

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KIRMATAŞ AGREGALI BETONLARIN BASINÇ VE YARMADA ÇEKME
DAYANIMLARININ SINIRLI ORANDA DERE KUMU KARIŞTIRILMASIYLA
DENGELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Aslı BÖKÜ

MART 2013
GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KIRMATAŞ AGREGALI BETONLARIN BASINÇ VE YARMADA ÇEKME
DAYANIMLARININ SINIRLI ORANDA DERE KUMU KARIŞTIRILMASIYLA
DENGELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Aslı BÖKÜ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

“İnşaat Yüksek Mühendisi”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18/01/2013

Tezin Sözlü Savunma Tarihi: 08/03/2013

MART 2013



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Şükrü YETGİN danışmanlığında Aslı BÖKÜ tarafından hazırlanan **“KIRMATAŞ AGREGALI BETONLARIN BASINÇ VE YARMADA ÇEKME DAYANIMLARININ SINIRLI ORANDA DERE KUMU KARIŞTIRILMASIYLA DENGELENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Doç. Dr. Şükrü YETGİN

Üye (Danışman)

:

Doç. Dr. Şükrü YETGİN

Üye

:

Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

Üye

:

Yrd. Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ

ONAY

Bu tez .../.../... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRMATAŞ AGREGALI BETONLARIN BASINÇ VE YARMA
DAYANIMLARININ SINIRLI ORANDA DERE KUMU KARIŞTIRILMASIYLA
DENGELENMESİ

Aslı BÖKÜ

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü YETGİN

2013, 67 sayfa.

Beton malzemesinin basınç dayanımı yüksek olup çekme dayanımı ise bunun yaklaşık 1/10'u kadardır. Beton üzerine gelen yüklemeden dolayı şekil değiştirme yapacaktır; betonun çekme kuvvetinin uygulandığı kısımda şekil değiştirme uzama olarak gerçekleşir. Çekme gerilmesi yapısal hesaplamalarda özellikle bazı yapıların projelendirme aşamasında ihmal edilmemelidir; çünkü çekme etkisinde ortaya çıkan çatlakların sınırlandırılması da yine çekme dayanımının yükseltilmesiyle mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada dere kumu ve kırmataş karışımlarıyla hazırlanan farklı tane dağılımına sahip beton karışımlarının basınç ve çekmeye karşı gösterdikleri dayanımlarını karşılaştırmak için, uygulanan deneme karışımlarında değişken olarak agrega

granülimetrisi ve ince malzeme olarak dere kumu kullanılmıştır. Hazırlanan beton bileşimlerinde % 22 - % 28 - %34 - % 40 - % 46 - % 48 - % 50 - % 52 - % 54 oranlarında dere kumu karışıma dahil edilmiştir. Tanık beton olarak tasarlanan 6. ve 11. deney bileşimlerinde ise kum olarak da kırma taş kullanılmıştır. 6. beton bileşiminde % 50 kırma taş, 11. beton bileşiminde % 25 kırma taş % 25 dere kumu kullanılmıştır. Dere kumunun karışım içersindeki yüzdesi değıştikçe, 4 – 12,5; 12,5 – 20 mm arasında kullanılan kırmataşın karışımındaki oranı da değışmiştir. Deney sonuçlarının dere kumu eklenmesi ile değıştiğı görölmüştür. Çalışma sonunda, 28 günlük basınç dayanımı dere kumu oranına bağılı olarak önce bir düşüş sonra da artış göstermiştir. Dere kumu oranındaki artışa göre yarmada–çekme dayanımında parabolik bir ilişki ortaya çıkmıştır. Böylece basınç ile yarmada–çekme dayanımı arasında ise matematiksel bir bağıntı kurulmaya çalışılmıştır.

Çalışmada kırmataş agrega içerisinde yuvarlak ve kaygan dere kumu karıştırılmasıyla gerek basınç dayanımında, gerek çekme dayanımında, burada yarmada çekme dayanımında artış kaydedildiğı görölmüştür. Böylece kırmataş sayesinde çekme bölgesinde oluşacak çatlaklar engellenmiş ya da sınırlanmış olurken dere kumuyla sağlanan, yerine yerleştirme kolaylığı sayesinde de betonun artan yoğunluğuna bağılı olarak basınç dayanımında da yükselme kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç dayanımı, Dere kumu, Gerilme–şekil değıştirme, Kırmataş, Yarmada çekme dayanımı,

ABSTRACT

MS THESIS

**CONCRETE RESISTANCE TO PRESSURE AND SPLITTING CRUSHED STONE
MIXED LIMITED BALANCE RATE SAND RIVER**

Aslı BÖKÜ

Gümüşhane University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü YETGİN

2013, 67 pages.

While compressive strength of the concrete material is high, tensile strength is approximately 1/10 of this. The concrete will make a change in its geometry because of the load applied on it. Changing of the geometry in the part where tensile strength is applied on the concrete takes place as extension. Tensile strength shouldn't be ignored in the constructional calculations especially in the projection stage of some constructions; because limitations of the cracks occurring by tensile effect can be possible by increasing the tensile strength.

In this study, in order to compare the strength of concrete mixtures having different grain distribution prepared by mixtures of river sand and aggregate against

compressing and tensile, variably aggregate granulometry and as a fine material river sand are used in the applied testing mixtures. In the concrete combinations prepared , % 22 - % 28 - %34 - % 40 - % 46 - % 48 - % 50 - % 52 - % 54 river sand is included in. In the 6th and 11th test combinations contemplated as witness concrete, aggregate was used as sand. In the 6th concrete combination % 50 aggregate, in the 11th concrete combination % 25 aggregate, % 25 river sand are used. As the average amount of river sand in the mixture has changed, the average amount of the aggregate used between 4 - 12,5; 12,5 - 20 mm has changed too. It is observed that the test results changed by adding more river sand. At the end of the study, 28 day compressive strength first showed decline then afterwards rise depending on the average of the river sand. According to the increase in the average of the river sand there occurred a parabolic relation in the splitting tensile strength. A mathematical relation between compressive strength and splitting tensile strength was tried to be established.

At this study by mixing round and slippery river sand in aggregate there increase in the splitting tensile strength is observed both in compressive strength and tensile strength.

Keywords: Crushed stone, River sand, Compressive strength, Splitting - tensile strength, Stress strain

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen, hayatım boyunca mühendislik çalışmalarını örnek alacağım saygı değer hocam Doç. Dr. Şükrü YETGİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam içerisinde yer alan laboratuvar deneyleri ve analizlerinde yardım ve katkıda bulunan deneylerimi gerçekleştirebilmek için bana imkan sunan USAŞ AŞ. desteklerinden dolayı şükranlarımı sunar özellikle Asım KALELİOĞLU'na ayrıca teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Aslı BÖKÜ
Gümüşhane, 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER	
1.1 Giriş	1
1.2 Beton Bileşenleri	6
1.3 Konu Üzerinde Yapılan Araştırmalar	11
1.4 Çalışmanın Amacı	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	17
2.1 Agreg a Karışımları	20
2.2 Agreg a Çeşitlerinin Fiziksel ve Petrografik Özellikleri	38
2.2.1 Kırmataş Agreg anın Kirliliği	38
2.2.2 Tane Yoğunluğu ve Donma–Çözölme Direnci	39
2.2.3 Kırmataşın Makroskopik Değerlendirilmesi	40
2.2.4 Dere Kumunun Fiziksel ve Kimyasal Değerlendirilmesi	41
2.2.5 Dere Kumunun Makroskopik Değerlendirilmesi	42
2.3 Seçilen Çimento Çeşidi ve Özellikleri.....	43
2.4 Beton Karışım Hesabı Yapılırken İzlenen Yöntem.....	44
3. BULGULAR ve İREDELEME	
3.1 Basınç Deneyi Sonuçları.....	51
3.2 Yarmada Çekme Deneyi ve Sonuçların Sıralanması.....	53
3.3 Basınç ve Yarmada–Çekme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması	58
3.4 Beton Birim Kütlesi ve Deney Sonuçları Arasındaki İlişki.....	61
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	63
5. KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Yarmada çekme deneyinin basınç düzeneğinde gerçekleştirilmesi	3
Şekil 1.2.	Kiriş üzerine gelen yayılı yüklemenden dolayı oluşan kesme kuvveti ve moment	4
Şekil 1.3.	Kiriş üzerine gelen yayılı yüklemenden dolayı oluşan gerilmeler	4
Şekil 1.4.	Kiriş üzerindeki yayılı yüklemenden dolayı oluşan şekil değiştirmeler	5
Şekil 1.5.	Betonun basınç-çekme dayanımı ile çekme uzaması-basınç kısalması oranları arasındaki ilişki	5
Şekil 1.6.	Deneme karışımı yapılan karıştırıcının içine agreganın yerleştirilmesi	6
Şekil 1.7.	Agrega çeşitleri	7
Şekil 1.8.	Agrega kırılmasına örnek.....	9
Şekil 1.9.	Beton bileşiminde kullanılan agrega karışımı.....	10
Şekil 2.1.	Agrega tane dağılımı standart örneği.....	19
Şekil 2.2.	Deneme karışımı 1'in agrega dağılımı	21
Şekil 2.3.	Deneme karışımı 2'nin agrega dağılımı	23
Şekil 2.4.	Deneme karışımı 3'ün agrega dağılımı.....	25
Şekil 2.5.	Deneme karışımı 4'ün agrega dağılımı	26
Şekil 2.6.	Deneme karışımı 5'in agrega dağılımı	28
Şekil 2.7.	Deneme karışımı 6'nın agrega dağılımı	30
Şekil 2.8.	Deneme karışımı 7'in agrega dağılımı	31
Şekil 2.9.	Deneme karışımı 8'in agrega dağılımı	33
Şekil 2.10.	Deneme karışımı 9'in agrega dağılımı	34
Şekil 2.11.	Deneme karışımı 10'in agrega dağılımı	36
Şekil 2.12.	Deneme karışımı 11'in agrega dağılımı	37
Şekil 2.13.	Deneylerde kullanılan kırmataşın genel ve yakın görünümü	40
Şekil 2.14.	Kırmataşın çift nikoldeki mikroskop görüntüleri (1 µm = 0,001 mm). a) Giriş dokunun mikroskopik görüntüsü, b) Kalsit kristallerinde görülen dilinim ve basınç ikizleri.....	41
Şekil 2.15.	Dere malzemesinin yakından görünümü	43
Şekil 3.1.	Basınç deneyi düzeneği	51
Şekil 3.2.	Basınç deneyi uygulamasının bilgisayar yardımıyla izlenmesi	52
Şekil 3.3.	Basınç deneyi sonucu numunenin görünümü	53

Şekil 3.4.	TS EN 12390 – 3 göre kırılma şekilleri	53
Şekil 3.5.	Yarmada çekme deneyi düzeneği.....	54
Şekil 3.6.	Yarmada çekme deney numunelerinin deneyden sonraki görünüşleri	54
Şekil 3.7.	Yarmada çekme deneyi uygulamasının bilgisayar yardımıyla izlenmesi	55
Şekil 3.8.	Basınç dayanımı ile dere kumu oranı arasındaki ilişki.....	60
Şekil 3.9.	Yarmada çekme dayanımı ile dere kumu oranı arasındaki ilişki	61

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Örnek Bir Betonun Bazı Özelliklerine Ait Değerler	2
Tablo 2.1.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri); Beton Karışımı 1	21
Tablo 2.2.	Beton Karışımı 1'in bileşenleri	22
Tablo 2.3:	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 2	23
Tablo 2.4.	Beton karışımı 2'nin bileşenleri	24
Tablo 2.5.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 3	24
Tablo 2.6.	Beton karışımı 3'ün bileşenleri	25
Tablo 2.7.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 4	26
Tablo 2.8.	Beton karışımı 4'ün bileşenleri	27
Tablo 2.9.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 5	27
Tablo 2.10.	Beton karışımı 5'in bileşenleri	28
Tablo 2.11.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 6	29
Tablo 2.12.	Beton karışımı 6'nın bileşenleri	30
Tablo 2.13.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 7	31
Tablo 2.15.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 8	32
Tablo 2.16.	Beton karışımı 8'in bileşenleri	33
Tablo 2.17.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 9	34
Tablo 2.18.	Beton karışımı 9'un bileşenleri	35
Tablo 2.19.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 10 ...	35
Tablo 2.20.	Beton karışımı 10'un bileşenleri	36
Tablo 2.21.	Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton karışımı 11	37
Tablo 2.22.	Beton karışımı 11'in bileşenleri	38
Tablo 2.23.	Deneylerde kullanılan agreganın içindeki ince malzeme oranı	39
Tablo 2.24.	Deneylerde kullanılan agreganın yoğunluğu ve su emme oranı	39
Tablo 2.25.	Deneylerde kullanılan agreganın donma-çözülme değerleri	40
Tablo 2.26.	Dere malzemesinin TS EN 1097-6'ya göre tane yoğunluğu ve su emme oranları	42
Tablo 2.27.	0-3 mm boyutundaki dere malzemesinin kimyasal analiz sonuçları (% kütlece	42
Tablo 2.28.	Uygulanan çimentonun kimyasal bileşenleri %	43
Tablo 2.29.	Uygulanan çimentonun fiziksel özellikleri	44
Tablo 2.30.	Çimentonun basınç dayanımı	44

Tablo 2.31.	Basınç dayanımı için uygunluk ölçütleri TS EN 206–1	45
Tablo 2.32.	Gruba ait üyelerin doğrulama sınır değerleri TS EN 206–1	46
Tablo 2.33.	Deneylerin karakteristik basınç dayanımı değerlerinin TS 206–1’e uygunluğu	47
Tablo 2.34.	Yarmada çekme deneyi için uygunluk değerlendirilmesi TS EN 206–1 ...	48
Tablo 2.35.	7 günlük basınç deneyi sonuçlarının anlamlılık sınırlarında sorgulanması ..	49
Tablo 2.36.	28 günlük basınç deneyi sonuçlarının anlamlılık sınırlarında sorgulanması	49
Tablo 3.1.	Yarmada çekme deneyinden elde edilen sonuçların doğrudan çekme deneyine geçiş hesaplanması	57
Tablo 3.2.	Doğrudan çekme deneyinden iki noktada eğilme deneyine geçiş hesaplaması.....	57
Tablo 3.3.	Deneme karışımlarının yoğunluk değerleri.....	62

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan
ACI	: Amerikan Concrete Institue
AŞ	: Anonim Şirket
C	: Beton
CEM	: Çimento
ϕ	: Karışımda kullanılan çimentonun kütlesi (g)
d_{maks}	: En büyük tane çapı (mm)
f_c	: Beton basınç dayanımı (N/mm^2)
f_{ck}	: Karakteristik beton basınç dayanımı (N/mm^2)
f_{ct}	: Beton çekme dayanımı (N/mm^2)
f_{ctk}	: Karakteristik beton çekme dayanımı (N/mm^2)
P	: Yük (kN)
ρ_a	: Karışımda kullanılan agreganın özgül kütlesi (kg/m^3)
ρ_{ϕ}	: Karışımda kullanılan çimentonun özgül kütlesi (kg/m^3)
V_a	: Agreganın betonda kullanılacak hacmi (cm^3)
W_a	: Karışımda kullanılan agreganın kütlesi (g)
W/C	: Su/çimento
σ	: Gerilme
π	: Pi sayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Çimentoya kum, çakıl ve su ilave edilerek hazırlanan betonun, çekmeye karşı dayanıklı olmadığı anlaşıncı bu yapı malzemesinin çelik çubuklarla güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Betonun, çelik çubuklarla güçlendirmesiyle oluşan malzemeye de betonarme denilmiştir. Betonarme elemanda, çelik donatı çekmeye çalışmaktadır, bunun yanında betonun da çekmeye karşı katkıda bulunduğu bilinmektedir. Standartlarda betonun çekmeye karşı gösterdiği dayanımın, basınca karşı gösterdiği dayanım yaklaşık onda biri kadar olması sebebiyle; yapısal hesaplamalarda, güvenli tarafta kalmak için bu katkı payı göz ardı edilmektedir.

Bu çalışmada dere kumu ve kırmataş karışımıyla hazırlanan farklı tane dağılımlı beton karışımlarının dolaylı olarak çekmeye karşı gösterdikleri dayanım karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma yapılırken su/çimento oranı sabit tutulmuş, kimyasal katkı kullanılmamış, ancak agrega tane boyutu dağılımındaki değişimler göz önünde bulundurulmuştur; böylece betonun dolaylı çekme ve basınca karşı gösterdiği dayanım değerleri elde edilmiştir.

Betonun istenilen özellikleri göstermesi için onu oluşturan malzemelerin iyi tanımlanması gerekmektedir. Agregaların birbiri ile kenetlenmesi için arada bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanılmaktadır (MEGEP, 2006). Çimentonun bağlayıcılık özelliğini gösterebilmesi için kimyasal tepkimeye (reaksiyona) girmesi gerekmektedir; bu kimyasal tepkimenin gerçekleşmesi içinde suya ihtiyaç vardır. Suya, sadece çimentonun tepkimeye girmesi için değil, aynı zamanda betonda istenilen akışkanlığı sağlamak için de ihtiyaç duyulmaktadır.

Betonun içindeki agrega insan bedenindeki iskelete, çimento da kas dokusuna benzetilebilir. Kasların iskelet sistemini sardığı gibi çimento da suyla tepkime girdiğinde agregaların birbiriyle kenetlenmesini sağlamaktadır.

Beton üretiminde agrega, çimento ve suyun haricinde kimyasal katkıları da kullanılmaktadır. Bunların da katılaşmayı geciktirici, katılaşmayı hızlandırıcı, hava sürükleyici, akışkanlaştırıcı gibi çeşitli etki özellikleri bulunmaktadır. Betonda kullanılan bu katkıların betonun mukavemeti üzerinde genellikle olumlu etkileri bulunmaktadır.

Bu katkıların oranı bağlayıcı malzemenin miktarına, özelliklerine ve diğer etkilere göre değişmektedir. Betonda bağlayıcı malzeme olarak çimentonun yanında, kısmen etkili olan doğal ve yapay puzolan malzemeler de kullanılmaktadır.

Beton için uygun bir tane boyutu dağılımı (granülometri) hazırlanabilirse sadece su/çimento oranında değişiklik yapılarak farklı dayanım sınıflarında beton üretilebilir. Sertleşmiş betonun istenilen dayanım sınıfında olması için standartlarda belirtilen bazı özellikleri göstermesi beklenir. Buna bağlı olarak sertleşmiş betonda bilinmesi gereken özellikler, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, gerilme–birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, poisson oranı, ısı genleşmesi, yoğunluk, betonun zamana bağlı olarak göstereceği büzülme (rötre) ve sabit yükler altında sünme olarak sıralanabilir. Sertleşmiş betonun en önemli özelliklerinden bir tanesi de kuşkusuz basınç dayanımıdır. Laboratuvar şartlarında kolayca ölçülebilen bu özellik bilindiğinde betonun diğer özellikleri; eğilme, çekme, kesme dayanımları, elastiklik modülü yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Bu da betonun dayanım özellikleri arasında, yaklaşık da olsa bir ilişkinin olduğunu göstermektedir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Örnek Bir Betonun Bazı Özelliklerine Ait Değerler (Erdoğan, 2003)

Özellikler	Değerler
Basınç dayanımı	35 MPa
Eğilme dayanımı	6 MPa
Çekme dayanımı	3 MPa
Elastiklik modülü	28000 MPa
Poisson oranı	0,20
Isıl genleşme katsayısı	$10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Yoğunluk	2350 kg / m ³

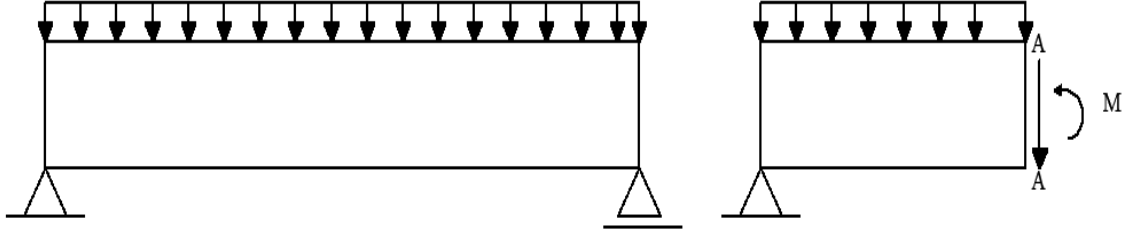
Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi yaratan kuvvetlerin neden olduğu şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterdiği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmıştır. Genellikle yapı sistemlerinde beton elemana doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Beton elemanların üzerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri, betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Sertleşmiş betonda çekme dayanımlarının bilinmesi, çatlakların gelişmesi ve yapıyla ilgili analizlerin yapılabilmesi bakımından önem taşımaktadır. Betonun çekme dayanımı üç yöntemle belirlenebilmektedir;

1. Doğrudan Çekme Deneyi
2. Yarmada Çekme Deneyi
3. Eğilmede Çekme Deneyi

Doğrudan çekme deneyinde numunenin çekme dayanımı, hidratasyon sırasındaki ısı değişimlerinden kaynaklanan büzülme çatlaklarına ve yapı içindeki homojen olmayan agrega dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Yarmada çekme deneyi numunenin dış yüzeyinde oluşan kuruma çatlaklarından etkilenmemektedir. Deneyin gerçekleştirilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi daha kolaydır, değişkenlik katsayısı ise en küçük olan bir deney yöntemidir (TS EN 12390-6, 2010). Kiriş eğilme deneyi (eğilmede çekme deneyi), çekme davranışını daha isabetli temsil etmesine rağmen, kolaylık bakımından diğer iki deneyin arasında yer alması nedeniyle, yarmada çekme deneyi daha çok tercih edilmektedir.

