standartta belirtildiği gibi Tablo 2.10'dan seçilerek alındı. Deney numunesi için seçilen uygun ölçü kabı tartılarak ağırlığı belirlendi (W_1). Deney numunesi hava kurusu durumuna getirildi. Daha sonra malzeme, kabın üçte birine kadar dolduruldu. Agregalarımızın tane büyüklüğü 31,5 mm'den daha küçük olduğu için sıkıştırma işlemi, şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde 25 vuruş yapılarak gerçekleştirildi. Sıkıştırma işlemi, kap ikinci kez üçte ikisi, üçüncü kez tamamı taşarcasına doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar için de 25 kez şişlenerek tekrarlandı. Ayrıca her tabaka doldurulurken lastik tokmakla ölçü kabının dış kenarlarına vurmak suretiyle malzemenin tam olarak sıkıştırılmasına çalışıldı. Şişleme işlemi tamamlandıktan sonra ölçü kabının üst yüzeyi şişleme çubuğu ile sıyrılıp düzeltildi ve ölçü kabı agrega ile birlikte tartıldı (W_2). Bütün bu işlemler her üç malzemeye de uygulandı ve her bir malzeme için 3 kez yapılarak bunların ortalamalarından sıkışık birim ağırlıkları hesaplandı (Tablo 2.11). Deneyde kullanılan şişleme çubuğu standartlara uygun 60 cm boyunda ve 1,6 cm eninde olacak biçimde ucu yarım küre biçimli düz bir çubuk seçilmiştir.

Tablo 2.10. Birim ağırlık tayini deneyinde kullanılan ölçü kabı özellikleri (TS 3529).

En büyük tane büyüklüğü (mm)	İç çap (mm)	Yükseklik (mm)	Kalınlık (mm)	Yaklaşık Hacim (dm ³)
16	155	155	3,5	3
31,5	250	280	3,5	14
125	350	290	3,5	28

Tablo 2.11. Malzemelerin sıkışık birim ağırlıkları

İşlem	Sıkışık Birim Ağırlık								
	0-9 (mm)			9-15 (mm)			15-25 (mm)		
En büyük agrega boyutu (mm)	16			16			31,5		
V= Ölçeğin hacmi (dm ³)	3			3			14		
W ₁ = Ölçeğin boş ağırlığı (gr)	3303,7			3303,7			11403		
W ₂ = Ölçeğin dolu ağırlığı (gr)	9175	9173	9168	8223	8220	8206	33985	33901	34059
Ag. Bir. Ağır. (gr/dm ³) $\frac{W_2 - W_1}{V}$	1957	1956	1954	1639	1638	1634	1613	1607	1618
Ort. Agrega Bir. Ağır. (gr/cm ³)	1,956			1,637			1,613		

2.5.5.2. Gevşek Birim Ağırlık

Deney numunesi TS 707'ye uygun şekilde alındı ve hava kuruşu durumuna getirilinceye kadar kurutuldu. Daha önceden belirlenen ölçü kabı boş olarak tartıldı (W₁). Daha sonra numune, ölçü kabının üst kenarından 5 cm'den daha yüksek olmayacak şekilde kürekle ölçü kabına dolduruldu. Doldurma sırasında küreği gereğinden fazla kaldırarak agreganın sıkışmasına ve ayrışmamasına dikkat edildi.

Tablo 2.12. Malzemelerin gevşek birim ağırlıkları

İşlem	Gevşek Birim Ağırlık								
	0-9 (mm)			9-15 (mm)			15-25 (mm)		
En büyük agrega boyutu (mm)	16			16			31,5		
V= Ölçeğin hacmi (dm ³)	3			3			14		
W ₁ = Ölçeğin boş ağırlığı (gr)	3303,7			3303,7			11403		
W ₂ = Ölçeğin dolu ağırlığı (gr)	7945	8064	8120	7603	7617	7584	31597	31828	31584
Ag. Bir. Ağır. (gr/dm ³) $\frac{W_2 - W_1}{V}$	1547	1586	1605	1433	1437	1426	1442	1458	1441
Ort. Agrega Bir. Ağır. (gr/cm ³)	1,579			1,432			1,447		

Ölçü kabı doldurulduktan sonra yüzeyi elle sıyrılarak burada bulunan fazla agrega alındı. Daha sonra ölçü kabıyla birlikte malzeme tartılarak hesaplandı (W₂). Bütün bu

işlemler her üç malzemeye de uygulanmış olup 3'er kez yapılarak bunların ortalamalarından gevşek birim ağırlıkları hesaplanmıştır (Tablo 2.12).

2.5.6. Yassılık İndeksi Tayini

Yassılık indeksi tayini iri agregalara (9-15 mm ve 15-25 mm) yapıldı. Her iki iri agrega grubundan deney için yeteri kadar malzeme TS 707'e göre alındı. Daha sonra bu malzemeler Tablo 2.13 ve Tablo 2.14'teki elek açıklıklarına sınıflandırıldı. Sınıflama işleminden sonra her sınıftaki malzeme kendi boyutundaki alet açıklığından geçirilerek geçen malzemenin yüzdesi şeklinde yassılık indeksi hesaplandı. Malzeme üzerinde yapılan yassılık indeksi tayini sonuçları Tablo 2.15'te görülmektedir.

(9-15 mm) Deney için toplam malzeme miktarı:

$$W_{9-15} = 3905,4 \text{ gr}$$

Yassılık indeksi hesaplama:

$$m_{y(9-15)} = \frac{W_3}{W_2} \times 100, \%$$

$$m_{y(9-15)} = \frac{211}{3861,7} \times 100, \%$$

$$m_{y(9-15)} = 5,46, \%$$

Tablo 2.13. 9-15 mm malzemenin deney elekleri ile belirli tane büyüklüğüne ayrılması

Elek boyutu (mm)	Elekte Kalan		Deneye Giren (gr)	Aletten Geçen (gr)
	W ₁ (gr)	$\frac{W_1}{W} \times 100, \%$		
20				
14	36,2	0,9		
10	3118,5	79,9	3118,5	144
6,3	743,2	19	743,2	67
Toplam = 3897,9		W ₂ = 3861,7		W ₃ = 211

(15-25 mm) Deney için toplam malzeme miktarı:

$$W_{15-25} = 4463,4 \text{ gr}$$

Yassılık indeksi hesaplama:

$$m_{y(15-25)} = \frac{W_3}{W_2} \times 100, \%$$

$$m_{y(15-25)} = \frac{474,6}{4431,8} \times 100, \%$$

$$m_{y(15-25)} = 10,7, \%$$

Tablo 2.14. 15-25 mm malzemenin deney elekleri ile belirli tane büyüklüğüne ayrılması

Elek boyutu (mm)	Elekte Kalan		Deneye Giren (gr)	Aletten Geçen (gr)
	W_1	$\frac{W_1}{W} \times 100, \%$		
28				
20	907	20,3	907	118,7
14	2785,7	62,4	2785,7	291,4
10	739,1	16,6	739,1	64,5
6,3	27	0,6		
Toplam = 4458,8		$W_2 = 4431,8$		$W_3 = 211$

Tablo 2.15. Yassılık indeksi sonuçları

Malzeme Boyutu (mm)	Yassılık İndeksi (%)
9-15	5,46
15-25	10,7

2.5.7. Agregalardaki Dona Dayanıklılık Tayini

Agregalarda dona dayanıklılık testi standartlarda belirtildiği gibi iki şekilde yapılmaktadır; Dona dayanıklılığın soğutma uygulayarak tayini yöntemi ve dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle tayini (Sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat

(Mg₂SO₄). Deney, bu yöntemlerden dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle tayinine göre ve sodyum sülfat (Na₂SO₄) kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 2.16. Dona dayanıklılık tayini deneyi için gerekli deney numunesi miktarı (TS 3655).

Tek tane sınıfı anma büyüklükleri	Deney numunesi miktarı (gr)	
	Soğutma Yönteminde	Kimyasal yöntemde
4/8	1000	300
8/16	2000	500
16/32	4000	500
32/63	6000	1000

TS 707'ye uygun olarak alınan agrega numunesi TS 3655'de belirtilen elek aralıklarına elenerek tek tane sınıflarına ayrıldı (Tablo 2.16). Her bir numune etüv kurusu durumuna getirilerek tartıldı (G₁). Diğer tarafta yoğunluğu, standartta belirtilen aralıkta olmak koşuluyla (1,150–1,170 gr/cm³), 1,161 gr/cm³'lük sodyum sülfat (Na₂SO₄) çözeltisi hazırlandı. Hazırlanan bu çözelti her bir malzeme hacminin en az 5 katı olacak şekilde ve agrega yüzeyinden en az 5 cm yukarıda olacak şekilde kaplara yerleştirildi. Numune çözeltinin içinde bu halde 18 saat bekletildi. Buharlaşmaya engel olmak için kapların üstü kapatıldı. Bu süre sonunda numune çözeltinin içinden çıkartılıp 15 dakika bekletildikten sonra etüv kurusu durumuna gelinceye kadar kurutuldu. Daha sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutularak tekrar deney kaplarının içine yerleştirildi. Bu işlemler toplam 5 kez tekrarlandı ve 5. kez tekrar sonunda kurutulup soğutulan deney numunesi alt tane büyüklüğünden bir küçük göz açıklıklı elek üzerine boşaltıldı. Elek üzerinde yıkama ve eleme işlemi tamamlandıktan sonra kurutulan numune tartıldı (G₂) (Tablo 2.17).

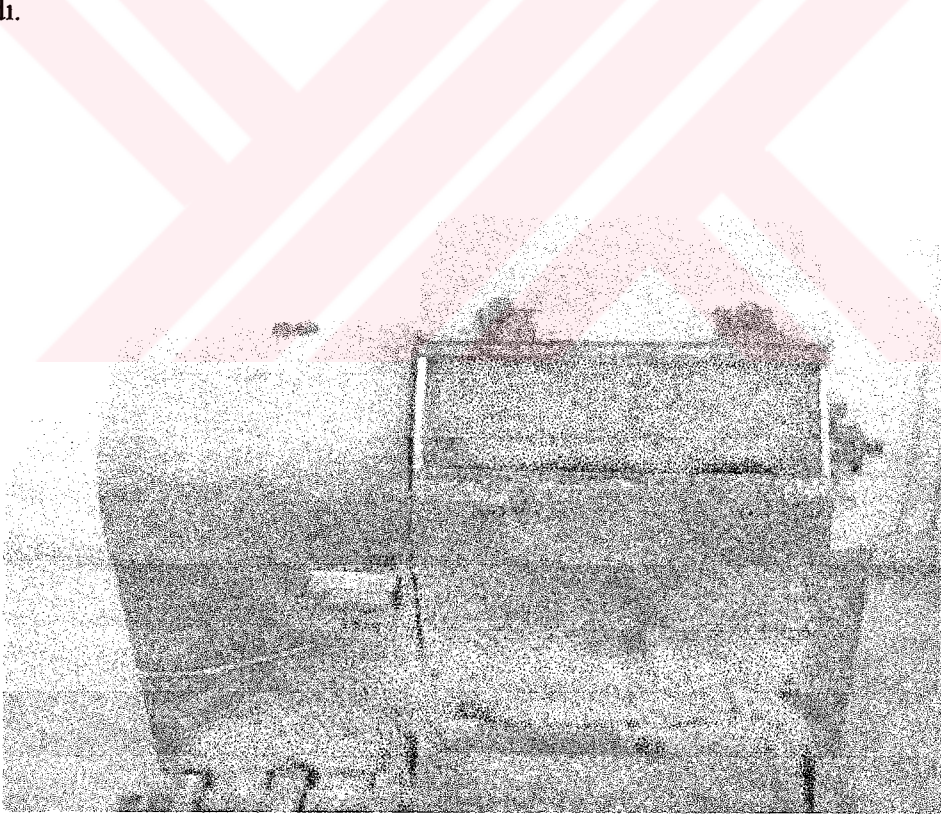
Tablo 2.17. Agregaların sodyum sülfat (Na₂SO₄) ile yapılan Dona dayanım sonuçları

