



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DOĞAL NEHİR AGREGALARIYLA OLUŞTURULAN BETONLARDA
KIRILMA MEKANİZMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KÖSEKUL

**MART 2018
GÜMÜŞHANE**

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞAL NEHİR AGREGALARIYLA OLUŞTURULAN BETONLARDA
KIRILMA MEKANİZMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KÖSEKUL

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.02.2018
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 01.03.2018

MART 2018



KABUL ve ONAY



Yrd. Doç. Dr. Osman KARA danışmanlığında **Mustafa KÖSEKUL** tarafından hazırlanan **“DOĞAL NEHİR AGREGALARIYLA OLUŞTURULAN BETONLARDA KIRILMA MEKANİZMALARI”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Doç. Dr. Tufan ÇAKIR

Üye (Danışman)

:

Yrd. Doç. Dr. Osman KARA

Üye

:

Yrd. Doç. Dr. Fatih YILMAZ

ONAY

Bu tez 04.04.18 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

:

Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 15.F5110.02.01

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Doğal Nehir Agregalarıyla Oluşturulan Betonlarda Kırılma Mekanizmaları”** isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

05/02/2018

Mustafa KÖSEKUL



ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL NEHİR AGREGALARIYLA OLUŞTURULAN BETONLARDA
KIRILMA MEKANİZMALARI

Mustafa KÖSEKUL

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman KARA

2018, 89 sayfa

Beton; ekonomik, kolay işlenebilir ve dayanıklı olması sebebiyle inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesidir. İhtiyaca göre sürekli yenilenen ve geliştirilen bir malzeme olmasına karşın günümüzde bile tam anlamıyla çözülememiştir.

Bu çalışmada dört farklı doğal nehir agregasının petrografik ve kimyasal yapılarıyla birlikte beton kırılma mekanizmalarına etkileri araştırılmıştır. Araştırmaya konu dört farklı agrega kaynağına ait üçer farklı tane sınıfları ve iki farklı dayanımda çimento kullanılarak 24 farklı seride beton üretilmiştir. Üretilen beton numunelerin yoğunlukları, basınç dayanımları ve kırılma şekilleriyle bunların sayıları incelenerek betonlarda oluşan kırılma mekanizmalarına etki eden agrega özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çimento mukavemeti arttıkça betonun mukavemetinin de arttığı görülmüştür. Agregadaki

silis ve alümin oranı belirli bir düzeye kadar yüksek olan agregalarla çimento hamuru ara yüzeyinde daha iyi bir bağlanma meydana geldiği beton mukavemeti artışlarından anlaşılmaktadır. Tüm betonlarda aderans sökûlmelerinin tanecik kırılmalarından fazla olması beton dayanımlarında belirleyici mekanizmanın aderans sökûlmesi olduğuna işaret etmektedir. Özellikle CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların tanecik kırılma sayıları incelendiğinde, burada en fazla farklılık gösteren iki malzemenin Harşit ve Aksu malzemeleri olduğu görülmüştür. Bu malzemeler, petrografik içerik bakımından ise en çok granit oranlarında farklılık göstermektedir. Bu çalışma sonucunda, agregaların petrografik ve kimyasal yapılarının, agrega ve beton dayanımlarında fazlasıyla etkili olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agregas, Beton, Doğal Nehir Agregaları, Petrografi

ABSTRACT
MS THESIS

FRACTURE MECHANISMS IN CONCRETE CREATED BY
NATURAL RIVER AGGREGATES

Mustafa KÖSEKUL

Gümüşhane University
Institute of Science and Technology
Department of Civil Engineering

Advisor: Asst. Assoc. Dr. Osman KARA

2018, 89 pages

Concrete is the most used building material in the construction sector because it is economical, easily processable, and durable. Although it is a constantly renewed and developed material according to needs, even today it has not yet been fully deciphered and understood.

In this study, petrographic and chemical structures of four different natural river aggregates and their effects on concrete fracture mechanisms were investigated. 24 different types of concrete were produced by using three different grain classes and two different strength grade cement from four different aggregate sources investigated in this study. The densities, compressive strengths and fracture shapes of the concrete specimens were analyzed and the properties of the aggregates affecting the fracture mechanisms that

occurred in the concrete were investigated. Based on the tests conducted, it was found that the strength of the concrete increased as the strength of the cement increased. It was understood from the increase in the concrete strength that a better adhesion occurred between aggregates with a higher ratio of silica and alumina content up to a certain extent and cement clay interface. The fact that adherence deterioration occurred more than particle fracture in all concrete specimens indicated that the definitive mechanism in concrete strength was adherence deterioration. Particularly fracture numbers of concretes produced with CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R class cement in particular were examined, it was seen that the two materials that differed most in this were Harşit and Aksu materials. These materials vary in their granite proportions in terms of petrographic content. In this study, it has been understood that petrographic and chemical structures of aggregates are highly effective in aggregate and concrete strengths.

Keywords: Aggregate, Concrete, Natural River Aggregates, Petrography

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Osman KARA'ya, agrega numunelerinin petrografik ve kimyasal analizlerinin yapılmasında büyük emeği geçen Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU'na (Ankara Üniversitesi), deneysel çalışmaların yapılmasında laboratuvar kapılarını süresiz kullanıma açan ve buradaki tüm ekipmanlardan faydalanmamı sağlayan İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanımıza sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen eşime, beni bu günlere getiren, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi yanımda olan annem ile babama sonsuz şükranlarımı sunarım.

15.F5110.02.01 numaralı proje kapsamında çalışmaya maddi destek sağlayan Gümüşhane Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Mustafa KÖSEKUL
Gümüşhane, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Beton Bileşenleri	2
1.1.1. Çimento	2
1.1.2. Karışım Suyu	3
1.1.3. Agregası	3
1.2. Betonun Kırılması	4
1.3. Beton Basınç Dayanımı	5
1.4. Beton Dayanımına Etki Eden Unsurlar	6
1.5. Aderans Bölgesinde Meydana Gelen Bağlanma Çeşitleri.....	7
1.6. Ülkemizde Yapı Malzemelerine Yönelik Ürün Denetimlerinin Tarihçesi.....	8
1.7. Önceki Çalışmalar	8
1.8. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	13
2. MATERYAL VE YÖNTEM	14
2.1. Agregası	14
2.1.1. Numune Alma	14
2.1.2. Deney Numunesi Oluşturma	15
2.1.3. Petrografik ve Kimyasal Analiz	16
2.1.4. Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini (Elek Analizi).....	16
2.1.5. Yüzey Nemi Oranının Tayini	18

Sayfa No

2.1.6. Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini	19
2.1.6.1. İnce Agregada Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini	19
2.1.6.2. İri Agregada Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini	21
2.1.7. Birim Ağırlıkların Tayini	23
2.1.7.1. Sıkışık Birim Ağırlık Tayini	23
2.1.7.2. Gevşek Birim Ağırlık Tayini	25
2.2. Çimento	26
2.3. Karışım Suyu	27
2.4. Beton.....	27
2.4.1. Beton Karışımlarının Hesap ve Tasarımları	27
2.4.2. Beton Numunelerinin Hazırlanması	32
2.4.3. Sertleşmiş Betonda Yoğunluk Tayini	35
2.4.4. Beton Basınç Dayanımının Tayini	35
2.4.5. Beton Numunelerde Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi	37
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	42
3.1. Agregada	42
3.1.1. Petrografik Analiz Sonuçları	42
3.1.2. Kimyasal Analiz Sonuçları	45
3.1.3. Tane Büyüklüğü Dağılımı	48
3.1.4. Yüzey Nemi Oranı.....	60
3.1.5. Özgöl Ağırlık.....	61
3.1.5.1. İnce Agregada Özgöl Ağırlık	61
3.1.5.2. İri Agregada Özgöl Ağırlık	62
3.1.6. Su Emme Oranı	63
3.1.7. Porozite.....	64
3.1.8. Birim Ağırlık	65
3.1.8.1. Sıkışık Birim Ağırlık	65
3.1.8.2. Gevşek Birim Ağırlık	65

3.2.	Çimento	66
3.3.	Beton.....	68
3.3.1.	Sertleşmiş Betonda Yoğunluk	68
3.3.2.	Basınç Dayanımı	71
3.3.3.	Kırılma Yüzeylerinde Oluşan Kırılma Şekilleri	76
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	82
5.	KAYNAKLAR.....	85
6.	EKLER	90
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Agrega kaynaklarından numune alınması ve taşınması	15
Şekil 2.2. Deney numunelerinin oluşturulması	16
Şekil 2.3. Tane büyüklüğü dağılımı tayini deneyinde gerçekleştirilen işlemler	18
Şekil 2.4. Deney numunelerinin doygun kuru yüzey durumuna getirilmesi	18
Şekil 2.5. Özgül ağırlık ve su emme oranı tayini deneyinde gerçekleştirilen işlemler	23
Şekil 2.6. Sıkışık birim ağırlık tayini deneyinde gerçekleştirilen işlemler.....	25
Şekil 2.7. Beton numunelerin hazırlanması ile ilgili işlemler	34
Şekil 2.8. Sertleşmiş betonda yoğunluk tayini deneyinde yapılan işlemler	35
Şekil 2.9. Küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri	36
Şekil 2.10. Beton basınç dayanımı tayini için gerçekleştirilen işlemler.....	37
Şekil 2.11. Beton basınç dayanımı tayininde kullanılan deney makinası programı arayüzü.....	38
Şekil 2.12. Tane sınıfı 4/8 mm olan agregalarla üretilmiş beton numunesine ait kırılma şekillerinin işaretlenmiş olduğu görüntü	39
Şekil 2.13. Tane sınıfı 8/16 mm olan agregalarla üretilmiş beton numunesine ait kırılma şekillerinin işaretlenmiş olduğu görüntü	40
Şekil 2.14. Tane sınıfı 16/32 mm olan agregalarla üretilmiş beton numunesine ait kırılma şekillerinin işaretlenmiş olduğu görüntü	41
Şekil 3.1. Harşit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait gronülometri eğrisi	48
Şekil 3.2. Harşit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait gronülometri eğrisi	49
Şekil 3.3. Harşit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait gronülometri eğrisi	50
Şekil 3.4. Kelkit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait gronülometri eğrisi.....	51
Şekil 3.5. Kelkit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait gronülometri eğrisi.....	52
Şekil 3.6. Kelkit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait gronülometri eğrisi.....	53
Şekil 3.7. Aksu Nehri agrega numunelerinin A kısımlarına ait gronülometri eğrisi.....	54

Şekil 3.8. Aksu Nehri agrega numunelerinin B kısımlarına ait gronülometri eğrisi	55
Şekil 3.9. Aksu Nehri agrega numunelerinin C kısımlarına ait gronülometri eğrisi	56
Şekil 3.10. Erkenez Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait gronülometri eğrisi.....	57
Şekil 3.11. Erkenez Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait gronülometri eğrisi.....	58
Şekil 3.12. Erkenez Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait gronülometri eğrisi.....	59
Şekil 3.13. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama yoğunlukları	70
Şekil 3.14. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama yoğunlukları	70
Şekil 3.15. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama basınç dayanımları.....	74
Şekil 3.16. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama basınç dayanımları.....	74
Şekil 3.17. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda aderans sökülmesi sayıları.....	78
Şekil 3.18. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda aderans sökülmesi sayıları.....	78
Şekil 3.19. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda agrega kırılması sayıları.....	79
Şekil 3.20. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda agrega kırılması sayıları.....	79

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Özgöl ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları.....	19
Tablo 2.2. Birim ağırlık tayini deneyinde kullanılacak ölçü kabı boyutları.....	24
Tablo 2.3. Beton serilerine ait kodların tanımları.....	28
Tablo 2.4. Tüm beton serileri için beton bileşenlerinin miktarları.....	31
Tablo 3.1. Agregaların modal bileşim yüzdeleri	43
Tablo 3.2. Agregaların kimyasal bileşim yüzdeleri.....	46
Tablo 3.3. Harşit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	48
Tablo 3.4. Harşit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	49
Tablo 3.5. Harşit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	50
Tablo 3.6. Kelkit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	51
Tablo 3.7. Kelkit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	52
Tablo 3.8. Kelkit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	53
Tablo 3.9. Aksu Nehri agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	54
Tablo 3.10. Aksu Nehri agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	55
Tablo 3.11. Aksu Nehri agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı	56
Tablo 3.12. Erkenez Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı.....	57
Tablo 3.13. Erkenez Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı.....	58
Tablo 3.14. Erkenez Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı.....	59
Tablo 3.15. Agregaların yüzey nemi oranları.....	60
Tablo 3.16. İnce agregaların özgül ağırlıkları	61
Tablo 3.17. İri agregaların özgül ağırlıkları	62
Tablo 3.18. Agregaların su emme oranları	63

Tablo 3.19. Agregaların poroziteleri	64
Tablo 3.20. Agregaların sıkışık birim ağırlıkları	65
Tablo 3.21. Agregaların gevşek birim ağırlıkları	66
Tablo 3.22. Kullanılan çimentolarda ana bileşenlerin çimento kütlesinin yüzdesi cinsinden miktarları.....	66
Tablo 3.23. Kullanılan çimentolarda kimyasal bileşenlerin çimento kütlesinin yüzdesi cinsinden miktarları.....	67
Tablo 3.24. Kullanılan çimentoların mekanik özellikleri.....	67
Tablo 3.25. Kullanılan çimentoların fiziksel özellikleri.....	67
Tablo 3.26. Beton numunelerin suya doygun durumdaki kütleleri	68
Tablo 3.27. Beton numunelerin suya doygun durumdaki yoğunlukları	69
Tablo 3.28. Beton numunelerin kırılma yükleri	72
Tablo 3.29. Beton numunelerin basınç dayanımları.....	73
Tablo 3.30. Kırılma yüzeylerinde oluşan kırılma şekillerinin miktarları	77