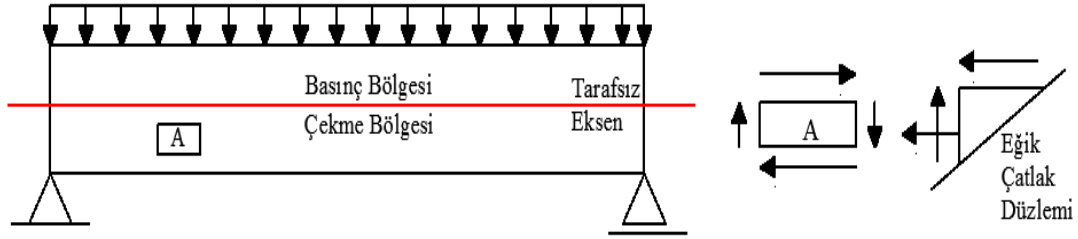


Şekil 1.1. Yarmada çekme deneyinin basınç düzeneğinde gerçekleştirilmesi



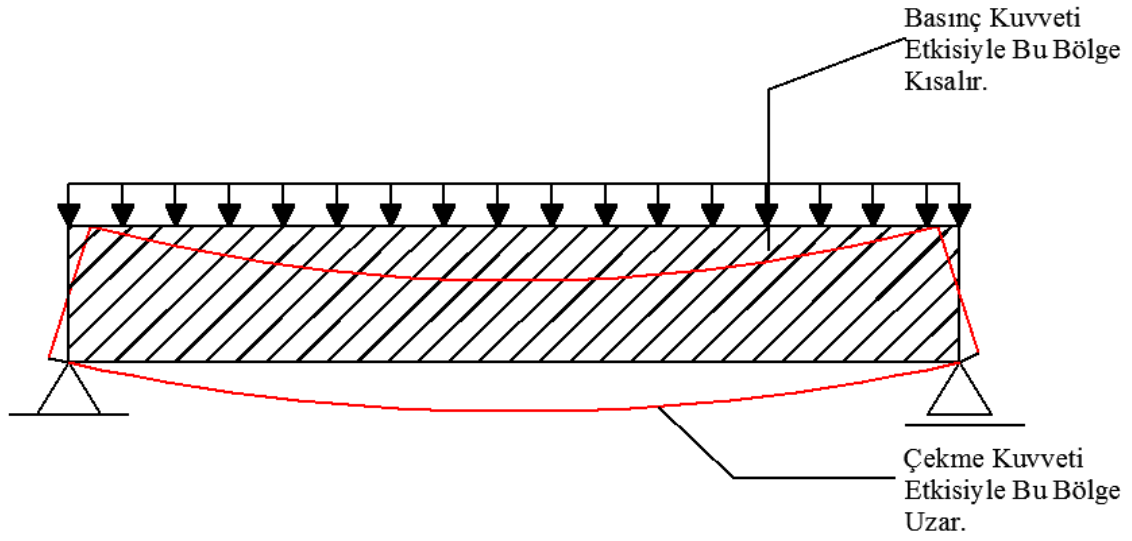
Şekil 1.2. Kiriş üzerine gelen yayılı yüklemenden dolayı oluşan kesme kuvveti ve moment

Eğilmeye zorlanan kirişin üzerine gelen yayılı yüklemeye nedeniyle, kirişten alınan “A – A” kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşmaktadır (Şekil 1.2). Tarafsız eksenin altında kalan bölgede eğilme momenti çekme gerilmesini, tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede ise basınç gerilmelerini meydana getirmektedir (Erdoğan, 2003).



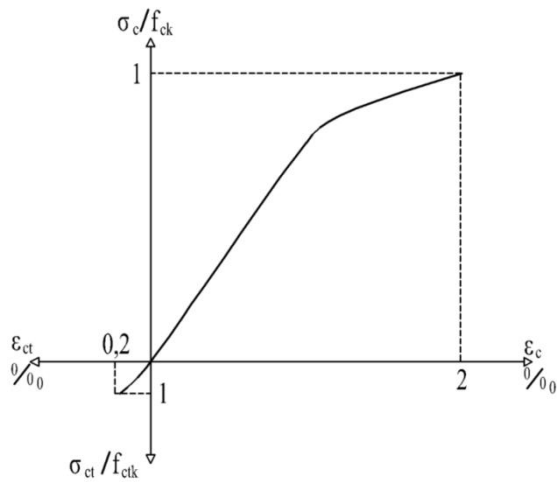
Şekil 1.3. Kiriş üzerine gelen yayılı yüklemenden dolayı oluşan gerilmeler

Kiriş üzerine gelen yayılı yüklemenden dolayı, tarafsız eksenin altında kalan “A” elemanında kayma gerilmeleri ve çekme gerilmeleri gözlemlenmektedir. Eğik çekme kuvvetleri betonda eğik çekme çatlaklarına neden olmaktadır. Beton için bu çeşit çatlaklar önem arz etmekte, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli neden olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1.4. Kiriş üzerindeki yayılı yüklemden dolayı oluşan şekil değiştirmeler

Kirişe gelen yükleme sonucunda basınç ve çekme kuvvetleri oluşmakta (Şekil 1.4), oluşan bu gerilmelere bağlı olarak da şekil değiştirmeler ortaya çıkmaktadır. Betonun çekmeye karşı olan dayanımı bilinmekte, ancak projelendirme aşamasında bu dayanım göz ardı edilmektedir; nedeni de betonun çekmeye karşı dayanımının düşük bir değere sahip olması ve dolayısıyla hesaplamalarda güvenli tarafta kalmak için bu küçük katkıdan vazgeçilmesidir. Diğer yandan gerilmeye bağlı şekil değiştirmeler önemlidir; çünkü beton istenen şekil değiştirmeyi yapmazsa, sistemde ya da elemanda ani (gevrek) kırılmalar ortaya çıkacaktır.



Şekil 1.5. Betonun basınç-çekme dayanımı ile çekme uzaması-basınç kısılması oranları arasındaki ilişki (Ünal ve Kürklü, 2007)

Kirişin şekil değiştirme davranışı bir diyagram üzerinde gösterilecek olursa (Şekil 1.5) sağ üst tarafı basınç gerilmesi sonucu boy kısalmasını, sol alt taraf ise çekme gerilmesine karşılık boy uzamasını gösterdiği anlaşılır. Grafikten anlaşılacağı gibi, çekme gerilmesi sonucu boy uzamasının, basınç gerilmesi sonucu boy kısalmasının yaklaşık onda biri kadar olduğu da görülmektedir.

1.2 Beton Bileşenleri

Betonun, yaklaşık hacim olarak % 70'ini agregalar oluşturmaktadır. Agregalar denilince kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemeler söz konusu olmaktadır. Agregalar sert ve dayanımı yüksek olan malzemedir, beton dayanımına da artırıcı etkide bulunmaktadır. Çimento zamanla kuruyarak büzülme gösterirken agrega çimento hamurunun zamanla göstereceği bu hacim değişikliğine engelleyici etkide bulunmakta ve bu değişikliğe bağlı olarak ortaya çıkan çatlak oluşumunu sınırlandırmaktadır.

Betonda çok sık kullanılan agrega çeşitlerini doğal agregalar oluşturmaktadır; bunlar sürüklenmiş dere malzemesi ve kayaçların kırılmasıyla oluşan kum ve çakıl karışımlarıdır. Bunun yanında geri kazanılmış agregalar da kullanılmaktadır ancak; TS EN 206-1'de geri kazanılmış agregaların kullanılması durumunda bunların, hazırlanan beton reçetesinde mevcut agrega karışımının yaklaşık % 5'ni geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. Kayaçların kırıcılarla kırılmasıyla elde edilen iri agregaya kırmataş, incesine ise kırma kum denilmektedir. Kırmataş ve kırma kuma 'mıcır' da denilmektedir.



Şekil 1.6. Deneme karışımı yapılan karıştırıcının içine agreganın yerleştirilmesi

Deneme karışımları hazırlanırken, iri agreganın üzerine ince agrega eklenmiş olup karışım suyunun bir miktarıyla agrega karıştırılmıştır. Buradaki amaç agreganın homojen bir karışım oluşturmaktır. Agrega karışımının üzerine çimento ve su eklenerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır.



Şekil 1.7. Agrega çeşitleri

Dere malzemesi düzgün ve daha yuvarlak yüzey yapısıyla rahatlıkla kırmataştan ayırt edilebilmektedir. Betonda kullanılacak agreganın geometrik özellikleri de önemlidir. Örneğin dere malzemesinin şekli yuvarlağa yakın olup dere yatağında suyun sürüklemesi sonucunda ortaya çıkmıştır, yüzey pürüzlülüğü kırmataşa göre daha düşüktür ve kaygan bir yüzeye sahiptir (Şekil 1.7). Yuvarlak agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kırmataş agregaya göre) daha küçük olduğundan daha az suyla işlenebilmektedir. Bu nedenle köşeli agregalarla hazırlanan beton karışımının işlenebilirliğini sağlamak için ince malzeme miktarını artırmak gerekmektedir. Kırmataş gibi köşeli agregalar, sürtünme etkisiyle taze betonun akıcılığını, diğer bir deyişle işlenebilirliğini güçleştirmektedir.

Tane boyutu 4 mm kare gözlü elekten geçen malzemeye ince agrega, 4 mm elek üstünde kalan malzemeye de iri agrega, yine 0,25 mm kare gözlü elekten geçen ince malzeme de taş unu olarak sınıflandırılmaktadır (Ünal ve Kürklü, 2007). Taş unu özellikle

betonun ayrışmasını önleyen, kohezyonu yüksek bağlayıcılık özelliği olan bir malzemedir. Kırmataşın içerisinde 200 nolu elekten geçen ince malzemenin olmaması kaçınılmazdır. Taş unu ayrıca kil ile karışmış olabilir. Kil, kırmataşın içerisine, tortul kayaç katmanları arasında bulunan kil bantlarının, kırılacak olan kayaktan ayrılmaması sonucu kırıcılara verilmesiyle karışabilmektedir.

Agreganın kirli (kil, silt, humus vs.) olması, agrega-çimento arasındaki kenetlenmeyi olumsuz etkilemektedir; ayrıca bu küçük taneler (kil, silt vb.) su ihtiyacını da artırmaktadır. Beton agregalarının elek analizi, yassılık, özgül kütle, su emme, alkali-silis tepkimesi gibi özelliklerinin uygun aralıklarla kontrol edilmesi gerekmektedir (THBB, 2012). Betonda kullanılacak agrega TS 706 ve TS 802'ye uygun olmalıdır.

En kısa boyutunun, en büyük boyutuna oranı $l/e < 1/3$ olan, uzun ve yassı agregaların 8 mm'den daha büyük olması durumunda, bunlar toplam agrega karışımı içerisinde kütlece % 50'den fazla olmamalıdır. Kusurlu taneler, agrega karışımının çok boşluklu olmasını ve aynı zamanda agregalarda gerilme yığılması sorununu birlikte getirmektedir. Böylece taşıyıcı iskeleti sağlam olmayan bir yapı meydana gelecektir. Beton için en uygun agrega tane şeklinin küre ya da küp şeklinde olmasıdır.

Agregalarda aranan önemli özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalı.
- Zayıf taneler içermemeli (deniz kabuğu, odun, kömür...).
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemelidir.
- Yassı ve uzun taneler içermemelidir.
- Çimentoyla zararlı tepkimelere girmemelidir; Agregaların içerisindeki kalsiyum ve magnezyum sülfatlar, çimentonun içindeki alüminatlarla tepkimeye girerek büyük hacimli tuzları meydana getirirler ve betonda hacim genişmesine ve bunun sonucunda parçalanmalara neden olurlar (Arioğlu, 1996).

- Agreganın, özgül yüzeyi en düşük, sağladığı doluluk oranı ise en yüksek olmalıdır.

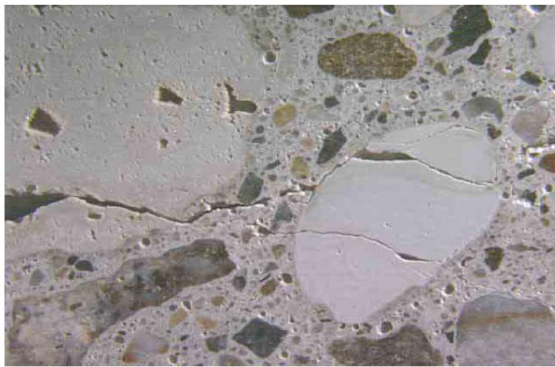
- Agreganın rutubet ve sıcaklık değişimlerinden dolayı hacim değişikliği göstermemelidir.

- Su emmesinin düşük ve donma etkisine karşı direncinin de yüksek olması gerekir; Bu özellik donma etkisine ve aşınmaya maruz kalan beton elemanlar için aranan bir özelliktir.

Çimento, su ile ıslatıldığında hidratasyon olayı sonucu sertleşen ve bir daha yumuşamayan hidrolik bir bağlayıcı özelliğine sahiptir. Çimentolar yaklaşık % 70 kalker, % 30 kil içeriği ile ve gerektiğinde demir cevheri de eklenerek 1400–1500 °C’de döner fırınlarda pişirilerek üretilir. Erken katılaşmasını önlemek için çimentoya % 2–6 oranında alçı taşı (jips) ilave edilir. Çimentonun hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanması için suya ihtiyaç vardır; kimyasal tepkime (hidratasyon) ancak bu sayede başlayabilmektedir. Çalışma sürecinde elde edilen izlenimlere göre betonda kullanılan çimento miktarının (dozajının) yaklaşık olarak üçte biri kadar suyun, kimyasal ve fiziksel olarak çimento ile tepkimeye girdiği görülmüştür.

Portland çimentosu genellikle gri renklidir. Bu renk, çimento hammaddesinde az miktarda var olan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Portland çimentosunun tane büyüklüğü 1–200 µm arasında, özgül kütlesi ise 3,1–3,15 g/cm³ arasında değişmektedir.

Çimento, su ve agregaların birlikte karıştırılmasıyla elde edilen beton başlangıçta plastik (şekil değiştirebilen) bir yapıdadır ve birkaç saat içerisinde katılaşarak sertleşmektedir. Sertleşmeye başlayan beton, zaman ilerledikçe daha büyük dayanım kazanır. Betonun bu özellikleri, hidratasyon nedeniyle çimento hamurunun yapısında yer alan değişikliklerden ileri gelmektedir. Sertleşmiş betonda zamana bağlı olarak yer alabilecek büzülme veya sünme deformasyonları aslında çimento hamurundaki hacim değişiklikleridir. Çimento, taze betonun özelliklerini, sertleşmiş betonun dayanımını ve betonun dayanıklılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Çimento hamuru, beton karışımının içerisinde yer alan agrega tanelerinin yüzeyini kaplamakta, aralarındaki boşlukları doldurmakta ve taneleri birbirine bağlayarak betonu oluşturan malzemelerin birlikte davranışını sağlamaktadır.



Şekil 1.8. Agrega kırılmasına örnek (Kırçıl, 2008/2009)

Beton karışımı içindeki agreganın dayanımı hiçbir zaman çimento dayanımından daha az olmamalıdır. Bazen betonun kırılmaya agregadan başladığı da görülmektedir (Şekil 1.8). Agreganın dayanımı çimento dayanımından daha düşükse, betonun kırılması, agreganın çimento hamurundan daha önce kırılmasıyla sonuçlanacaktır. Agreganın önce kırılmasıyla daha düşük dayanım değeri elde edilir. Beton, normal şartlar altında kırılmaya önce çimento hamuruyla başlamalı daha sonra agrega kırılmasıyla devam etmelidir. Agreganın dayanımı betonun dayanımını doğrudan etkilemektedir.

Betonun ana bileşenlerinden biri olan karışım suyunun iki önemli görevi vardır;

1. Çimento ile hidrasyonun başlamasını sağlamak.
2. Taze betonun işlenebilirliğini (yerleştirilebilirliğini, sıkıştırılabilirliğini ve yüzeyinin düzletilebilirliğini) sağlamaktır. Beton taşıma ve yerleştirme sırasında ayrılmaya (segregasyon) uğramamalıdır.

Hidrasyon için öngörülen suyun çimentonun 1/3'ü kadar olduğu ve buna ilaveten yaklaşık olarak bir miktar suyun da agrega tarafından emildiği bilinmektedir. Bu çalışmada, betonun karma suyu miktarı agreganın doymuş kuru yüzey haline göre belirlenmiştir. Mevsim nedeniyle ıslak olan agregaların doymuş kuru yüzey haline gelmesi için kapalı ortamda yüzeyindeki su fazlalığını bırakıncaya kadar bekletilmesi uygun görülmüştür (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Beton bileşiminde kullanılan agrega karışımı

1.3 Konu Üzerinde Yapılan Araştırmalar

Dayanım açısından bakıldığında köşeli agregalarla (kırmataş) yapılan betonlarda agrega taneleri ile çimento hamuru arasında kenetlenmenin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun bilinen nedenleri, köşeli agrega tanesinin yüzey alanının yuvarlak agrega tanesinin yüzey alanından daha büyük olması, köşe uçlarının kanca görevi üstlenmesi ve yuvarlak agrega tanelerinden daha pürüzlü yüzeye sahip olmasıdır. Bazı kaynaklarda, köşeli agregalarla yapılan betonların dayanımının, yuvarlak agrega ile yapılan betonların dayanımından daha yüksek çıktığı bildirilmektedir. Nitekim yapılan araştırmalarda da, köşeli agregalarla yapılan betonların eğilme ve basınç dayanımlarında sırasıyla % 31 ve % 22 artış olduğu görülmüştür. Erdoğan köşeli agregalarla yapılan betonlarda eğilme mukavemetinde görülen artışın, silindir yarmada çekme (Brezilya) deneyinde de görüldüğünü ve ayrıca bunun betonun doğrudan karakteristik eksenel çekme dayanımında da gözlemlendiğini bildirmektedir (Erdoğan, 2003).

Beş farklı agrega örneğinin dayanımının ve mineral dokusunun beton dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan agrega türleri gabro, bazalt, kuvarsit, kireçtaşı ve kumtaşı çeşitlerini oluşturmuştur. Sıralamada basınç dayanımı ve eğilme dayanım değerleri büyükten küçüğe doğru yer almıştır (Özdemir, 2006). Burada agrega türlerinin basınç dayanımı ile eğilme dayanımı sıralamasının aynı basamakta yürümesi basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasında bir paralellik olduğunu göstermektedir. Deneylerde kullanılan kuvarsit gibi pürüzsüz yüzeyli agregalarla yapılan betonların kırılmasının agrega-çimento ara yüzeyinden başladığı belirtilmektedir. Oldukça pürüzlü yüzeylere sahip olan bazalt agregaları ile üretilen betonlarda ise beklenen dayanıma ulaşıldığı görülmüştür.

Atahan ve diğerleri tarafından yüksek dayanımlı betonlar üzerinde yapılan çalışmaların sonucu olarak, betonun kırılması ve şekil değiştirmesinin (deformasyonu) çimento hamurunun yapısından kaynaklandığı belirtilmektedir (Atahan, Taşdemir ve Oktar, 2003).

Sertleşmiş betonun yapısında, hidrasyon sonucunda çimento tanelerinin yüzeylerinden başlayarak jelleşme oluşmaktadır. Oluşan bu jelleşmeden dolayı çimento taneleri arasındaki kılcal boşlukların hacimleri daralmakta ve çimento taneleri arasında daha güçlü bir kenetlenme meydana gelmektedir. Çimentoda bulunan silikatlar suyla

tepkimeye girdikten sonra kireç açığa çıkmakta ve alüminatlar bu serbest kireçle reaksiyona girerek çimento jellerini meydana getirmektedir.

Betonun kırılmasının temelinde sertleşmiş çimento hamurunun yanı sıra, agrega ile sertleşmiş çimento arasındaki ara yüzey bölgesinin büyük önemi vardır. Betonu oluşturan agrega ve çimento hamurunun rijitliklerinin farklı olmasından dolayı ara yüzey bölgesinde oldukça büyük gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Çimento hamuru ve agrega taneleri arasındaki bölge betonun en zayıf bölgesidir. Ara yüzeyin daha düşük dayanıma sahip olması ilk çatlakların bu bölgede ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

1950 ve 1960'lı yıllarda yapılan çalışmalarda ara yüzey kırılmasında ilk defa çekme yüklemesi uygulanmıştır. Farklı tipteki kayaç ile sertleşmiş çimento hamuru arasındaki ara yüzeyin eğilme dayanımına etkisini bulmak için konsol kiriş kullanılmıştır. İlk defa yapılan bu deneylerin sonucunda, çimento hamuru ile agrega ara yüzeyindeki küçük kusurların, sonuçları oldukça fazla etkilediği gözlenmiştir.

Çimento hamuru ile agreganın arasında iyi bir kenetlenme, çimento hamuru ile agrega ara yüzeyindeki kusurları azaltmakta ve beton dayanımı üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Her ne kadar iri malzeme basınca ve eğilmeye karşı dayanımı artırsa da, ince malzeme çimento hamuru ile iri malzemenin boşluklarını doldurmaktadır. Yapılan araştırmalarda taş unununun (200 nolu elek altı) genel olarak beton basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği bildirilmektedir; ancak taş unu miktarı belli bir oranın üzerine çıktığında basınç dayanımında azalma olduğu da gözlenmiştir. Taş unu, agrega ile çimento ara yüzeyini doldurduğundan tam bir doluluk sağlanmış olmaktadır. Taş unu, fazla miktarda kullanıldığında ise, su/çimento oranında artış olacağından, basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir. Böylece betonun basınç dayanımındaki değişim betonun diğer mekanik özelliklerini de doğrudan etkilemektedir.