Tane sınıfı (mm)	Deney numunesi miktarı (gr)			Kayıp (%)	TS 706 sınır değerleri
	Deneye giren malzeme (G ₁)	Deney sonrası elek üstü (G ₂)	Deney sonrası elek altı (G ₁ -G ₂)	Deney sonrası don kaybı [G ₁ -G ₂] / G ₁	
4/8	299,7	293	6,7	2,24	15
8/16	499,4	495,7	3,7	0,74	18
16/32	499	496,7	2,3	0,46	18

2.5.8. Agregaların Aşınma Dayanımı (Los Angeles Aşınma) Deneyi

Agregaların aşınmaya karşı direncini belirlemek için Los Angeles aşınma deney makinesi kullanıldı (Şekil 2.7). Deney, Karayolları Fenni Şartnamesi'nde belirtilen tane sınıfı aralıklarına göre numune hazırlanarak yapıldı. Deney numunesi, A tane sınıfına bağlı olarak hazırlandı ve her bir elek aralığı için 1250 gr toplamda ise 5000 gr olacak şekilde oluşturuldu. Her tane sınıfı etüv kurusu durumuna getirildi ve ağırlıkları belirlendi (W_1). Daha sonra malzemeler Los Angeles aşınma makinesine kondu.

Makinede kullanılacak bilye sayısı ve ağırlıkları Karayolları Fenni Şartnamesi'nde belirtilen miktarlarda alındı ve tamburun içine yerleştirildi. Makineye dakikada 30–38 devir olacak şekilde tam 500 devir atırıldı. 500 devir sonunda tambur içindeki tüm malzeme alınıp 1,7 mm'lik elekten elenerek elek üzerinde kalan malzeme tartıldı (W_2). Bulunan tüm sonuçlardan yola çıkarak Los Angeles aşınma kaybı Tablo 2.18'de hazırlandı.



Şekil 2.7. TS 3694'e uygun Los Angeles aşınma makinesi

Tablo 2.18. Los Angeles aşınma kaybı deney sonuçları

Tane Sınıfı (mm)	Deney Numunesi Miktarı (gr)	
	Deneye Giren	Deney Sonrası Elek Üstü Malzeme (+1,7mm) (W ₂)
37,5–25,4	1250	4140
25,4–19,1	1250	
19,1–12,5	1250	
12,5–9,5	1250	
Toplam (W ₁)	5000	
Toplam Kayıp (%) $\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$		17,2

2.6. Nokta Yük İndeksi Deneyi

Kayaçların dayanımları nokta yükleme deney düzeneği sayesinde laboratuarda araziden elde edilen düzensiz blok numuneler kullanılarak belirlendi. Numunelerin önce ortalama genişlik (W) ve kalınlık (D) değerleri saptandı. Daha sonra nokta yük indeksi belirleme deney aletiyle numune iki konik uç arasına yerleştirilir ve hidrolik pompa kolu ile uygulanan yük sayesinde alt kısımdaki konik ucu kaldırır. Üst kısım ise çerçeveye sabitlenmiştir. Konik uçlar arasındaki mesafe (D_e) ve uygulanan yük (P) çerçeve üzerindeki cetvelden ve basınç göstergesinden belirlendi. Belirlenen bu değerler ile beraber yapılan hesaplamalarla kayaların nokta yük indeksi ((18) numaralı formülden) ve düzeltilmiş nokta yük indeksleri ((22) numaralı formülden) Tablo 2.19’da gösterilmiştir. 18 numuneye yapılan deney sonrasında 6 ve 11’olu örneklere yapılan deneyler geçersiz kırılma göstermiş ve bu örneklerin deney sonuçları iptal edilmiştir (Şekil 2.8).

Nehir yataklarından elde edilen agregalar genel itibarıyla yüksek dayanımlı ve sert agregalardır (Erdoğan, 2003). Bu çalışmada da nehir yatağından elde edilen agregalar kullanıldığından mekanik bakımından genellikle sert ve dayanımlı agregalardır. Tablo 2.19’deki düzeltilmiş nokta-yük indeksi (I_{s(50)}) değeri ile Bieniawski ve Deere nokta yükü dayanım sınıflaması (Tablo 2.20) karşılaştırıldığında genel itibarıyla yüksek dayanımda olduğu görülmektedir. Geçerli kırılma gösteren 16 örneğin ortalama I_{s(50)} değeri 6,76 MPa’dır. Şekil 2.9’a bakıldığında kayaların ortalama dayanımları yüksek dayanımlı olduğu görülmektedir.

Tablo 2.19. Nokta yük indeksi sonuçları

Örnek	D _{ort} (cm)	W _{ort} (cm)	D _e ² (cm ²)	D _e (cm)	F	P (kN)	I _e (MPa)	I _{e(50)} (MPa)	Deneysel
1	5,2	7,20	47,67	6,90	1,15	35,80	7,51	8,68	Geçerli
2	4,6	7,95	46,56	6,82	1,15	16,50	3,54	4,08	Geçerli
3	4,4	6,50	36,41	6,03	1,08	25,00	6,87	7,47	Geçerli
4	3,7	6,20	29,20	5,40	1,03	24,00	8,22	8,51	Geçerli
5	4,7	8,25	49,36	7,02	1,16	35,45	7,18	8,37	Geçerli
6	4,3	6,45	35,31	5,94	1,08	9,00	2,55	2,75	Geçersiz
7	4,6	5,80	33,97	5,82	1,07	25,10	7,39	7,92	Geçerli
8	3,5	5,45	24,28	4,92	0,99	16,70	6,88	6,83	Geçerli
9	4,7	6,75	40,39	6,35	1,11	21,00	5,20	5,79	Geçerli
10	4,2	6,00	32,08	5,66	1,05	12,70	3,96	4,19	Geçerli
11	5,2	6,70	44,35	6,66	1,13	27,20	6,13	6,98	Geçersiz
12	5,0	6,40	40,74	6,38	1,11	32,00	7,85	8,77	Geçerli
13	6,0	7,55	57,67	7,59	1,20	30,70	5,32	6,42	Geçerli
14	4,4	5,45	30,53	5,52	1,04	12,00	3,93	4,11	Geçerli
15	3,5	4,95	22,05	4,69	0,97	11,20	5,08	4,94	Geçerli
16	4,5	5,00	28,64	5,35	1,03	17,20	6,00	6,19	Geçerli
17	2,7	4,35	14,95	3,86	0,89	17,50	11,70	10,42	Geçerli
18	4,5	4,70	26,92	5,18	1,01	14,35	5,33	5,42	Geçerli
\bar{X}	4,39	6,16	35,09	5,85	1,07	21,70	6,37	6,76	-
S	0,77	1,17	11,35	0,97	0,08	8,30	2,04	1,93	-
V	17,53	18,98	32,34	16,63	7,63	38,23	32,07	28,60	-

\bar{X} : Ortalama, S: Standart Sapma, V: Değişkenlik katsayısı, $V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100, \%$

Şekil 2.8'de geçersiz kırılma gösteren numuneler görülmektedir. \bar{X} , S, ve V değerleri hesaplanırken bu numunelerin değerleri geçersiz olduklarından hesaplamalara yansıtılmamıştır.

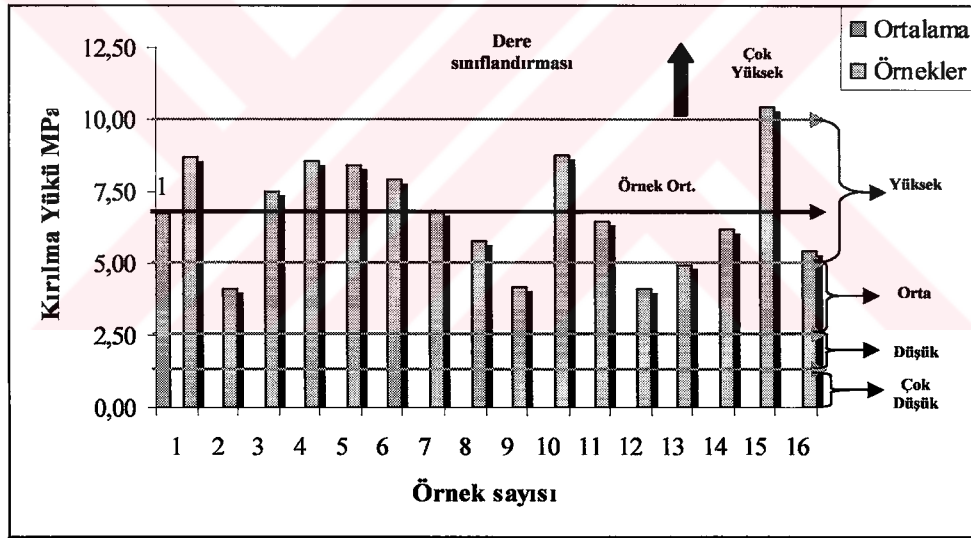


Şekil 2.8. Geçersiz kırılma gösteren numuneler

Tablo 2.20. Nokta Yüğü Dayanım Sınıflandırması, $I_{s(50)}$ (Yılmaz, 1999)

Sınıf	Dayanım Sınıfı	Bieniawski	Deere
A veya 1	Çok Yüksek	> 8 MPa	> 10 MPa
B veya 2	Yüksek	4 – 8	5 – 10
C veya 3	Orta	2 – 4	2.5 – 5
D veya 4	Düşük	1 – 2	1.25 – 2.5
E veya 5	Çok Düşük	< 1	< 1.25

Şekil 2.9 incelendiğinde geçerli kırılma gösteren 16 numunenin kırılma yükleri ile Deere sınıflandırılmasının karşılaştırılması görülmektedir. Numunelerden sadece 4 tanesi orta dayanım sınıfına, 11 tanesi yüksek dayanım sınıfına geriye kalan 1 adet numune ise çok yüksek dayanım sınıfına düşmektedir. Bütün numunelerin ortalama dayanım değeri de yüksek dayanım sınıfına düşmektedir.