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Beton karışım hesaplarında kullanılan toplam hava muhtevası
AK	: Agreganın kırılması
AS	: Aderans sökülmesi
A-4/8-32.5	: Aksu Nehri'ne ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
A-8/16-32.5	: Aksu Nehri'ne ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
A-16/32-32.5	: Aksu Nehri'ne ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
A-4/8-42.5	: Aksu Nehri'ne ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
A-8/16-42.5	: Aksu Nehri'ne ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
A-16/32-42.5	: Aksu Nehri'ne ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
B _g	: Agreganın gevşek birim ağırlığı
B _s	: Agreganın sıkışık birim ağırlığı
ç	: Beton karışımına girecek çimento kütlesi
D _s	: Beton numunesinin suya doygun durumdaki yoğunluğu
E-4/8-32.5	: Erkenez Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
E-8/16-32.5	: Erkenez Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
E-16/32-32.5	: Erkenez Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
E-4/8-42.5	: Erkenez Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
E-8/16-42.5	: Erkenez Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
E-16/32-42.5	: Erkenez Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
H-4/8-32.5	: Harşit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
H-8/16-32.5	: Harşit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
H-16/32-32.5	: Harşit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
H-4/8-42.5	: Harşit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
H-8/16-42.5	: Harşit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
H-16/32-42.5	: Harşit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
K-4/8-32.5	: Kelkit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
K-8/16-32.5	: Kelkit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi

K-16/32-32.5	: Kelkit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
K-4/8-42.5	: Kelkit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
K-8/16-42.5	: Kelkit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
K-16/32-42.5	: Kelkit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
m	: Agreganın su emme oranı
M ₁	: Deney numunesinin deney başlangıcındaki ağırlığı
M ₂	: Deney numunesinin doymuş kuru yüzey durumundaki ağırlığı
m _s	: Beton numunesinin suya doymuş durumundaki kütlesi
n	: Agreganın yüzey nemi oranı
p	: Agreganın porozitesi
s	: Beton karışımına girecek su kütlesi
s/ç	: Betonda su/çimento oranı
V	: Ölçü kabının iç hacmi
V _a	: Beton karışımına girecek agrega hacmi
W _a	: Beton karışımına girecek agrega kütlesi
W ₁	: Agrega numunesinin etüv kurusu ağırlığı
W ₂	: Agrega numunesinin doymuş kuru yüzey durumundaki ağırlığı
W ₃	: Ölçü kabı, su ve agrega numunesinin toplam ağırlığı
W ₄	: 500 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı
ρ _a	: Beton karışımına girecek agreganın özgül ağırlığı
ρ _ç	: Beton karışımına girecek çimentonun özgül ağırlığı
θ _d	: Agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı
θ _g	: Agreganın görünen özgül ağırlığı
θ _k	: Agreganın kuru özgül ağırlığı

1. GENEL BİLGİLER

İnsanlar, barınma ve diğer pek çok ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli yapılar inşa etmektedirler. Yapıdan beklenen dayanım, dayanıklılık ve diğer niteliklerin sağlanabilmesi ise yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerinin iyi tanınmasıyla birlikte yapı kullanım amacı ve kullanım yerine göre uygun malzemenin seçilmesi ile mümkündür. Günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesi betondur.

Beton; çimento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla katılaştan, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir (Şimşek, 2007).

Betonun ilk bulunuş tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte beton teknolojisinin tarihi yaklaşık olarak 1845 yılına kadar dayanmaktadır. Çimentonun patenti, bir duvarcı ustası tarafından 1824 yılında alınmıştır. İlk betonarme yapı ise 1852 yılında inşa edilmiştir. Betonla ilgili ilk şartnameler, 1904 yılında ABD’de ve 1906 yılında Almanya’da hazırlanmıştır. Türkiye’de ise ilk betonarme yapı, 1920 yılında inşa edilmiştir. Betonla ilgili en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların geliştirilmesi, 1950-1960 yılları arasında olmuştur. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, ekipman kalitesinin sürekliliği, kalite kontrol deneyleri, ekonomisi, olumsuz şartlarda beton dökümü, katkı maddeleri ve yeni malzemelerle ilgili konularda büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Son yıllarda kimyasal katkı maddelerindeki gelişmeler, puzolanik katkı maddelerinin öneminin anlaşılmasıyla beton karışımında kullanılması, betonda lif kullanılması ve betona vakum uygulanması ile betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir (Şimşek, 2007).

Beton, en fazla betonarme inşaatlarda kullanılmaktadır (Taymaz, 1995). Betonarme, malzeme olarak beton ve donatıdan meydana gelen bir yapı elemanıdır. Betonarmeden bahsedebilmek için ise bu iki malzemenin kendinden beklenen davranışı sergileyecek şekilde birliktelik oluşturması zorunludur. Bu da beton ve donatının istenen özelliklere sahip olmasıyla birlikte aralarındaki kenetlenmenin (aderansın) tam olmasıyla mümkündür (Doğangün, 2007).

Betonarme yapıların, diğer yapılara göre üstün tarafları; rijitliğinin fazla olması, ucuz olması, yangına dayanıklı olması, dış etkilere dayanıklı olması, ömrünün uzun olması, elemanlara istenen şeklin verilebilmesi, bakımının kolay olması, elemanların birleşme

sorununun olmaması, dayanımının yüksek olması ve işçi bulmanın kolay olması şeklinde sıralanabilmektedir (Doğangün, 2007). Ülkemizde betonarme inşaatın çok yaygın olduğu bilinmektedir. Betonarme inşaatın yaygın olmasının en önemli nedenlerinden biri de, betonu oluşturan agrega ve çimentonun bol miktarlarda bulunması ve ucuza temin edilebilmesidir. Betonarme inşaatın yaygın olmasına bağlı olarak ülkemizde betonarme konusunda yetişmiş eleman sayısının yeterli sayıda olduğu ve bu elemanların diğer ülkelerden iş alabilecek kadar vasıflı oldukları da bir gerçektir (Kara, 2000).

İstenilen kalitede bir beton elde edilebilmesi için öncelikle, beton yapımında kullanılacak agreganın, çimentonun, karışım suyunun ve katkı maddelerinin özelliklerinin belirlenmesi ve bu malzemelerin beton karışımında hangi oranlarda kullanılacağına doğru olarak hesaplanması gerekmektedir (Erdoğan, 2010).

1.1. Beton Bileşenleri

Bu çalışmada hazırlanan beton karışımlarında; çimento, karışım suyu ve doğal nehir agregaları kullanılmıştır. Beton bileşenlerinden bahsederken de bu husus dikkate alınmıştır.

1.1.1. Çimento

Su ile ıslatıldığında hidrasyon olayı sonucu sertleşerek bir daha yumuşamayan hidrolik bağlayıcılara çimento denir (Güner ve Süme, 2000). Çimento denilince ilk akla gelen portland çimentosudur. Portland çimentosu esas olarak, killi ve kalkerli maddelerin belirli oranlarda karıştırılması ve yaklaşık 1400-1500 °C sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen klinkerin, uygun oranlarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle oluşmaktadır. Portland çimentosunun üretim teknolojisinde günümüze kadar birçok değişimler olsa da bileşimi neredeyse aynı kalmıştır. Son yıllarda doğal ve yapay birçok puzolanik madde değişik oranlarda klinkere katılarak, portland çimentosuna göre daha farklı özellikler taşıyan çimentolar üretilmiştir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Beton içerisinde çimentonun görevi, agrega tanelerini birbirine bağlamak suretiyle beton bünyesinde aderans ve kohezyonu sağlayarak betona mekanik mukavemet kazandırmaktır. Çimento, agrega tanelerine yapışarak bu taneleri sıkıca bağlar. Bu sayede beton geçirimsizliği de esas olarak çimento tarafından sağlanmaktadır (Yalçın ve Gürü, 2006). Beton içerisinde, agrega taneleri arasındaki boşlukları dolduracak miktarda, çimento hamuru bulunmalıdır (Şimşek, 2007). Beton karışımında kullanılan çimentonun cinsi ve miktarı beton kalitesine doğrudan etki yapmaktadır (Yalçın ve Gürü, 2006).

1.1.2. Karışım Suyu

Beton karışım suyu, beton karışımı hazırlanırken, karışım içerisine doğrudan katılan su ile agrega rutubeti yoluyla beton bünyesine giren toplam su miktarıdır (Şimşek, 2007). Karışım suyu, çimentonun hidratasyonunu sağlamakla birlikte agrega tanelerini ıslatarak karışımın işlenebilirliğini de temin etmektedir. Ancak agrega yüzeylerini ıslatacak ve çimentonun hidratasyonunu sağlayacak miktardan fazla su kullanılması halinde üretilen betonun mukavemeti azalacaktır. Suyun miktarının gerekenden az olması halinde de beton mukavemeti düşük olacaktır (Güner ve Süme, 2000). İçerisinde, beton özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek şekilde yabancı ve zararlı maddeler barındırmayan bütün doğal kaynaklı sular beton üretiminde kullanılabilir (Şimşek, 2007).

1.1.3. Agrega

Doğal veya yapay mineral malzemenin genel itibariyle 100 mm tane büyüklüğüne kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış veya kırılmamış tanelerine agrega denilmektedir (Ekmekyapar ve Örüng, 1997). Betonun, hacimsel olarak yaklaşık %70'ini agrega oluşturmaktadır. Agrega, hem betonun genel performansını hem de diğer beton bileşenlerinin performansını etkileyen bir malzemedir (Güneyli, 2010). Agrega; sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, kendi dayanımının yüksek olması sebebiyle beton için gerekli dayanımın elde edilmesine yardımcı olmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmaktadır. İçerisinde agrega bulunan harç, sadece çimento hamurundan oluşan bir sisteme göre çok daha az miktarda hacim değişikliği göstermektedir. Buna göre; çimento hamurunun zamanla kuruyarak büzülmesi ve çatlaması agrega tarafından belirli bir ölçüde önlenmiş olmaktadır (Erdoğan, 1995).

Agregalar birçok özelliğine göre sınıflandırılabilir. Agregalar için genel olarak yapılan sınıflandırmalar aşağıda gösterilmiştir.

- 1) Kaynağına göre; doğal ve yapay.
- 2) Özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre; normal ağırlıklı, hafif ve ağır.
- 3) Tane büyüklüğüne göre; iri ve ince.
- 4) Tane şekline göre; yuvarlak, köşeli, yassı ve uzun.
- 5) Yüzey dokusuna göre; düzgün, granüler, pütürlü, kristalli ve petekli.
- 6) Elde edilişlerine göre; doğal, yan ürün ve ısıtma tabii tutulmuş.
- 7) Jeolojik orijinlerine göre; volkanik, tortul ve metamorfik.

- 8) Mineralojik yapılarına göre; silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı vb.
- 9) Reaktif özelliklerine göre; reaktif ve reaktif olmayan.

Bu şekilde yapılan sınıflandırmalar arasında genellikle en çok kullanılanlar ilk dört sırada yer alan sınıflandırmalardır (Erdoğan, 2010).

Doğal agregalar; deniz ve göl kenarlarından, eski buzul yataklarından, nehir yataklarından, teraslardan ve taş ocakları gibi doğal kaynaklardan elde edilen kırma, eleme ve yıkama işlemleri dışında doğadaki yapılarında herhangi bir değişikliğe yol açacak bir işleme tabi tutulmamış olan agregalardır. Kum, çakıl ve kırmataş en çok kullanılan doğal agregalardır. Hafif beton üretiminde kullanılan pomza taşı ve bims gibi hafif agregalar ile ağır beton üretiminde kullanılan magnetit, barit, hematit gibi demir cevherinin kırılmasıyla elde edilen ağır agregalar da doğal agrega sınıfına girmektedir (Erdoğan, 2003).

Nehir yataklarındaki agrega ocakları çok rastlanan ve genellikle en fazla arzu edilen agrega kaynaklarıdır. Bunun nedenleri ise;

- Parçalar genellikle yuvarlaktır.
- Akıntıdan dolayı agregalar ufalanarak uygun bir granülometriye sahip olmaktadır.
- Sürüklenme sırasında meydana gelen aşınmalar zayıf parçaların kısmen elenmesini sağlamaktadır.
- Doğal agregalardan en iyi malzemeler bu şekilde elde edilenlerdir. Bunlar, temiz ve düzgün tanelerden oluşmaktadır (Güner ve Süme, 2000).

1.2. Betonun Kırılması

Beton, farklı yönlerde etki yapan statik ve/veya dinamik yüklere (kuvvetlere) maruz kalabilmekte ve bu yüklere karşı koyabilmek için direnç göstermektedir. Doğal olarak, üzerine gelen yükün etkisiyle betonda bir miktar şekil değişikliği meydana gelmektedir. Bu yüklerin büyüklüğü arttıkça betondaki şekil değiştirmelerin miktarı da artmakta ve betonun bu yükleri taşıyabilmesi için daha çok direnç göstermesi gerekmektedir. Şayet, betonun maruz kaldığı yüklerin büyüklüğü, betonun taşıma gücü kapasitesinden daha büyük boyutlara ulaşır ise, çok büyük şekil değişiklikleri yer almakta ve beton kırılmaktadır (Erdoğan, 2010). Betonun kırılması, hacimsel şekil değiştirme süresince absorbe edilen kayma şekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama; çimento hamurunun göçmesi, agreganın kırılması ya da agrega-çimento hamuru arasındaki aderansın göçmesi ile başlayabilir (Taylor, Tai ve Ramey, 1975).