Silis dumanı, uçucu kül vb. doğal katkıları kısmen de olsa çimentoya benzer bağlayıcılık özelliği göstermektedirler ve aynı zamanda betonun daha sıkı yapılı olmasını sağlamaktadırlar. Silis dumanı içeren ve içermeyen silindir yarma modeli disk numunelerinde çatlağın yörüngesi bulunmaya çalışılmıştır; silis dumanı içermeyen disk numunelerde çatlakların, model agreganın etrafında tur atarak gelişmekte olduğu ve agrega içinden geçmediği gözlenmiştir. Silis dumanı içeren beton numunelerinde agrega-hamur ayrılmasının belirgin olmadığı ve çatlak yolunun daha kısa olduğu görülmüştür. Silis dumanı içermeyen disk numunelerde agrega ile çimento hamuru temas yüzeyinin daha heterojen ve boşluklu olmasına karşın, silis dumanı içeren harçlarda söz konusu ara

yüzeyin daha yoğun, homojen ve daha az boşluklu bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Silis dumanı içeren betonlarda eğilme halinde daha homojen ve daha gevrek bir malzeme davranışının sergilenmesi agrega-çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmenin bir sonucu olduğu araştırmalar sonucunda bulunmuştur. Betonun kırılma sürecinin, malzemedeki boşluklar ve agrega etrafındaki gerilme yığılmalarından dolayı oluşan mikro çatlaklardan başlayarak, gerilme-deformasyon eğrisinin yumuşama rejimindeki makro çatlak ilerlemesine kadar devam eden karmaşık bir olay olduğu anlaşılmaktadır.

Kırma kumun şekil ve yüzey özellikleri nedeniyle agrega matris ara yüzeyini güçlendirdiği, buna karşın aynı özellikler nedeniyle su ihtiyacını arttırdığı çalışmalar sonucunda gözlemlenmiştir. Çimento taneleri ile kalker iyi bir kenetlenme göstermektedir. Kırma kumun içerdiği kalkerli ince malzeme (filler), çimento hamuru ve agrega ara yüzeyindeki boşlukları doldurması nedeniyle dayanımı artırmaktadır. Rigan'a göre kırma kumlar çok miktarda toz, kil gibi istenmeyen maddeler de içerdiklerinden betonun işlenebilmesini olumsuz etkilemektedir (Rigan, 1981). İnce malzemenin artışıyla betonun ihtiyacı olan su/çimento oranı artar ve ince malzemelerin yüzeyini sarmak için daha çok çimentoya ihtiyaç duyulur. Dere kumu, kırma kuma göre toz, kil gibi istenmeyen parçaları daha az bünyesinde bulundurur. Dere kumu, kırma kuma göre hem şekil itibarıyla hem de bünyesinde daha az istenmeyen parçalar bulundurması nedeniyle betonun suya olan ihtiyacını düşürmektedir. Betonun ihtiyacı olan su oranındaki azalma, su/çimento oranındaki düşüşe neden olup betonun dayanımı üzerinde olumlu etki etmektedir.

Kendiliğinden yerleşen hafif betonun mekanik özelliklerine, kür ortamının ve agrega tipinin etkisi incelenmiştir ve üç farklı agrega tipi kullanılmıştır. Agrega olarak dere malzemesi, bazaltik pomza ve genleştirilmiş perlit tercih edilmiştir. Deneyler sonucunda kendiliğinden yerleşen betonda (KYB) agrega tipinin, eğilmede çekme dayanımında belirleyici bir etken olduğu görülmüştür. En yüksek eğilmede çekme dayanımı dere agregalı karışımlardan elde edilmiştir. Yapılan araştırmanın sonucu olarak agreganın birim kütlesi düştükçe ve doluluk oranı azaldıkça (porozitesi artıkça) eğilmede çekme dayanımının da düştüğü görülmüştür (Gönen ve Yazıcıoğlu, 2010). Çakılın doluluk oranı 0,65; kırmataşın ise 0,60 civarındadır. Doluluk oranının (kompositenin) düşük olması dayanımı da olumsuz etkilemektedir. Agreganın mekanik özelliklerinin beton dayanımını nasıl etkilediği yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır. Beton agregası olarak daha çok kırmataşın dayanım için daha iyi sonuç vereceği düşünülürken agreganın azalan doluluk oranı olumsuz yönde bir etki göstermiştir.

Sertleşmiş betonun dayanım özelliklerini belirleyen deneylerden, basınç ve çekme dayanımı üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda betonun basınç dayanımı değerlerinden, betonun diğer özelliklerine yaklaşık olarak geçiş yapılabildiği kanıtlanmıştır. Geçiş yapılacak değer aralığının ne olması gerektiği TS 500 ve TS 206–1 standartlarında belirtilmektedir. Örnek verilecek olunursa, betonun basınç dayanım değerinden kolaylıkla çekme dayanımı yaklaşık olarak bulunabilmektedir.

Çekme dayanım deneyleri içerisinde uygulama kolaylığı bakımından yarmada çekme deneyinin tercih edildiğinden bahsedilmiştir. TS 500’de betonun çekme dayanımı eksenel çekme deneylerinden elde edilen değer olarak tanımlanmıştır. Yine TS 500’e göre eğilme deneyi ve silindir yarmada çekme deneyinden (Brezilya deneyi) betonun karakteristik eksenel çekme dayanımına geçiş yapılmakta; buna göre eğilme deneyi ile silindir yarmada çekme (Brezilya) deneyi arasında yaklaşık katsayı sayılabilecek bir oranın bulunduğu söylenebilir.

Eksenel çekme dayanımı, silindir yarmada çekme deneyinden elde edilen çekme dayanımının 1,5 ile eğilme deneyinden elde edilen dayanımın da 2 ile bölünmesiyle yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

Yarmada çekme deneyi sonucunun eksenel çekme deneyinden % 23–% 29 daha büyük olduğu, iki nokta eğilme yüklemesi altındaki dayanım değerinin de yine eksenel çekme değerine göre % 45–% 97 daha büyük çıktığı belirtilmektedir (Erdoğan, 2003).

Betonarme hesaplamalarında göz önünde bulundurulacak çekme dayanımı, elemanın davranış özelliklerine göre değişmektedir. Örneğin, bir betonarme kirişin çatlama yükünün hesaplanmasında, kiriş deneyinden elde edilen eğilmede çekme dayanımı, eksenel çekme altındaki bir bağ kirişinin çatlama yükünün saptanmasında ise eksenel (doğrudan) çekme dayanımı temel alınır. Burulma altında ise eksenel çekmeye dik yönde basınç olduğundan, çekme dayanımlarından bu gerilme durumunu daha iyi temsil eden yarmada çekme dayanımına göre hesaplama yapılması daha doğru sonuç vermektedir (MEGEP 2006). Eğilme etkisine maruz kalan donatısız taşıyıcı sistemlerde, örneğin yeraltında bir galeri ya da su basıncını taşıyacak beton barajın boyutlandırılmasında veya donatılı su depolarında, geçirimsizliğin sağlanabilmesi için betonun çekme dayanımının hiçbir şekilde aşılmaması esastır.

Bu nedenle bir yandan basınç dayanımı yükseltmek istenirken, betonun çekme dayanımı özelliğinin de ihmal edilmemesi gerekir. Görüldüğü üzere çekme gerilmesi

betonarme hesaplamalarında, özellikle bazı yapıların projelendirme aşamasında göz önünde bulundurulması gereken bir büyüklük olarak karşıya çıkmaktadır.

1.4 Çalışmanın Amacı

Kırmataş agregalı betonların genel olarak çekme dayanımlarının daha yüksek çıktığı ve bunun da eğilmede çekme davranışında özellikle belirgin ve farklı sonuçlar verdiği araştırılan kaynaklarda belirtilmektedir. Bu çalışmada son yıllarda artan miktarda beton uygulamalarında kullanılan kırmataş agreganın söz konusu bu özelliğinden yararlanarak kiriş, döşeme gibi eğilmeye çalışan elemanlarda çatlak sınırlamasına katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Bu amaca yönelik olarak çekme dayanımından da fazla kayıp vermeden ve işlenebilirliği iyileştirmek için kırmataş çakılı arasına, daha kaygan bir yapıya ve daha düşük özgül yüzeye sahip olan dere kumu ikame edilmesi tasarlanmıştır. Böylece basınç ve çekme dayanımı arasında, dere kumu oranına bağlı olarak en uygun kesişme noktası, ikisi arasında bir dengeleme (optimizasyon) sağlanmış olacaktır.

Yapılan araştırmalarda köşeli agregalarla üretilen alt dayanım sınıfı betonların basınç dayanımlarında göreceli bir artış olduğu, ancak eğilme dayanımından elde edilen artışın basınç dayanımındaki artışa oranla daha yüksek çıktığı bildirilmektedir.

Katkı kullanılmadan üretilen betonda, su/çimento oranı sabit tutularak agrega tane dağılımı değiştirilmiş ve ince agrega olarak kırmataş ve dere malzemesi seçilerek iki farklı agrega çeşidi kullanılmıştır. Dayanım sonuçlarındaki değişimin işlenebilirlikle olan ilişkisi de gözlemlenmek istenmiştir. Bu kapsamda gerek dere kumu oranındaki artışın gerekse buna bağlı olarak iri agrega oranındaki değişimin de dayanıma olan etkisi belirlenmiş olacaktır.

Beton karışım hesabında, olması gereken agrega tane dağılımı (ideal limit TS 802) göz ardı edilmiştir; böylece dayanım değerleri arasındaki farkı daha rahat gözlemleyebilme olanağı elde edilmiştir. Olması gereken agrega tane dağılımından uzaklaştıkça, değişen oranların, betonun işlenebilirliğine, betondaki agrega taneleri arasındaki seçilmeye (segregasyon), betonun doluluk oranına ve tüm bunların dayanıma etkisi irdelenmiş olacaktır.

Bu çalışmada betonun basınç dayanımı yanında çekme dayanımının da büyük önem taşıdığı varsayılmıştır. TS 206-1’de betonun basınç dayanım değerleri için uygunluk ölçütleri (kriterleri) verilirken, basınç dayanımı yanında yarmada çekme dayanım değerleri

için de uygunluk ölçütlerinin şart koulduğu grlmtr. Başlangıç ve sürekli üretimde, betonun ait olduğu dayanım sınıfının uygunluk ölçütlerini sağlaması istenmektedir. Yapılan deneylerde öngörülen beton bileşimleri için ait oldukları beton dayanım sınıfları belirlenirken, bunların uygunluk ltleri ile uyumluluğu da gözden geirilmtir.

TS 500’de betonun basınç dayanımının, yarmada çekme dayanımının yaklaşık onda birine tekabül ettiği belirtilmektedir; basınç ve yarmada çekme deneyleriyle yaklaşık olarak verilen bu oranın doğruluğuna da tanıklık edilmek istenmiştir. Basınç ve çekme dayanımları arasında nasıl bir bağlantı kurulabileceği, betonun çekmeye karşı dayanımının nasıl bulunabileceği TS 500’den, TS 206–1 ve TS 1239–5’den ve diğer kaynaklardan araştırılmıştır. Sonuç olarak gerek doğrudan çekme, gerekse eğilmede çekme deneyleri yerine yarmada çekme deneyi yapılması daha uygun grlmtr. Deneyler, 15×15×15 cm küp numuneler üzerinden gerçekleştirilerek bunlar arasında geçiş katsayılarının karşılaştırılması da istenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Beton karışım tasarımına önce ham maddeleri tanımakla başlanılmıştır. Çimentonun, suyun, agreganın özellikleri araştırılmıştır. Agreganın elek analizinden çıkacak değerlerine göre betonda kullanılacak kütlece yüzde oranları belirlenmiştir.

TS 802’de beton karışım hesapları yapılırken nelere dikkat edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Agreganın en büyük tane büyüklüğü, tane büyüklüğü dağılımı (granülometri), su/çimento oranı, hava miktarının ve kıvamın seçilmesi için bu standarttan yararlanma yoluna gidilmiştir.

TS 706 EN 12620’ye göre temel elek takımı ile elek analizleri yapılmaktadır. Agreganın elek analizi sonucunda kullanılan elek takımı arasında malzemenin kaldığı en üst elek üzerinde % 10’dan daha fazla kalan malzeme varsa bir üst elek göz açıklığı, % 10’dan daha az malzeme kaldığında ise bu elek göz açıklığı d_{maks} olarak kabul edilir.

Agreganın içersinde olması gereken en büyük tane büyüklüğünün (d_{maks}), belirlenmesi TS 802’ye göre en dar kesite ait kalıp genişliğinin 1/5’i, döşeme derinliğinin 1/3’ü, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4’ü esas alınarak yapılmaktadır. Ayrıca beton pompa yardımıyla iletilen betonlarda agregaların seçilmeye uğramaması için en uygun granülometri (ideal limit) değerlerine uyulması gerekmektedir.

Yapılan deney karışımlarında su/çimento oranı 0,55 olarak belirlenmiştir ve CEM I 42,5 R erken dayanım kazanan çimento, kullanılmıştır. TS 802’ye göre en büyük agreganın çapı 20 mm ise betonun hava içeriği yaklaşık % 2, deneylerde ise yaklaşık olarak bu değer % 1,5 olarak alınmıştır.

Beton yapımı için gerekli karma suyunun miktarı, doymuş kuru yüzeyli agreganın nem suyu, çimentonun tepkimeye girmesi için gerekli su ve ilave olarak istenilen taze beton kıvamını elde etmek için verilen suyun toplamıdır. Su miktarı; betonun kıvamı, agreganın tane dağılımı, tane şekli, yüzey alanı, çok ince agreganın miktarı ve karışıma girecek havanın miktarı ile ilişkilidir (TS 802, 2009). Karışımda belli bir çökme değeri (slump) hedeflenmediği için suyun miktarı $310 \times 0,55 = 171$ olarak seçilmiştir. Buradan da anlaşıldığı gibi tüm beton bileşimleri için çimento miktarı 310 kg/m^3 olarak belirlenmiştir.

Su/çimento ve kullanılacak çimento oranı sabit olarak seçilmiş olup buradan da çimentonun hacmi bulunmuştur. Betonun içindeki hava da yaklaşık % 1,5 olarak alınarak,

1000 dm³'e eşitlenen toplam hacimden, anılan bileşenlerin hacmi çıkarıldığında geriye agreganın hacmi kalmış olmaktadır.

Beton karışımı her zaman 1 m³ hacim temel alınarak hesaplanmaktadır; ancak deney karışımları daha küçük karıştırıcılarda (panmikser) hazırlanmaktadır. Deney dizileri, yedi günlük basınç deneyi için üç adet, yirmi sekiz günlük basınç deneyi için üç adet ve yirmi sekiz günlük yarmada çekme deneyi için iki adet olmak üzere toplam sekiz adet küp numuneden oluşturulmuştur. Karıştırıcıda üretilmesi gereken betonun hacmini hesaplarken küp numunelerin toplam hacmine ihtiyaç duyulmuştur. Şu halde her deney dizisi için hesaplanan toplam sıkıştırılmış taze beton hacmi;

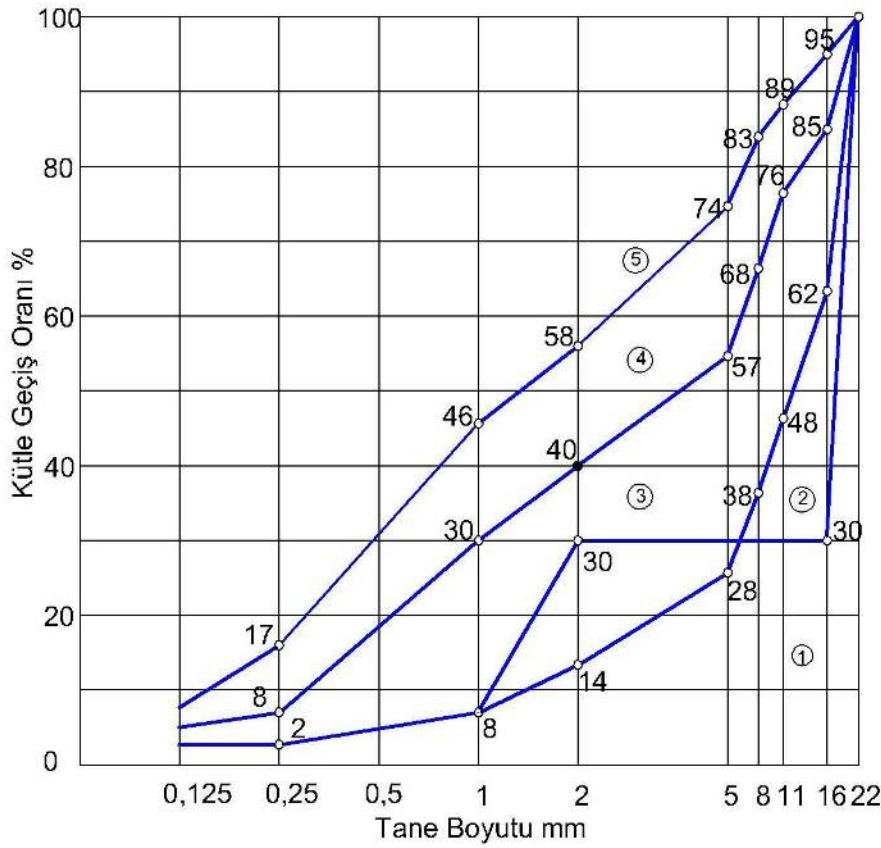
$$15 \times 15 \times 15 = 3375 \text{ cm}^3$$

$$3375 \times 8 = 27\,000 \text{ cm}^3 = 27 \text{ dm}^3$$

ve buna ek olarak, olası kayıplar da göz önünde bulundurularak toplam 29 dm³ olarak belirlenmiştir.

Yukarıda genel olarak beton karışım hesabında izlenecek yol belirlenmiş oldu; ancak TS 802'de belirtilen esaslar çerçevesinde önce agreganın sonra da çimentonun kütleli özellikleri belirlenmiştir, arkasından da agreganın elek analizleri yapılarak agreganın tane dağılımında kullanılacak oranlar (% m) elde edilmiştir.

TS 802'de en büyük tane boyutuna (d_{maks}) göre beton için belirlenen agreganın tane büyüklüğü dağılım eğrisine ait sınır değerler verilmiştir (Şekil 10). Bu sınır değerler beton içerisinde kullanılan agreganın tane dağılımı hakkında önemli ipuçları vermektedir. Agreganın tane dağılımında dikey koordinat elekten geçen malzeme oranını, yatay koordinat da elek göz açıklıklarını (mm) göstermektedir (Şekil 2.1). Yapılan deneme karışımında ise olabildiğince en uygun agreganın bileşimi (granülometri) oluşturmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.1. Agrega tane dağılımı standart örneği (Scholz, 2007)

Agrega tane dağılımındaki amaç;

- Agrega arası boşlukları en aza indirmek,
- En az su kullanarak kıvamı uygun hale getirmek,
- Taze betonun ayrışmasını ve
- Betondaki kusmayı önlemek olarak ele alınmalıdır.

Beton bileşim hesapları yapılırken agrega tane dağılımının belirlenmesi bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Agrega tane dağılımı eğrisi şartları sağlanmazsa, agrega içerisinde su buharlaşarak donma etkisine karşı zayıf, geçirgenliği yüksek ve boşluklu bir beton oluşması tehlikesi ile karşı karşıya kalınmasını çok muhtemel bir sonuç olarak görmek gerekir.