Şekil 2.9. Nokta yük indeksi sonuçları ile Deere sınıflandırmasının karşılaştırılması

2.7. Beton Karışım Deneyleri

Söz konusu malzemelerin karışımının beton içerisindeki dayanımını görmek için TS 802'deki mutlak hacim hesabı yöntemi kullanılarak beton karışım dizaynı yapılmıştır. Agregaların hacimce karışım oranları daha öncede denklem çözümü metoduyla 0-9 mm malzeme için % 64, 9-15 mm malzeme için % 9, 15-25 mm malzeme için % 27 şeklinde

hesaplanmıştı (Bk. 2.5.1.1.). Kullanılan malzemelerin karışımlarından 300, 350 ve 400 kg/m³ çimento miktarında ve her bir miktar için 0,45, 0,55 ve 0,65 su/çimento oranlarında beton küp numuneler oluşturularak, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmesi hedeflendi. 7 günlük dayanım değerinin belirlenmesi için 1 örnek beton küp numunesi, 28 günlük dayanım değerinin belirlenmesi için ise 3 örnek beton küp numunesi, toplam 36 beton küp numunesi dayanım testine tabi tutularak bu test sonucu ortaya çıkan değerlerin ortalamalarıyla basınç dayanımları belirlenmeye çalışıldı. Betonların üretiminde düşey eksenli cebri karıştırılmalı 55 dm³ kapasiteli betoniyer kullanıldı. Malzemeler önce kuru olarak karıştırılmış daha sonra gerekli su ilavesi yapılmıştır.

Beton küp numuneleri oluşturulurken herhangi bir hedef çökme değeri belirlenmemiştir. Ancak taze beton üzerinde çökme deneyi yapılarak çökme değerleri belirlenmiştir. Beton küp numuneler oluşturulurken nem düzeltilmesi yapılmış ve sonradan su miktarı yeniden hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan beton küp numuneleri 24 saat sonra kalıplarından çıkartılarak 22°C sıcaklıktaki kür tankı içerisine konuldu.

2.7.1. 300 kg/m³ Çimento Oranında Beton Karışım Miktarlarının Hesaplanması

Beton karışım tasarımı TS 802'de yer alan mutlak hacim hesabı yöntemine göre yapılmıştır. İlk önce hedef seçilen 1 m³ beton için malzeme miktarları hesaplanmış daha sonra bu miktarlar 15x15x15 cm'lik küp hacmine eşdeğer olacak şekilde düzenlenmiştir. Hesaplamalarda malzemelerin Doygun Kuru Yüzey Özgül ağırlıkları kullanılarak rutubet düzeltilmesi yapılmıştır. Örnek olarak 300 kg/m³ çimento ve 0,45 su/çimento oranındaki karışım hesabı aşağıda yapılmıştır. Diğer beton küp numuneleri de aynı hesaplamalar yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.21. 300 kg/m³ çimento ve 0,45 su/çimento oranındaki karışım için veriler

Agrega	Oran (Ağırlıkça) (%)	Özgül ağırlık ρ_{dky}	Absorbsiyon (%) w_s	Çimento
0-9 mm	64	2,597	2,63	300 kg Özgül Ağ. $\rho_c = 3,0$ Tip PKÇ 32,5
9-15 mm	9	2,673	1,02	
15-25 mm	27	2,674	1,06	

→S/Ç = 0,45 (su/çimento oranı)

→H = %1,5 (Hava miktarı)

→ ρ_s = 1 (Suyun özgül ağırlığı)

Hacimlerin hesaplanması :

$$V_{\phi} = \frac{300}{3000} = 0,100 \text{ m}^3$$

$$V_s = \frac{135}{1000} = 0,135 \text{ m}^3$$

$$V_h = 0,015 \text{ m}^3$$

Hacim hesaplamasında toplam beton hacmi 1 m^3 olarak alınmıştır;

$$V_T = [V_a + V_{\phi} + V_s + V_h]$$

$$V_a = 1 - [0,100 + 0,135 + 0,015] \Rightarrow V_a = 0,750 \text{ m}^3$$

Ağırlıkların hesaplanması :

Çimento	= 300 kg
Su	= 135 kg
Agrega 0-9 mm	= $0,750 \times 0,64 \times 2597 = 1246,6$ kg
Agrega 9-15 mm	= $0,750 \times 0,09 \times 2673 = 180,4$ kg
Agrega 15-25mm	= $0,750 \times 0,27 \times 2674 = 541,5$ kg
Toplam	= 2403,5 kg

Burada ;

V_{ϕ} ; Çimentonun hacmi, m^3 .

V_T ; Toplam beton hacmi, m^3 .

V_s ; Suyun hacmi, m^3 .

V_h ; Havanın hacmi, m^3 .

V_a ; Toplam agrega hacmi, m^3 .

Tablo 2.22. Rutubet hesaplanması

Açıklama	0-9 (mm)	9-15 (mm)	15-25 (mm)
Yaş Numune Ağırlığı (kg)	512,5	604,1	1295,8
Kuru Malzeme Ağırlığı (kg)	481,3	597,5	1287,4
Su Miktarı (kg)	31,2	6,6	8,4
Rutubet %	6,48	1,1	0,65
Absorbsiyon %	2,63	1,02	1,06
Fark %	+3,85	+0,08	-0,41

Tablo 2.23. Rutubet hesaplamasından sonra karışım miktarlarının yeniden düzenlenmesi

Açıklama	Yığın Ağırlığı (kg)	Fark (%)	Su İçeriği (kg)	Düzeltilmiş Karışım (kg)	16 dm ³ (kg)
Çimento Ağırlığı (kg)	300	-	-	300	4,8
Suyun Ağırlığı (kg)	135	-	-	89,06	1,42
İnce Malzeme Ağırlığı (0-9 mm)	1246,6	3,85	47,99	1294,6	20,71
Kaba Agregası Ağırlığı (9-15 mm)	180,4	0,08	0,15	180,6	2,88
Kaba Agregası Ağırlığı (15-25 mm)	541,5	-0,41	-2,2	539,3	8,62
Toplam (kg)	2403,5	-	45,94	2403,5	38,43

2.7.2. Hazırlanan Bütün Beton Karışımların Miktarları

Çalışmanın amacına yönelik, farklı çimento dozajına ve farklı su/çimento oranına sahip 9 beton (her biri için 4 tane olmak üzere toplam 36 küp numunesinin) örneğinin rutubet düzeltilmesi yapılmadan önceki miktarları Tablo 2.24'de görülmektedir. Rutubet düzeltilmesi yapıldıktan sonraki karışım miktarları Tablo 2.25'de verilmiştir. Bu karışım miktarları doğrultusunda 55 dm³ kapasiteli betoniyer ile hazırlanan taze beton üzerinde aynı zamanda çökme değerleri de hesaplanmıştır.

Tablo 2.24. Hazırlanan bütün beton küp numunelerinin bileşim miktarları

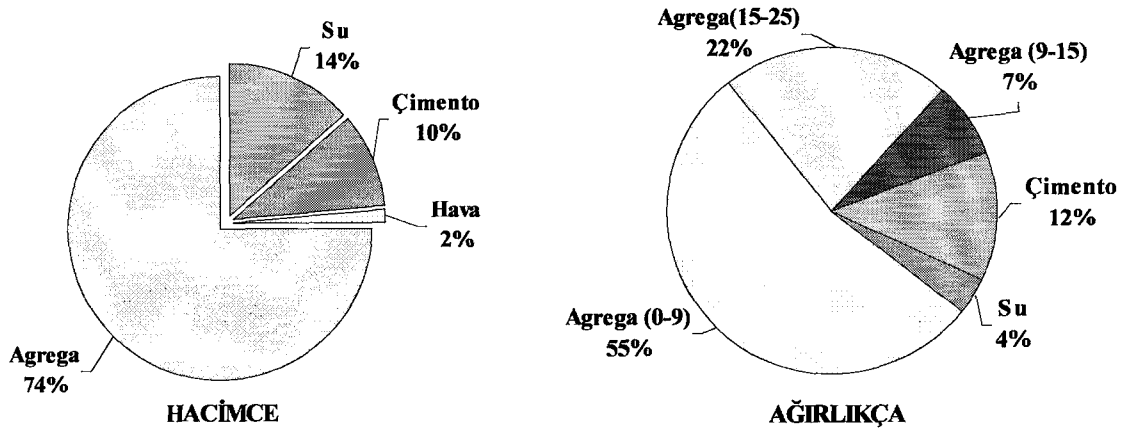
Beton Kodu	D 300			D 350			D 400		
	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
Su/Çimento oranı	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
Çimento (kg/m ³)	300	300	300	350	350	350	400	400	400
Su (kg/m ³)	135	165	195	157,5	192,5	227,5	180	220	260
0-9 mm (kg/m ³)	1246	1196	1147	1181	1122	1064	1115	1049	982
9-15 mm (kg/m ³)	180	173	166	171	162	154	161	152	142
15-25 mm (kg/m ³)	541	520	498	512	488	462	484	455	427

Tablo 2.25. Rutubet düzeltilmesinden sonraki karışım miktarları

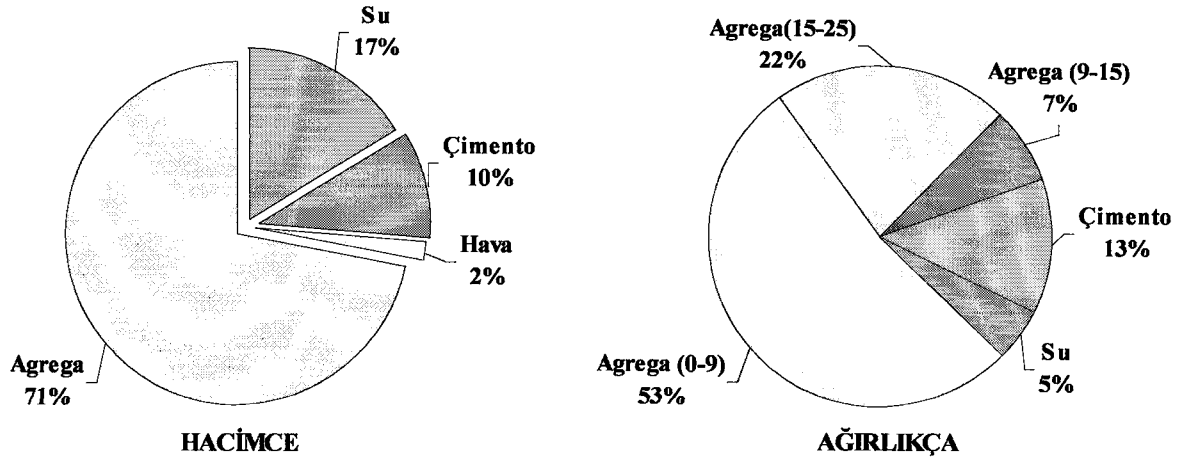
Beton Kodu	D 300			D 350			D 400		
	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
Su/Çimento oranı	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
Çimento (kg/m ³)	300	300	300	350	350	350	400	400	400
Su (kg/m ³)	89	121	153	113	151	188	143	185	228
0-9 mm (kg/m ³)	1294	1242	1191	1227	1166	1106	1154	1085	1016
9-15 mm (kg/m ³)	180	173	166	171	162	154	161	152	142
15-25 mm (kg/m ³)	539	517	496	510	485	460	482	453	425

2.7.2. Beton Karışım Oranlarının Hacimce ve Ağırlıkça %'lik Dağılımları

Hesaplanan beton karışım miktarlarının hacimce ve ağırlıkça %'lik dağılımları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 2.10-Şekil 2.18). 300 kg/m³ çimento ve 0,45 su/çimento oranındaki beton karışımına bakıldığında agregalar beton hacminin %74'ünü oluşturmaktadır, ağırlıkça ise %84'ünü oluşturmaktadır. Aynı örnekte su miktarını arttırdığımızda su çimento oranları artmakta (0,55 ve 0,65), çimentonun hacmi aynı kalmakta, suyun hacminde ise %14'ten %20'ye %6'lık bir hacim artışı söz konusu olmaktadır. Ağırlık oranlarına bakıldığında ise aynı çimento miktarında su/çimento miktarındaki artıştan dolayı su miktarında ağırlıkça bir artış söz konusu olmakta, agregalar miktarında ise bir düşüş olmaktadır. Hava miktarı ise ağırlık hesaplamalarında göz ardı edilmektedir.