Kırılma mekanizmasına birçok faktör etki etmektedir. Ancak, çimento ve agreganın iki farklı malzeme olması nedeniyle bu iki malzemenin birbirine temas yüzeyleri boyunca bağlanmaları sonucu beton içyapısında farklı oluşumlar yaratmaları doğaldır. Çekme ya da basınç etkisindeki beton ya da harç numunelerin kırılma yüzeyleri, agreganın dayanımı az olmamak koşuluyla, genellikle agrega çevresini takip etmektedir. Diğer bir deyişle, kırılma, agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki aderans bölgesinde meydana gelmektedir. Bu olayın açıklaması üç şekilde yapılabilmektedir:

- Agregalarla çimento hamuru arasındaki aderans, dayanımı düşük bir hamurla sağlanmış olabilir.
- Aderans bölgesi çok büyük gerilmelere maruz kalmış olabilir.
- Aderans bölgesinde çok sayıda süreksizlik olabilir.

Bir betonda bu üç açıklama aynı anda da geçerli olabilir (Uğurlu, 1999; Pul, 2000).

1.3. Beton Basınç Dayanımı

Betonun mekanik dayanımları arasında en çok inceleneni, değeri en büyük olanı bir anlamda en önemlisi basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı, betonun birçok olumlu niteliğiyle doğru orantılı olduğundan karışım hesapları yapılırken de en önemli faktör olarak dikkate alınır. Yüksek basınç dayanımına sahip bir beton doludur, su geçirmez ve dış etkilere karşı dayanıklıdır (Akman, 1987; Özkul vd., 1999).

Beton basınç dayanımına etki eden faktörler; su/çimento oranı, çimento dozajı, çimento dayanımı, agrega dayanımı ve granülometrisi, agreganın fiziksel ve kimyasal özellikleri şeklinde sıralanabilmektedir (Arslan, 2001; Yaşar vd., 2003). Agreg-a-çimento hamuru ara yüzeyi, betonun basınç dayanımı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Agreg-a-çimento hamuru arasındaki aderans ise; agreganın şekline, yüzey yapısına, tane boyutuna, kimyasal ve petrografik yapısına göre değişebilmektedir (Lang, 1943). Agreganın kimyasal ve petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton basınç dayanımına etkisi büyüktür (Şengül vd., 2003).

1.4. Beton Dayanımına Etki Eden Unsurlar

Çimento hamurundan ve bu hamur içerisinde gömülmüş olan agrega tanelerinden oluşan betonun yük altında kırılması, çimento hamuru veya agreganın yeterli direnci gösterememesinden ya da çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın yeterince yüksek olmamasından kaynaklanmaktadır. Buna göre, betonun dayanımı aşağıda sıralanmış olan dayanımların büyüklüklerine bağlıdır:

Çimento hamurunun dayanımı: Bağlayıcı bir malzeme olan çimento hamuru, agrega yüzeylerini kaplamakta, agrega tanelerinin arasındaki boşlukları doldurmakta ve agrega taneleri ile aderans kurarak betonun tek bir malzeme gibi davranmasını sağlamaktadır. Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımının yüksek olmaması halinde, betona uygulanan yükler karşısında, çatlama ve kırılmaların oluşması bu malzemeden başlayacaktır.

Agreganın dayanımı: Beton karışımında kullanılan agregaların sert, dayanıklı ve temiz olmaları, mümkün olabildiği kadar reaktif silis ve reaktif karbonat içermemeleri gerekmektedir. Normal ağırlıklı beton üretiminde kullanılan agregalar, genellikle çimento hamurunun dayanımından daha yüksek dayanıma sahiptirler. Ancak, beton karışımında kullanılan agregalar düşük dayanımlı ve kolayca kırılabilir türde ise, uygulanan yükler altında betonda meydana gelebilecek çatlama ve kırılma, iri agrega tanelerinin kırılmasıyla başlayacaktır.

Çimento hamuru ve agrega taneleri arasındaki aderansın dayanımı: Sertleşmiş betondaki kırılmanın başladığı en zayıf bölgeler, iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yüzeylerdir. Yüzey dokusu pütürlü agregalarla üretilen betonların dayanımları, düzgün yüzeyli agregalarla üretilen betonların dayanımından daha yüksek olabilmektedir (Neville, 1981; Özkul vd., 1999; Özişik, 2000).

Bu faktörlerin her birinin çeşitli sınıflardaki betonların dayanımlarına etkileri farklıdır. Ancak, agrega-çimento hamuru ara yüzeyi beton dayanımı için en zayıf halka olarak kabul edilmektedir (Kayaturan, 2010).

Agrega yüzeyinde bulunan ince ve yabancı maddeler, betonun birçok özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu maddelerin, betonda aderansı azaltması, prize ve sertleşmeye etki etmesi, mukavemeti düşürmesi ve çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açması gibi etkilerinin olabileceği bilinmektedir (Korkanç ve Tuğrul, 2003).

Taze betonun katılaşmasından sonraki durumuna sertleşmiş beton denilmektedir. Dolayısıyla, sertleşmiş betondan beklenen performans, önemli ölçüde taze beton özelliklerine bağlı kalmaktadır. Ancak, sertleşmiş beton özelliklerini büyük ölçüde etkileyen

başka faktörler de bulunmaktadır. Bunlar; taze betonun uygun tarzda taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzgünleştirilmesi ve kür edilmesi işlemleridir. Sertleşmiş betondan beklenen dayanımın ve diğer özelliklerin sağlanabilmesi için bu işlemlerin de uygun şekilde yerine getirilmesi gerekmektedir (Erdoğan, 2003).

1.5. Aderans Bölgesinde Meydana Gelen Bağlanma Çeşitleri

Agrega ile çimento hamuru arasında üç farklı bağlanmadan söz edilebilir:

1) Mekanik bağlanma: Agreganın yüzey dokusu sebebiyle ortaya çıkan bir bağlanma şeklidir. Beton karışımında boşluklu veya yüzeyi pürüzlü agregalar kullanılması halinde, agreganın girintilerine çimento hamuru girebilir ve/veya agreganın çıkıntıları çimento hamuruna bataabilir. Bu sayede agreganın ile çimento hamuru arasında kamalanma şeklinde bir kenetlenme meydana gelir. Mekanik bağlanma, esasen agreganın özgül yüzeyine bağlıdır. Girintili-çıkıntılı bir yüzeye sahip agreganın, çimento hamuruyla temas ettiği alan diğer agregalara göre daha fazladır. Agreganın ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi büyüdükçe mekanik bağlanmada artış meydana gelebilmektedir (Zhong ve Gjorv, 1990; Uğurlu, 1999).

2) Epitaksik bağlanma: Nadiren ve küçük ölçekte gerçekleşebilen bir aderans türüdür. Çimentonun hidratasyonu sırasında bazı kristal yapıları bileşenler ilk önce çökerek agreganın yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplamaktadır. Şayet, çökelen bu ince tabakanın kristal yapısı ile agreganın kristal yapısı birbirine uygunsa, bu yapılar aralarında süreklilik oluşturarak küçük ölçekte bir aderansın çıkmasına neden olurlar. Bu tip bir bağ kireçtaşı agregalar kolayca gerçekleştirirler (Oktar, 1977).

3) Kimyasal bağlanma: Bazı agregalar, kimyasal (minerolojik) yapıları nedeniyle çimento hamuru ile reaksiyona girerek aralarında bir bağ oluşumunu meydana getirirler. Buradaki reaksiyon pozolanik bir reaksiyondur. Bu tip bağlanma, bazen epitaksik bağlanma içerisinde de değerlendirilmektedir. Beton karışımında, traslı çimento kullanılması durumunda eğer ortamda silisli ve alüminli agreganın varsa yine benzer reaksiyonların sonucu daha iyi bir bağlanma meydana gelmektedir (Shah, Lange, Li ve Mitsui, 1994).

1.6. Ülkemizde Yapı Malzemelerine Yönelik Ürün Denetimlerinin Tarihçesi

Ülkemizde yapı malzemelerine yönelik ürün denetimleriyle ilgili, 29/06/2001 tarihli ve 4703 sayılı Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanuna dayanarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 08/09/2002 tarihli ve 24870

sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (89/106/EEC) çıkartılmıştır. Yönetmelik, 08/06/2004 tarihinde yürürlüğe girmiş olmasına karşın ancak 01/01/2007 tarihi itibarıyla geçiş sürecini tamamlayarak uygulamaya girmiştir. Daha sonra, uygulamalarda tespit edilen aksaklıklar sebebiyle söz konusu yönetmelik iptal edilerek Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yine 4703 sayılı kanuna dayanarak 10/07/2013 tarihli ve 28703 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ve aynı gün yürürlüğe giren Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB) çıkartılmıştır. Bu yönetmelik, yapı malzemelerinin temel karakteristikleri ile ilgili performans beyanlarının ve malzemelere CE işareti iliştilmesinin kurallarını oluşturarak yapı malzemelerinin piyasaya arz edilmesi ve piyasada bulundurulması ile ilgili usul ve esasları belirlemektedir. Buna göre CE işareti kapsamı dışındaki ürünlerin (hakkında uyumlaştırılmış standart bulunmayan ürünler) piyasaya arz koşulları ve tüm ürünlerin yapıda kullanım koşulları, 4703 sayılı kanuna dayanarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından çıkartılan, 26/06/2009 tarihli ve 27270 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmelik ile belirlenmiştir. Yönetmelik kapsamında ulusal standartlara tabi ürünlere, koşulları sağladığı takdirde G işareti iliştilmektedir. Mevzuat gereği piyasaya arz edilen yapı malzemelerinin piyasa gözetim ve denetimleri yapılmaktadır. Ülkemizde son yıllarda yapılan bu çalışmalarla piyasaya arz edilen yapı malzemelerinin özellikleriyle ilgili tüketici, bilinçlenerek kullanım amacına uygun ürünü temin edebilmektedir.

1.7. Önceki Çalışmalar

Pul (1994), yapmış olduğu çalışma ile agrega petrografik yapısının betonun dayanımı ve akışkanlığı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Petrografik yapıları farklı olan agregalarla üretilen betonların akışkanlıkları ve dayanımları deneysel çalışmalarla belirlenerek bu betonların kırılma mekanizmaları da incelenmiştir. Sonuç olarak agrega petrografik yapısının, betonun akışkanlığını ve dayanımını önemli derecede etkilediği ve betondaki kırılmaların da çoğunlukla agrega ve sertleşmiş çimento hamuru arasındaki aderansın sökülmesi sonucu meydana geldiği belirtilmiştir.

Tuncer (1994), en büyük agrega tane boyutunun, değişik miktarda çimento içeren betonlardaki etkilerini araştırmak için çalışmalar yapmıştır. Dört farklı en büyük agrega tane boyutu ve üç farklı çimento dozajıyla üretilen 12 farklı seride beton numuneleri; 3, 7, 28, 56 ve 90 gün sonunda basınç deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda 63 mm maksimum tane boyutuna sahip agrega ile üretilen betonun basınç dayanımı diğerlerinden

daha yüksek çıkmış, diğer beton serilerinin basınç dayanımlarının agrega maksimum tane boyutu büyük olandan küçük olana doğru küçük farklarla azaldığı ve beton numunelerinin çimento dozajı arttıkça basınç dayanımları arasındaki farkın azalmakta olduğu bildirilmiştir.

Alexander ve Milne (1995), dört farklı tipte agrega ve portland çimentosu ile bazı puzolanlar kullanarak yapmış oldukları çalışmada, betonun mekanik davranışını çeşitli yaşlarda incelemişlerdir. Araştırmacıların yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda özgül ağırlıkları nispeten daha yüksek olan dolomit ve andezit agregalarıyla üretilen betonların rijitlikleri daha fazla, granit ve kuvarsit agregalarıyla üretilen betonların elastisite modülleri daha düşük bulunmuştur. Farklı türdeki agrega ve bağlayıcının geçiş bölgesinin yapısını etkilediğini ve bu etkinin de yaşa bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Gutierrez ve Canovas (1996), altı farklı agrega kullanarak yapmış oldukları çalışmada, agreganın betonun kıvamı ve dayanımına etkilerini incelemişlerdir. Betonun kıvamını en çok etkileyen temel agrega özelliğinin agrega su emme oranı olduğunu ve agreganın su emme oranının yüksek olmasının betonda işlenebilmeyi azaltacağı bildirilmiştir. Agrega su emme oranlarının yakın olması durumunda işlenebilmeye; tane şekli, agrega granülometrisi, maksimum tane boyutu gibi özelliklerin etki edeceği belirtilmiştir. Araştırmacılar ayrıca, mekanik özellikleri birbirine yakın iki tip agregadan kireçtaşı ile üretilen betonun daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiş ve bunun nedeni olarak da kireçtaşı agregasının çimento hamuru ile arasındaki iyi epitaksik bağı göstermişlerdir.

Özturan ve Çeçen (1997), farklı dayanımlardaki betonların mekanik özelliklerine iri agrega cinsinin etkileri konusunda araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarında 28 günlük hedef basınç dayanımları 30, 60, 90 MPa ve su/çimento oranları 0.58, 0.40, 0.30 olarak üretilen üç farklı beton karışımı hazırlamışlardır. Hazırlanan betonların karışımlarında iri agrega malzemesi olarak bazalt, kireçtaşı ve çakıl kullanmışlardır. 28 günlük deney sonuçlarına göre yüksek dayanımlı betonlar için en yüksek dayanım, bazalt agregası kullanılarak oluşturulan betonlarda elde edilirken, en düşük dayanım da kalker kökenli çakıl agregalarıyla üretilen betonlardan elde edilmiştir. Bu durumu, çakıl tanelerinin düzgün yüzeyli ve yuvarlak taneli oluşunun betondaki bağ dayanımını düşürmesiyle açıklamışlardır. Normal dayanımlı betonlar için hazırladıkları karışımlar sonucunda ise bazalt ve çakıl agregalarıyla üretilen betonlar benzer dayanım verirken, kireçtaşı ile oluşturulan betonlar biraz daha yüksek dayanım vermişlerdir. Bu durumu ise kireçtaşı agregası ile çimento hamuru arasındaki bağ dayanımını arttırabilen bazı kimyasal reaksiyonların gerçekleşmiş olması ile açıklamışlardır. Hazırlanan betonlar üzerinde yapılan çekme deneyleri sonucunda

en yüksek çekme dayanımını bazalt ve kireçtaşı agregası kullanılan betonlardan elde etmişlerdir.