1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı aşağıdaki bağıntıda verilmektedir.

$$\frac{C}{\rho_C} + \frac{W_a}{\rho_a} + w + 10 \times A = 1000 \text{ dm}^3 \quad (2.1)$$

Buradan agreganın betonda kullanılacak hacmi hesaplanırsa;

$$V_a = \frac{W_a}{\rho_a} = 1000 - \left(\frac{C}{\rho_C} - w \right) - 10 \times A \text{ (dm}^3\text{)} \quad (2.2)$$

C ; Karışımda kullanılan çimentonun kütlesi

ρ_C ; Karışımda kullanılan çimentonun özgül kütlesi

W_a ; Karışımda kullanılan agreganın kütlesi

ρ_a ; Karışımda kullanılan agreganın özgül kütlesi

A ; Karışımda var olan havanın yüzdelik ifadesi

V_a ; Karışımda kullanılan agreganın hacmi

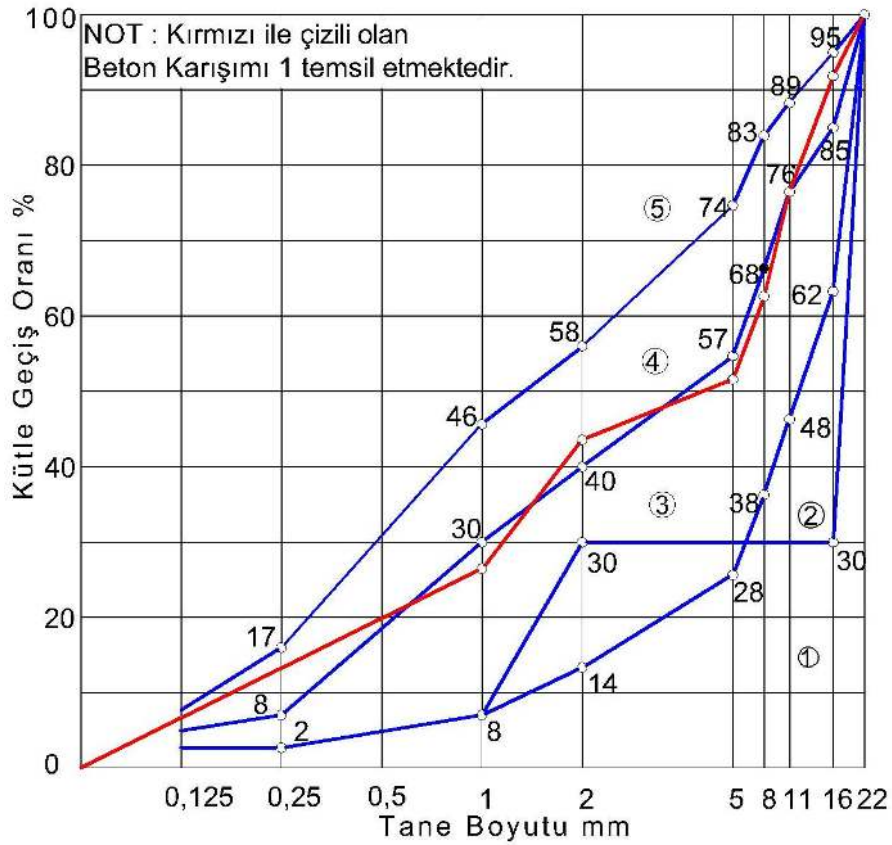
TS 802, elek analizi sonuçlarının nasıl değerlendirilmesi gerektiği konusunda, özellikle sıkı yapılı agrega karışımları için geçerli olmak üzere ve böylece oluşturulan beton bileşiminin en yüksek birim kütleyi verecek şekilde hazırlanmasında yol gösterici olmaktadır. Bunu yaparken de alt (kaba) ve üst (ince) tane dağılımı bölgelerinde sınırlı sapmalara, izin verildiği de görülmektedir.

2.1 Agreg a Karışımları

Burada farklı beton bileşimleri oluşturmak için analiz yapılmış, tane öbeklerinin yığılımlı kütle oranları (%m) belirlenmiş ve bunlar çizelgeler halinde beton bileşimleri ile birlikte (Tablo 2.1–2.22) çıkarılmıştır. Ayrıca öngörülen agreg a tane boyutu dağılımları (granülimetri) grafikleri (Şekil 2.2–2.12) yardımı ile kimliklendirilmiş olup böylece uygulanan tane karışımlarının betonun doluluk oranına (birim kütlesine) katkısı hakkında ipucu elde edilirken, diğer yandan bunların kendi aralarında bulunan farklılıkları da daha belirgin bir şekilde görülmüş ve değerlendirilmiş olmaktadır.

Tablo 2.1. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri); Beton Karışımı 1

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100	0
22,4(22)	100	100	100	100	0
16	62	100	100	92,4	7,6
11,2(11)	0	89	100	76,7	23,3
8	0	47	100	64,1	35,9
5,6(5)	0	11	100	53,3	46,7
4	0	0	100	50	50
2	0	0	86	43	57
1	0	0	56	28	72
0	0	0	0	0	100
Malzeme %'si	% 20	% 30	% 50	0–3 mm Dere malzemesi	



Şekil 2.2. Deneme karışımı 1'in agrega dağılımı

Tablo 2.2. Beton Karışımı 1'in bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	20	143	386
Kırmataş 2	4–12,5	30	215	581
Dere Malzemesi	0–3	50	358	913
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2361 Kg / m ³

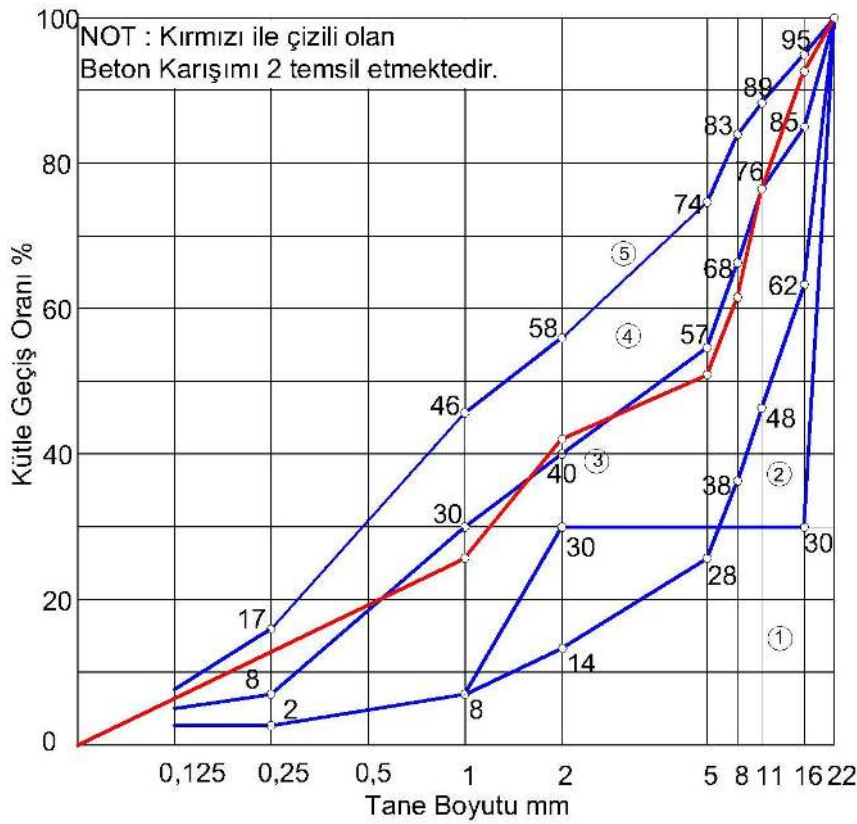
Öngörülen toplam on bir mekanik deney dizisi için hazırlanan agrega tane boyutu dağılımı 0–3 mm dere kumu oranları değiştirilerek farklı bileşimler oluşturulmaya çalışılmıştır. En büyük tane boyutu, $d \geq 16$ mm elek göz açıklığı üzerinde kalan ve ortalama % 10 oranında bulunan tane öbeği karışımın içerisinde olup $d = 22$ mm tane çapının altındadır.

Mevcut kırmataş (mıcır) agrega karışımında bulunan 0–4 mm kırmataş kumu çıkarılarak bunun yerine aynı boyutlarda ve çizelgelerde belirtilen oranlarda dere kumu ilave edilmiştir. Böylece daha yuvarlak ve yüzey pürüzlülüğü daha az olan dere kumunun kayganlığı arttırıcı özelliğinden dolayı yerine yerleştirmekte kolaylık, beton dokusunda sıkıştırma etkisinin yükselmesi ve buna bağlı olarak beton basınç dayanımında artış sağlanması tasarlanmıştır.

Kaynaklar kırmataş agrega karışımı ile genel olarak çekme dayanımının, özellikle de eğilme ve yarma dayanımlarının daha yüksek çıktığını bildirmektedir. Şu halde kırmataş kum yerine dere kumu kullanılırken deneylerde uygulanan yarma dayanımında ortaya çıkan muhtemel düşmenin hangi düzeyde olacağı da anlaşılmış olacaktır.

Tablo 2.3: Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 2

Temel Elek Dizisi d,mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100	0,0
22,4(22)	100	100	100	100	0,0
16	62	100	100	92,0	8,0
11,2(11)	0	89	100	75,6	24,4
8	0	47	100	62,6	37,4
5,6(5)	0	11	100	51,4	48,6
4	0	0	100	48,0	52,0
2	0	0	86	41,3	58,7
1	0	0	56	26,9	73,1
0	0	0	0	0	100,0
Malzeme %'si	% 21	% 31	% 48	0–3 mm Dere malzemesi	



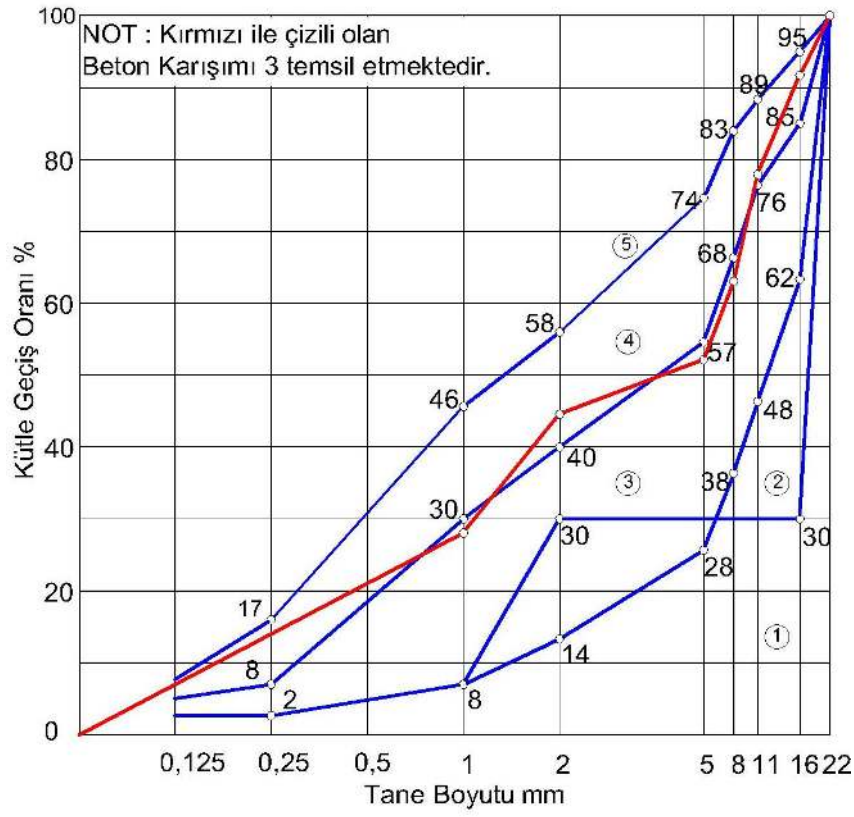
Şekil 2.3. Deneme karışımı 2'in agrega dağılımı

Tablo 2.4. Beton karışımı 2'nin bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	21	150	405
Kırmataş 2	4–12,5	31	222	599
Dere Malzemesi	0–3	48	344	877
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2362 Kg / m ³

Tablo 2.5. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 3

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	92,8	7,2
11,2(11)	0	89	100	77,8	22,2
8	0	47	100	65,6	34,4
5,6(5)	0	11	100	55,2	44,8
4	0	0	100	52,0	48,0
2	0	0	86	44,7	55,3
1	0	0	56	29,1	70,9
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 19	% 29	% 52	0–3 mm Dere malzemesi	



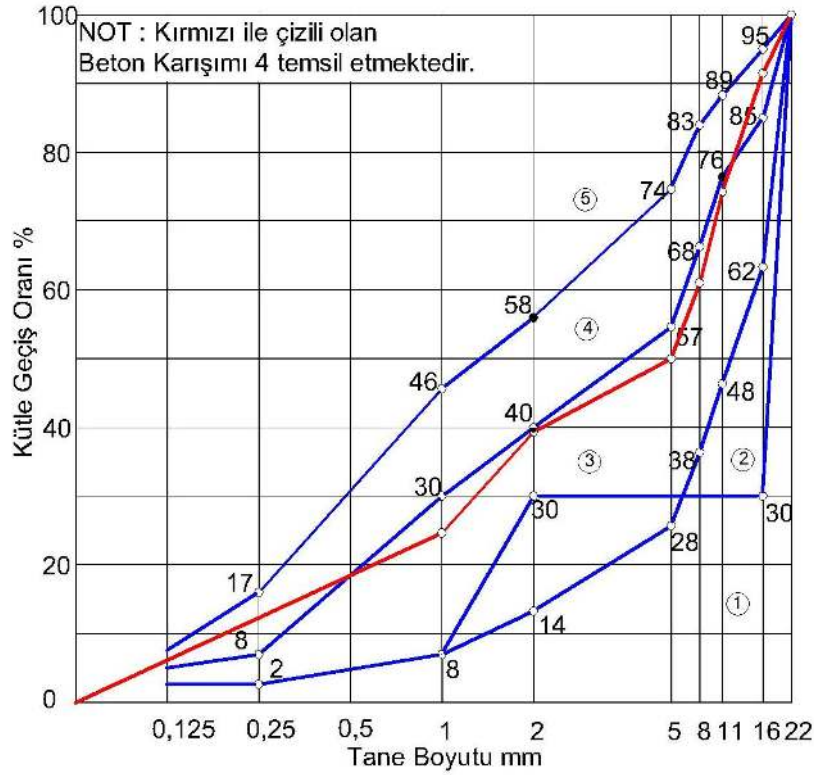
Şekil 2.4. Deneme karışımı 3'in agrega dağılımı

Tablo 2.6. Beton karışımı 3'ün bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	19	136	367
Kırmataş 2	4–12,5	29	208	562
Dere Malzemesi	0–3	52	372	948,6
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2358,5 Kg / m ³

Tablo 2.7. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 4

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	91,6	8,4
11,2 (11)	0	89	100	74,5	25,5
8	0	47	100	61,0	39,0
5,6(5)	0	11	100	49,5	50,5
4	0	0	100	46,0	54,0
2	0	0	86	39,6	60,4
1	0	0	56	25,8	74,2
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 22	% 32	% 46	0–3 mm Dere malzemesi	



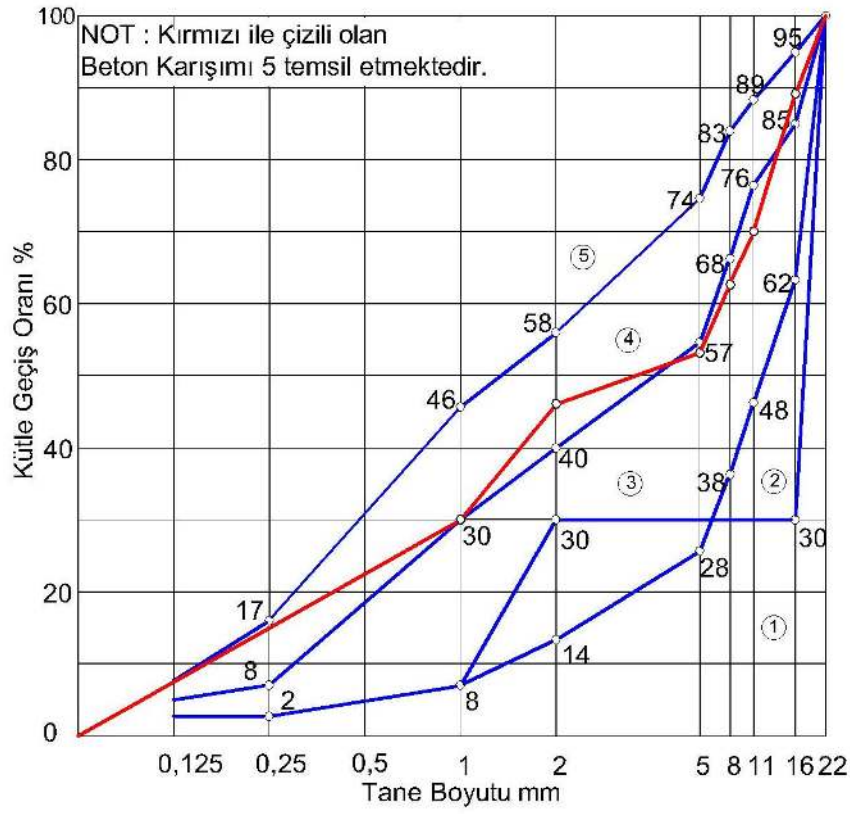
Şekil 2.5 Deneme karışımı 4'in agrega dağılımı

Tablo 2.8. Beton karışımı 4'ün bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	22	158	427
Kırmataş 2	4–12,5	32	229	618
Dere Malzemesi	0–3	46	329	838
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2364 Kg / m ³

Tablo 2.9. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 5

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	89,4	10,6
11,2(11)	0	89	100	70,0	30
8	0	47	100	62,5	37,5
5,6(5)	0	11	100	56	44
4	0	0	100	54,0	46,0
2	0	0	86	46,4	53,6
1	0	0	56	30,2	69,8
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 28	% 18	% 54	0–3 mm Dere malzemesi	



Şekil 2.6 Deneme karışımı 5'in agrega dağılımı

Tablo 2.10. Beton karışımı 5'in bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	28	200	540
Kırmataş 2	4–12,5	18	129	348
Dere Malzemesi	0–3	54	387	987
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2356 Kg / m ³

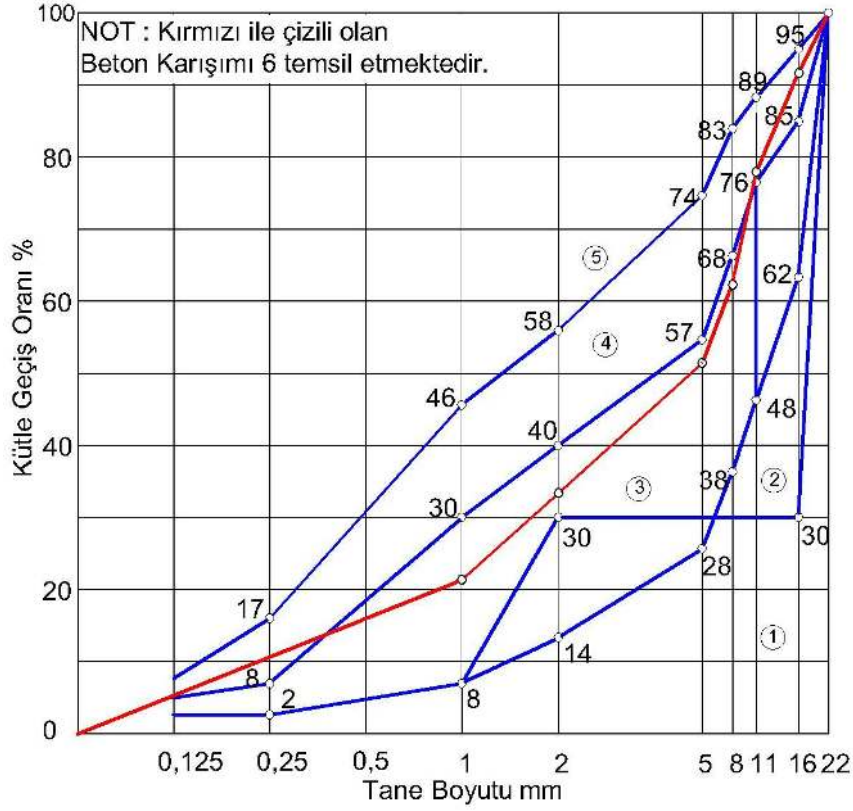
Beton agrega karışımları oluşturulurken dere kumu oranları kütlece % 20 ile % 55 arasında ve dokuz basamakta çeşitlendirilerek düzenlenmiştir. Söz konusu deney dizileri sıralanırken önce dere kumu oranı % 50 olan beton bileşimi ile başlanmış ve bunu takiben diğer oranlarda da beton örnekleri hazırlanmıştır.

Deney dizisi sıralamasında ayrıca tanık beton olarak iki bileşim örneği daha gerçekleştirilmiş olup bundan da dere kumlu beton örnekleriyle kırmataş kumlu beton örneği arasında karşılaştırma yapma olanağı elde edilmek istenmiştir. Bu kapsamda altıncı deney dizisinde % 50 kırmataş kum kullanılırken, bu oran on birinci deney dizisinde % 25 dere kumu ile % 25 kırmataş kumu olarak paylaştırılmıştır.