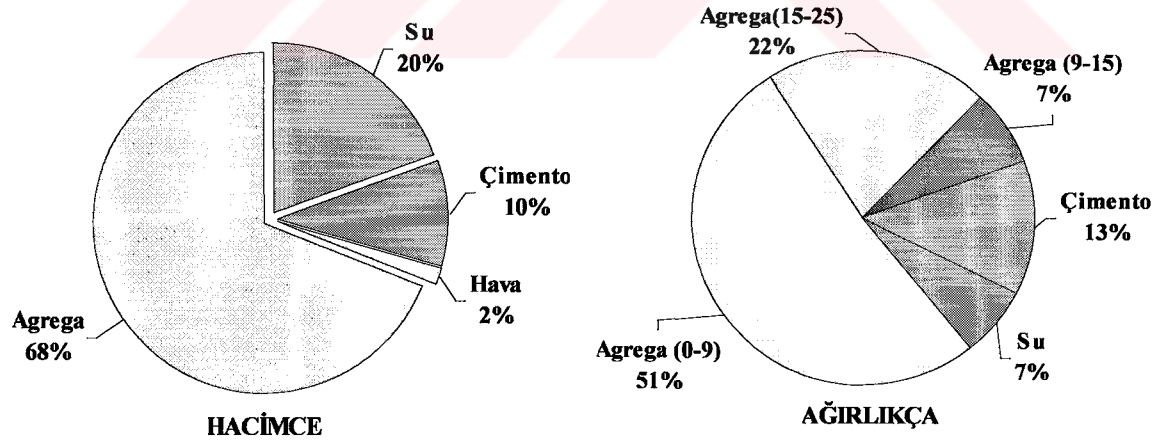


Şekil 2.10. 300 kg/m³ çimento 0,45 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları

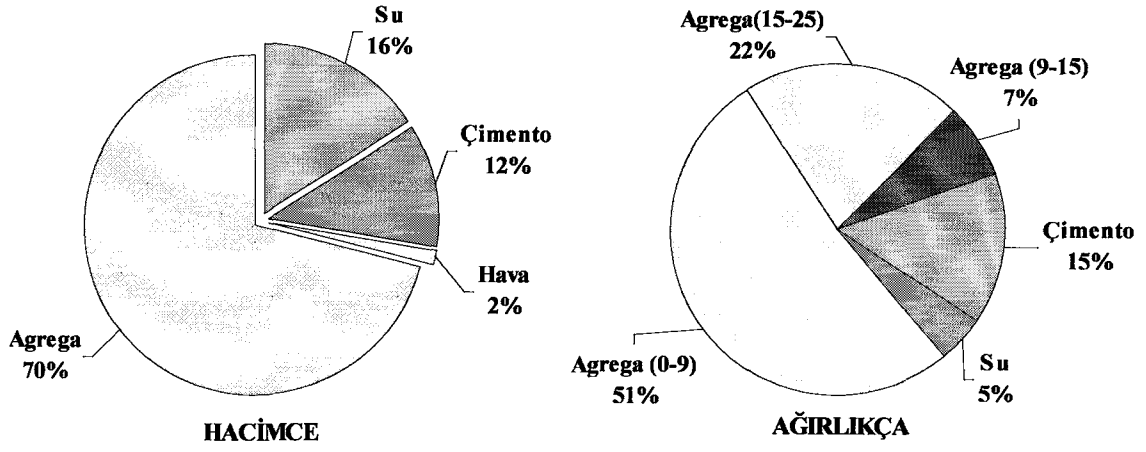


Şekil 2.11. 300 kg/m³ çimento 0,55 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları

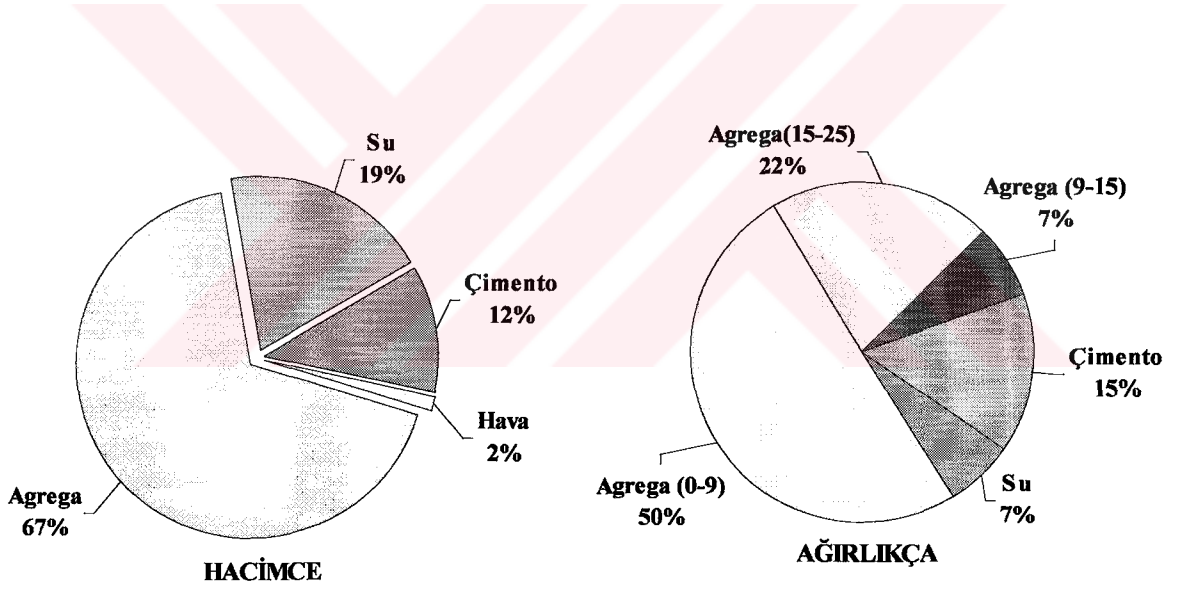
Genel olarak bakıldığında su/çimento oranının sabit çimento miktarının arttığı örneklerde agrega miktarının hacimce ve ağırlıkça oranlarının düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde çimento miktarının arttığı bütün örneklerde de agrega miktarının ağırlıkça ve hacimce oranlarının düştüğü görülmektedir.



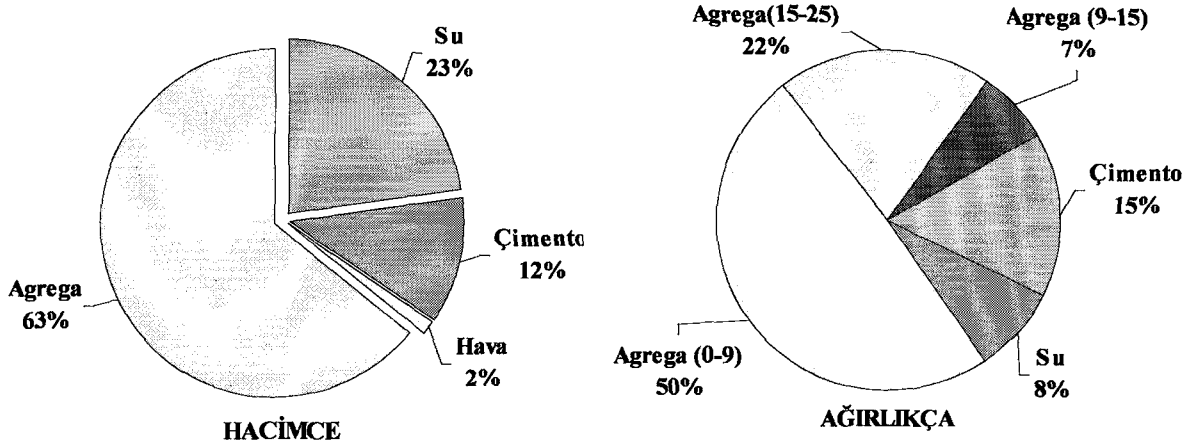
Şekil 2.12. 300 kg/m³ çimento 0,65 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları



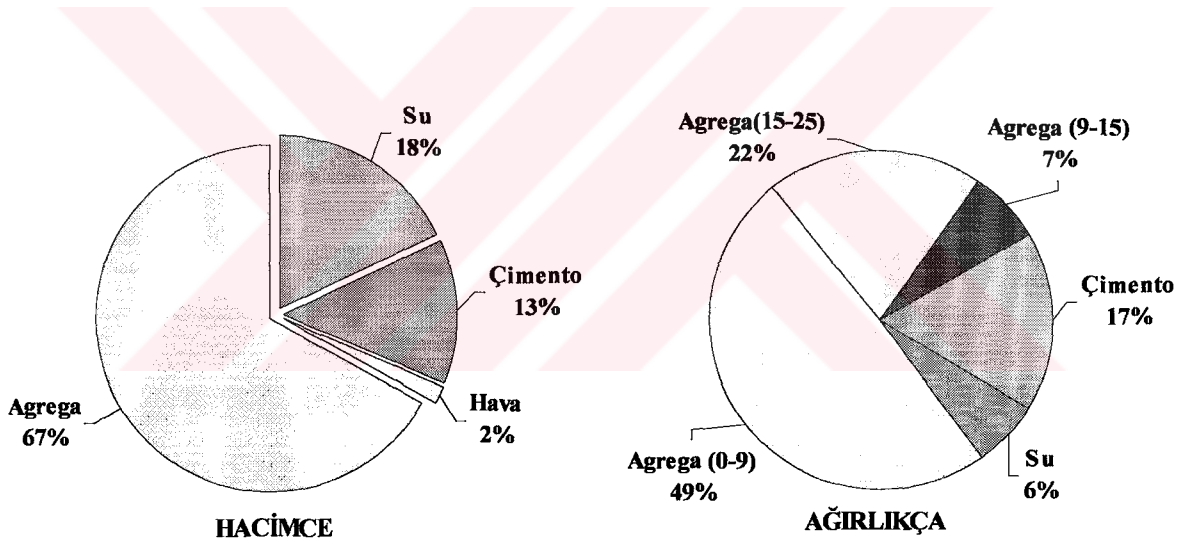
Şekil 2.13. 350 kg/m³ çimento 0,45 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları



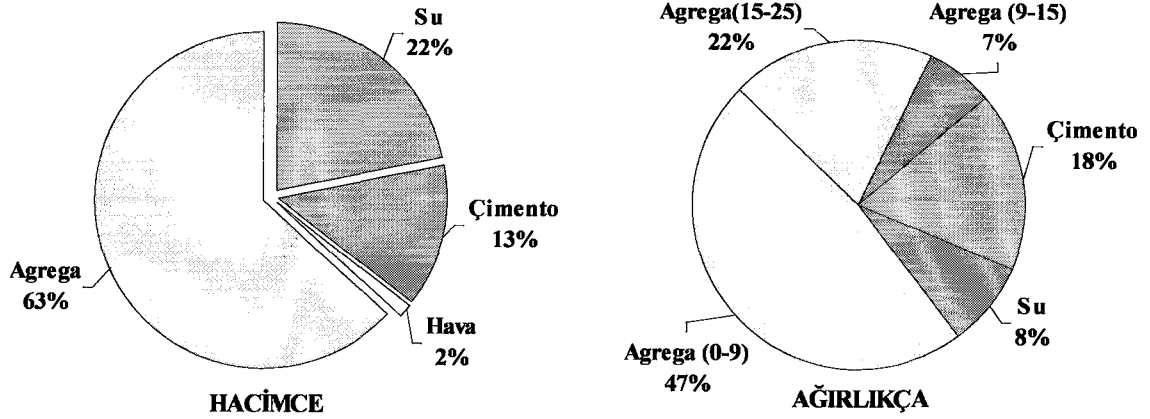
Şekil 2.14. 350 kg/m³ çimento 0,55 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları



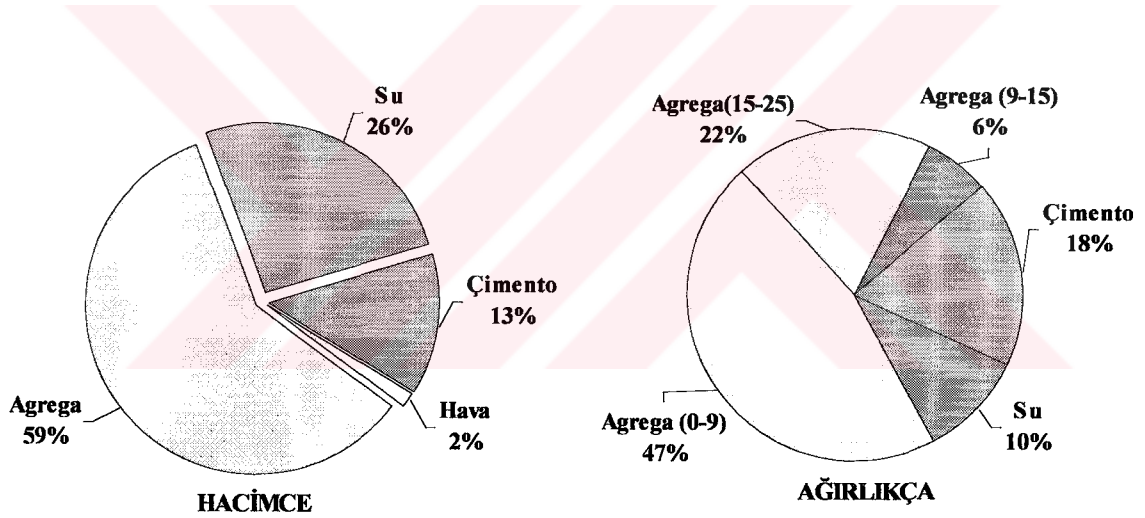
Şekil 2.15. 350 kg/m³ çimento 0,65 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları



Şekil 2.16. 400 kg/m³ çimento 0,45 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları



Şekil 2.17. 400 kg/m³ çimento 0,55 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları



Şekil 2.18. 400 kg/m³ çimento 0,65 s/ç oranındaki beton karışımının hacimce ve ağırlıkça % dağılımları

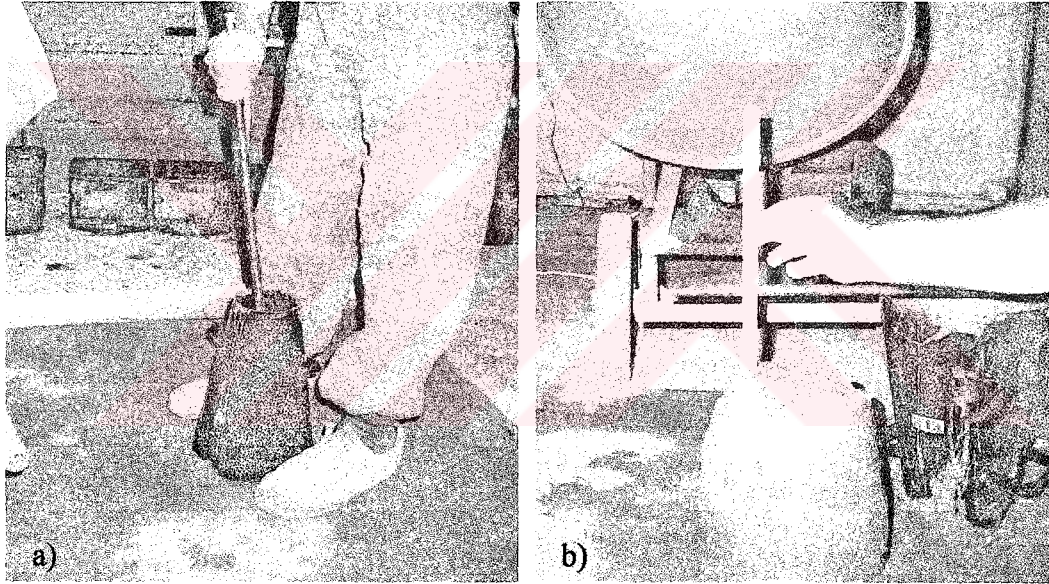
2.7.3. Çökme Deneyi

Deney TS 2871'e göre yapıldı. Bu deneyde, tepesi kesik koni şeklindeki metal bir kalıp içine üç eşit tabaka halinde ve her tabakası 25 kez özel bir çubukla şişlenerek standart olarak doldurulan taze betonun, ilk yüksekliği ile kap kaldırıldıktan sonraki yüksekliği arasındaki fark ölçüldü (Şekil 2.19 a ve b). Ölçülen en yüksek değer 400 kg/m³ çimento ve 0,65 su/çimento oranındaki beton örneğinde 20 cm olarak belirlendi. 300 kg/cm³ ve 350

kg/cm³ çimento ve 0,45 su/çimento oranlarındaki beton örneklerinde çökme miktarı belirlenemedi (Tablo 2.26). Doğru çökme değerleri elde etmek için çökme deneyi sonunda, betonun konik formunu bozmadan deforme olmaması, koni kaldırıldıktan sonra yanlara doğru kaymaması, yıkılmaması ve ayrışacak kadar yayılmamasına dikkat edildi.

Tablo 2.26. Çökme deneyi sonuçları

Beton Kodu	D 300			D 350			D 400		
Su/Çimento oranı	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
Çökme değeri (cm)	-	4	10	-	4	12	2	6	20

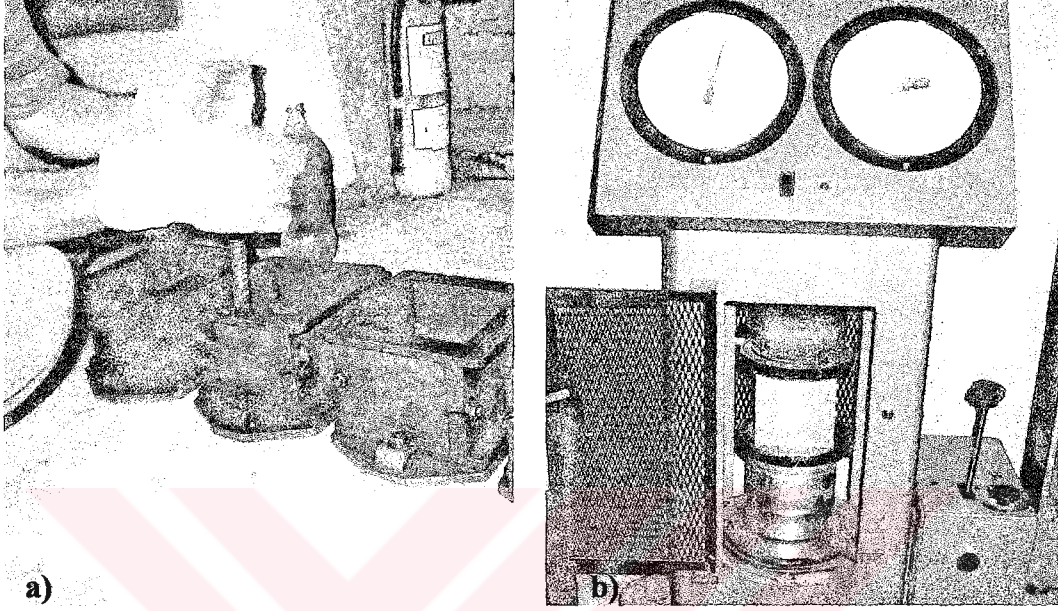


Şekil 2.19. Çökme hunisinin doldurulması (a) ve çökme değerinin ölçülmesi (b)

2.7.4. Beton Küp Numunelerinin Hazırlanması ve Basınç Dayanımı Tayini

Malzemeler betoniyerde yeterince karıştırıldıktan sonra kürek yardımıyla 15x15x15 cm'lik küpler içerisine üç eşit tabaka halinde ve her tabakası 25 kez özel bir çubukla şişlenerek elle dolduruldu (Şekil 2.20 a). Burada doldurulan kapların yüzeylerinin temiz olmasına dikkat edildi. Numuneler doldurulduktan 24 saat sonra kaplarından çıkartılarak içi su ile dolu yaklaşık 22°C'lik bir kür tankı içerisine yerleştirildi. Numuneler burada

muhafaza edildikten sonra 7 ve 28 gün sonunda kür tankından alınarak basınç dayanımlarını ölçmek için tek eksenli basma dayanımı aletinde TS 3114'e göre test edildi (Şekil 2.20 b).



Şekil 2.20. Beton küp numunelerin hazırlanması (a) ve beton basınç dayanım ölçümü (b)

Yapılan basınç dayanımı ölçümleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 2.27'de verilmiştir. Testler sonucunda malzemelerin 7 ve 28 gün sonundaki dayanımları belirlenmiştir.

Tablo 2.27. Küp numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Su/Çimento Oranı	Küp Basınç Dayanımları f_{cs} (kg/cm ²)	
		7 gün	28 gün
D 300	0,45	122	154
	0,55	136	224
	0,65	82	144
D 350	0,45	199	305
	0,55	145	236
	0,65	113	186
D 400	0,45	213	323
	0,55	159	255
	0,65	109	187

3. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME

3.1. Agrega Testleri

Beton agregalarında özgül ağırlık, su emme ve birim ağırlık değerleriyle ilgili herhangi bir standart değer bulunmamakla birlikte bazı literatür çalışmalarında (Erdoğan, 2003) özgül ağırlığı 2,4-2,8 gr/cm³ arasında bulunan agregalar normal ağırlıklı agregalar olarak adlandırılmaktadır. Su emme kapasitesi ise kayacın petrografik yapısına bağlı olarak %0,5-%2 arasında değiştiği öngörülmektedir (Arioğlu, 1999). Agregaların birim ağırlığı ise, tane şekli ve dağılımı, nem durumu, tanelerin kap içinde gevşek yada sıkışık olması gibi etkenlere bağlıdır. Birim ağırlıkla ilgili herhangi standart değer bulunmamakla beraber Smith ve Collis (2001) kaynağında normal agregaların birim ağırlıkları 1,2-1,8 gr/cm³ arasında, hafif agregaların 0,5-1,0 gr/cm³ arasında bir değer aldığı belirtilmektedir (Özbayoğlu ve Ataman, 2005). Agregalara yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen agregaların fiziksel özellikleri ile ilgili sonuçlar Tablo 3.1'de görülmektedir. Agregaların fiziksel özellikleriyle ilgili standartlarda herhangi bir sınır değer bulunmamasına karşın elde edilen değerlerin literatür çalışmalarıyla paralellik arz ettiği görülmektedir.