Çetin ve Carrasquillo (1998), agrega türü ve hacim konsantrasyonunun beton üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada özgül ağırlıkları 2.50 g/cm^3 ile 3.14 g/cm^3 arasında değişen beş tür agrega kullanarak 0.28 su/çimento oranında betonlar üretmişlerdir. Çakıl içeren betonlar tüm üretim serilerinde en düşük basınç dayanımını göstermiştir. Bu durum çakılın şekil ve yüzey özelliklerine bağlı olarak iyi bir mekanik kenetlenmenin olmamasına bağlanmıştır. Çimento hamuruna göre çok daha sert olan agregaların yüksek gerilme düzeylerinde agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde gerilme yığılmaları oluşturduğu ve ara yüzey bölgesinde mikro çatlaklara yol açtığı savunulmuş, buna kanıt olarak da çatlakların bu agregaların çevresinde ilerlerken, daha yumuşak agrega içeren betonlarda çatlakların agrega içerisinden geçmesi gösterilmiştir. Bulunan sonuçlara göre, daha küçük tane boyutlu agrega içeren betonlar daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşmıştır.

Tasong vd. (1998), yaptıkları çalışma ile agrega yüzey yapısı için bahsedilen yüzey parametrelerinin, agrega yüzeylerinin kırılma veya çatlak olup olmadığına bağlı olarak, farklı mineral yapısına sahip agregalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Agrega kayaç yapısının ve gelişen kimyasal reaksiyonların beton dayanımına etkisinin önemli derecede olduğunu belirtmişlerdir.

Taşdemir vd. (1998), iki farklı tür kireçtaşıyla yapmış oldukları çalışmada beyaz kireçtaşı içeren betonların gri kireçtaşı içerenlere göre daha yüksek dayanım gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu durum, beyaz kireçtaşının elastik olarak daha uyumlu olmasına ve agrega-çimento hamuru yüzeyinde daha üniform gerilme dayanımları oluşturmaya bağlanmıştır. Beyaz kireçtaşının, gri kireçtaşına göre su emme oranının daha yüksek olduğu ve hidrasyon sırasında agrega tarafından emilen suyun ara yüzeyde kullanılması sonucu agrega-çimento hamuru arasındaki bağın iyileşmesiyle beton dayanımının arttığı ve beyaz kireçtaşının mineralojisinin de bu sonuçlarda etkili olabileceği belirtilmiştir.

Tokyay (1998), yüksek dayanımlı betonlar üretmek için yapmış olduğu çalışmada beton agregası olarak dere çakılı, granit diyabaz ve kireçtaşı kullanmıştır. Üretmiş olduğu betonlarda en yüksek dayanımı kireçtaşı agregası kullanılan betonlardan elde etmiştir.

Şengül vd. (2000), agrega tipinin yüksek ve normal dayanımlı betonların mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla yapmış oldukları çalışmada, bazalt, kumtaşı, gri kireçtaşı ve beyaz kireçtaşı gibi dört farklı agrega kullanarak normal ve yüksek dayanımlı betonlar üretmişlerdir. Beyaz kireçtaşı agregalarıyla üretilen normal dayanımlı beton

örneklerinin diğer agregalarla üretilen betonlara göre biraz daha yüksek dayanım sağladığını, bazalt ve gri kireçtaşı agregalarıyla üretilen yüksek dayanımlı betonların da diğer beton örneklerine göre oldukça yüksek dayanım sağladığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlardan yola çıkarak beyaz kireçtaşının yüzey özelliklerinin ve mineralojisinin beton dayanımında olumlu rol oynayarak dayanımı arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, bu agregayla yapılan betonların dayanımının diğerlerine göre yüksek oluşunu, agrega-çimento hamuru arasındaki güçlü ara yüzey bölgesi ile açıklamışlardır. Yüksek dayanımlı betonlarda ise agrega dayanımı ne kadar yüksek ise betonun dayanımının da o kadar yüksek olabileceği belirtilmiştir.

Şengül (2000), mineralojik kökenleri farklı olan dört tür agrega kullanarak BS 18' den BS 90' a kadar değişen beton sınıflarında ürettiği betonların incelemesini yaptığı çalışmada, normal dayanımlı betonlar içerisinde en yüksek dayanımı beyaz kalkerin kullanıldığı betonlarda elde etmiştir. Beyaz kalkerin bu davranışının sebebi olarak da çimento hamuru ile elastik uyumunun daha iyi olması ve emdiği fazla suyun agrega-çimento hamuru temas yüzeyinde daha iyi bir bağ oluşturmaya yardımcı olması gösterilmiştir. Yüksek dayanımlı betonlarda ise en yüksek dayanımı bazalt agregası kullanılan betonlar vermiştir. Bunun sebebi olarak da; yüksek dayanımlı betonların, normal dayanımlı betonlara göre ara yüzeylerinin daha kuvvetli olması ile bazalt agregasının basınç mukavemeti gösterilmiştir.

Beshr vd. (2003), agrega kalitesinin beton dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada kalkerli kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kuvarsitik kireçtaşı ve çelik cüruf iri agregaları gibi dört farklı agrega kullanmışlardır. Her bir beton serisi için su/çimento oranı ve çimento dozajını sabit tutarak silindirik beton numuneler hazırlanmış ve bu numunelere 3, 7, 14, 28 ile 180 günlük basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda artan zamanla birlikte numunelerin basınç dayanımlarının da arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca en yüksek basınç dayanımını çelik cüruf agregalarıyla üretilen betonlarda, en düşük basınç dayanımını da kalkerli kireçtaşı agregalarıyla üretilen betonlarda elde etmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda özellikle yüksek dayanımlı betonlarda beton basınç dayanımının agrega kalitesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışkan (2003), yapmış olduğu çalışmada agregalar ile bağlayıcılar arasında zayıf ara yüzey bulunduğunu ve bu ara yüzey boyunca çatlakların ilerlediğini belirtmiştir. Ara yüzeyin beton performansında oldukça önemli olduğunu ve bu bölgede agrega ile çimento hamurunun güçlü bir aderans yapacak yoğunlukta olması gerektiğini bildirmiştir.

Korkanç ve Tuğrul (2004), yapmış oldukları çalışmada, Orta Anadolu' da yaygın olarak kullanılan farklı bileşim ve dokusal özelliklere sahip olan Niğde yöresi bazaltlarını

reaktivite yönünden incelemişlerdir. Bazalt agregaları ile yapılan alkali-silis reaksiyon deneylerinde asit karakter sunan bazaltlar ile matriksinin tamamı volkan camından oluşan bazaltik andezitler, yapılan araştırma ve gözlemlere göre potansiyel olarak düşük reaktivite gösteren agregalar olarak belirlenerek, bu tür bazaltların beton agregası olarak kullanılması durumunda betonda düşük alkaniliteye sahip çimentoların kullanılması ya da beton içerisine puzolanik maddelerin ilave edilmesinin uygun olacağı önerilmiştir.

Yıldız vd. (2006)'nin yapmış oldukları çalışmada, Rize ili sınırlarında bulunan Hemşin ve Fırtına Deresi agregaları incelenerek doğru ve ekonomik beton üretimi yolları araştırılmıştır. Bu derelerden alınan agrega numuneleriyle, agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için çeşitli deneyler yapmışlardır. Yapılan deneylerin sonuçları ilgili standartlarla karşılaştırılarak Hemşin ve Fırtına Deresi agregalarının gerekli önlemler alındığı takdirde beton yapımına uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Güneyli (2010), yapmış olduğu çalışma kapsamında incelediği agregaların tamamının Türkiye' de yürürlükte olan TS 706 EN 12620+A1 standardına göre betonda kullanılabilir özellikte olduğunu tespit etmiştir. İncelenen agregalarda aynı türdeki kayalardan, aynı formasyonun aynı kesimlerinden elde edilen agregalarda farklı özelliklerin ortaya çıktığını, farklı formasyonlardan elde edilen agregaların da büyük benzerlikler gösteren özellikler kazanabildiğini belirlemiştir.

Yörük (2015), agrega geometrisinin ve doğrultusunun yüksek dayanımlı betonun kırılma mekanizmasına etkisini incelediği çalışmada 4 farklı geometride, 3 farklı doğrultuda ve 2 farklı petrografik tipte olmak üzere 20 farklı agrega kullanarak 20 adet çentikli kırış numunesi elde etmiştir. Yüksek dayanımlı betonlarda normal dayanımlı betonlara göre agrega petrografisinin ve geometrisinin daha önemli olduğu sonucuna varmıştır.

Pourghadri Sefidehkhah (2017)'in yapmış olduğu çalışmada, farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonların özellikleri kırmataş agregası ile üretilen betonların özellikleriyle kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda tamamı geri dönüşüm agregasıyla üretilen betonun, tamamı kırmataş agregasıyla üretilen betona göre dayanım sınıfı olarak bir alt sınıfta yer aldığı belirtilmiştir.

1.8. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Agrega petrografik ve kimyasal yapısının beton üzerindeki etkileri daha önce yapılan çalışmalarda açıklanmıştır. Bu çalışmalarda genellikle farklı kökenli kayalar kırılarak beton karışımında agrega olarak kullanılmış ve bunlarla üretilen betonların dayanımları

kıyaslanarak agrega petrografik yapısının beton üzerine etkileri ortaya konulmuştur. Bu kayalar da kendi içerisinde heterojen olmasına karşın mineralojik bileşimleri doğal nehir agregaları kadar karmaşık değildir. Doğal nehir agregalarının mineralojik bileşimlerinde birçok kayaç türü farklı oranlarda bulunabilmektedir. Bu çalışmada, fazlasıyla heterojen bir yapıya sahip olan doğal nehir agregalarının, karışımda kullanılan çimento türü ile etkileşimi ve bu agregaların her birinden üretilen beton numunelerinde meydana gelebilecek farklılıkların ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada dört farklı nehir agregası temin edilerek, bunların petrografik ve kimyasal yapılarıyla birlikte diğer bazı özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, dört farklı agrega kaynağı, her bir agrega kaynağına ait üç farklı tane sınıfı ve iki farklı çimentonun kombinasyonundan oluşan 24 farklı seride beton üretilmiştir. Hazırlanan beton numunelerinin yoğunlukları, basınç dayanımları ve kırılma şekilleriyle bunların sayıları deneysel çalışmalarla birlikte tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenerek meydana gelen farklılıklara, agrega petrografik ve kimyasal yapısıyla birlikte kullanılan çimento türünün etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Agreg

2.1.1. Numune Alma

Gerek agrega özelliklerini belirlemek için yapılacak agrega deneylerinde gerekse üretilecek olan beton numunelerinin karışımlarında kullanmak üzere Gümüşhane İli sınırları içerisinde bulunan Kelkit Çayı ve Harşit Çayı ile Kahramanmaraş İli sınırları içerisinde bulunan Erkenez Çayı ve Aksu Nehri akarsu yataklarından agrega numuneleri alınmıştır. Numune alma işlemlerine geçilmeden önce her bir akarsu yatağı için öncelikle numune alma planı hazırlanmıştır. Numune alma planlarında; yapılacak olan deney sayıları dikkate alınarak numune miktarları, akarsu yataklarının coğrafi yapıları dikkate alınarak numune alma noktaları önceden tespit edilmiştir. Numune almada kullanılacak cihazlarla birlikte numunelerin sevkinde ve paketlenmesinde kullanılacak araç ve gereçler de numune alma planıyla önceden belirlenmiştir.

Temin edilen agrega numunelerinin yapılacak olan deneysel çalışmalarda agrega kaynaklarını iyi bir şekilde temsil etmesi için, parça numuneler, numune alma planında belirlendiği gibi çok sayıda noktadan ve olabildiğince farklı derinliklerden alınmıştır. Agreg

numunelerinin maksimum tane boyutu, 63 mm olarak düşünülmüş ve TS EN 932-1 standardına göre numune almada kullanılacak cihaz özelliklerine uyularak numune alma işlemlerinde 250 mm genişliğe sahip kürekler kullanılmıştır. Numunelerin, alındığı andaki durumunu koruması ve sevk

inin kolay olması için iki katmandan oluşan bir paketleme tekniği kullanılmıştır. Agreg

numuneleri ile temas eden ilk katmanda polietilen torbalar, ikinci katmanda ise polipropilen torbalar kullanılmıştır. Polietilen torbalar, agrega numunelerinin nem ve tane kayıplarını önlemek için kullanılırken, polipropilen torbalar ise numunelerin kolay ve daha güvenli bir şekilde taşınması amacıyla kullanılmıştır. Her bir parça numune için polipropilen torba üzerinde ve etiket kullanılarak torba içerisinde, su ve nemden etkilenmeyen kalemler ile parça numuneyi ayırt edici işaretlemeler yapılmıştır. Akarsu yataklarındaki agregaların granülometrilere ve numunelere yapılacak olan deney sayıları düşünülerek her bir agrega kaynağından ortalama 16 parça numune alınarak her bir kaynak için yaklaşık 550 kg numune elde edilmiştir. Toplanan parça numuneler, kamyonet vasıtasıyla deneysel çalışmaların gerçekleştirileceği laboratuvara sevk edilmiştir. Numune alma ve sevk

iyat işlemleri, Şekil 2.1 ile aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Agrega kaynaklarından numune alınması ve taşınması

2.1.2. Deney Numunesi Oluşturma

Laboratuvara getirilmiş olan agrega numunelerine, numune azaltma işlemleri yapılmadan önce, çalışma yüzeyi kıl fırça yardımıyla temizlenmiştir. Her bir parça numune, 63 mm göz açıklıklı elekten geçirilerek elek üstü malzeme uzaklaştırıldıktan sonra çalışma yüzeyine dökülmüştür. Dökülen numuneler, birleştirilerek toplam numune elde edilmiştir.