Böylece, dere kumu oranlarının değişimiyle dokuz numune dizisinin basınç ve yarmada çekme dayanımı sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış, diğer yandan da kırmataş kumlu tanık beton numunelerden (6. ve 11. deney dizileri) elde edilen dayanım sonuçlarının, başta eşdeğer dere kumlu beton bileşimlerinin dayanım sonuçlarıyla aralarındaki farkın yorumlanması sağlanmış olacaktır

Tablo 2.11. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 6

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–4 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	92,4	7,6
11,2(11)	0	89	100	76,7	23,3
8	0	47	100	64,1	35,9
5,6(5)	0	11	100	53,3	46,7
4	0	0	94	47,0	53,0
2	0	0	66	33,0	67,0
1	0	0	43	21,5	78,5
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 20	% 30	% 50	0–4 mm Kırmataş	



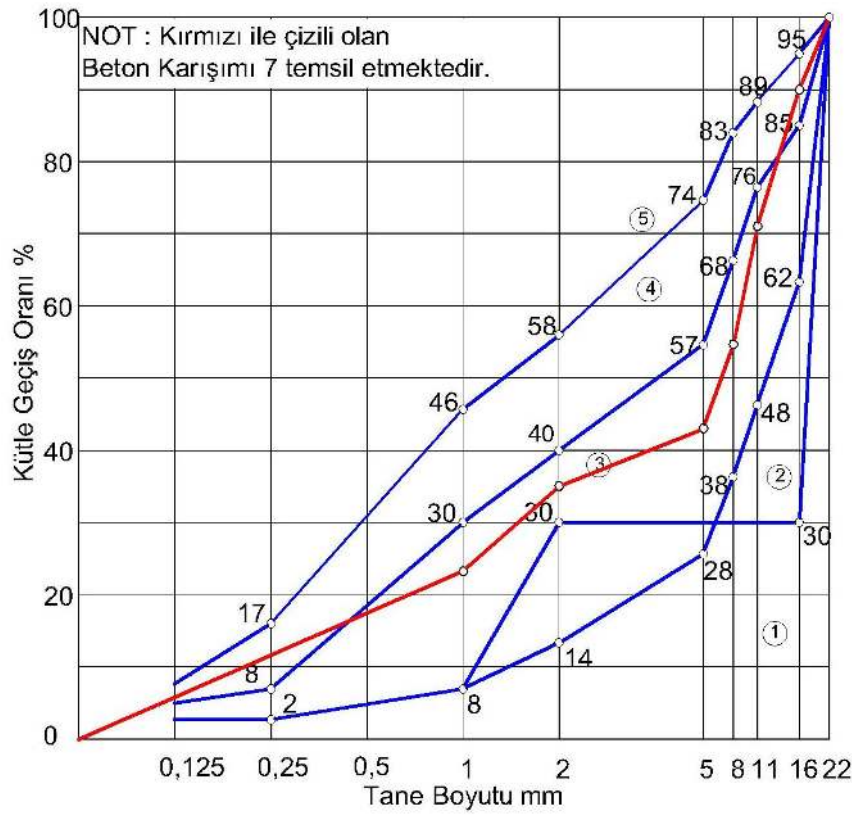
Şekil 2.7 Deneme karışımı 6'ın agrega dağılımı

Tablo 2.12. Beton karışımı 6'nın bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	20	143	386
Kırmataş 2	4–12,5	30	215	581
Kırmataş 3	0–4	50	358	967
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2415 Kg / m ³

Tablo 2.13. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 7

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	90,5	9,5
11,2(11)	0	89	100	71,2	28,9
8	0	47	100	56,5	43,6
5,6(5)	0	11	100	43,9	56,2
4	0	0	100	40	60
2	0	0	86	34,4	65,6
1	0	0	56	22,4	77,6
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 25	% 35	% 40	0–3 mm Dere malzemesi	



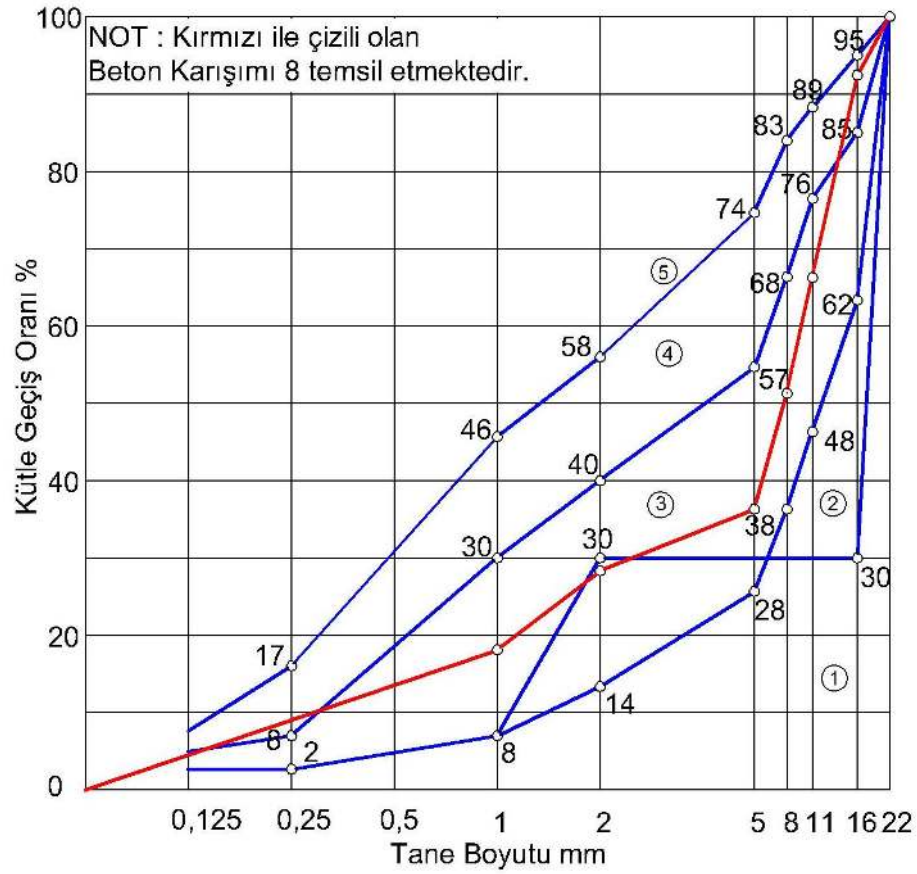
Şekil 2.8. Deneme karışımı 7'in agrega dağılımı

Tablo 2.14. Beton karışımı 7'nin bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	25	179	483
Kırmataş 2	4–12,5	35	251	678
Dere Malzemesi	0–3	40	286	729
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2371 Kg / m ³

Tablo 2.15. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülimetri) Beton Karışımı 8

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	93,4	6,6
11,2(11)	0	89	100	67,8	32,2
8	0	47	100	51,9	48,1
5,6(5)	0	11	100	38,2	61,8
4	0	0	100	34	66
2	0	0	86	29,2	70,8
1	0	0	56	19,0	81,0
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 28	% 38	% 34	0–3 mm Dere malzemesi	



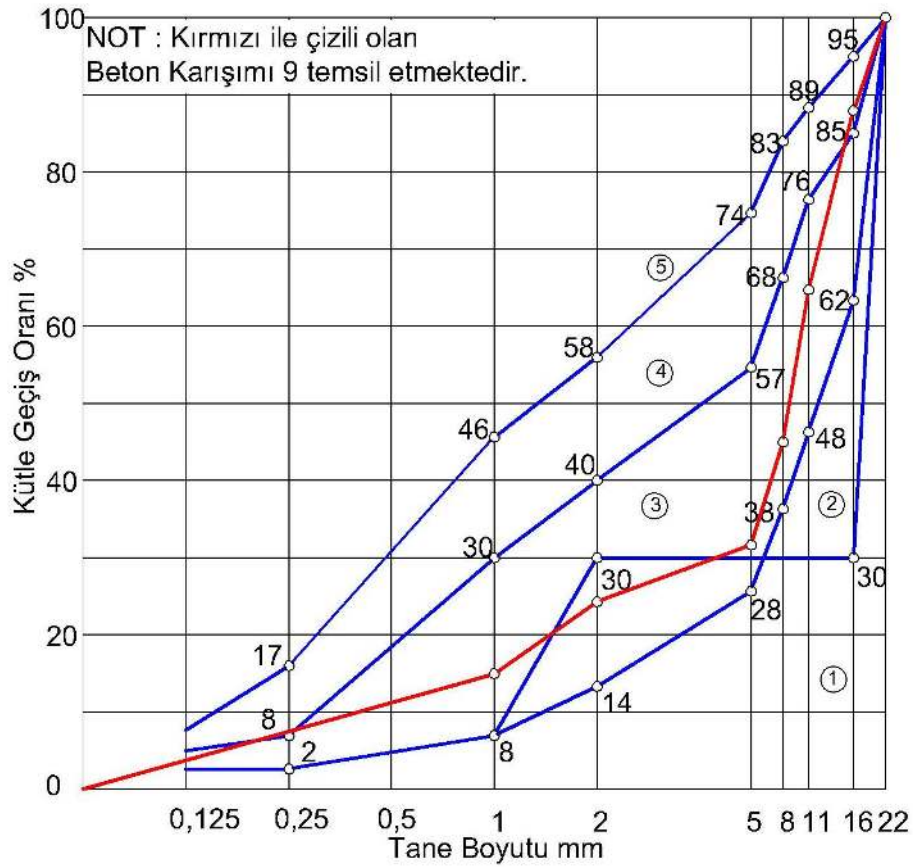
Şekil 2.9. Deneme karışımı 8'in agrega dağılımı

Tablo 2.16. Beton karışımı 8'in bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	28	200,5	541,35
Kırmataş 2	4–12,5	38	272,1	734,67
Dere Malzemesi	0–3	34	243,4	619,91
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2376,93 Kg / m ³

Tablo 2.17. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülometri) Beton Karışımı 9

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	88,2	11,8
11,2(11)	0	89	100	64,5	35,5
8	0	47	100	47,3	52,7
5,6(5)	0	11	100	32,5	67,5
4	0	0	100	28	72
2	0	0	86	24,1	75,9
1	0	0	56	15,7	84,3
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 31	% 41	% 28	0–3 mm Dere malzemesi	



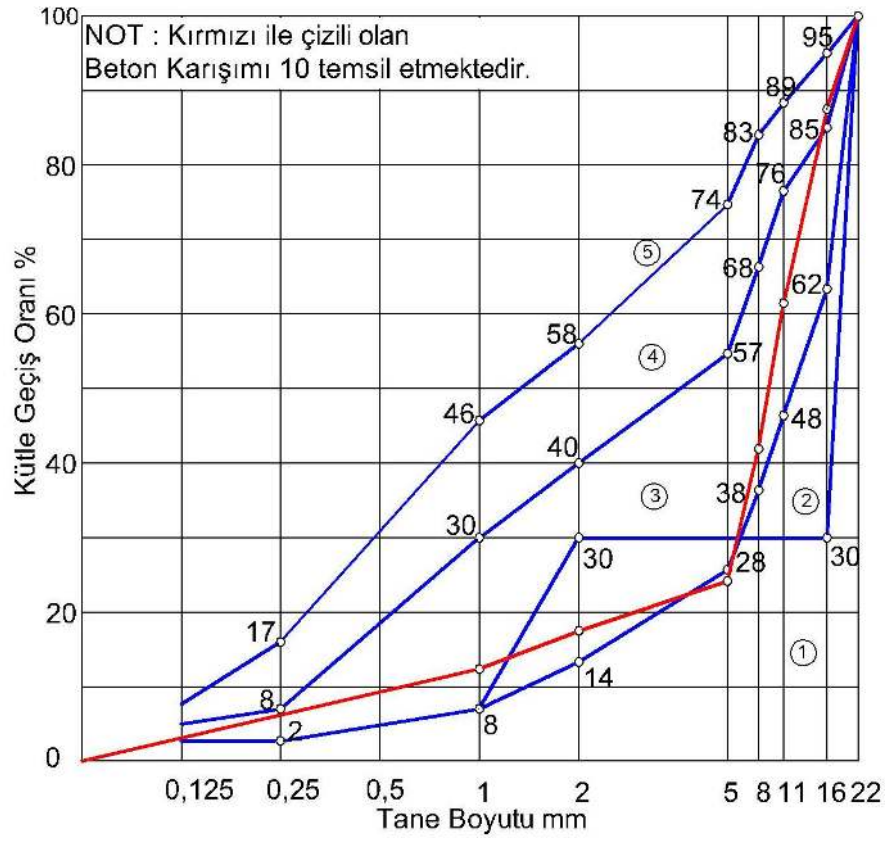
Şekil 2.10. Deneme karışımı 9'ın agrega dağılımı

Tablo 2.18. Beton karışımı 9'un bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	31	221,96	599,29
Kırmataş 2	4–12,5	41	293,56	792,612
Dere Malzemesi	0–3	28	200,48	511,224
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2384,13 Kg / m ³

Tablo 2.19. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülometri) Beton Karışımı 10

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m			Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–3 mm	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	87,1	12,9
11,2(11)	0	89	100	61,2	38,8
8	0	47	100	42,7	57,3
5,6(5)	0	11	100	26,8	73,2
4	0	0	100	22	78
2	0	0	86	18,9	81,1
1	0	0	56	12,3	87,7
0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 34	% 44	% 22	0–3 mm Dere malzemesi	



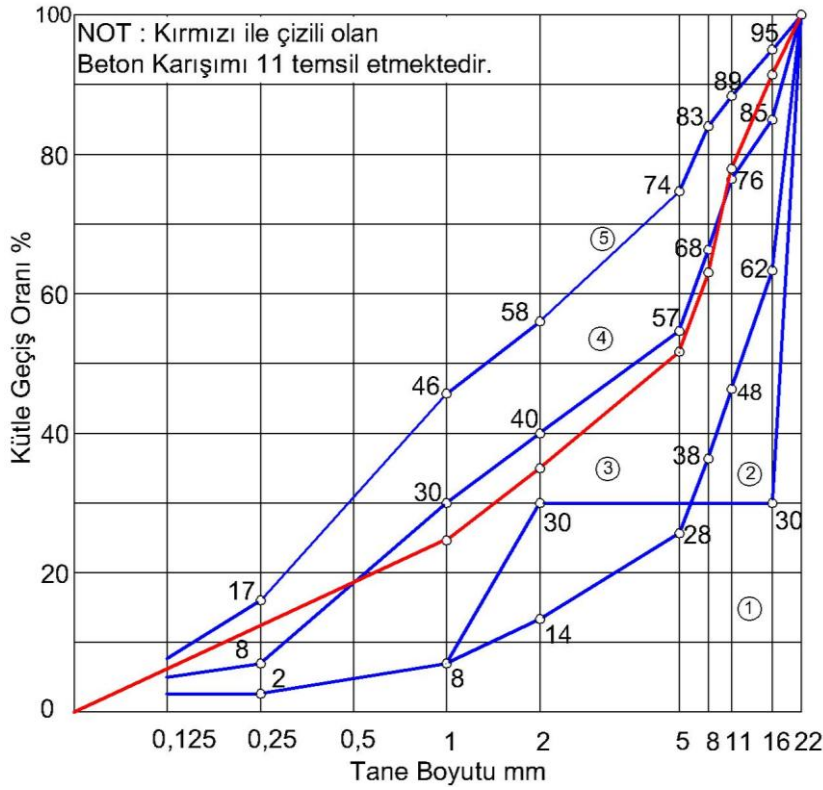
Şekil 2.11. Deneme karışımı 10'in agrega dağılımı

Tablo 2.20. Beton karışımı 10'un bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oranı %	Hacim dm ³	Kütle kg
Kırmataş 1	12,5–20	34	243	656
Kırmataş 2	4–12,5	44	315	851
Dere Malzemesi	0–3	22	158	403
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su / Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle			1000 dm ³	2391 Kg / m ³

Tablo 2.21. Birleştirilmiş Agrega Tane Dağılımı (Granülometri) Beton karışımı 11

Temel Elek Dizisi d, mm	Elekten Geçen Malzeme % m				Toplam % m	
	12,5–20 mm	4–12,5 mm	0–4 mm Kırmataş	0–3 mm Dere malzemesi	Geçen	Kalan
31,5(32)	100	100	100	100	100,0	0,0
22,4(22)	100	100	100	100	100,0	0,0
16	62	100	100	100	92,4	7,6
11,2(11)	0	89	100	100	76,7	23,3
8	0	47	100	100	64,1	35,9
5,6(5)	0	11	100	100	53,3	46,7
4	0	0	94	100	48,5	51,5
2	0	0	66	86	38,0	62,0
1	0	0	43	56	24,8	75,3
0	0	0	0	0	0,0	100,0
Malzeme %'si	% 20	% 30	% 25	% 25	Kırmataş Dere malzemesi	



Şekil 2.12. Deneme karışımı 11'in agrega dağılımı

Tablo 2.22. Beton karışımı 1 l'in bileşenleri

Malzeme Adı	Tane Çapı mm	Kütle Oran %	Hacim (dm ³)	Kütle (kg)
Kırmataş 1	12,5–20	20	143	386
Kırmataş 2	4–12,5	30	215	581
Dere Malzemesi	0–3	25	179	456
Kırmataş 3	0–4	25	179	483
Çimento	-	-	98	310
Su	-	-	171	171
Hava	-	-	15	-
Su/Çimento (W / C)			0,55	
Toplam Hacim ve Kütle		1000 dm ³		2387 Kg / m ³

Seçilen agregata tane boyutu dağılımının 0–22 mm arasında seyrettiği önceden de söylenmişti. Bu çerçevede özellikle 0–3 mm dere kumu oranlarındaki değişim diğer tane öbekleri (fraksiyonları) oranlarında da değişime (Şekil 2.2; Tablo 2.1–2.22) neden olmuştur. Özellikle sekizinci, dokuzuncu ve onuncu deney dizilerinde kum oranı % 34, % 28, % 22'ye inmiştir. Anılan gerekçe ile bilinçli olarak indirilen bu oranlar elbette “uygun” tane dağılımı çizgisinden sapmayı da birlikte getirmiştir. Bu bağlamda 4–8 mm arasında da eğimin düşük sayılabileceğini ve bu durumun da tüm karışımlar için geçerli olduğunu burada belirtmek gerekir.

2.2 Agregata Çeşitlerinin Fiziksel ve Petrografik Özellikleri

2.2.1 Kırmataş Agreganın Kirliliği

Kalsit ve dolomit minerallerinin ortaklığı sayesinde oluşan karbonat çeşidi burada agregata kaynağı olarak bulunmaktadır. Bu kapsamda agreganın içerisinde kil, silt gibi malzemelerin varlığını tespit etmek için metilen mavisi deneyine başvurulmuştur. Yapılan laboratuvar deneyi sonucunda özellikle kil nitelikli katılımların tehlike arz edecek oranlarda bulunmadığı ortaya çıkmıştır. TS EN 933–9'a göre yapılan deney 0–4 mm kırmakum içerisinde bulunan % 12,5 oranındaki ince malzemenin (Tablo 2.23) tümünün topaklaşma eğilimi gösteren kilerden oluşmadığını bildirmektedir.

Tablo 2.23. Deneylerde kullanılan agreganın içindeki ince malzeme oranı

Agrega sınıfı	0,063 mm elekten geçen malzemenin kütle oranı % m
0–4 mm	12,5
4–12,5 mm	2,45
12,5–20 mm	0,80

2.2.2 Tane Yoğunluğu ve Donma–Çözülme Direnci

Agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranı % olarak TS EN 1097–6 ‘ya göre belirlenmiştir (Çizelge 25). Deney yapılmaya başlandığı zaman, agreganın karışımları ıslak olduklarından, bunlar doygun kuru yüzey kazanıncaya kadar kuru bir zeminde bekletilmiştir. Su emme oranının, agreganın sınıfı küçüldükçe, arttığı görülmektedir (Tablo 2.24); bu artış yüzey alanı büyüdüğü için malzemenin daha fazla suya ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.24. Deneylerde kullanılan agreganın yoğunluğu ve su emme oranı

Agrega sınıfı mm	Tane yoğunluğu g / cm ³	Kütlece su emme oranları % m
0–4	2,71	1,52
4–12,5	2,71	0,27
12,5–20	2,71	0,20

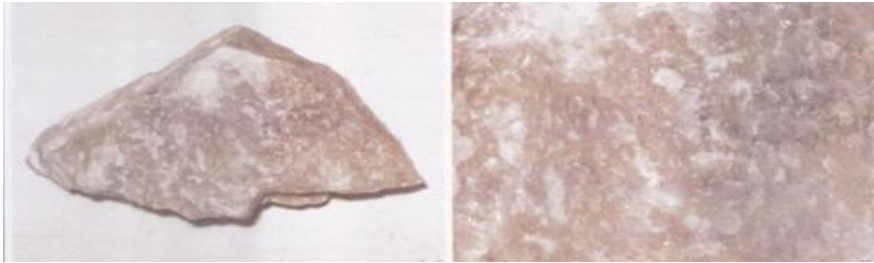
Donma çözülme etkisine maruz kalan ortamlarda kullanılacak bir beton için bu tehlikeye karşı dirençli agregaya ihtiyaç duyulması durumunda, TS EN 1367–1 ve TS EN 1367–2’ye göre deney yapılması gerekmektedir. Donma çözülme etkisi, betonun XF ve XD gibi çevresel etki sınıflarında yeterince dirençli olup olmadığını belirleme de söz konusu olmaktadır. Deney sonuçları (Tablo 2.25) anılan standardın belirlediği sınırlara (Çizelge 18 ve 19) uygun görülmektedir.

Tablo 2.25. Deneylerde kullanılan agreganın donma–çözülme değerleri

Donma–Çözülme (Kütlece yüzde kaybı)	
d, mm	% m
4–12,5	0,40
12,5–20	0,10

2.2.3 Kırmataşın Makroskopik Değerlendirilmesi

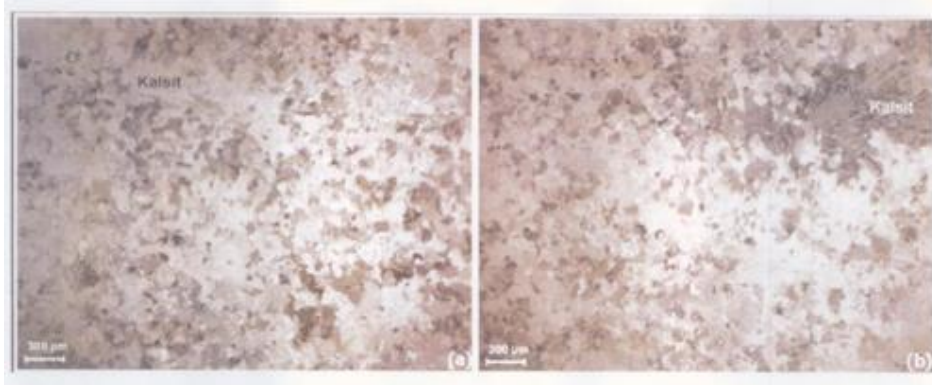
İncelenen kayaç örneği beyazımsı, gri renkte olup kayacı oluşturan bileşenler çıplak gözle de tanımlanabilmektedir. İncelenen kayaç renk olarak homojen bir görünümde olup, şeker dokusu göstermektedir (Şekil 2.13). Kayaç içerisindeki kalsit kristallerine ait yüzeyler gün ışığında camsı parlaklık göstermektedir. İncelenen kayaç sert ve sıkı bir yapıya sahip olup, taze kırık yüzeylerinde çürük yumurta kokusuna benzer bir koku yaymaktadır.