Tablo 3.1. Agregaların fiziksel özellikleri

Özellik	0-9 (mm)	9-15 (mm)	15-25 (mm)
Kuru Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,53	2,64	2,64
Doy. Kuru Y. Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,59	2,67	2,67
Görünen Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,71	2,71	2,72
Ağırlıkça Su Emme (%)	2,63	1,02	1,06
Sıkışık Birim Ağırlık (gr/cm ³)	1,96	1,64	1,61
Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm ³)	1,58	1,43	1,45

Agregalar üzerinde TS 706'a göre beton agregalarına yapılması gereken testler yapılmış, elde edilen sonuçlar standart verilerle karşılaştırılmıştır. Genel olarak sonuçların standart verilerle uygunluğu belirlenmiştir (Tablo 3.2). Yalnızca 0-9 mm malzemeye

yapılan ince madde oranı sonrasında elde edilen sonuç standart veriden yüksek çıkmıştır. Ancak her üç malzemeden belirli karışım oranlarında tek bir malzeme elde edileceği de göz ardı edilmemelidir.

Agregalarda bulunan ince maddelerin, betonda aderansı azaltması, prize veya sertleşmeye etki etmesi, mukavemeti düşürmesi, çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açabilmesi ve donatının korozyona karşı korunmasını azaltıcı etkilerinin bulunduğu bilinmektedir. İnce maddeler, ayrıca yoğurma suyunun miktarını arttırmaktadırlar. Bu olumsuz etkilerinin yanında, agreganın içinde belli bir miktara kadar bulunabilen ince maddeler, betonun işlenmesinde ve yerleştirilmesinde olumlu rol oynadığı da bilinmektedir (Korkanç ve Tuğrul, 2003).

Tablo 3.2. Malzemelerin özelliklerinin standartlarla karşılaştırılması

Özellik	Agrega	TS 706	Kullanılan Materyal	Sonuç	
İnce Madde Oranı, %	İnce Agregası	%5	0-9 mm	%7,68	Uygun
	İri Agregası	%0,50	9-15 mm	%0,10	Uygun
			15-25 mm	%0,20	Uygun
Hafif Madde Oranı, %	Yüzey gerilimi önemli betonlar için	%0,50	(0-9 mm eksenleriyle)	%0,11	Uygun
	Diğer betonlar için	%1	0-4 mm		
Aşınma Dayanımı Maks., %	İri Agregası	Los Angeles 100 Devir %10 500 Devir %50	İri malzeme karışımı	500 Devir %17,4	Uygun
Dona Dayanıklılık, Maks., %	İnce Agregası	%15	4/8 mm	%2,23	Uygun
	İri Agregası	%18	8/16 mm	%0,74	Uygun
			16/32 mm	%0,46	Uygun
Yassılık İndeksi, %	İri Agregası	%50	9-15 mm	%5,46	Uygun
			15-25 mm	%10,7	Uygun

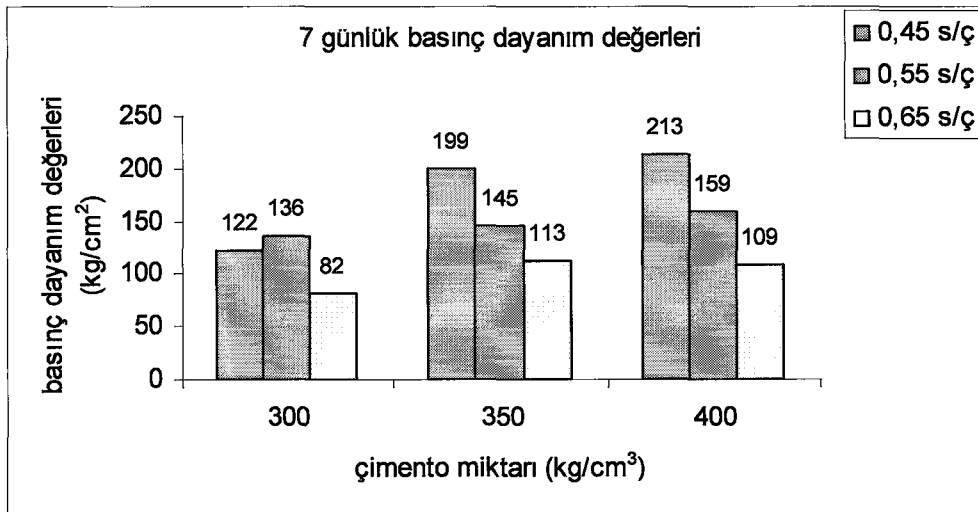
Agregalara yapılan nokta-yükü indeksi deneyi sonucunda, Bieniawski ve Deere nokta yükü dayanım sınıflaması ile karşılaştırılmasında malzemenin genel itibarıyla yüksek dayanımda olduğu görüldü. Yapılan literatür araştırmasında da nehir agregalarının genellikle yüksek dayanımda ve sert olduğu bilinmektedir.

Malzemenin dayanımının yüksek oluşu o malzemeyle oluşturulan beton numunelerinin de basınç dayanımlarına olumlu etki ettiği söylenebilir. Özellikle yüksek

dayanımlı betonlarda agreganın dayanımının beton basınç dayanımı üzerine etkisi çok büyüktür (Özkan, 2000).

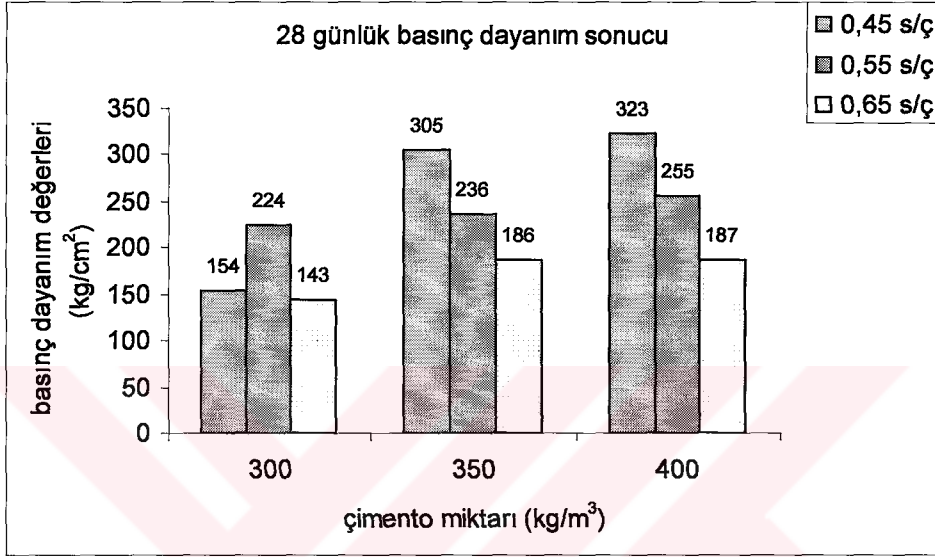
3.2. Beton Testleri

Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 incelendiğinde, yapılan deneylerde su/çimento oranının sabit çimento dozajının arttığı beton örneklerinde ki basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Diğer bir yönden sabit çimento dozajında ve artan su/çimento oranıyla ise beton basınç dayanımının düştüğü görülmektedir. Bu durum literatürde verilen değerlerle paralellik göstermektedir. Ancak 300 doz çimento ve 0,45 su/çimento oranındaki beton küp numunesinin dayanımının diğer örnek beton numuneleriyle paralellik arz etmediği görülmüştür. Bu örnekteki dayanım değeri beklenenin altında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi olarak, bu dozajda ve su/çimento oranında çalışıldığında diğer durumlardakinin aksine su/agrega oranının (0,04) çok düşük olarak gerçekleşmesi ve böylece yetersiz su ile hazırlanmış numune olmasından kaynaklanmaktadır. Su miktarının yetersiz oluşundan dolayı oluşturulan beton küp numunelerinin çok boşluklu bir yapıya sahip olduğu ve bundan dolayı basınç dayanım değerinin düşük olduğu düşünülmektedir. Bu beton örneklerindeki su miktarı hacimce %14, ağırlıkça %4'tür.



Şekil 3.1. 7 günlük basınç dayanım değerleri

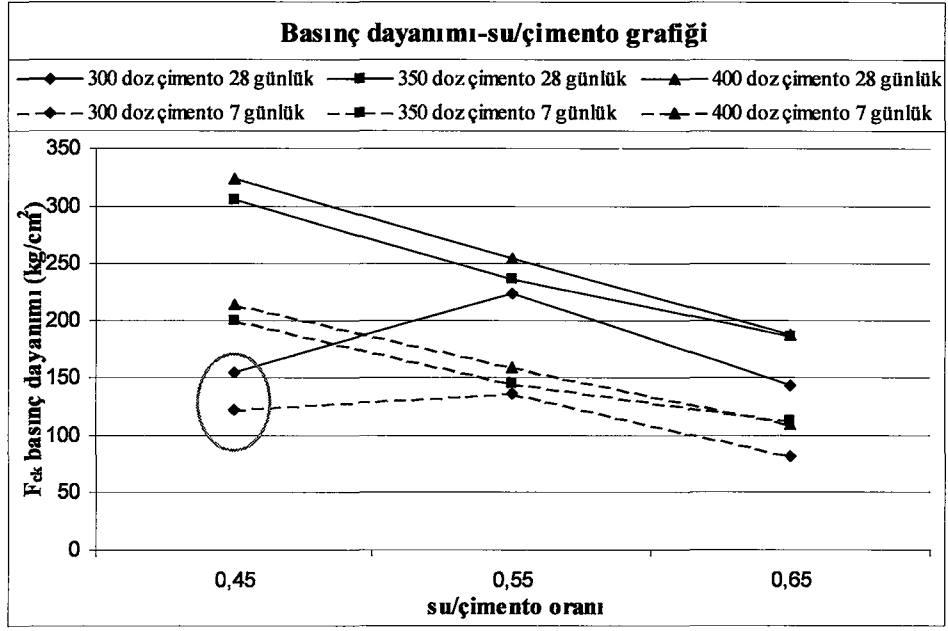
Ölçülen 28 günlük ortalama basınç dayanım sonuçlarından yola çıkarak TS 500'deki beton sınıflarıyla bir karşılaştırma yapıldığında bu malzemeyle BS 30 sınıfı dayanımına kadar betonlar için uygun karışımlarda betonlar üretilebileceği görülmüştür (Tablo 3.3). Ancak 0-9 mm malzemenin ince madde oranının yüksek oluşu üretilen beton karışımlarındaki su/çimento oranının seçimine hassasiyet getirmektedir.