Numune azaltma işlemi, TS EN 932-1’de tarif edilen çeyrekleme ile toplam numunenin azaltılması metoduna uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Toplam numune, TS EN 932-1 standardına göre numune azaltmada kullanılacak cihaz özelliklerine uygun, 250 mm genişlikte bir kürek yardımıyla karıştırılarak koni şeklinde bir yığın haline getirilmiştir. Koni şeklindeki agrega yığını, kürekle yeni bir yığın elde edilecek şekilde aktarılmıştır. Aktarma işlemi üç kez tekrarlanmıştır. Konilerin teşkilinde, kürekle alınan her agrega malzemesi yeni oluşturulan koninin tepesinden dökülerek koninin tepe noktasından eteğine kadar agregaların her yönde eşit olarak dağılması sağlanmıştır. Böylece oldukça homojen konik agrega yığınları elde edilmiştir. Üçüncü aktarma işleminden sonra elde edilen konik agrega yığınının tepe noktasına küreğin bastırılmasıyla, kalınlığı ve çapı uniform olacak şekilde agrega yığını düzleştirilmiştir. Elde edilen kesik konilerin taban çapı yaklaşık 160 cm ve kalınlığı 40 cm olarak ölçülmüştür. Düzleştirilmiş koniler, çelik mala yardımıyla birbirini dik açılarla kesen iki çap boyunca çeyreklenecek birbirine zıt olan çeyreklerden ikisi beton numunelerinde kullanılmak üzere polietilen ve polipropilen torbalara yerleştirilerek gerekli işaretlemeler yapıldıktan sonra muhafaza edilmiştir. Kalan çeyrekler ise agrega deneyleri için laboratuvar numunesi teşkil etmiştir.

Laboratuvar numunelerini teşkil eden iki çeyrek de yine TS EN 932-1 ve TS EN 932-2 standartlarında tarif edildiği ve yukarıda anlatıldığı gibi çeyrekleme metoduna göre karıştırılarak koni şeklinde bir yığın haline getirilmiş ve her bir yığından yeni bir yığın elde edilerek bu işlemler üç defa tekrarlanmıştır. Üçüncü karıştırmadan sonra elde edilen konik

agrega yığını, üniform kalınlık ve çapa sahip olacak şekilde düzleştirildikten sonra çelik mala yardımıyla birbirini dik açılarla kesen iki çap boyunca çeyreklenmiştir. Birbirine zıt olan çeyreklerden ikisi deney numunesi olarak muhafaza edildikten sonra diğer iki parça tekrar yığın haline getirilmiştir. Çeyrekleme işlemi, yaklaşık olarak en son 500 g deney numunesi elde edilinceye kadar sürdürülmüştür. Elde edilen deney numuneleri, polietilen torbalara yerleştirilerek deney numunelerine gerekli işaretlemeler yapılmıştır. Her bir deney numunesi, 1 g hassasiyetli terazide tartılarak deney numunelerinin ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Deney numunelerinin oluşturulması ile ilgili yapılan işlemler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Deney numunelerinin oluşturulması

2.1.3. Petrografik ve Kimyasal Analiz

Petrografik ve kimyasal analizlerin yapılacağı deney numuneleri, önceden oluşturulan deney numunelerinden seçilmiştir. Deney numuneleri yıkandıktan sonra kurutulmuş ve daha sonra elek sarsma cihazı yardımıyla ilgili eleklerden geçirilerek üç tane sınıfa ayrılmıştır. TS 10088 EN 932-3 standardına göre; 8-16 mm tane sınıfından 8 kg, 4-8 mm tane sınıfından 2 kg ve 0-4 mm tane sınıfından 0.5 kg’ dan az olmadıkları 0.1 g hassasiyetindeki terazide tartılarak kontrol edilen deney numuneleri, polietilen torbalara yerleştirilmiştir. Numunelerin ayırt edilebilmesi için gerekli işaretlemeler yapılmıştır. Oluşturulan deney numuneleri, petrografik ve kimyasal analizlerinin yapılması için Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’ne ulaştırılmıştır.

2.1.4. Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini (Elek Analizi)

Her bir agrega kaynağı için tane büyüklüğü dağılımı tayini deneyi, üç deney numunesine uygulanmıştır. Bunun için her bir agrega kaynağına ait üç adet deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numuneleri, TS EN 932-2 standardına göre önceden hazırlanmış olan deney numunelerinden, TS EN 933-1 standardına göre en büyük tane büyüklüğü (32

mm) dikkate alınarak kütleleri en az 10 kg olacak şekilde seçilmiştir. Deney numunelerini oluşturan tanelerin kümelenmeye eğilimli olmadıkları gözlemlendiğinden deneylerde kuru eleme metodu kullanılmıştır. Paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş olan numune tepsileri içerisine yerleştirilen deney numuneleri, TS EN 933-1 standardında tarif edildiği gibi 110 °C’de sabitlenmiş hava dolaşımli etüvde sabit kütleye erişilinceye kadar bekletilmiştir. Numuneler etüvde en az 1 saat bekletildikten sonra çıkarılmış ve 0.1 g hassasiyetli terazide tartılmıştır. Tartılan ağırlık (M_1) kaydedilmiştir. Daha sonra tekrar etüv içerisine konulan numuneler yine en az 1 saat bekletildikten sonra çıkarılarak tartılmıştır. Tartılan ağırlık (M_2) kaydedilmiştir. Her iki tartım sonucu numunelerin ağırlıklarında değişme söz konusu olmadığından sabit kütleye erişildiği anlaşılmıştır.

Deneylerde; hava dolaşımli etüv, elek sarsma cihazı, deney elekleri, terazi, el küreği, fırça ve tepsilerle birlikte tava ve kapak kullanılmıştır. Kullanılan tüm cihazlar, TS EN 932-5 standardına uygun özelliklerde seçilmiştir.

TS ISO 3310-1 standardı özelliklerini sağlayan ve göz açıklıkları TS EN 933-2 standardına uygun olarak seçilen deney elekleri, elek göz açıklıkları yukarıdan aşağıya doğru azalarak en alt kısma tava gelecek şekilde elek sarsma cihazına yerleştirilmiştir. Sonrasında, etüvde kurutularak sabit kütleye erişen numuneler, el küreği yardımıyla malzeme kaybına yol açmadan elek takımına dökülmüştür. Eleme işlemine geçmeden önce, eleme esnasında malzeme kaybı olmaması için elek takımı üzerine kapak yerleştirilmiştir. Eleme işlemi, her bir elek üzerinde kütleye %1’den daha fazla değişiklik olmadığı anlaşıncaya kadar devam ettirilmiştir. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra elek göz açıklığı en büyük olan elekten başlanarak her bir eleğin üzerinde kalan malzeme, fırça ile temizlenerek herhangi bir kayba meydan vermeden 0.1 g hassasiyetteki terazide tartılmıştır. Tartım sonuçları, önceden hazırlanmış olan bir tabloya not edilerek kayıt altına alınmıştır. Tablo üzerinden hesaplanarak bulunan her bir elek üzerinde kalan malzemenin toplam ağırlığının, deneye başlamadan önce elde edilen kuru malzeme ağırlığından, %1’den daha fazla farklı olup olmadığının sağlanması yapılarak deneyler tamamlanmıştır. Her elekten geçen deney kısmı kütlesinin kümülatif yüzdesi, yüzde bir hanesine yuvarlatılarak kaydedilmiştir. Tane büyüklüğü dağılımı tayini deneyi ile elde edilen verilere göre incelik modülü, Eşitlik 2.1 ile hesaplanmıştır.

$$\text{İncelik Modülü} = \text{Kümülatif Kalan \% (Toplam)} / 100 \quad (2.1)$$

Deney esnasında gerçekleştirilen işlemler, Şekil 2.3 ile aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Tane büyüklüğü dağılımı tayini deneyinde gerçekleştirilen işlemler

2.1.5. Yüzey Nemi Oranının Tayini

Her bir agrega kaynağı için yüzey nemi oranı tayini deneyi, üç deney kısmına uygulanmıştır. Deneyde kullanılan deney kısımlarının miktarları, TS 3523'e göre, en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak yaklaşık 10 kg olacak şekilde önceden hazırlanmış deney numunelerinden seçilmiştir. Deney numuneleri, polietilen torbalardan numunelere işlem yapılacağı zaman çıkartılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerden doğru sonuçlar almak için numunelerin nem miktarlarında değişme olmamasına, doğal yüzey nemini korumasına dikkat edilmiştir.

Deney kısımlarının mevcut durumları tepsi yardımıyla 0.1 g hassasiyetteki terazide tartılarak ağırlıkları (M_1) kayıt altına alınmıştır. Mevcut durumuyla tartılan deney kısımları, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi temiz bir yüzeye sahip olan naylon örtüler üzerine serilmiştir.



Şekil 2.4. Deney numunelerinin doymun kuru yüzey durumuna getirilmesi

Numuneler, burada doymun kuru yüzey durumuna gelinceye kadar gün ışığı ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kurumanın homojen bir şekilde olması için numuneler, çelik mala ile aralıklarla karıştırılmıştır. Numunelerin doymun kuru yüzey durumuna

geldiğinin anlaşılması için kesme yöntemi tercih edilmiştir. Numuneler, yarım küre şeklinde bir yığın haline getirilip elde edilen yığın çelik mala ile ikiye bölünmüştür. Bölme işleminden sonra bölünen parçaların yıkıldığı görülmüş ve numunelerin doygun kuru yüzey duruma ulaştığı anlaşılmıştır. Doygun kuru yüzey durumundaki numuneler, tane kaybına yol açmadan tepsilere aktarılmıştır. Deney kısımlarının doygun kuru yüzey durumları da 0.1 g hassasiyetteki terazide tartılarak ağırlıkları (M_2) kayıt altına alınmıştır. Agregaların yüzey nemi oranları, Eşitlik 2.2 yardımıyla onda bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanmıştır.

$$n = [(M_1 - M_2)/M_2] \times 100 \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte;

n ; Agreganın yüzey nemi oranı, (%)

M_1 ; Deney numunesi deney başlangıcındaki ağırlığı, (g)

M_2 ; Deney numunesinin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı, (g)

2.1.6. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini

2.1.6.1. İnce Agregada Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini

TS 3526'da belirtildiği şekilde her bir agregaya kaynağı için iki deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numunelerine ait miktarlar en büyük tane büyüklüğüne göre TS 3526'dan belirlenmiştir. TS 3526'da en büyük tane büyüklüğüne göre verilen gerekli deney numunesi miktarları Tablo 2.1 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Özgül ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları (TS 3526, 1980).

En büyük tane büyüklüğü (mm)	0.25	0.50	1	2	4	8	18	31.5	63	90	125
Deney numunesi miktarı (kg)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.5	2	3	5	5	5

Oluşturulan ince agregaya deney numunelerinin en büyük tane büyüklüğü 4 mm olduğundan deney numunesi miktarları minimum 800 g olacak şekilde ayarlanmıştır.

Deneyde, TS 3526'da tarif edildiği şekilde 0.1 g duyarlı bir terazi, hava dolaşımli etüv, 500 ml hacimli cam bir ölçü kabı, cam levha, tepsi, çelik mala ve naylon örtüler kullanılmıştır.

Deney numuneleri, numunelerin üzerini tamamen örtecek seviyede su ile doldurulan kaplarda en az 24 saat bekletildikten sonra, numunelerin ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzölmüş ve akıtılmıştır. Numuneler, daha sonra temiz bir yüzeye sahip olan naylon örtüler üzerine serilerek burada doygun kuru yüzey haline gelinceye kadar bekletilmiştir. Deney numunelerinin, doygun kuru yüzey durumuna geldikleri kesme yöntemi ile saptanmıştır. Doygun kuru yüzey durumundaki numuneler 0.1 g hassasiyetteki terazide tartılmış ve ağırlıkları (W_2) kaydedilmiştir. Daha sonra, doygun kuru yüzey durumundaki numuneler, 110 °C’de sabitlenmiş hava dolaşımli etüvde değışmez ağırlığa erişip etüv kurusu durumuna gelinceye kadar bekletilmiştir. Değışmez ağırlık, etüvde bekletilen agrega numunelerinin 2 saat ara ile yapılan ardışık tartımları sonucunda %0.5’ten fazla değışme olmamasıyla tespit edilmiştir. Etüvden çıkartılan numuneler, oda sıcaklığına gelinceye kadar soğuduktan sonra cam ölçü kabına doldurularak birlikte tartılmıştır. Daha önce saptanmış olan cam ölçü kabının ağırlığı, bu tartım sonucundan çıkarılarak numunelerin kuru ağırlıkları (W_1) kaydedilmiştir. Ölçü kabı yaklaşık 20 °C’deki su ile yarıya kadar doldurulduktan sonra düz bir yüzey üzerinde hafifçe vurularak ve aynı zamanda döndürölerek kap içindeki hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Bir saat bekledikten sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C’deki su ile 500 ml işaret çizgisine kadar doldurularak tartılmıştır. Tartılan ağırlık (W_3) kaydedilmiştir. Son olarak boş halde bulunan ölçü kabı yaklaşık 20 °C’deki su ile 500 ml işaret çizgisine kadar doldurulup tartılmıştır. Elde edilen bu son ağırlık (W_4) da kayıt altına alınmıştır. İnce agregaların kuru özgül ağırlıkları, doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları, görünen özgül ağırlıkları, su emme oranları ve poroziteleri aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla özgül ağırlıklar yüzde bir hanesine, su emme oranları ve poroziteleri onda bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanmıştır.

$$\theta_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (2.3)$$

$$\theta_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (2.4)$$

$$\theta_g = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3} \quad (2.5)$$

$$m = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2.6)$$

$$p = m \times \theta_k \quad (2.7)$$

Burada;

θ_k ; İnce agreganın kuru özgül ağırlığı

θ_d ; İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı

θ_g ; İnce agreganın görünen özgül ağırlığı

m ; İnce agreganın su emme oranı, (%)

p ; İnce agreganın porozitesi, (%)

W_1 ; Numunenin etüv kuru ağırlığı, (g)

W_2 ; Numunenin doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı, (g)

W_3 ; Ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı, (g)

W_4 ; 500 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı, (g)

TS 3526'ya göre ince agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranı tayini deneyi, agrega numunelerinden iki deney numunesine uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde, tüm deney numunelerinin özgül ağırlıkları arasındaki fark 0.02'den, su emme oranları arasındaki fark ise 0.2'den daha büyük çıkmıştır. TS 3526'da tarif edildiği şekilde, deney numunelerinin özgül ağırlık değerleri arasındaki fark 0.02 veya daha küçük ise sonuçların ortalaması ince agreganın özgül ağırlığı olarak kabul edilmekte ve fark 0.02'den büyük ise deneyin, 1 deney numunesine daha uygulanması gerekmektedir. Aynı durum su emme oranları arasındaki farkın 0.2'den küçük ya da büyük olması için de geçerlidir. Bu sebeple tüm agrega numuneleri için ince agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranı tayini deneyi, bir deney numunesine daha uygulanmıştır. Bulunan sonuçlardan en yakın iki tanesinin ortalaması ince agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranı olarak alınmıştır.