Şekil 2.13. Deneylerde kullanılan kırmataşın genel ve yakın görünümü

Mikroskop incelemeleri sonucunda örneğin, tamamen kristalli bir yapı gösterdiği belirlenmiştir. Kayaç metamorfizma geçirmiş kireçtaşı olup, tipik olarak girift doku göstermektedir (Şekil 2.14). Kayaç nispeten farklı kristal boyutlarına sahip karbonat minerallerinden (kalsit, dolomit) oluşmaktadır. Kayaç içerisindeki kalsit ve dolomit bileşenleri göreceli eşit tane büyüklüğü ile birbirine geçmiş (girift) bir yapı göstermektedirler. İnce kesitte dolomit minerallerini kalsit minerallerinden ayırmak çok zordur. Kalsit ve dolomit mineralleri yarı öz şekilli ve çoğunlukla öz şekilsiz olarak görülmekte olup, çift nikolde açık kahverengimsi, sarımsı ve beyazımsı renklindedir. Kayaç içerisinde iri kristallerin boyutları 350–550 µm arasında değişmektedir. İri

kristallerin iki yönde çok iyi gelişmiş dilinimleri olup, dilinim çizgileri arasındaki dar açı $46-55^\circ$ arasında değişmektedir. İri kristallerde polisentetik ikizlenmeler (Şekil 2.14) oldukça belirgindir. İnce kristallerin boyutları ise $50-120\ \mu\text{m}$ arasında değişmektedir.



Şekil 2.14. Kırmataşın çift nikoldeki mikroskop görüntüleri ($1\ \mu\text{m} = 0,001\ \text{mm}$). a) Giriş dokunun mikroskobik görüntüsü, b) Kalsit kristallerinde görülen dilinim ve basınç ikizleri

Kalsit, dolomit gibi karbonat minerallerinden oluşmuş kalkerler, kırmataş olarak kullanımı en fazla olan malzemedir (TS EN 12390-6, 2010).

2.2.4 Dere Kumunun Fiziksel ve Kimyasal Değerlendirilmesi

Dere malzemelerinin en önemli özelliği sürekli olarak doğal yıkama sonucunda bağlayıcı kilden arınmış olması ve tanelerin yuvarlak ya da yassı olmasıdır. Tanelerin köşeli olmayışı, içsel sürtünmeyi azaltır. Uzun mesafelerde sürüklenerek taşınmaları sonunda aşınma mukavemetleri yönünden de iyi sonuçlar vermektedir (Arıoğlu ve Girgin, 1998).

Beton agregalarının suda çözülebilen klorür iyon muhtevası, TS EN 1744-1 madde 7'ye uygun olarak belirlenmektedir; Birleştirilmiş agreganın suda çözülebilen klorür iyon muhtevasının $\% 0,01$ 'den daha fazla olmaması gerekmektedir. Elde bulunan $0-3\ \text{mm}$ dere malzemesi örneğinin klorür muhtevası $0,0017$ ile standardın belirlediği sınırdadır.

Betonun katılaşma süreleri ve sertleşme hızını değiştiren oranlarda organik maddelerin veya diğer maddeleri ihtiva eden agregalar, bu maddelerin özellikle basınç dayanımı üzerindeki etkileri bakımından, TS EN 1744-1 madde 15.3'e göre uygunluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir.

Söz konusu maddeler;

- a. Harç deney numunelerinin katılaşma süresini, 120 dakikadan daha fazla uzatmayacak;
- b. Harç deney numunelerinin basınç dayanımını, 28 günde % 20'den daha fazla düşürmeyecek oranlarda olmalıdır.

Sonuç olarak dere malzemesinin tane birim kütlesi $2,55 \text{ g/cm}^3$ ile kırmataştan ($2,71 \text{ g/cm}^3$) daha düşük bulunmakta ve o nispette daha yüksek su emme oranına sahip olduğu (Tablo 2.26) görülmektedir. 0–3 mm boyutundaki dere malzemesinin kimyasal analiz sonuçlarına göre (Tablo 2.27) malzeme içerisinde SiO_2 en yüksek oranda bulunmaktadır. Bunun dışında betonun katılaşma ve sertleşme sürecini olumsuz yönde etkileyecek bir elementin (katılımcının) bulunmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 2.26. Dere malzemesinin TS EN 1097–6'ya göre tane yoğunluğu ve su emme oranları

Agrega Tane Sınıfı mm	Bulunan	
	Tane yoğunluğu g/cm^3	Su Emme % m
0–3	2,55	2,30

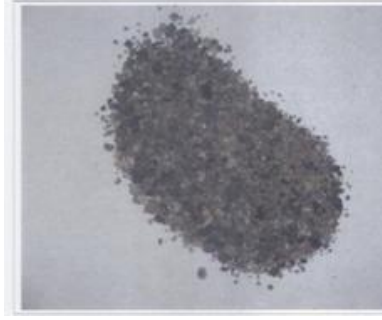
Tablo 2.27. 0–3 mm boyutundaki dere malzemesinin kimyasal analiz sonuçları (% kütlece)

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	Toplam
43,21	0,22	5,8	2,09	0,06	5,8	14,62	0,68	1,21	0,09	0,15	73,93

2.2.5 Dere Kumunun Makroskopik Değerlendirilmesi

İncelenen örnek ince 0,25 mm ile 1 mm arasında boyutlara sahip kum örneği olup, farklı renkte bileşenlerden oluşmaktadır. İri kum boyutlu bileşenler, çoğunlukla beyazımsı gri renkli kuvarsit, grimsi beyaz renkli kireçtaşı ve yeşil renkli mafik kayalardan oluşmaktadır. Taneler kısmen yuvarlaklaşmıştır.

İnce kum boyutu bileşenler ise gözle (Şekil 2.15) ya da mercek (lup) altında tanımlanabilmektedir. İncelenen örnek kum örneği olup kabaca % 50 kuvars, % 35 kireçtaşı ve % 15 opak mineral, biyotit, piroksen ve plajiyoklaz bileşiminden oluşmaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Dere malzemesinin yakından görünümü

Bu inceleme sonuçlarına göre, gerek karbonat kökenli kırmataş agreganın, gerekse SiO_2 ağırlıklı dere kumunun beton bileşiminde yer almasının doğru bir seçim olacağı görüşüne varılmıştır.

2.3 Seçilen Çimento Çeşidi ve Özellikleri

Deneylerde kullanılan çimento, CEM I 42,5 R erken dayanım kazanan bir çimento çeşididir. Bu özelliği ile çimentonun, beton karışımı içerisinde hidrasyon sıcaklığının çabuk geliştiği ve bu sayede daha erken yüksek dayanım kazandığı görülmektedir.

Seçilen çimentonun özelliklerine bakıldığında, TS EN 196 ve TS EN 197’de öngörülen koşulları sağladığı görülmektedir. Çimentonun özgül kütlesi üreticinin beyan ettiği değer olarak kullanılmıştır. Diğer yandan erken katılaşılan çimentonun dayanımının da 7 günde, 28 günlük dayanımının % 81’ine eriştiği görülmektedir.

Tablo 2.28. Uygulanan çimentonun kimyasal bileşenleri %

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	SO_3	Cl
18,88	5,12	2,94	2,24	63,22	0,07	0,76	3,03	0,004

Nitekim CaO oranının kütlece % 63,22 çıkması da (Tablo 2.28) bu çimentonun anılan özellikleri ihtiva ettiğini göstermektedir.

Deneylerde kullanılan çimentonun özgül yüzeyi 3394 cm²/g ile (Tablo 2.29) RRSB (Rasin-Rammlar-Sperling-Benett) yöntemine göre belirlenen sınırlar arasına (2540–3850 cm²/g) düşmektedir. Böylece yüksek sayılacak tane inceliğinin de dayanımın bir göstergesi olduğu ortaya çıkmış olmaktadır.

Tablo 2.29. Uygulanan Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Özgül Kütle g/cm ³	Özgül Yüzey cm ² /g	Kıvam Suyu % m	Hacim Genleşmesi mm	Katılma Başlangıcı dk
3,10	3394	28,2	2	133

Tablo 2.30. Çimentonun basınç dayanımı

Deney Süreleri	Deney Sonuçları MPa	TS EN 196-1'e göre olması gereken
2 Günlük	27,8	≥ 20,0
7 Günlük	44,6	-
28 Günlük	55,3	42,5 – 62,5

Elde bulunan ve beton bileşiminde bağlayıcı işlevi üstlenen CEM I 42,5R çimentosu 55,3 MPa basınç dayanımı ile anılan standardın belirlediği sınırların (Tablo 2.30) ortalamasının biraz da üstünde bir değer ortaya koymuştur. CEM I 42,5R çimentosu bu özellikleri ile doğru bir seçim örneğini temsil etmektedir.

2.4 Beton Karşım Hesabı Yapılırken İzlenen Yöntem

Birinci ve altıncı deney hazırlanırken 0–3 mm dere malzemesi 0–4 mm kırmataş kum oranı % 50 olarak alınmıştır. Bu % 50'lik kum oranı temel alınarak sırasıyla % 46, % 48, % 52, % 54 ince malzeme oranları değiştirilmiştir. Burada amaç deney sonuçları arasında karşılaştırma yapmak olmuştur.

İlk altı deneyden beşincisi haricindekilerin özellikle basınç sonuçları birbirine yakın çıktığı için altıncı deneyden sonra beş deney dizisi daha yapılmasına karar verilmiş ve bunlarda % 40, % 34, % 28, % 22 oranlarda ince malzeme kullanılmıştır. Deney sonuçları arasında, dere kumu bileşimli beton ile kırmataş kumlu beton arasında daha kesin bir

karşılaştırma yapabilmek için altıncı örneğe (% 50 kırmataş kum) ek olarak % 25 dere kumu ile % 25 kırmataş kumu içeren on birinci deney dizisi de uygulamaya konulmuştur.

TS 206–1 çizelge 1’de beton bileşimleri için çevresel etki sınıfları açısından uyulması gereken sınır değerlere işaret edilmiştir. Söz konusu çizelge, CEM I 32,5 tipi çimento ve d_{maks} 20 mm–32 mm arasında anma büyüklüğüne sahip agrega karışımı ile yapılmış betonlar için geçerlidir. Deneylerde en büyük agrega tane çapı 20 mm ve bunun yanında CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çizelgeye bakarak beton dayanım sınıfını, su/çimento oranını (0,55) ve çimento içeriğini (310 kg/m^3) yeterlilikle değerlendirmek olanaklıdır. Buradan da mevcut terkinin XF1 sınıfında donma ve çözülme etkisine karşı dayanıklı olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 2.31. Basınç dayanımı için uygunluk ölçütleri TS EN 206–1

Beton Üretimi	Grupta elde edilen basınç dayanımı deney sonucu adedi ‘n’	1.Ölçüt	2.Ölçüt
		‘n’ adet deney sonucunun ortalaması f_{cm} MPa	Herhangi tek deney sonucu f_{ci} MPa
Başlangıç	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Sürekli	15	$\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Deneylerde tasarımı yapılan beton bileşimleri oluşturulurken, bunları rastgele değil de ilgili standardın (TS EN 206) öngördüğü ölçütlere uyarak gerçekleştirmenin daha doğru olacağı düşünülmüştür. O bakımdan çevresel etki koşulları yanında, dayanım düzeyinin ve sürekliliğinin söz konusu edildiği “nitelik denetimi” koşullarına da uygun hareket edilmiştir.

Bu kapsamda toplam on bir mekanik deney dizisi için öngörülen 90’a yakın küp numune deneyinden elde edilen sonuçların “başlangıç” ve “sürekli” denetim koşullarına (Tablo 2.31) ve “doğrulama” sınırlarına (Tablo 2.32) uygunluğuna da bakılmıştır. Ortalama dayanım değerlerinin (Çizelge 2.33) bu koşullara uyduğu görülmektedir.

Tablo 2.32. Gruba ait üyelerin doğrulama sınır değerleri TS EN 206–1

Tek beton bileşimi için basınç dayanımı deney sonucu adedi 'n'	3. Ölçüt
	Gruba ait bir üye için 'n' adet deney sonucu ortalaması f_{cm} , MPa
2	$\geq f_{ck} - 1,0$
3	$\geq f_{ck} + 1,0$
4	$\geq f_{ck} + 2,0$
5	$\geq f_{ck} + 2,5$
6	$\geq f_{ck} + 3,0$

Ayrıca betonun, grubun üyesi olduğunun doğrulanması için o betona ait deney sonuçlarının ortalaması (f_{cm}) çizelge 33'de verilen 3. ölçüte göre değerlendirilmelidir. Bu ölçütleri sağlamayan herhangi bir beton örneği, gruba ait kabul edilmez ve bağımsız olarak uygunluk değerlendirmesine tabi tutulur. TS 206–1'de gruba ait olmayan betonların, belirtilen beton dayanım sınıfları içerisinde yer almayacağı ve bunlar hakkında ayrı bir değerlendirme yapılması gerektiği bildirilmektedir.

Tablo 2.33. Deneylerin karakteristik basınç dayanımı değerlerinin TS 206–1’e uygunluğu

Deney No	28 günlük deney sonuçları MPa	Uygunluk ölçütü 1 deney sonucu ortalaması $\geq f_{ck} + 4$ MPa	Uygunluk ölçütü 2 Tek deney sonucu $\geq f_{ck} - 4$ MPa	Doğrulama ölçütü 3 $f_{cm} \geq f_{ck} + 1$ MPa	Sınıfı
1	46,5; 42,8; 48,4 ORT: 45,9	$45,9 \geq 37 + 4$	46,5; 42,8; 48,4 $\geq 37 - 4$	$45,9 \geq 37 + 1$	C 30/37
2	45,7; 47,8; 44,9 ORT: 46,1	$46,1 \geq 37 + 4$	45,7; 47,8; 44,9 $\geq 37 - 4$	$46,1 \geq 37 + 1$	C 30/37
3	49,6; 50,6; 49,5 ORT: 49,9	$49,9 \geq 45 + 4$	49,6; 50,6; 49,5 $\geq 45 - 4$	$49,9 \geq 45 + 1$	C 35/45
4	45,5; 47,4; 43,6 ORT: 45,5	$45,5 \geq 37 + 4$	45,5; 47,4; 43,6 $\geq 37 - 4$	$45,5 \geq 37 + 1$	C 30/37
5	54,6; 49,6; 52,7 ORT: 52,3	$52,3 \geq 45 + 4$	54,6; 49,6; 52,7 $\geq 45 - 4$	$52,3 \geq 45 + 1$	C 35/45
6	40,4; 44,9; 49,3 ORT: 44,9	$44,9 \geq 37 + 4$	40,4; 44,9; 49,3 $\geq 37 - 4$	$44,9 \geq 37 + 1$	C 30/37
7	41,6; 43,9; 37,3 ORT: 40,9	$40,9 \geq 37 + 4$	41,6; 43,9; 37,3 $\geq 37 - 4$	$40,9 \geq 37 + 1$	C 30/37
8	45,9; 47,2; 42,1 ORT: 45,1	$45,1 \geq 37 + 4$	45,9; 47,2; 42,1 $\geq 37 - 4$	$45,1 \geq 37 + 1$	C 30/37
9	44,7; 38,4; 41,6 ORT: 41,6	$41,6 \geq 37 + 4$	44,7; 38,4; 41,6 $\geq 37 - 4$	$41,6 \geq 37 + 1$	C 30/37
10	45,5; 46,2; 43,7 ORT: 45,2	$45,2 \geq 37 + 4$	45,5; 46,2; 43,7 $\geq 37 - 4$	$45,2 \geq 37 + 1$	C 30/37
11	44; 45,6; 42,2 ORT: 43,9	$43,9 \geq 37 + 4$	44; 45,6; 42,2 $\geq 37 - 4$	$43,9 \geq 37 + 1$	C 30/37

Yukarıda anılan ölçütlerin yerine getirilmesi için su/çimento oranı, çimento miktarı, boşluk oranı ve agreganın donma çözülme direnci göz önünde bulundurularak üretilen betonların “XF” donma–çözülme ve tuz etkilerine karşı dirençli sayılacağı söylenmişti. Dayanım açısından düşünüldüğünde ise C 30/37 beton dayanım sınıfının XF yanında “XC”

karbonatlaşma etkisine karşı da yeterli direnç göstereceğini burada belirtmek gerekir. Deneylerde uygunluk değerlendirmesi yapılırken, küp numuneler esas alınmış olup, bunların basınç dayanımı sonuçlarının ise C 30/37 sınıfını temsil ettiği (Tablo 2.33), hatta bunlardan üçüncü ve beşinci deney dizisinin bir üst dayanım sınıfına (C 35/45) çıktığını da söylemek gerekir.

Tablo 2.34. Yarmada çekme deneyi için uygunluk değerlendirilmesi TS EN 206–1

Üretim	Grupta elde edilen deney sonucu adedi ‘n’	1. Ölçüt (kriter)	2. Ölçüt (kriter)
		‘n’ adet deney sonucunun ortalaması f_{tk} , MPa	Herhangi tek deney sonucu f_{ti} , MPa
Başlangıç	3	$\geq f_{ctk} + 0,5$	$\geq f_{ctk} - 0,5$
Sürekli	15	$\geq f_{ctk} + 1,48\sigma$	$\geq f_{ctk} - 0,5$

Betonun yarmada çekme dayanımı için, standardın öngördüğü uygunluk ölçütlerine göre (Tablo 2.34) yapılan değerlendirmede elde edilen sonuçların (Tablo 3.1) yeterlilik gösterdiği görülmektedir. Basınç deneyi gibi yarmada çekme deneyinin de önemli olduğu ve belli aralıklarla yapılması gerektiği buradan da anlaşılmaktadır. Deney dizilerinde ikişer adet numune yarmada çekme deneyi için üretilmiştir; sınırlı sayıda bulunan deney numunelerinin sonuçları birbirine yakın değerlerde çıkmış olup daha fazla numune üretilmesi için imkânların zorlanmasına gerek duyulmamıştır.

Numuneler TS EN 12390–2’ye uygun olarak hazırlanmış ve kür uygulanmasına tabi tutulmuştur. Deneyler ise TS EN 12390–6’ya uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçlarının anlamlılık sınırları içerisinde kalıp kalmadığını anlamak için yine TS EN 206–1’de öngörülen koşullara başvurulmuştur. Burada deney sonuçlarının en büyüğü ile en küçüğü arasındaki farkın, aritmetik ortalamanın % 15’den daha büyük olması durumunda, inceleme sonucunda deney sonuçlarından herhangi birisinin atılması için kabul edilebilir sebep görülmesi hariç, o deneyin sonuçları değerlendirme dışı bırakılır. Yapılan deneylerin sonuçları bu açıdan karşılaştırılmış olup (Tablo 2.35 ve 2.36), 7 günlük basınç deneyi sonuçlarından yalnız bir tanesinin ancak çok küçük oranda yetersizlik gösterdiğine tanık olunmuştur.

Tablo 2.35. 7 günlük basınç deneyi sonuçlarının anlamlılık sınırlarında sorgulanması

Deney No	En küçük basınç ile en büyük basınç dayanım değeri arasındaki fark MPa	7 günlük aritmetik ortalama MPa	Aritmetik ortalamanın % 15	Sonuç
1	1,3	36	5,4	$5,4 \geq 1,3$ Uygun
2	0,62	37,19	5,58	$5,58 \geq 0,62$ Uygun
3	1,2	38,2	5,73	$5,73 \geq 1,2$ Uygun
4	4,5	41,8	6,27	$6,27 \geq 2,4$ Uygun
5	2,4	41,8	6,27	$6,27 \geq 2,4$ Uygun
6	4,3	39,2	5,88	$5,88 \geq 4,3$ Uygun
7	5,7	34,6	5,2	$5,2 \leq 5,7$ Uygun Değil
8	4,1	37,4	5,6	$5,6 \geq 4,1$ Uygun
9	3	34,3	5,15	$5,15 \geq 3$ Uygun
10	0,3	34	5,1	$5,1 \geq 0,3$ Uygun
11	1,8	35,4	5,31	$5,31 \geq 1,8$ Uygun

Tablo 2.36. 28 günlük basınç deneyi sonuçlarının anlamlılık sınırlarında sorgulanması

Deney No	En küçük ile en büyük arasındaki fark MPa	28 günlük aritmetik ortalama MPa	Aritmetik ortalamanın % 15	Sonuç
1	5,6	45,9	6,9	$6,9 \geq 5,6$ Uygun
2	2,9	46,1	6,9	$6,9 \geq 2,9$ Uygun
1,1		49,9	7,5	$7,5 \geq 1,1$ Uygun
4	3,8	45,5	6,8	$6,8 \geq 3,8$ Uygun
5	5	52,3	7,8	$7,8 \geq 5,0$ Uygun
6	9,3	44,9	6,8	$6,8 \leq 9,3$ Uygun değil.
7	6,6	40,9	6,1	$6,1 \leq 6,6$ Uygun değil.
8	5,1	45,1	6,8	$6,8 \geq 5,1$ Uygun
9	6,3	41,6	6,3	$6,3 \geq 6,3$ Uygun
10	2,5	45,2	6,8	$6,8 \geq 2,5$ Uygun
11	3,4	43,9	6,6	$6,6 \geq 3,4$ Uygun

Yine 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarının özdeş ölçüte göre yapılan değerlendirmesinde de, bunlardan 6. ve 7. deney dizileri sonuçlarının bu koşulu sağlamadığı görülmüş; ancak 7. deney dizisindeki yetersizliğin czi olduğunu burada belirtmek gerekir. Yapılan anlamlılık sorgulamasında basınç deneyi sonuçlarının çok büyük oranda öngörülen koşulları sağlamış olduğunu burada vurgulamak gerekir. Birinci örnekteki uyumsuzluk ise göz ardı edilebilecek küçüklükte olup çalışmanın akışı ve amacı doğrultusunda sakıncasız grlmtır.