Şekil 3.2. 28 günlük basınç dayanım değerleri

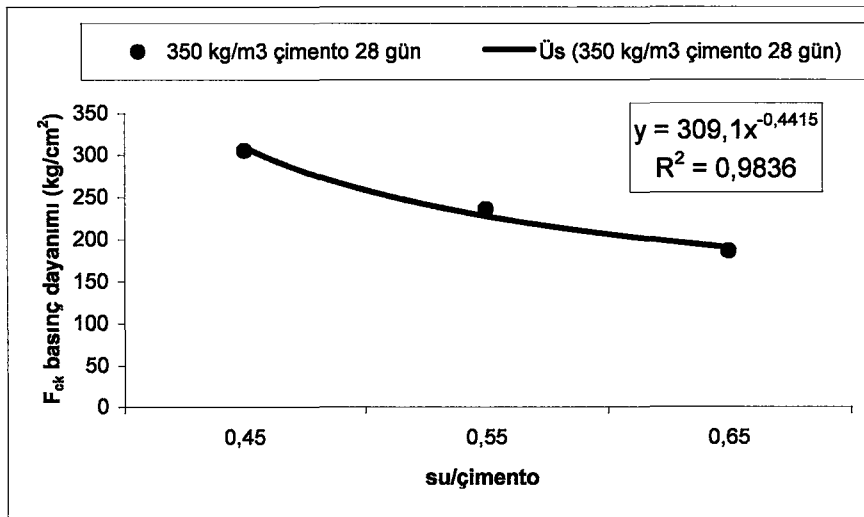
Tablo 3.3. Beton sınıfları ve dayanımları (TS 500).

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı f_{ck} , MPa	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı MPa
C16	16	20
C18	18	22
C20	20	25
C25	25	30
C30	30	37
C35	35	45
C40	40	50
C45	45	55
C50	50	60



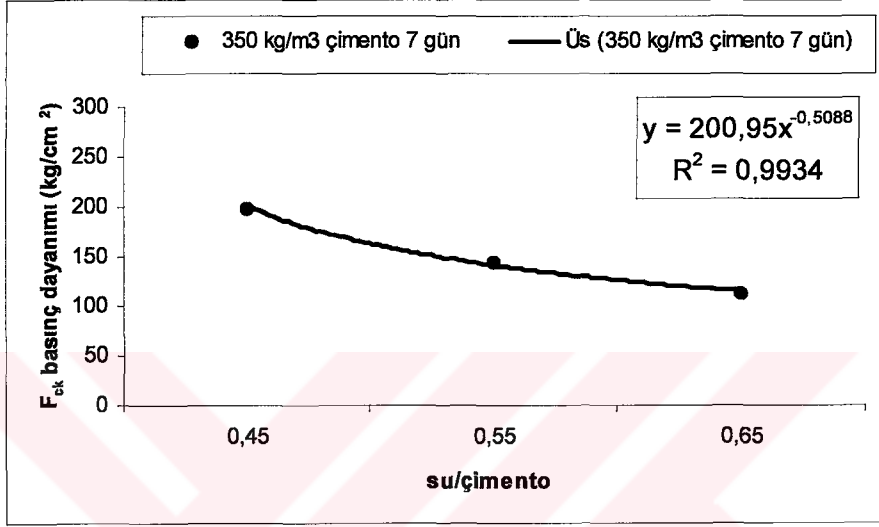
Şekil 3.3. 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımı-su/çimento oranı ilişkisi

Basınç dayanımlarının su/çimento oranı arasındaki ilişkileri Şekil 3.4 ile Şekil 3.7 arasında verilmiştir. Grafıklere bakıldığında R^2 değeri 1'e oldukça yakın bir değerde çıkmıştır. Bu da örneklerde elde edilen değerlerin birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir.

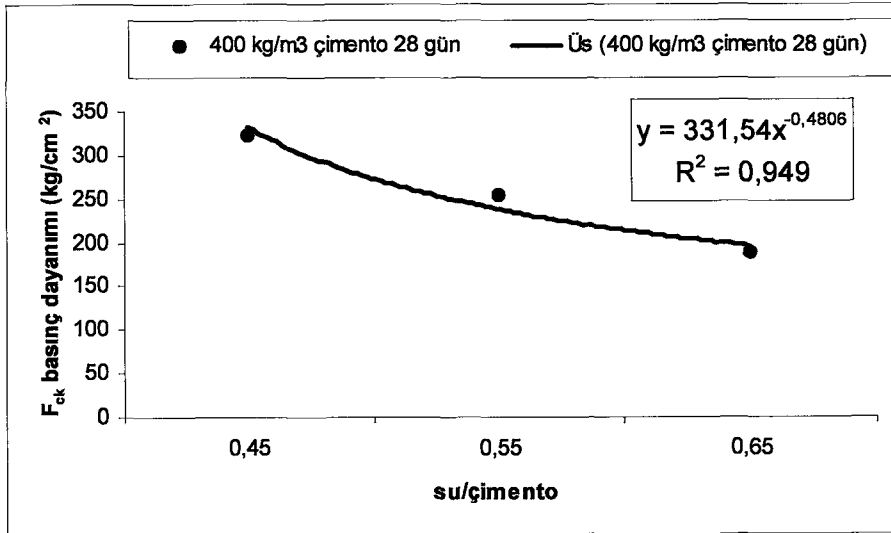


Şekil 3.4. 350 kg/m³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 28 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki

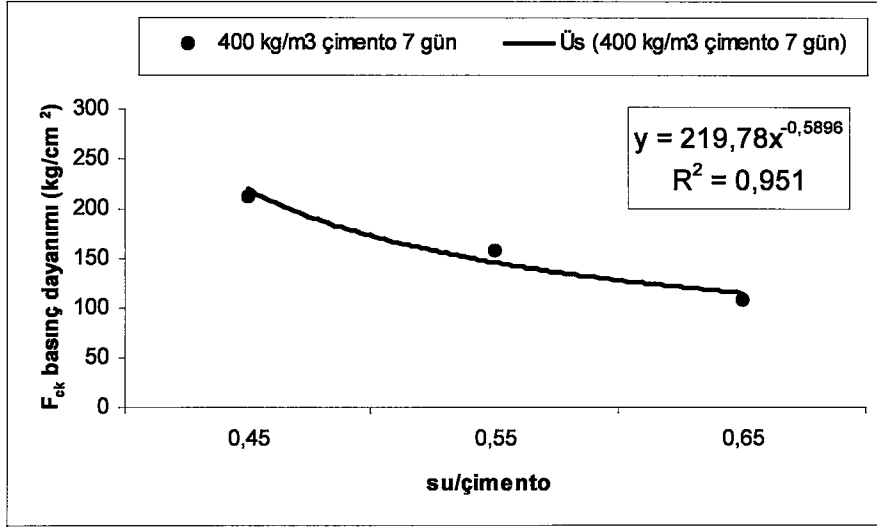
Grafiklerde su/çimento oranı düştüğünde beton dayanımında parabolik bir artış söz konusu olmaktadır. Bunun sebebi olarak bağlayıcı madde olan çimentonun taneler arası boşluğu tamamen doldurması ve tanelerin çok iyi bir şekilde bağlamasıdır. Burada 300 kg/m³ çimento miktarındaki beton örnekleri üssel gösterimde uygun olmadığından alınmamıştır. Bu örneklerde R² değeri çok düşük değerde çıkmıştır.



Şekil 3.5. 350 kg/m³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 7 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.6. 400 kg/m³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 28 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.7. 400 kg/m³ çimentolu beton için su/çimento oranı ile 7 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Harşit vadisinden (Giresun-Tirebolu) elde edilen kırılmış dere malzemesinin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunu belirlemek için elde edilen malzeme üzerinde bazı deneysel çalışmalar yapılarak mevcut standartlarla karşılaştırılıp sonuçlandırılmıştır.

Malzemenin alındığı bölge Doğu Karadeniz Bölgesinin karakteristik volkanitlerini içeren bir litostratigrafi göstermektedir. Bölgede yaklaşık olarak 11 birimin varlığı mevcuttur ve bu birimlerin varlığı elde edilen numunelerde de mevcut bulunmaktadır. Harşit Çayı'nın çıkış yerlerinden itibaren sürükleyerek getirdiği bu birimlerden oluşan dere malzemesi, kırma-eleme ünitesinde 3 farklı boyutta (0-9 mm, 9-15 mm ve 15-25 mm) malzeme olacak biçimde işlenmektedir.

Agregalara TS 706'a göre yapılan deneysel çalışmalar sonucunda malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu belirleme sonucunda malzemenin genel olarak beton agregası için uygunluğu tespit edilmiştir. Yapılan bu deneyler sonrasında 0-9 mm, 9-15mm ve 15-25 mm agregaların sırasıyla doygun kuru yüzey özgül ağırlık değerleri 2,59, 2,67 ve 2,67 olarak saptanmıştır. Su emme oranları ise yine sırasıyla %2,63, %1,02 ve %1,06 olarak bulunmuştur. Birim ağırlık değerleri sıkışık ve gevşek olarak sırasıyla 1,96, 1,64 ve 1,61 gr/cm³ 1,58, 1,43 ve 1,45 gr/cm³'tür.

Malzemelerin ince madde oranları standart verilerin altında çıkmıştır. Ancak 0-9 mm malzeme için yapılan ince madde oranı tayini deneyinde 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen malzemenin miktarı %7,68 olarak belirlenmiştir. Bulunan bu ince madde oranı hazırlanan betonlarda yoğurma suyunun miktarını arttırıcı bir etki göstermiştir. Diğer bir yönden betonun işlenmesinde ve yerleştirilmesinde olumlu rol oynadığı da açıktır. Ancak ince madde miktarının betonun basınç dayanımına olumsuz etki etmesi de düşünülecek olursa beton agregası olarak kullanılması düşünülen bu malzemenin kırma-eleme ünitesinde bir yıkama işleminden geçirilmesi ve içinde bulunan çok ince malzemenin temizlenmesi gerekir.

Malzemelere yapılan hafif madde oranı tayini sonucu miktarın oldukça az olduğu belirlenmiştir.

Agregaların Los Angeles aşınma dayanımı 500 devir sonunda %17,4 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerle malzemenin aşınmaya karşı oldukça dayanımlı olduğu belirlenmiştir.

Agregaların dona dayanıklılık deneyi kimyasal yöntemle yapılmış ve her üç malzemenin de aşınmaya karşı oldukça dayanımlı olduğu belirlenmiştir.

Agregalara yapılan nokta yük indeksi deneyi ile agregaların Bieniawski ve Deere nokta yükü dayanım sınıflamasında yüksek dayanım sınıfında olduğu belirlenmiştir. Agregaların dayanımının yüksek olması beton açısından önemlidir. Beton agregalarının seçiminde agregaların sert ve dayanımlı olması istenmektedir.

28 günlük beton basınç dayanımları sonucunda en düşük basınç dayanım değeri 300 kg/m³ çimento miktarında ve 0,65 su/çimento oranındaki beton örneğinde 144 kg/cm² olarak elde edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı ise 400 kg/m³ çimento miktarında ve 0,45 su/çimento oranındaki beton örneğinde 323 kg/cm² olarak elde edilmiştir.