2.1.6.2. İri Agregada Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini

TS 3526'da belirtildiği şekilde her bir agrega kaynağı için iki deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numunelerine ait miktarlar, en büyük tane büyüklüğü 31.5 mm için en az 3 kg olacak şekilde Tablo 2.1'den belirlenmiştir.

Deneyde, TS 3526'da tarif edildiği şekilde 0.1 g duyarlı bir Arşimet terazisi, 4 mm göz açıklıklı elek telinden yapılmış kafes örgülü sepet, tel sepeti içine alabilecek büyüklükte bir kova, hava dolaşımli etüv, numuneleri suda bekletmek için birçok sayıda kova, havlu ve naylon örtüler kullanılmıştır.

Deney numuneleri, numunelerin üzerini tamamen örtecek seviyede su ile doldurulan kovalarda en az 24 saat bekletildikten sonra çıkartılmış ve numunelerin suları süzölmüştür.

Numuneler, daha sonra temiz bir yüzeye sahip olan naylon örtüler üzerine serilerek burada havlu yardımıyla yüzeylerinde su tabakası kalmayınca kadar doymun kuru yüzey durumuna getirilmek için kurutulmuştur. Doymun kuru yüzey durumundaki numuneler tartılarak ağırlıkları (W_2) kaydedilmiştir. Daha sonra doymun kuru yüzey durumundaki numuneler, kafes örgülü tel sepete konularak tel sepet, içi su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırılmıştır. İçi numune dolu tel sepet, su yüzüne çıkarılmadan kovanın içinde en az 10 defa sertçe kaldırılıp indirilerek, sağa sola sallanarak taneler arasında kalan hava kabarcıkları çıkartılmıştır. Bu işlemlerden sonra Arşimet terazisinin altında bulunan kancanın sepeti ortalamasına ve bu düzeltmeyi yaparken sepetin kova kenarına dokunmamasına dikkat edilerek sepette oynamalar yapılmış ve doymun malzemenin sudaki ağırlığı (W_3) bulunmuştur. Numuneler, malzeme kaybına meydan vermeden sudan çıkartılarak 110 °C’de sabitlenmiş hava dolaşımli etüvde değişmez ağırlığa erişip etüv kurusu durumuna gelinceye kadar bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan numuneler, oda sıcaklığına gelinceye kadar soğuduktan sonra tartılarak havadaki kuru ağırlıkları (W_1) kaydedilmiştir. İri agregaların kuru özgül ağırlıkları, doymun kuru yüzey özgül ağırlıkları, görünen özgül ağırlıkları, su emme oranları ve poroziteleri aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla özgül ağırlıklar yüzde bir hanesine, su emme oranları ve poroziteleri onda bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanmıştır.

$$\theta_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (2.8)$$

$$\theta_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \quad (2.9)$$

$$\theta_g = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (2.10)$$

$$m = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2.11)$$

$$p = m \times \theta_k \quad (2.12)$$

Burada;

θ_k ; İri agreganın kuru özgül ağırlığı

θ_d ; İri agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı

θ_g ; İri agreganın görünen özgül ağırlığı

m ; İri agreganın su emme oranı, (%)

p ; İri agreganın porozitesi, (%)

W_1 ; Numunenin etüv kurusu ağırlığı, (g)

W_2 ; Numunenin doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı, (g)

W_3 ; Doymun malzemenin sudaki ağırlığı, (g)

Deney esnasında gerçekleştirilen işlemler, Şekil 2.5 ile aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Özgül ağırlık ve su emme oranı tayini deneyinde gerçekleştirilen işlemler

2.1.7. Birim Ağırlıkların Tayini

2.1.7.1. Sıkışık Birim Ağırlık Tayini

TS 3529’da belirtildiği şekilde her bir agregat kaynağı için iki deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numuneleri, TS 3529’a göre en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak 30 kg civarı olacak şekilde önceden oluşturulan deney numunelerinden alınmıştır. Sert ve düzgün bir yer olarak seçilen çalışma yüzeyi, kıl fırça ile temizlenmiştir. Numuneler, çalışma yüzeyine serilerek burada ortam sıcaklığında ve ortam koşullarında hava kurusu haline gelene kadar bekletilmiştir. İki saatlik aralıklarla yapılan ardışık tartımlarda %0.5’ten fazla

ağırlık değişmesi saptanmadığında numunelerin değişmez ağırlığa eriştiği ve hava kurusu durumuna ulaştığı anlaşılmıştır.

Deneyde, TS 3529'da tarif edildiği şekilde alt ve üst yüzleri düz, su geçirmez, dayanıklı, karşılıklı iki kulpu bulunan silindir biçimli ölçü kabı, terazi, el küreği, tepsi ve 600 mm boyunda, 16 mm çapında, ucu yarım küre biçimli şişleme çubuğu kullanılmıştır. Kullanılan ölçü kabı, en büyük tane büyüklüğüne göre TS 3529'dan seçilmiştir. TS 3529'da en büyük tane büyüklüğüne göre verilen ölçü kabı boyutları Tablo 2.2 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Birim ağırlık tayini deneyinde kullanılacak ölçü kabı boyutları (TS 3529, 1980).

En Büyük Tane Büyüklüğü	İç çap	Yükseklik	Kalınlık	Yaklaşık Hacim
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(dm ³)
16	155	155	3.5	3
31.5	250	280	3.5	14
125	350	290	3.5	28

Numunelerin en büyük tane büyüklüğü 31.5 mm olduğundan deneylerde, yaklaşık hacmi 14 dm³ olan ölçü kabı kullanılmıştır. Boş haldeki ölçü kabı, terazide tartılmış ve ağırlığı (W_1) kaydedilmiştir. Ölçü kabı hacmi, TS 3529'da bahsedildiği gibi kabın içini dolduran suyun ağırlığı belirlenerek hesaplanmıştır. Burada suyun ölçü kabını tamamen doldurduğu, kap üstüne bir cam plakanın sürülerek yerleştirilmesi ve plakanın altında hava kabarcığı olmaması ile saptanmıştır. Ölçü kabının hacmi, kabın içi su ile dolu durumdayken terazide tartılmış ağırlığının boş durumdaki ağırlığından çıkarılması ve bulunan değer, suyun birim ağırlığına (1g/cm³) bölünmesiyle elde edilmiştir. Ölçü kabının hacmi (V) kaydedilmiştir.

Hava kurusu numuneler, ölçü kabına, ölçü kabı yüksekliğinin 1/3' ü şeklinde üç tabaka halinde doldurulmuştur. Şişleme çubuğuyla, her bir tabakada bir alt tabakanın üst yüzeyine girecek kuvvette 25 vuruş yapılmıştır. İlk tabakanın şişlenmesinde kabın tabanına şiddetle vurmaktan kaçınılmıştır. Üçüncü kez tamamı taşarcasına doldurulan ölçü kabı, şişleme çubuğu ile ayrılarak düzeltilmiştir. Daha sonra numuneler, ölçü kabıyla birlikte tartılarak ağırlıkları (W_2) kaydedilmiştir. Agregaların sıkışık birim ağırlıkları, Eşitlik 2.13 yardımıyla tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanmıştır.

$$B_s = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte;

B_s ; Sıkışık birim ağırlık, (kg/m³)

W_2 ; Sıkışık agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı, (g)

W_1 ; Ölçü kabı boş ağırlığı, (g)

V ; Ölçü kabının iç hacmi, (dm³)

TS 3529'a göre sıkışık birim ağırlık tayini deneyi, agregaya numunelerinden iki deney numunesine uygulanmıştır. Yapılan bütün deneylerde, deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m³'ten fazla çıkmıştır. TS 3529'da tarif edildiği şekilde, deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m³ veya daha küçük ise sonuçların ortalaması sıkışık birim ağırlık olarak kabul edilmekte ve fark 5 kg/m³'ten fazla ise deneyin, 1 deney numunesine daha uygulanması gerekmektedir. Bu sebeple tüm agregaya numuneleri için sıkışık birim ağırlık deneyi, bir deney numunesine daha uygulanmıştır. Bulunan sonuçlardan en yakın iki tanesinin ortalaması sıkışık birim ağırlık olarak alınmıştır. Deney esnasında gerçekleştirilen işlemler, Şekil 2.6 ile aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Sıkışık birim ağırlık tayini deneyinde gerçekleştirilen işlemler

2.1.7.2. Gevşek Birim Ağırlık Tayini

TS 3529'da belirtildiği şekilde her bir agregaya kaynağı için iki deney numunesi alınarak deneylere başlanmıştır. Bu numuneler, sıkışık birim ağırlık deneylerinde kullanılan ve miktarı 30 kg civarı olan değişmez ağırlığa erişmiş hava kurusu numunelerdir.

Sıkışık birim ağırlık deneylerinde kullanılan ölçü kabı, el küreği, tepsi ve terazi gevşek birim ağırlık deneylerinde de kullanılmıştır. Ölçü kabının ağırlığı (W_1) ve hacmi (V) de sıkışık birim ağırlık deneylerinde hesaplanan değerlerden alınmıştır.

Hava kurusu numuneler, TS 3529’da tarif edildiği gibi, ölçü kabına el küreği yardımıyla taşarcasına doldurulmuştur. Bu esnada el küreğinin, ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm’ den daha fazla bir yüksekliğe kaldırılmamasına, agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına dikkat edilmiştir. Ölçü kabına doldurulan agreganın üst yüzeyleri, elle sıyrılarak düzlenmiştir. Sıyırma düzleminden taşan iri agregalar ölçü kabından çıkarılarak yerlerine ince agreganın numunelerinden ilave edilmiştir. Daha sonra numuneler, ölçü kabıyla birlikte tartılarak ağırlıkları (W_2) kaydedilmiştir. Agregaların gevşek birim ağırlıkları, Eşitlik 2.14 yardımıyla tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanmıştır.

$$B_g = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (2.14)$$

Bu eşitlikte;

B_g ; Gevşek birim ağırlık, (kg/m^3)

W_2 ; Gevşek agreganın ile dolu ölçü kabı ağırlığı, (g)

W_1 ; Ölçü kabı boş ağırlığı, (g)

V ; Ölçü kabının iç hacmi, (dm^3)

TS 3529’a göre gevşek birim ağırlık tayini deneyi, agreganın numunelerinden iki deney numunesine uygulanmıştır. Yapılan bütün deneylerde, deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m^3 ’ten fazla çıkmıştır. TS 3529’da tarif edildiği şekilde, deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m^3 veya daha küçük ise sonuçların ortalaması gevşek birim ağırlık olarak kabul edilmekte ve fark 5 kg/m^3 ’ten fazla ise deneyin, 1 deney numunesine daha uygulanması gerekmektedir. Bu sebeple tüm agreganın numuneleri için gevşek birim ağırlık deneyi, bir deney numunesine daha uygulanmıştır. Bulunan sonuçlardan en yakın iki tanesinin ortalaması gevşek birim ağırlık olarak alınmıştır.

2.2. Çimento

Bu çalışmada üretilmiş olan betonların karışımlarında, bağlayıcı malzeme olarak Gümüşhane Aşkale Çimento Fabrikası’ndan temin edilen CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı portland kompoze çimentolar kullanılmıştır.

Kullanılan çimentoların mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri; TS EN 196-1, TS EN 196-3+A1, TS EN 196-6 ve TS EN 196-2 standartlarına uygun olarak yapılan deneylerle

Gümüşhane Aşkale Çimento Fabrikası tarafından belirlenmiştir. Deney sonuçları da buradan temin edilmiştir.