3. BULGULAR ve İRDELEME

3.1 Basınç Deneyi ve Sonuçları

Basınç deneyinin gerçekleştirildiği basınç makinesinin yükleme sınırı; deney numunelerini kırmaya yeterli yükün en az 1/10'u kadar daha yukarıda olmalıdır. Basınç deney makinesinin diğer özellikleri, TS EN 12390-4'te belirtilmiştir. Beton numune alt yükleme tablasına ortalanarak (Şekil 3.1) yerleştirilmeli ve ardından yükleme hızı 0,2 MPa/s-1 MPa/s arasında bir değere eşit gerilme sağlayacak şekilde uygulanmalıdır. Deney numunesinin kırıldığı andaki, kuvvet-zaman grafiğinden en yüksek yük değeri P, kN olarak kaydedilmelidir.

Burada dayanım (f_c) değerine eşit gerilme düzeyi (σ_{max});

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A}, \text{ MPa bağıntısıyla hesaplanır.} \quad (3.1)$$

P ; Yük (kN)

A ; Alan (cm²)

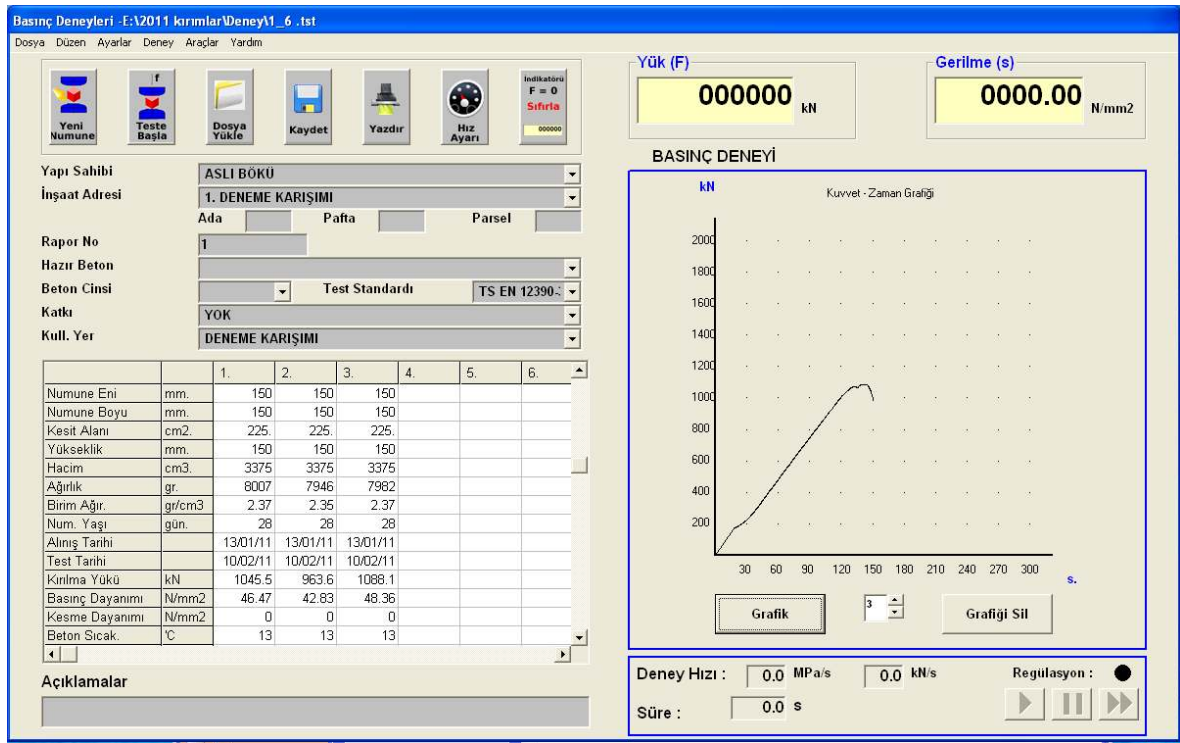
σ_{max} ; En büyük gerilme (MPa)



Şekil 3.1. Basınç deneyi düzeneği

Yeni standartlara göre küp numunelerde yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak şekilde belirlenmektedir. Çalışma kapsamında da basınç deneyleri gerçekleştirilirken yükleme yönünün döküm yönüne dik, diğer bir deyişle numunenin yanal yüzeyine gelecek şekilde (Şekil 3.1) uygulamasına özen gösterilmiştir.

Standartlara göre hazırlanan numuneler 28 gün sonra, erişebileceği dayanımını yaklaşık olarak % 95’ni kazanırken, 7 günlük numunelerde bu oran yaklaşık olarak % 70’e ulaşabilmektedir. Ancak 7 günlük numuneler 28 günlük numunelerin dayanımları hakkında önemli ipuçları vermektedir. Nitekim 7 günlük deney sonuçlarından dayanımı yüksek olanların, 28 günlük dayanımlarının da daha yüksek düzeylere çıktığı görülmektedir.

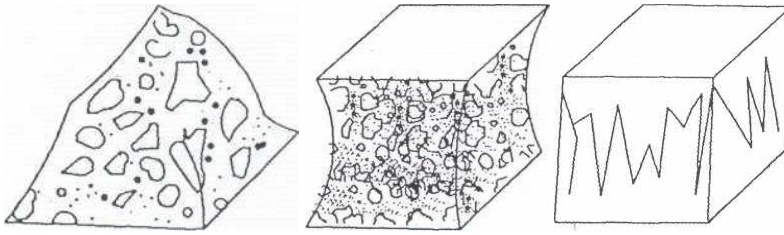


Şekil 3.2. Basınç deneyi uygulamasının bilgisayar yardımıyla izlenmesi

Basınç deneyi için numunenin eni, boyu, yüksekliği ve kütlesi girildiğinde, numunenin hacmi, birim kütlesi ve kuvvet–zaman ilişkisi bir diyagram (Şekil 3.2) üzerinde gösterilmektedir. Numunenin dayanımı olan en yüksek gerilme değeri de azami yükün basınç yüzeyine bölünmesiyle kaydedilmektedir. Basınç deneyi sonucu küp numunenin kırılma şekli (Şekil 3.3) TS EN 12390–3’te belirtilen özgün kırılma şekilleriyle örtüşmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Basınç deneyi sonucu numunenin görünümü

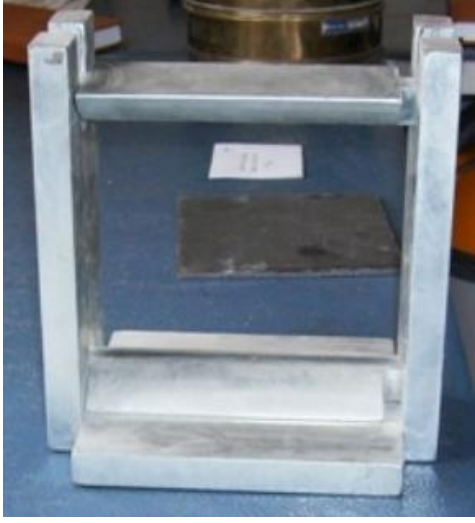


Şekil 3.4. TS EN 12390 – 3 göre kırılma şekilleri

3.2 Yarmada Çekme Deneyi ve Sonuçları

Küp numuneler yarmada çekme düzeneğini ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Küp numune basınç makinesine düzeneikle birlikte sığmadığı için makinenin hareketli alt bölgesinden diskler çıkartılarak sığması sağlanmıştır.

Küp numune yarma düzeneği ile birlikte makineye yerleştirildikten sonra programda kesme deneyi ayarları seçilmiş ve numune ile ilgili veriler de girilerek deneyin gerçekleştirilmesine geçilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Yarmada çekme deneyi düzeneği

Yarmada çekme aparatının üst oynar başlığı altında bulunan ya da numunenin üzerinde tespit edilen yükleme şeridi genellikle sert tahtadan ya da polimer malzemeden üretilmektedir; genellikle 4 mm kalınlıkta ve 10 mm genişlikte üretilen şeritten bir tanesi de numunenin altına, üstteki şeritle bir hizada olacak biçimde yerleştirilmektedir; böylece eşit yük dağılımı sağlanmış olmaktadır.

Standardın öngördüğü şekilde yapılan 22 deneyin sonuçları aşağıda verilen bağıntıyla hesaplandıktan sonra ortalamaları (Tablo 3.1) listelenmiştir.



Şekil 3.6. Yarmada çekme deney numunelerinin deneyden sonraki görünüşleri

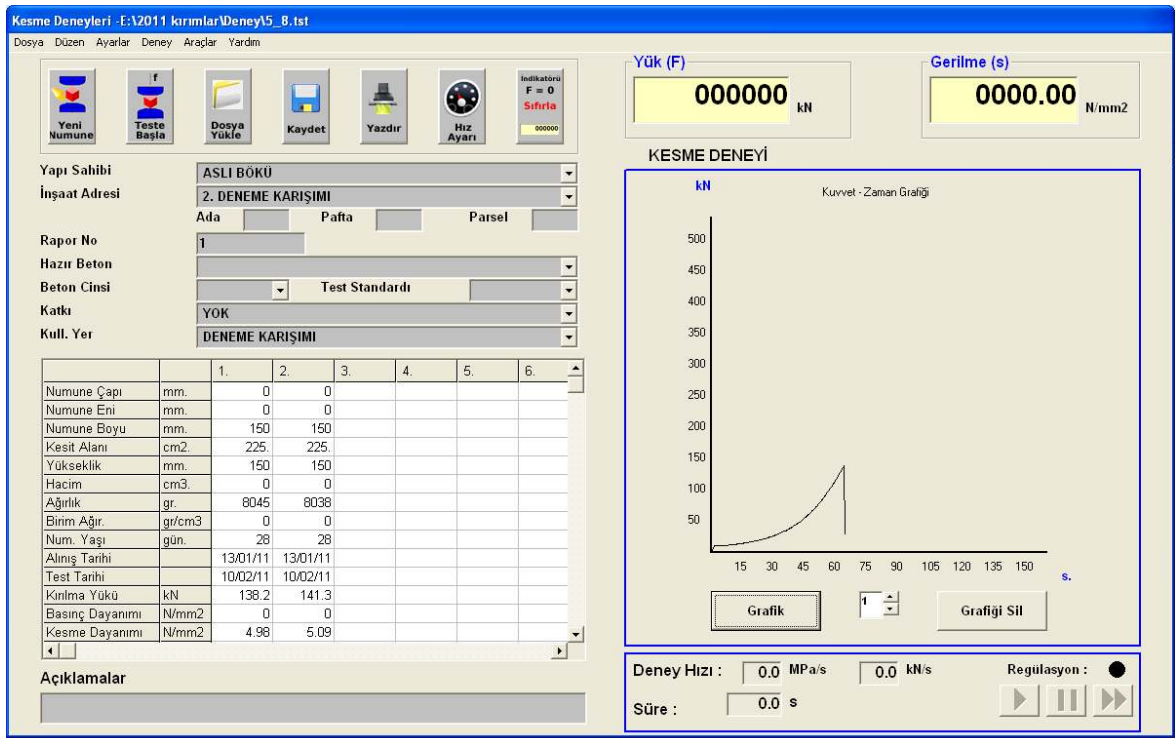
$$f_{ct} = 2P \cdot \frac{1}{\pi a^2} \text{ (MPa)} \quad (3.2)$$

f_{ct} ; Yarmada çekme dayanımı (MPa)

P ; Yük (kN)

a ; Küpün boyutu (cm)

Numunenin kırılma şekilleri (Şekil 3.6) kaynakların tanımladığı yükseklik boyunca bölünme resmi ile örtüşmekte olup herhangi eksen kaymasıyla karşılaşılmamıştır.



Şekil 3.7. Yarmada çekme deneyi uygulamasının bilgisayar yardımıyla izlenmesi

Numune sonuçlarının gerekli durumlarda 0,05 MPa yuvarlatılarak gösterilebileceği TS EN 12390-6'da belirtilmektedir. Yarmada çekme deneyinin ortalamaları alınırken en yakın 0,05 MPa değerine 3, 5, 6, 7,8 ve 11. deneylerde yuvarlatma yapılmıştır.

TS 500'de betonun çekme dayanımı, eksenel çekme deneylerinden elde edilen değer olarak tanımlanmaktadır. Betonun eksenel çekme deneyi silindir ya da prizma numunelere uygulanmaktadır; ancak bunlar kavrama ve yükleme sırasında başlık kısımlarından daha önceden kırıldıkları için çok tercih edilmemektedirler.

Silindir çekme dayanımıyla basınç dayanımı arasında;

$$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} , \text{ MPa} \quad (3.3)$$

bağıntısının gösterdiği şekilde yaklaşık bir ilişki de bulunmaktadır.

Eksenel çekme dayanımının, silindir yarmada çekme deneyinden elde edilen çekme dayanımının 2/3'ü, eğilmede çekme dayanımının da yaklaşık yarısı kadar olduğu var sayılmaktadır (TS 500, 200).

Basınç deneyi sonuçları numune geometrisine bağlı olarak farklı çıkabilmektedir. Bu nedenle, örneğin silindir numune ile küp numunenin basınç dayanımları arasında kaynaklarda belirtilen yaklaşık da olsa anlamlı katsayılar mevcuttur.

Benzer şekilde, çekme deneyi sonuçları arasında da yaklaşık katsayı ya da bağıntı ilişkileri bulunmaktadır. Bu ilişkiler çizelgelerde (Tablo 3.1–3.2) verilmekte olduğu gibi bağıntılarla da ifade edilmeye çalışılmıştır.

Silindir yarmada çekme deneyinde, eksene dik yönde etkiyen yük nedeniyle, merkezi çekmeye göre yaklaşık % 50 daha büyük gerilme değeri elde edilir. Kiriş eğilme deneyinde ise sonuç merkezi çekme deneyinin yaklaşık 2 katı olabilmektedir. Bunun da nedeni fazla zorlanan kesite, uyum yasası (adaptasyon) gereği daha az zorlanan kesit bölgelerinin yardım etmesidir (Doğangün, 2009).

Kassas ve Erdoğan tarafından yürütülen deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, yarma deneylerinden elde edilen çekme dayanımı değerleri doğrudan çekme deneylerinin sonucuna göre % 23–% 29 daha yüksektir. İki noktadan eğilme yüklemesi altında elde edilen dayanım değerleri ise, doğrudan çekme deneyi sonuçlarına göre % 45–% 97 daha büyüktür (Çomak, 2007). Bu değerler ölçü olarak alınırsa, örneğin yarmada çekme deneyinden doğrudan çekme deneyine (Tablo 3.31) ya da doğrudan çekme deneyinden iki nokta eğilme deneyi sonuçlarına, yaklaşık da olsa güvenilir geçiş imkânı sağlanabilmektedir.

Tablo 3.1. Yarmada çekme deneyinden elde edilen sonuçların doğrudan çekme deneyine geçiş hesaplanması (Erdoğan, 2003)

Deney Numarası	Çalışmada Elde Edilen Yarmada Çekme Deneyi Ortalaması MPa	Yaklaşık Doğrudan Çekme Deneyi Sonucu (Yarmada Çekmeden % 29 daha küçük), MPa	Yaklaşık Doğrudan Çekme Deneyi Sonucu (Yarmada Çekmeden % 23 daha küçük), MPa	Ortalama (Doğrudan Çekme Sonucu) MPa
1	4,98	3,80	3,98	3,89
2	5,02	3,89	4,08	3,99
3	4,69	3,64	3,81	3,73
4	5,10	3,88	4,07	3,98
5	4,52	3,50	3,67	3,59
6	5,04	3,91	4,10	4,01
7	4,94	3,83	4,02	3,93
8	4,60	3,27	3,54	3,41
9	4,56	3,53	3,71	3,62
10	4,38	3,40	3,56	3,43
11	4,86	3,77	3,95	3,86

Tablo 3.2. Doğrudan çekme deneyinden iki noktada eğilme deneyine geçiş hesaplaması (Erdoğan, 2003)

Deney Numarası	Doğrudan Çekme Ortalaması MPa	Yaklaşık İki Nokta Eğilme Deneyi Sonucu (Doğrudan Çekmeden % 45 daha büyük) MPa	Yaklaşık İki Nokta Eğilme Deneyi Sonucu (Doğrudan Çekmeden % 97 daha büyük) MPa	Ortalama (İki Noktadan Eğilme) MPa
1	3,89	5,64	7,66	6,65
2	3,99	5,79	7,86	6,83
3	3,73	5,41	7,35	6,38
4	3,98	5,77	7,84	6,81
5	3,59	5,21	7,07	6,14
6	4,01	5,81	7,90	6,86
7	3,93	5,70	7,74	6,72
8	3,41	4,95	6,72	5,83
9	3,62	5,25	7,13	6,19
10	3,43	4,97	6,76	5,87
11	3,86	5,60	7,60	6,60

Betonun basınç ve çekme dayanımları arasındaki ilişki TS 500’de, ACI’de ve Irvani’nin yaptığı çalışmalarda belirtilmiştir. Betonun karakteristik basınç dayanımı, 40 MPa üzeri ve altı için ayrı denklemler verilmiştir. Aşağıda verilen bu katsayıların ve denklemlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

$$\text{TS 500’de} \quad f_{ctk} = 0,53 \sqrt{f_{ck}}, \text{ MPa} \quad (3.4)$$

$$\text{ACI} \quad f_{ctk} = 0,59 \sqrt{f_{ck}}, \text{ MPa} \quad (3.5)$$

$$\text{Irvani’ye göre} \quad f_{ctk} = 0,57 \sqrt{f_{ck}}, \text{ MPa} \quad (3.6)$$

$f_{ck} > 40$ MPa olan yüksek dayanımlı betonlarda basınç ile çekme dayanımları arasında TS 500’e göre oran 0,53 olarak verilemekte iken sözü edilen diğer kaynaklar bu katsayının geçerli olamayacağını ortaya koymuşlardır.

3.3 Basınç ve Yarmada Çekme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yukarıda gösterilen bağıntı yardımı ile basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki benzerleri ile de karşılaştırılarak sonuçlar anlamlı olacak şekilde ortaya konulabilmektedir.

Bundan başka çalışmanın “amaç” bölümünde vurgulandığı gibi kırmataş agrega ile hazırlanan betonların eğilmede çekme, burada bunun yerine yarmada çekme dayanımının, açıklanan nedenlerle dere malzemesi agregalı betonların çekme dayanımından daha yüksek çıkacağı belirtilmişti; nitekim bu sav, 6. tanık numunede yarmada çekme dayanımı 5,04 MPa ve dönüşüm hesaplanması ile elde edilen eğilmede çekme dayanımı ise 6,86 MPa ile kanıtlanmış sayılır; Çünkü her iki değer de diğer deney sonuçlarının en üst düzeyinde bulunan iki ya da üç sonuçtan birini temsil etmektedir. Diğer tanık numunede (Deney Dizisi 11), kum bileşeni % 25 kırmataş, % 25 dere malzemesi olduğundan, yarmada çekme dayanımı 4,86 MPa düzeyinde kalmıştır.

Basınç dayanımı ortalaması ise, gerek çakıl gerek kum boyutu ile kırmataştan olan tanık betonda (Deney Dizisi 6) 44,9 MPa olarak çıkmıştır; bu sonuç, dere kumu oranı % 50 ile % 54 arasında değişen numunelerin basınç dayanımlarından (Deney Dizisi 1–5) daha düşüktür. Diğer tanık betonun (Deney Dizisi 11) basınç dayanımı ortalaması da 28 günde 43,9 MPa olarak çıkmış olup bu değer de en alt düzeyde olan iki sonuçtan birisidir (Tablo 2.36).

Çalışmada yanıtlanması istenen kilit soru ise yarmada çekme düzeyinden fazla kayıp vermeden kırmataş agregalı betonların basınç dayanımının nasıl yükseltileceğidir; bunun için de yerine yerleştirilmekte kolaylık sağlayan ve basınç dayanımına yükseltici katkıda bulunan dere kumu ile üretilen betonların basınç dayanımları ile yarmada çekme dayanımları arasındaki ilişkiye daha yakından bakmak gerekmektedir. Deney dizilerinden, bunlar 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 ve 11'inci olmak üzere toplam 88 küp numuneden elde edilen ve bunların da 28 günlük sonuçlarını gösteren diyagramlar incelendiğinde (Tablo 2.32 ve 2.33) ortaya önemszenmesi gereken ipuçlarının çıktığı görülmektedir.

Dere kumu arttırılarak oluşturulan kırmataş agregalı betonların dayanım izlenimi (Şekil 3.8) % 22 kum oranına karşılık 45,2 MPa; % 40 kum oranına karşılık 40,9 MPa ve % 54 kum oranına karşılık da 52,3 MPa basınç dayanımı göstermektedir. Böylece bu verilerle, diyagram önce düşen, sonra da yeniden yükselen bir seyirle bir parabolü andırmaktadır; ancak verilerin sınırlı sayıda olması göz önünde bulundurulduğunda doğrusal bir ilişkinin de geçerli olacağını burada söylemek gerekir. Eğrisel gösterime göre de % 54'lük dere kumu oranının dayanım yükselişinde son nokta olmadığı da görülmektedir.