Elde edilen basınç dayanım verileri incelendiğinde, çimento dozajı yüksek olduğunda beklenildiği gibi basınç dayanım değerleri yüksek elde edilmektedir. Çalışılan çimento dozajında su/çimento oranı artarken dayanımlar düşmektedir. Bu durum literatürde verilen değerlerle paralellik göstermektedir. Ancak 300 kg/m³ çimento miktarı ve 0,45 su/çimento oranıyla hazırlanan beton örneği bu duruma aykırılık göstermektedir. Bunun sebebi ise, bu dozajda ve su/çimento oranında çalışıldığında diğer durumlardakilerin aksine su/agrega oranının çok düşük olarak gerçekleşmesi ve böylece yetersiz su ile hazırlanmış numune olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca karışımda kullanılan 0-9 mm malzemenin ince madde oranının yüksek olması hazırlanan bu dozajdaki numunede artan agrega hacmi ile birlikte yüzey alanında da bir artış meydana getirmektedir. Yüzey alanındaki bu artış su ihtiyacı doğurmaktadır. Yeterli suyla hazırlanamayan bu beton numunesinde ki boşluk oranı yüksek olmaktadır ve dolayısıyla basınç dayanımı düşük gerçekleşmektedir.

Ölçülen 28 günlük ortalama basınç dayanım sonuçlarından yola çıkarak TS 500'deki beton sınıflarıyla karşılaştırdığımızda bu malzemeyle seçilen su/çimento oranı ve çimento miktarlarında BS 30'a kadar dayanımda betonlar için uygun karışımda betonlar üretilbileceği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- Acar, E.Ç., 1976. Doğu Karadeniz Bölgesi, Tirebolu, Harşit Vadisi ve Civarının Jeolojisi, Petrografik Etüdü ve Ekonomik Jeolojisi Hakkında, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Bornova, İzmir.
- Aitcin, P-C., 2000. Cements of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow, Cement and Concrete Research, 30, 1349-1359.
- Akpınar, Ş. A., 2002. Değişik Kaynaklı Agregaların Beton Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Akyüz, S., 1991. Boşluk Oranı ve Geometrisinin Beton Basınç Dayanımına Etkisi; Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı, 2. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 53-66.
- Alp, İ., Yılmaz, A.O., Kaya, R., Devci, H., ve Çavuşoğlu, İ., 2003. Kuşkayası (Tirebolu-Giresun) Taşocağı Kırılmış Kum Hazırlama Tesisi-Problemler Ve Çözüm Önerileri, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 1, 249-256.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A.O., 1999a. Çözümlü Beton Agregaları Problemleri, Evrim Yayın Evi, 1.Baskı, İstanbul, 178 s.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, B., Yüksel, A., ve Girgin, C., 1999b. Nokta Yük Deneyi İle Mevhibe İnönü Tüneli'nde Beton Dayanımlarının Belirlenmesi, Hazır Beton Dergisi, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, 6, 35, 87-92.
- Arioğlu, E., Acar, E., Manzak, O., Dondurmacı, A., ve Girgin, C., 2004. Kırmataşın Mühendislik Büyüklüklerinin Beton Karışım Tasarımına Etkileri, Yapı Merkezi A.Ş., İstanbul. <http://www.yapimerkezi.com> 20 Mayıs 2004
- Aslaner, M., ve Gedikoğlu, A., 1984. Harşit Vadisi (Tirebolu-Giresun) Metalik Cevherleşme Tipleri, Karadeniz Üniversitesi Dergisi, Jeoloji, 3, 1-2, 1-15.
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II, Genişletilmiş 7. Baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 222 s.
- Beshr, H., Almusallam, A., A., ve Maslehuddin, M., 2003. Effect of Coarse Aggregate Quality on The Mechanical Properties of High Strength Concrete, Costruction and Building Materials, 17, 97-103.
- Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., ve Kurşun, İ., 1999. Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş "İston", 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99, Ankara, Bildiriler Kitabı, 1, 69-79.

- Çavuşoğlu, İ., Yılmaz, A., O., Alp, İ. ve Vıçıl, M., 2004. Harşit Çayı (Giresun-Tirebolu) Kırılmış Dere Malzemesinin Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, VI. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, Bildiriler Kitabı, 1, 305-310.
- D.P.T., 2001. Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005), Madencilik ÖİK Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III Çalışma Grubu Raporu, Ankara. <http://ekutup.dpt.gov.tr/> 21 Mart 2005
- D.P.T., 1996. Yedinci 5 Yıllık Kalkınma Planı (1996-2000), Madencilik ÖİK, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Ham Maddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Cilt 1, Ankara. <http://ekutup.dpt.gov.tr/> 21 Mart 2005
- Erdoğan, T.Y., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler Agregalar, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, Ankara, 162 s.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, Birinci Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 741 s.
- Eren, S., 1998. Doğal ve Kırmataş Agreganın Beton Davranışı Üzerine Fiziksel ve Ekonomik Yönden Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Güner, M.S. ve Süme, V., 2001. Yapı Malzemesi ve Beton, Üçüncü Baskı, Aktif Yayınevi, Ankara, 335 s.
- Güney, S., 2000. Taşocaklarında İşletme Yönteminin Seçilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, Trabzon.
- İnan, K., ve Tanyolu, E., 1982. Mineraloji, Cilt 2, Doyuran Matbaası, İstanbul, 315 s.
- Koç, A., 2001. Betonda Kullanılan Agregaların Petrografisinin Beton Mukavemetine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korkanç, M., ve Tuğrul, A., 2003. Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 1, 99-106.
- Manzak, O., Dondurmacı, A., Köylüoğlu, Ö., S., ve Arıoğlu, E., 1996. Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'de Beton Agrega Kalite Denetimi ve Değerlendirilmesi, 1.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 1, 163-178.
- M.T.A., 2001. Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Teknik Arama ve Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey.

- Neville, A., M., 1981. Properties of Concrete, Third Edition, ELBS Longman Group Ltd., England, 779 s.
- Neville, A., M., 2000. Properties of Concrete, Fourth Edition, Prentice Hall, Pearson Education Limited, England, 844 s.
- Özbayoğlu, G., ve Ataman, N., 2005. Beton Agregaları: Aranan Özellikler, Uygulanan Testler ve Türk Standartları, 1.Taşocakları Kongresi, KKTC, Bildiriler Kitabı, 1, 115-132.
- Özkan, Ö., 2003. Denizden Çıkarılan Kumun Beton Mukavemetine Etkisi, <http://www.agrega.org> 25 Mart 2003
- Özkan, Ş., Taşdemir, C., Taşdemir, M., A., Hacıkamiloğlu, M., Özbek, E., ve Altay, B., 2000. Effects of Aggregate Type on Mechanical Properties of Normal and High Strength Concretes, Cement and Concrete Technology in the 2000's, Second International Symposium, İstanbul, Turkey, 2, 40-49.
- Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M., ve Uyan, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 121 s.
- Öztabak, F., H., ve Gürsu, Y., 1998. Beton ve Beton Malzemeleri Ders Notları, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 90 s.
- Özturan, T., ve Çeçen, C., 1997. Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of Concretes with Different Strengths, Cement and Concrete Research, 27, 165-170.
- Özyürek, N., 1995. Kızılırmak Agregasının Teknik Özellikleri ve Beton Yapımında Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton (Agregalar, Beton), Teknik Kitaplar Yayınevi, Cilt 2, İstanbul, 333 s.
- Ramachandran, V., S., ve Beaudoin, J., J., 2001. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, 985 s.
- Richardson, D., N., 1989. Point-load Test for Estimating Concrete Compressive Strength, ACI Materials Journal, 86, 4.
- Smith, M., R., ve Colis, L., 2001. Aggregates, Third Edition, The Geological Society, London.
- Taşdemir, C., Özyurt, N., Ertuğrul, C. ve Kara, G., 2003. Kırmakumun Beton Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Değerlendirme, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 1, 7-13.

- Taylor, W., H., 1977. Concrete Technology and Practice, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company Australia Pty Limited, Sydney, 846 s.
- Topçu, İ., B., Canbaz, M., 2001. Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 14, 2-9.
- T.S.E, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS-500, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1980. Beton Agregaları, TS-706, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1985. Beton Karışım Hesap Esasları, TS-802, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1996. Deney Eleklere-Teknik Özellikler ve Deneyler-Kısım 1: Tel Örgülü Deney Eleklere, TS-1227, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1996. Deney Eleklere-Teknik Özellikler ve Deneyler-Kısım 2: Delikli Metal Levhalı Deney Eleklere, TS-1226, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1977. Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu İle), TS-2871, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1998. Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini, TS-3114, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TS-3526, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1980. Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, TS-3527, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1980. Beton Agregalarında Hafif Madde Oranı Tayini, TS-3528, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, TS-3529, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, TS-3530, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1980. Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini, TS-3655, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E, 1981. Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini, TS-3694, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Saltoğlu, S., 1992. Açık İşletme. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakóltesi, İstanbul, 208 s.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Birinci Baskı, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Őti., İstanbul, 840 s.
- Uğurlu, A., 2002. Betonda Agrega-Çimento Hamuru Aderansı Üzerine, THBB Hazır Beton Dergisi, 9, 49, 66-74.
- Uğurlu, A., 1989. Beton Basınç Dayanımı ile Beton Geçirgenliği Arasındaki İlişki, DSİ Genel Müdürlüğü, Beton Semineri, Adana, 151-180.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., ve Binal, A., 2001. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TBMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:58 Ankara, 161 s.
- URL-1, <http://www.civilturk.com/default.asp?PG=79>, 2004.
- URL-2, <http://iumaden.sitemynet.com/madenciler/id2.htm>, 2004.
- URL-3, <http://www.agrega.org/index.asp?sec=agr&page=agr>, 2004.
- Wu, K., Chen, B., Yao, W., ve Zhang, D., 2001. Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of High-Performance Concrete, Cement and Concrete Research, 31, 1421-1425.
- Yaşar, E., Erdoğan, Y., ve Kılıç, A., 2003. Effect of Limestone Aggregate Type and Water-Cement Ratio on Concrete Strength, Materials Letters, 58, 772-777.
- Yeğinobalı, A., 2003. Su-Çimento Orantısı Beton Dayanımını Nasıl Etkiliyor, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, TÇMB Yayını, 8, 45, 45-53.
- Yılmaz, A.O., Demir, C., Kaya, R., ve Tatarhan, A., 2002. Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Taşocaklarını İncelenmesi, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Konya.
- Yılmaz, A.O., ve Çavuşoğlu, İ., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesinde Agrega İşletmeciliğinin Sorunları ve Öneriler, Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Bildiriler Kitabı 1, 601-609.
- Yılmaz, A.O., Alp, İ., Kaya, R. ve Çavuşoğlu, İ., 2003. Trabzon İlindeki Taşocaklarının İncelenmesi ve Agrega Potansiyelinin Belirlenmesi, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 1, 133-143.
- Yılmaz, A.O., Tatarhan, A., ve Çavuşoğlu, İ., 2004. Doğu Karadeniz Bölgesinde Faaliyet Gösteren Taşocakları İçin Uygun Üretim Yönteminin Geliştirilmesi, VI. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, Bildiriler Kitabı, 1, 311-319.

Yılmaz, E., 1999. Kaya Mekaniği Dersi Laboratuar Deney Raporu, İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 90 s.

Zia, P., Ahmad, S., ve Leming, M., 2005. High-Performance Concretes, A State-of-Art Report (1989-1994) <http://www.tfrc.gov> 20 Mayıs 2005



ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'un Araklı ilçesinde tamamladıktan sonra 1995–1996 eğitim-öğretim yılında K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitimine başladı. 2001 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek lisans eğitimine başladı. Yabancı dili İngilizcedir.