2.3. Karışım Suyu

Hazırlanan beton numunelerinde; TS EN 1008'e göre içilebilen sular beton yapımında uygun kabul edildiğinden, karışım suyu olarak Gümüşhane İli şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.4. Beton

2.4.1. Beton Karışımlarının Hesap ve Tasarımları

Beton numunelerin, 24 farklı seride hazırlanması planlanmıştır. Bu seriler; dört farklı agrega kaynağı, her bir agrega kaynağı için üç farklı tane sınıfı ve iki farklı çimento sınıfının kombinasyonundan oluşturulmuştur. Böylelikle üretilen beton serilerinde basınç dayanımları ve kırılma şekline farklı agrega özelliklerinin ve farklı çimento sınıflarının ne derece etki ettiği araştırılmıştır. Beton numuneler için sadece 28 günlük basınç dayanımları tayin edilmiştir. Beton numunelerde kırılma yüzeylerinin incelenmesi ve sertleşmiş betonda yoğunluk tayini, basınç dayanımı tayininde kullanılan numunelerle belirlenmiş olup, bu deneyler için ayrıca beton üretilmemiştir. TS EN 206 ve TS 13515 standartlarına göre en az 3 adet beton numunesine uygunluk değerlendirmesi yapılabildiğinden her bir beton serisi için en az 3 adet beton numunesi üretecek şekilde karışım hesapları yapılmıştır. Beton serilerine verilen ayırt edici kodlamaların tanımları Tablo 2.3 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Beton serilerine ait kodların tanımları

No	Beton Kodu	Tanımı
----	------------	--------

1	H-4/8-32.5	Harşit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
2	H-8/16-32.5	Harşit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
3	H-16/32-32.5	Harşit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
4	K-4/8-32.5	Kelkit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
5	K-8/16-32.5	Kelkit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
6	K-16/32-32.5	Kelkit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
7	A-4/8-32.5	Aksu Nehri'ne ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
8	A-8/16-32.5	Aksu Nehri'ne ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
9	A-16/32-32.5	Aksu Nehri'ne ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
10	E-4/8-32.5	Erkenez Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
11	E-8/16-32.5	Erkenez Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
12	E-16/32-32.5	Erkenez Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
13	H-4/8-42.5	Harşit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi

Tablo 2.3 (devamı)

14	H-8/16-42.5	Harşit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
15	H-16/32-42.5	Harşit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi

16	K-4/8-42.5	Kelkit Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
17	K-8/16-42.5	Kelkit Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
18	K-16/32-42.5	Kelkit Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
19	A-4/8-42.5	Aksu Nehri'ne ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
20	A-8/16-42.5	Aksu Nehri'ne ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
21	A-16/32-42.5	Aksu Nehri'ne ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
22	E-4/8-42.5	Erkenez Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
23	E-8/16-42.5	Erkenez Çayı'na ait 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi
24	E-16/32-42.5	Erkenez Çayı'na ait 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla ve CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen beton serisi

Beton karışım hesabında, tüm beton serileri için su/çimento oranı 0.50 olarak belirlenmiştir. Daha sonra her bir beton serisi için en büyük tane büyüklüğü göz önüne alınarak beton karışımına girecek su miktarları belirlenmiştir. Bilinen su/çimento oranı ve su miktarı kullanılarak çimento miktarı, aşağıda verilen Eşitlik 2.15 ile hesaplanmıştır.

$$\varphi = \frac{s}{s/\varphi} \quad (2.15)$$

Bu eşitlikte;

φ : Karışıma girecek çimento kütlesi, (kg)

s : Karışıma girecek su kütlesi, (kg)

s/ φ : Su/çimento oranı

Karışıma girecek çimento miktarları da hesaplandıktan sonra, geriye kalan tek beton bileşeni olan agrega miktarları da aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla bulunmuştur.

$$\frac{\varsigma}{\rho_{\varsigma}} + s + (10 \times A) + V_a = 1000 \text{ dm}^3 \quad (2.16)$$

$$V_a = \frac{W_a}{\rho_a} \quad (2.17)$$

Burada;

ς : Karışıma girecek çimento kütlesi, (kg)

ρ_{ς} : Karışıma girecek çimentonun özgül ağırlığı, (kg/dm³)

s : Karışıma girecek su kütlesi, (kg)

A : Karışım hesaplarında kullanılan toplam hava muhtevası, (%)

V_a : Karışıma girecek agrega hacmi, (dm³)

W_a : Karışıma girecek agrega kütlesi, (kg)

ρ_a : Karışıma girecek agreganın özgül ağırlığı, (kg/dm³)

Beton bileşenlerinin miktarları, yukarıda anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır. Agregalara ait kullanılan referans özgül ağırlık değerleri, çalışmada hesaplanmış olan doymun kuru yüzey durumdaki özgül ağırlık değerlerinden alınmıştır. Beton üretimine geçilmeden önce agregalar, doymun kuru yüzey durumuna getirilmiştir. Bu yüzden karışım hesaplarında ayrıca rutubet düzeltilmesi yapılmamıştır. Her bir beton serisi için bileşenlerin miktarları, hem 1 m³ hem de üretilecek beton miktarı olan 14 dm³ için Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Tüm beton serileri için beton bileşenlerinin miktarları

No	Beton Kodu	1 m ³ beton için			14 dm ³ beton için		
		Su (kg)	Çimento (kg)	Agrega (kg)	Su (kg)	Çimento (kg)	Agrega (kg)
1	H-4/8-32.5	226	452	1453.77	3.16	6.33	20.35
2	H-8/16-32.5	309	618	1144.96	4.33	8.65	16.03
3	H-16/32-32.5	364	728	948.63	5.10	10.19	13.28

4	K-4/8-32.5	226	452	1477.41	3.16	6.33	20.68
5	K-8/16-32.5	309	618	1163.58	4.33	8.65	16.29
6	K-16/32-32.5	364	728	964.05	5.10	10.19	13.50
7	A-4/8-32.5	226	452	1613.33	3.16	6.33	22.59
8	A-8/16-32.5	309	618	1270.62	4.33	8.65	17.79
9	A-16/32-32.5	364	728	1052.74	5.10	10.19	14.74
10	E-4/8-32.5	226	452	1583.78	3.16	6.33	22.17
11	E-8/16-32.5	309	618	1247.35	4.33	8.65	17.46
12	E-16/32-32.5	364	728	1033.46	5.10	10.19	14.47
13	H-4/8-42.5	226	452	1452.65	3.16	6.33	20.34
14	H-8/16-42.5	309	618	1143.43	4.33	8.65	16.01
15	H-16/32-42.5	364	728	946.83	5.10	10.19	13.26
16	K-4/8-42.5	226	452	1476.27	3.16	6.33	20.67
17	K-8/16-42.5	309	618	1162.02	4.33	8.65	16.27
18	K-16/32-42.5	364	728	962.22	5.10	10.19	13.47

Tablo 2.4 (devamı)

19	A-4/8-42.5	226	452	1612.09	3.16	6.33	22.57
20	A-8/16-42.5	309	618	1268.93	4.33	8.65	17.77
21	A-16/32-42.5	364	728	1050.75	5.10	10.19	14.71
22	E-4/8-42.5	226	452	1582.56	3.16	6.33	22.16

23	E-8/16-42.5	309	618	1245.69	4.33	8.65	17.44
24	E-16/32-42.5	364	728	1031.50	5.10	10.19	14.44

2.4.2. Beton Numunelerinin Hazırlanması

Beton karışım hesaplarıyla miktarları belirlenmiş olan agreg a numuneleri, tane büyüklüklerine göre seçilmiş eleklerde elenerek tane sınıflarına ayrılmıştır. Agregalar, iyi bir şekilde yıkandıktan sonra karışım hesaplarında doyg un kuru yüzey durumunda düşünüldükleri için beton üretimine başlamadan önce de doyg un kuru yüzey durumuna getirilmiştir.

Betonun üretilmesi, deney numunelerinin oluşturulması ve numunelerin kürü için, terazi, çok sayıda kova, kare ağızlı el küreği, betoniyer, sert ve düz yüzeyli büyük bir tekne, numune kalıpları, kalıp yağı, titreşim masası, tokmak, çelik mala, hava kompresörü ve kür havuzu kullanılmıştır. Cihazlar, TS EN 12390-2 standardına uygun seçilmiştir.

Numune kalıpları, TS EN 12390-1 standardına uygun olarak, betonda kullanılan agreg a büyüklüğünün en az 3.5 katı olacak şekilde seçilmiştir. Beton serileri içerisinde en büyük tane çapının 32 mm olduğu ve deneylerde kullanılabilecek mevcut agreg a miktarının da sınırlı olduğu düşünülerek deneylerde, 150 mm anma boyutundaki küp numune kalıpları kullanılmıştır. Numune kalıpları, su sızdırmaz ve su emmez özellikte olup, TS EN 12390-1 standardına uygundur. Betonun kalıba yapışmasını önlemek için numune kalıpları önceden, çimento ile etkileşime girmeyen kalıp yağı ile ince bir tabaka halinde kaplanmıştır.

Her bir beton serisi için miktarları önceden belirlenmiş olan beton bileşenleri, terazide tartılarak kovalara yerleştirilmiştir. Beton bileşenlerinden agreg a ve çimento sırasıyla beton karıştırma işleminin gerçekleştirileceği betoniye boşaltılarak bir müddet bu şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra karışım suyu da betoniye boşaltılmış ve her bir beton serisi için karıştırma işlemi yaklaşık 5 dakika sürdürülmüştür. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra betoniye tekrar çalıştırılmış ve üretilmiş olan betonlar tekneye dökülmüştür. Burada el küreği ile tekrar karıştırılmıştır. Beton, numune kalıplarına, her tabaka 100 mm'den daha kalın olmayacak şekilde iki tabaka halinde yerleştirilmiştir. Betonda sıkıştırma işlemi, titreşim masası ile gerçekleştirilmiştir. Bu sırada numune kalıplarına sıkıca bastırılarak kalıpların oynaması engellenmiştir. Beton dolu numune kalıplarının üst yüzeyindeki fazla beton, çelik mala ile alınarak yüzey tesviyesi yapılmıştır. Önceden hazırlanmış olan etiketler

de numunelere zarar vermeden, üst yüzeylerine yapıştırılarak, numunelerin kolay bir şekilde ayırt edilmesi sağlanmıştır.

Beton numuneler, yaklaşık 1 gün kalıp içerisinde ve oda sıcaklığında tutulduktan sonra hava kompresörü yardımıyla kalıplarından çıkartılarak 21 °C'deki kür havuzunda 27 gün su içerisinde bekletilmiştir. Beton numunelerin hazırlanmasında gerçekleştirilen işlemler, Şekil 2.7 ile aşağıda gösterilmiştir.





Şekil 2.7. Beton numunelerin hazırlanması ile ilgili işlemler

2.4.3. Sertleşmiş Betonda Yoğunluk Tayini

Beton kür havuzundan çıkartılan 28 günlük küp şekilli beton numunelerinin yüzeyindeki serbest su, havlu yardımıyla silinerek temizlenmiştir. Daha sonra, numunelerin boyutları cetvelle kontrol edilerek TS EN 12390-1 standardına uygunluğu teyit edilmiştir. TS EN 12390-7 standardına göre en az 72 saat süreyle su içerisinde küre tabi tutulan numunelerin doygun kütleye ulaştığı kabul edilmektedir. Suyu doygun numuneler, teraziye yerleştirilerek suya doygun durumdaki kütleler (m_s), kilogram cinsinden belirlenmiştir. Küp

numunelerin hacimleri (V), belirtilmiş boyutlarından, on binde bir hanesine yuvarlatılarak, m³ cinsinden hesaplanmıştır. Suya doymun durumdaki beton numunelerin yoğunlukları, aşağıda verilen Eşitlik 2.18 ile en yakın 10 kg/m³'e yuvarlatılarak hesaplanmıştır.

$$D_s = \frac{m_s}{V} \quad (2.18)$$

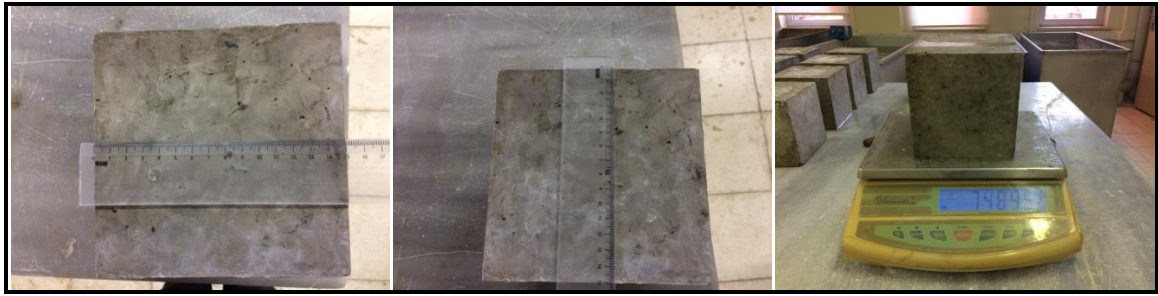
Bu eşitlikte;

D_s : Numunenin suya doymun durumdaki yoğunluğu, (kg/m³)

m_s : Numunenin suya doymun durumdaki kütlesi, (kg)

V : Numunenin belirtilmiş boyutlar kullanılarak elde edilmiş hacmi, (m³)

Deney esnasında gerçekleştirilen işlemler, Şekil 2.8 ile aşağıda gösterilmiştir.

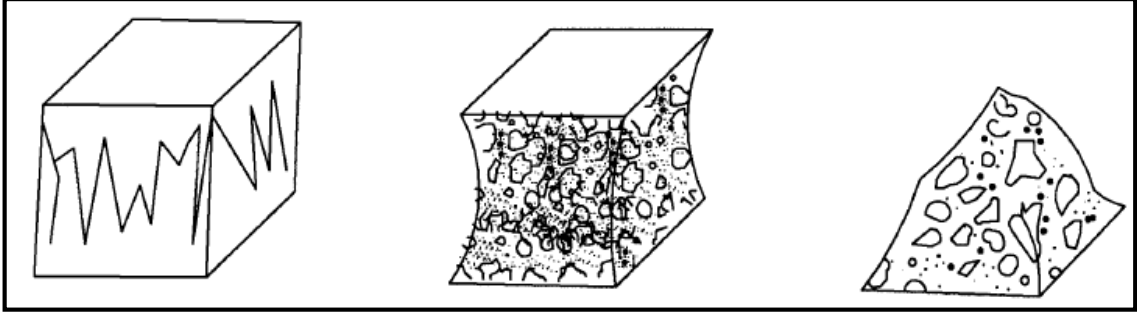


Şekil 2.8. Sertleşmiş betonda yoğunluk tayini deneyinde yapılan işlemler

2.4.4. Beton Basınç Dayanımının Tayini

Kür havuzundan çıkarılan 28 günlük küp numunelerin yüzeylerindeki fazla su, havlu ile kurulandıktan sonra boyutları kontrol edilerek TS EN 12390-1 standardına uygunluğu, yoğunluk tayini deneyinde teyit edilmişti. TS EN 12390-4 standardına uygun deney makinasına ait yükleme başlıklarının yüzeyleri temizlenerek deneye hazır hale getirilmiştir. Daha sonra küp numuneler, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak konumda makinanın alt yükleme başlığı üzerine merkezlenerek yerleştirilmiştir. Numunelere ait bilgilerle birlikte 15 KN/s sabit yükleme hızı da belirlendikten sonra deney başlatılmıştır. Deney sonunda belirlenen kırılma yükü ve basınç dayanımları kaydedilmiştir. Basınç dayanımı, en yakın 0.5 MPa'a yuvarlatılarak gösterilmiştir. Beton basınç dayanımının tayini deneyindeki tüm aşamalarda TS EN 12390-3 standardına uyulmuştur.