Yarmada çekme deneyi sonuçları da ilgi çekici bir düzlem ilişkisi göstermektedir. Her iki gösterime göre en yüksek yarmada çekme dayanımı düzeyi 5,0 MPa'ı geçmektedir; bu da % 45 ile % 50 arasında dere kumu karışımına işaret etmektedir; ancak dere kumunun % 50 sınırını aşmasıyla basınç dayanımı yükselirken yarmada çekme dayanımının açık bir şekilde düşüşe geçtiği görülmektedir.

% 50 kırmataş kumlu tanık beton yüksek düzeyde yarmada çekme direnci gösterse de basınç dayanımında 45,0 MPa sınırını aşamamıştır. Yarmada çekme dayanımı ile eş güdümlü sayılan ve eğilmeye zorlanan kiriş, döşeme gibi elemanlarda çatlak sınırlaması bakımından önem verilen eğilmede çekme dayanımı da orantılı hesaplama sonuçları göstermektedir (Çizelge 3.2).

Yine üslü simgelerle kurulan bağıntılarda da gerek üsler gerekse katsayılar arasında çok olmasa da belirgin farklar görülmektedir; bunlardan belli başlı olanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

$$\text{Yerlici ve Ersoy (1995)} \quad f_{ctk} = 0,36 f_{ck}^{0,62}, \text{ Mpa} \quad (3.8)$$

$$\text{Arioğlu (1996)} \quad f_{ctk} = 0,32 f_{ck}^{0,66}, \text{ Mpa} \quad (3.9)$$

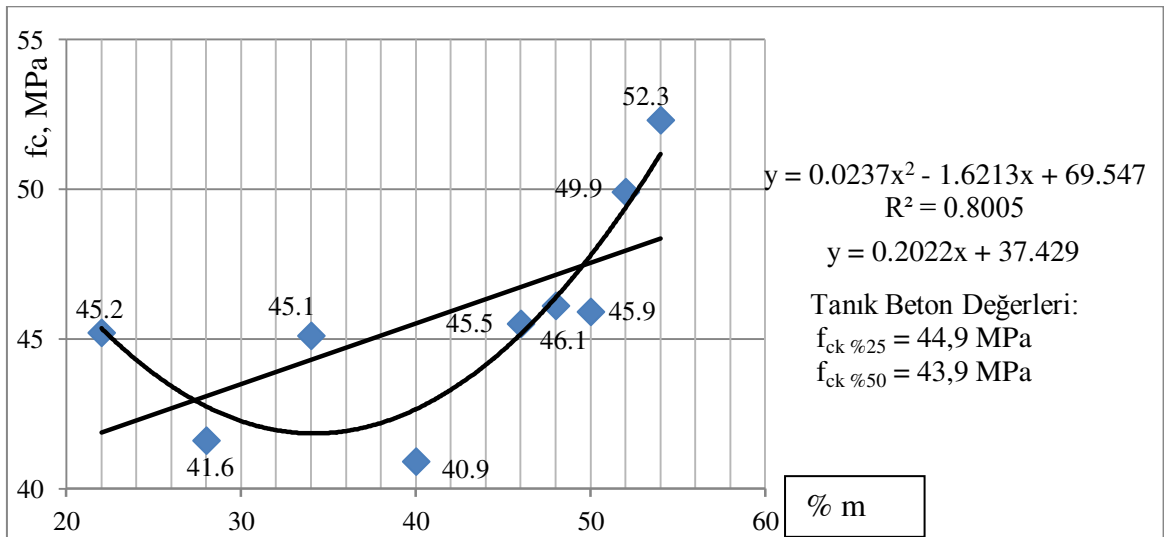
$$\text{(CEB – FIB 1993b)} \quad f_{ctk} = 0,30 f_{ck}^{0,67}, \text{ Mpa} \quad (3.10)$$

Deneylerde gerçekleştirilen betonun basınç ve yarmada çekme dayanımları arasında regrasyon analizi yapılmıştır. Regrasyon analizi sonucu korelasyon katsayısı $R=0,95$ olarak bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmada basınç dayanımları 40 Mpa'nın üzerinde çıkmış ve buna göre regrasyon analizi yapılmıştır.

$$\ddot{U}n, \quad f_{ctk} = 0,14 f_{ck}^{0,85}, \text{ MPa} \quad (3.11)$$

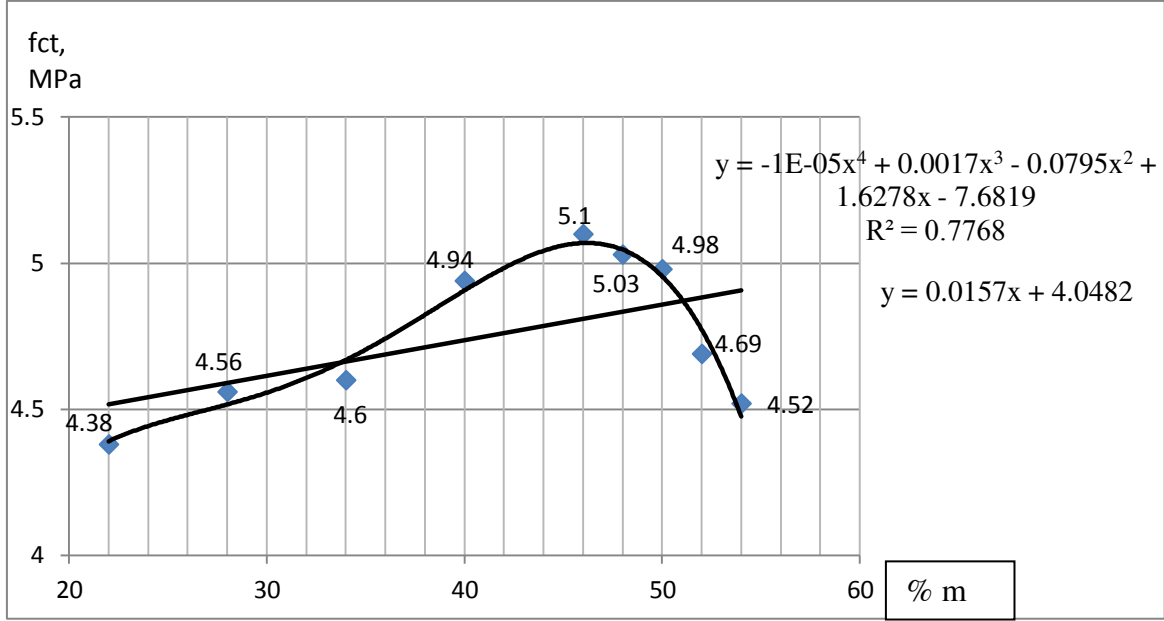
$$\text{Yapılan deneylerde, } f_{ctk} = 0,13 f_{ck}^{0,95}, \text{ Mpa} \quad (3.12)$$

Çalışmada gerçekleştirilen deneylerin sonucunun, $\ddot{U}n$ (Kırçıl, 2008) tarafından elde edilen denkleme ve katsayıya yakın olduğu görülmüştür. Buradan basınç dayanımı 40 MPa'ı geçen betonlar için TS 500'ün ön gördüğü 0,35 katsayısının geçersiz olduğu bir kere daha kanıtlanmış oldu.



Şekil 3.8. Basınç dayanımı ile dere kumu oranı arasındaki ilişki

Tezde gerçekleştirilen 11 deney dizisinden, Tanık Beton değerleri hariç geri kalan deneylerde dere kumu oranındaki değişime bağlı olarak beton basınç deneyindeki artış ve azalış gösterilmiştir (Şekil 3.8). Özellikle dere kumu oranındaki artışa bağlı olarak yükselen basınç dayanımını, ikisi arasındaki bu ilişkiyi gösteren (Şekil 3.8) doğrunun eğimi ile anlatmak isabetli bir yaklaşım olmaktadır; Bu da tez konusunda ortaya konulan savın çok önemli bir gerekçesini oluşturmaktadır.



Şekil 3.9. Yarmada çekme dayanımı ile dere kumu oranı arasındaki ilişki

Basınç dayanımındaki artış ve azalış (Şekil 3.9) karşısında yarmada çekme dayanımında zıt bir gelişme tespit edilmiştir. Kırmataş kumlu karışım olan 6. ve 11. deney dizisinde de basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasında da zıt bir gelişme vardır. Yine yarmada çekme deney sonuçlarının doğrusal izlemi, daha düşük bir eğimle sürdürülmüş olsa da, belirgin bir yükseliş ortaya koymakta (Şekil 3.9) ve kırmataş kumlu beton örneklerinden elde edilen tanık beton yarmada çekme dayanımlarına göre önemsenecek derecede bir düşüş göstermemiş olmaktadır.

3.4 Beton Birim Kütlesi ve Deney Sonuçları Arasındaki İlişki

Beton niteliğinin değerlendirilmesinde, gerek dayanıma ve geçirgenliğe etkisi gerekse yapı iskeleti üzerinde yük oluşturması bakımından beton yoğunluğu, diğer bir deyişle sıkı yapılı olmanın da bir göstergesi olarak bilinen beton birim kütlesi önemsenecek derecede bir büyüklüktür.

TS EN 1390–7 hedeflenen birim kütle düzeyinin, $\pm 100 \text{ kg/m}^3$ kadar aşılması ya da eksilmesi ile kabul edilebilir olduğunu bildirmektedir. Çalışmada birinci deney dizisinden beşinci deney dizisine kadar, artan dere kumu oranına bağlı olarak, kesin sürekli olmasa da her iki dayanım düzeyinde de yükseliş görülmektedir. Yine tam bir süreklilikle olmasa da

7. deney dizisinden 11.'ye kadar birim kütlede görülen azalmaya koşut olarak dayanımda da belli bir düşüşe tanık olunmaktadır. Yoğunluk düşüşü özellikle kırmataş agrega bileşiminin açıklanan nedenlerle yerleşme güçlüğü çıkarmasına bağlanabilir.

Yapılan serbest çökme kıvam deneylerinde ancak 3 cm'ye varabilen çökme yüksekliği gözlemlenebilmiştir; bu da tüm beton bileşenlerinin koyu kıvamda üretildiğini göstermektedir. Birim kütlenin tam bir süreklilik yükseliş göstermesinin bir nedeni de, şu halde kıvamla ilgili olup yerine yerleştirme güçlüğüne bağlanabilir. Bununla birlikte verilere yakından bakıldığında (Tablo 3.3) birim kütlede, dere kumu oranındaki artışa koşut olarak genel bir yükseliş olduğu da açık bir biçimde görülmektedir.

Diğer yandan % 50 kırmataş kumlu numuneden elde edilen 2,38 kg/dm³ düzeyindeki birim kütlenin düşüklüğü, bu malzeme ile sıkıştırma etkinliğinin dere kumu bileşeni ile erişilen değerin (2,45 kg/dm³) gerisinde kaldığını göstermektedir.

Sonuç olarak, gerek çizelgedeki verilere (Tablo 2.36 ve 3.1) gerekse grafiklere bakıldığında birim kütleyle bağlı olarak dayanım değerlerinde de genel bir yükseliş olduğunu söylemek olanaklı bulunmaktadır.

Tablo 3.3. Deneme karışımlarının yoğunluk değerleri

Deney No	Hedef Yoğunluk g / cm ³	7 ve 28 günlük numunelerin ortalama yoğunluğu g / cm ³	Uygunluk Sınırı
1	2,361	2,36	2,361 ± 0,1 Uygun
2	2,362	2,36	2,362 ± 0,1 Uygun
3	2,323	2,37	2,323 ± 0,1 Uygun
4	2,356	2,38	2,356 ± 0,1 Uygun
5	2,356	2,39	2,356 ± 0,1 Uygun
6	2,415	2,38	2,415 ± 0,1 Uygun
7	2,370	2,39	2,370 ± 0,1 Uygun
8	2,377	2,4	2,377 ± 0,1 Uygun
9	2,384	2,45	2,384 ± 0,1 Uygun
10	2,390	2,430	2,390 ± 0,1 Uygun
11	2,388	2,44	2,388 ± 0,1 Uygun

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada tez konusunun amacı doğrultusunda, farklı oranlarda dere kumu ekleyerek üretilen kırmataş agregalı beton bileşiminin gerek basınç gerekse yarmada çekme dayanımının seyri incelemeye alınmıştır. Toplam 88 küp deney numunesi on bir deney dizisine ayrılmış, bunlar da kendi oranlarında 7 günlük, 28 günlük sürelerden sonra basınç ve yarmada çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

1- Dayanım deney sonuçları arasındaki ilişkiler farklı bağıntılarla (3.8;3.9;3.10) açıklanmaya çalışılmış, bunlardan farklı olarak da basınç dayanımı ile yarmada çekme deney sonuçları arasında

$f_{ctk} = 0,13 \times f_{ck}^{0,95}$ ilişkisinin olduğu ortaya çıkmıştır.

2- Artan dere kumu oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımında parabol izlemine uygun biçimde (Şekil 3.8) önce bir düşüş, sonra da % 54 kum oranına karşılık 52,3 MPa düzeyinde bir yükseliş kaydedilmiştir.

3- Özdeş dere kumu oranlarıyla üretilen beton bileşimlerinde, elde edilen grafiksel ilişki (Şekil 3.9) farklı eğriselliklerle tanımlanabilirse de, % 45–50 arasında kum oranına karşılık 5,10 MPa sınırını aşabilen yarmada çekme dayanımı düzeyine erişilmiştir.

4- Anılan grafiksel ilişkiler, yaklaşık % 50 dere kumu oranıyla 50 MPa basınç dayanımı ve buna karşılık 5,0 MPa yarmada çekme dayanımı elde edilebileceğini göstermiştir.

5- Yine % 50 yalnız kırmataş kum ile üretilen, tümüyle kırmataş agregalı tanık beton bileşimi yaklaşık 45,0 MPa basınç dayanımı sonucunu vermiş olup bu sonuçla eşdeğer oranda yalnız dere kumu içeren bileşimin diyagramda gösterilen özdeş dayanım değerinin gerisinde kalmıştır. Kırmataş kumlu betonun 5,04 MPa yarmada çekme dayanımı ile karşılaştırılan dere kumu bileşimli betonun özdeş dayanımını aşabileceğini göstermiştir.

6- % 50 kum oranını yarı yarıya, dere kumu ve kırmataş ile paylaştıran ikinci tanık beton ise her iki dayanım çeşidinde de geri düzeyde kalmıştır.

7- Serbest çökme yüksekliği 3 cm'yi geçmeyen tüm beton bileşimleri koyu bir kıvamda işaret etmekle birlikte dere kumu oranındaki artışla, sürekli olmasa da 2,36 kg/m³'ten 2,40 kg/m³ düzeyine kadar (Tablo 3.3) birim kütlede ve buna koşut olarak dayanım değerlerinde bir yükseliş kaydedildiği görülmüştür.

Sonuç olarak kırmataş agregalı beton bileşimlerinde, 0–4 mm ince tane grubunun % 50'ye varan oranlarda yuvarlak ve daha kaygan olan dere kumuyla temsil edilmesini sağlamak, üretilen betonu genellikle yerleştirme kolaylığı dayanım yükseliği ve daha üstün geçirimsizlik özelliği ile donatmak demek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Buradan yola çıkarak değişen tane boyutuna uygun olarak su/bağlayıcı oranını ve çimento miktarını da değiştirerek benzer bileşimli betonlarla deneyler yapmak ve sonuçlarını karşılaştırmak gerektiği bu çalışmada anlaşılmaktadır. Özdeş biçimde kaba taneli dere malzemesi ile ince taneli kırmataş karışımlarında da ilginç sonuçlar elde edilebileceği düşünülmelidir.

Koyu kıvamda, özellikle de kırmataş bileşimli taze betonların kıvamını belirlemede “sıkıştırma yöntemine” başvurmanın, ilkesel olarak izlenmesi gereken bir yol olduğunu da burada belirtmek gerekir.

5. KAYNAKLAR

- Atahan, H.N, Taşdemir, M.A. ve Oktar O.N, Şubat 2003, Yüksek Dayanımlı Betonlarda Çimentonun Hamurunun Boşluk Yapısının Beton Özelliklerine Etkisi, İTÜ Dergisi, cilt 2, Sayı:1, syf 23–24.
- Atan, Y., 16-18 Kasım 2005, Yüksek performanslı betonlar, Prf. Dr. Yaşar Atan Anısına, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 6. Ulusal Beton Kongresi, Maslak, İstanbul.
- Arioğlu, E., 1996. Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki, Teknik Dergi, 7 (1), syf.1153 – 1157.
- Arioğlu, E. ve Girgin C., Ekim 1998, Uzun Süreli ve Değişik Kür Şartlarında Eğilme Dayanımı Bağlıları, Beton Prefabrikasyon Dergisi, <http://www.yildiz.edu.tr/zcgirgin/Awards/98erar.pdf>
- Cabrera, D.H. ve Irassar O., E.F., 2002 ‘High–Strength Concrete With Different Fine Aggregate’ Cement Concrete Research Vol.32, No.1, Page: 1755 – 1761.
- Çomak, B., 2007, ‘Isparta Yöresinde Çıkarılan ve Beton Üretiminde Agrega Olarak Kullanılan Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi’, Yüksek Lisans Tezi Yapı Eğitim Anabilim Dalı, Isparta.
- Doğangün, A., 2009, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsan Yayınevi III.Baskı, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y., 2003, Beton, Odtü Yayıncılık II. Baskı, İstanbul.
- Esenli, V., 1996, Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları, İTÜ Maden Fakültesi, Ulusal Kırmataş Sempozyumu, ISBN 975 – 395 – 196 – 5, İstanbul.
- Ersoy, U., ve Özcebe G., 2007, Betonarme, Evrim Yayınları, II. Baskı.
- Gönen, T., Yazıcıoğlu S., 2010, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özelliklerine Kür Ortamı ve Agrega Tipinin Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No:3, Sayfa 459–467.
- Iravani, S. 1996. Mechanical Properties of High Performance Concrete. ACI Material J.93(5) 416 – 426.
- Kassas, A.A., 1976, Studies on the Tensile Stength of Concrete, M.S. Thesis (supervised by T.Y. ERDOĞAN), Middle East Technical University, Ankara.
- Kırçıl, M.S., 2008/2009 Güz, Betonarme Ders Notları 1, Yıldız Teknik Üniversitesi
- MEGEP, Agrega Deneyleri ve Beton Deneyleri, 2006, Ankara, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/582YIM088.pdf

- Özdemir, M., 2006, 'Kayaç Mukavemetinin Beton Dayanımına Etkileri', Yüksek Lisans Tezi Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Özgan, E., 2008, University of Duzce e-Journal Of New World Sciences Academy, Volume :3, Number:4 Article Number : A0101.
- Rigan, J., 1981, ' Problems With Using Crushed Sand In Concrete Production, Building Materials, The Construction Pres, London, pp. 125-130.
- Scholz, W., Baustoffkenntnis, August 2007, Werner Verlag, Italy.
- Shergold, F.A. 1953. The Percentage Words In Compacted Grawel as a Measure of Its Angularity, May. Conc. Res.5, NO:13, p: 3–10.
- Skeriyelj, S.,2001, 'Kırmataşların Yol İnşaatlarındaki Kullanımının Değerlendirilmesi', Yüksek Lisans Tezi Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Taşdemir, C., Özyurt, N, Ertuğrul C. ve Kara G., Aralık 2003, Kırmakumun Beton Özelliklerine Etkisi Üzerinde Bir Değerlendirme, III. Ulusal Kırmataşı Sempozyumu 3–4, İstanbul.
- TS 206–1, 2002, Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, İnşaat İhtisas Grubu
- TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, İnşaat İhtisas Grubu
- TS 706-EN 126260 + A1, 2009, Beton Agregaları, Maden İhtisas Grubu.
- TS 802, 2009, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, İnşaat İhtisas Grubu.
- TS EN 12390–3, 2003, Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri–Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Teknik Grup.
- THBB, <http://www.thbb.org/>
- TS EN 12390–5, 2010, Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri–Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, İnşaat İhtisas Grubu.
- TS EN 12390–6, 2010, Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri–Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, İnşaat İhtisas Grubu.
- Tutmaz, Ş.İ. ve Karaman S., 2010, Tokat İli Merkez İlçesindeki Doğal Agregaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Tokat.
- Uğurlu, A.,1989, Beton Agregası Granülometrisinin Düzenlenmesi ve Önerilen bir Yöntem: Fuller Parabolü, D.S.İ. Teknik Bülteni, Sayı:69, Sayfa:45 – 49, Ankara.

- Ünal, O. ve Kürklü G., 2007, Öngerilmeli Beton Teknolojisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 23 – 35 syf. Afyonkarahisar
- Ünal, O., Uygunoğlu T. ve Çoşkun U., 2005, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi
Agrega Granülometrisinin Yüksek Performanslı Beton Özelliklerine Etkisi
Afyon Kocatepe, 13 – 20 sayfa.
- Yerlici, V. ve Ersoy, U. 1995. Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki, Teknik Dergi 6 (4) 1059 – 1062.
- Yüzer, N., ve Aköz F., 2005, Klorür Etkisindeki Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki, Teknik Dergi Vol.16, Issue, pp 3673–3681.

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Aslı

Soyadı: BÖKÜ

Baba adı: İsa

Ana adı: Sevim

Uşakta 1997 yılında Mehmetçik İlkokulundan, 2000 yılında Besim Atalay Ortaokulundan ve 2004 yılında İzzettin Çalışlar Lisesinden mezun oldu. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırdı. Bu bölümden 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında özel sektörde çalışmaya başladıktan sonra 2012 yılında Uşak Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

İletişim Bilgileri:

Uşak Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü,

Ev Tel : (0276) 223 21 39

e – posta adresi: b.asli@windowslive.com