Deneyin tatmin edici doğrulukta yapıp yapılmadığı, TS EN 12390-3 standardına göre numunelerin kırılma tipleriyle anlaşılmaktadır. Küp numuneler için tatmin edici kırılma tipleri, Şekil 2.9 ile aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri
(TS EN 12390-3, 2010).

Beton basınç dayanımı tayini deneyi başlatılmadan önce, beton numunelerde kırılma yüzeylerinin de incelenebilmesi için deney makinasında kırılma algılama yükselttilerek 35 ve 40 değerlerine getirilmiştir. Bunun da etkisiyle kırılan tüm beton numunelerde Şekil 2.9'da ortada gösterilen biçimde tatmin edici kırılmalar meydana gelmiştir.

Numunelerde meydana gelen kırılmalar ve deney esnasında gerçekleştirilen işlemler, Şekil 2.10 ile aşağıda gösterilmiştir.

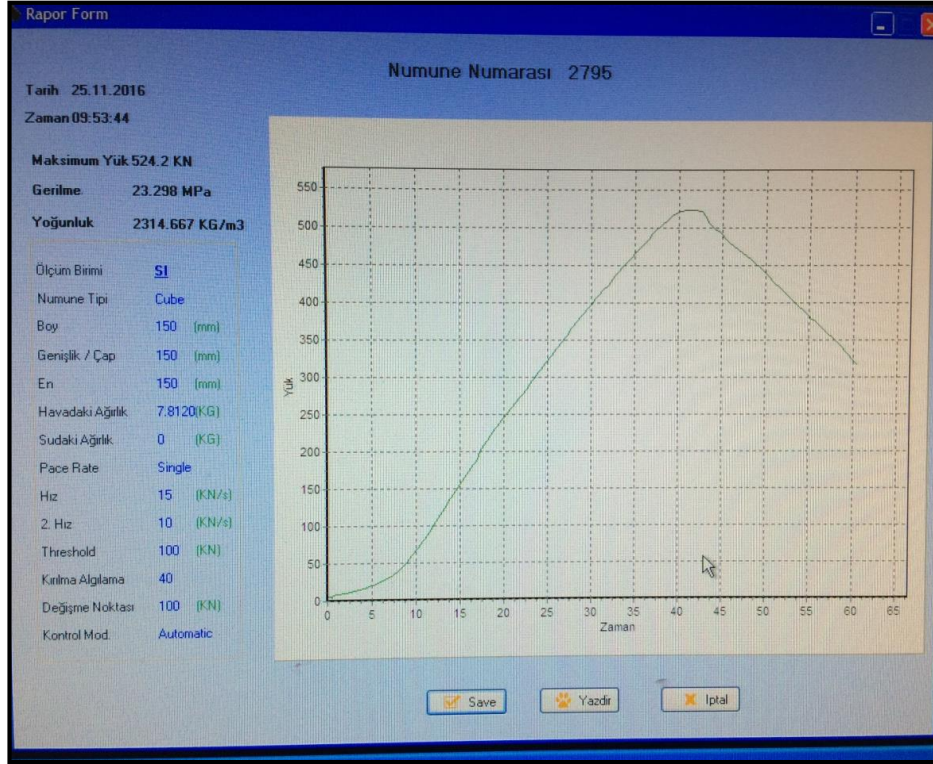




Şekil 2.10. Beton basınç dayanımı tayini için gerçekleştirilen işlemler

2.4.5. Beton Numunelerde Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

TS EN 12390-3 standardına göre yapılan beton basınç dayanımı tayini deneyiyle numunelerin kırılma yükleri ve basınç dayanımları belirlenmektedir. Çalışmamızda, aynı numunelerin kırılma yüzeylerinin de incelenerek, kırılma yüzeylerinde meydana gelen kırılma şekillerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kırılma yüzeylerinde gerçekleşen kırılma şekillerinin tayin edilebilmesi için de kırılmaların, Şekil 2.9’da ortada gösterildiği biçimde olması istenmiştir. Böylece kırılma yüzeyleri daha belirgin olacak, kırılma şekillerinin tespiti daha kolaylaşacaktı. Deney makinasının kırılma algılama ayarı değiştirilerek birkaç denemeden sonra uygun kırılma algılama değeri bulunmuştur. Bu değer; CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimentoyla üretilen betonlar için 35, CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimentoyla üretilen betonlar için ise 40 olarak ayarlanmıştır. Kırılma algılama değeri değiştirildikten sonra basınç dayanımı tayini deneyi başlatılmıştır. Deneyin, Şekil 2.11’de gösterildiği gibi numune kırılma yüküne ulaştıktan bir süre sonrasında kadar daha devam ettiği ve deney sonunda, numunelerde arzulanan kırılma yüzeylerinin meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 2.11. Beton basınç dayanımı tayininde kullanılan deney makinası programı arayüzü

Basınç dayanımı tayini deneyiyle kırılan beton numuneleri, 100/150 mm ebatlarında yapılan çerçeve içerisine alınarak tüm yüzeylerinin yakın çekimde fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraflar, bilgisayar ortamında yakınlştırılarak kırılma yüzeylerinde meydana gelen kırılma şekilleri (aderans sökülmesi, agreg a kırılması) fotoğraflar üzerinde işaretlenmiştir. Her bir beton serisi için aderans sökülmesi ve agreg a kırılması olarak tespit edilen kırılmaların miktarları sayılmıştır. Kırılma şekillerinin işaretlenmiş olduğı fotoğraflardan bazıları, Şekil 2.12, Şekil 2.13 ve Şekil 2.14 ile aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Tane sınıfı 4/8 mm olan agregalarla üretilmiş beton numunesine ait kırılma şekillerinin işaretlenmiş olduğu görüntü



Şekil 2.13. Tane sınıfı 8/16 mm olan agregalarla üretilmiş beton numunesine ait kırılma şekillerinin işaretlenmiş olduğu görüntü



Şekil 2.14. Tane sınıfı 16/32 mm olan agregalarla üretilmiş beton numunesine ait kırılma şekillerinin işaretlenmiş olduğu görüntü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Agreg

3.1.1. Petrografik Analiz Sonuçları

Agrega kaynaklarından elde edilen numunelerin, TS 10088 EN 932-3 standardına göre petrografik tanımlama işlemleri gerçekleştirilerek agreg kaynağı ve tane sınıflarına göre numunelerin modal bileşimlerinin değerleri yüzde olarak belirlenmiştir. Agregaların modal bileşimlerine ait yüzde miktarları, Tablo 3.1 ile aşağıda gösterilmiştir.

Agregaların 0/4 mm tane sınıfları beton üretiminde kullanılmadığından yapılan değerlendirmelerde bunlardan bahsedilmemiştir. Ancak, petrografik analiz 0/4 mm tane sınıfı için de yapıldığından Tablo 3.1’de bu tane sınıfına ait sonuçlar da verilmiştir.

Tablo 3.1. Agregaların modal bileşim yüzdeleri

Modal Bileşim	Yüzde Miktarları (%)											
	Harşit Çayı Agregaları			Kelkit Çayı Agregaları			Aksu Nehri Agregaları			Erkenez Çayı Agregaları		
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm
Pelajik Kireçtaşı	-	-	-	2.16	2.64	1.58	3.32	4.93	2.61	3.66	3.87	2.99
Biyosparitik Kireçtaşı	17.24	15.78	14.36	23.02	22.04	19.97	11.82	16.12	8.57	24.37	21.30	20.22
Granit	23.63	21.52	20.15	18.35	12.34	19.38	7.29	5.85	15.03	15.59	17.69	15.43
Alkali Feldispat Granit	15.46	20.10	24.02	10.14	15.06	13.71	14.59	19.30	23.35	14.15	18.75	18.42
Granit Porfir	7.59	6.32	4.27	6.21	8.07	4.88	8.22	7.60	4.72	4.54	3.96	5.86
Milonitik Granit	-	2.34	2.69	-	1.86	1.91	-	-	5.84	-	-	1.97
Mermer	10.63	8.81	6.98	11.20	9.66	12.81	11.27	9.24	6.96	9.00	10.83	11.53
Bazalt	7.40	6.25	6.86	7.42	6.52	6.91	10.16	6.78	6.58	7.32	6.43	9.46
Gabro	8.02	7.03	5.24	8.14	7.14	4.88	6.28	5.44	4.72	5.64	2.90	4.14
Dasit	4.89	5.82	5.27	5.13	5.28	4.68	5.26	6.37	7.70	5.34	5.63	4.30
Radyolarit	1.88	2.34	3.92	3.04	2.64	2.04	4.34	3.49	2.61	3.29	2.99	4.06
Serpantinit	-	-	-	-	-	-	7.20	2.26	-	-	-	-
Siyenit	1.48	1.56	2.02	1.84	1.86	1.91	2.03	2.16	2.24	3.88	1.94	-
Kumtaşı	1.78	2.13	2.04	3.35	4.89	2.57	3.05	3.80	3.48	-	-	-
Kalkşist	-	-	2.18	-	-	2.77	5.17	6.67	5.59	3.22	3.70	1.61
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tablo 3.1 incelendiğinde agrega bileşimlerinde miktarı en fazla olan kayaç türünün granit kökenli kayaçlar olduğu görülmektedir. Agregaların 4/8 mm tane sınıflarına ait modal bileşimlerinde granit kökenli kayaçların oranı en fazla olan Harşit Çayı agregalarıdır. Bunu sırasıyla, Erkenez Çayı, Kelkit Çayı ve Aksu Nehri agregaları izlemektedir. 8/16 mm tane sınıflarında ise granit kökenli kayaçların oranı en fazla olan yine Harşit Çayı agregalarıdır. Bunu da sırasıyla, Aksu Nehri, Erkenez Çayı ve Kelkit Çayı agregaları izlemektedir. Burada yüzde miktarlarındaki farklar diğer kayaç türlerine göre önemli derecede daha fazladır.

Agregaların 4/8 mm tane sınıflarına ait modal bileşimlerinde kireçtaşı kökenli kayaçların oranı en fazla olan Erkenez Çayı agregalarıdır. Bunu sırasıyla Kelkit Çayı, Aksu Nehri ve Harşit Çayı agregaları izlemektedir. 8/16 mm tane sınıflarında da kireçtaşı kökenli kayaçların oranı en fazla olan Erkenez Çayı agregalarıdır. Bunu sırasıyla Kelkit Çayı, Harşit Çayı ve Aksu Nehri agregaları izlemektedir.

Mermer, en çok Kelkit Çayı ve Erkenez Çayı agregalarında, en az Harşit Çayı agregalarında bulunmaktadır.

Bunların dışında agregaların modal bileşimlerinde, gabro oranı en çok, Harşit Çayı ve Kelkit Çayı agregalarının 4/8 mm tane sınıflarında görülmüştür. Erkenez Çayı'nın 4/8 mm tane sınıflarında ise gabro oranı en az bulunmaktadır. Diğer agregaların gabro oranları birbirine yakındır.

Erkenez Çayı' nın 8/16 mm tane sınıflarında bazalt oranı diğerlerinden daha fazladır. Diğer agregalarda bazalt oranı önem ifade edecek kadar değişmemiştir.

Dasit, en fazla Aksu Nehri agregalarında bulunmaktadır. Serpantin'e sadece Aksu Nehri'nin 4/8 mm tane sınıflarında rastlanılmıştır. Diğer agrega numunelerinin tümünün modal bileşimlerinde kumtaşı bulunurken, Erkenez Çayı agrega numunelerinde kumtaşına rastlanılmamıştır. Kalkışist, sadece Harşit Çayı'nın ve Kelkit Çayı'nın 4/8 mm tane sınıfında bulunmamaktadır. Siyenit'e ise sadece Erkenez Çayı'nın 8/16 mm tane sınıfında rastlanılmamıştır.

Agrega numunelerinin modal bileşim oranları incelendiğinde; aynı kaynağın farklı tane sınıflarında kayaçların farklı oranlarda bulunabildiği gibi, farklı kaynaklarda bazı kayaçların benzer oranlarda bulunabildiği görülmektedir.

3.1.2. Kimyasal Analiz Sonuçları

Agrega kaynaklarından elde edilen numunelerin, kimyasal analizleri yapılarak agregaya kaynağı ve tane sınıflarına göre agregaya numunelerinin kimyasal bileşimlerinin değerleri yüzde olarak belirlenmiştir. Agregaların kimyasal bileşimlerine ait yüzde miktarları, Tablo 3.2 ile aşağıda gösterilmiştir.

Agregaların 0/4 mm tane sınıfları beton üretiminde kullanılmadığından yapılan değerlendirmelerde bunlardan bahsedilmemiştir. Ancak, kimyasal analiz 0/4 mm tane sınıfı için de yapıldığından Tablo 3.2’de bu tane sınıfına ait sonuçlar da verilmiştir.

Agrega numunelerinin her biri için kükürt muhtevası, TS 706 EN 12620+A1 standardında belirtildiği gibi kütlece %1’i aşmamaktadır. Klorür muhtevaları incelendiğinde ise genel itibarıyla kütlece %0.01’den daha düşüktür. Klorür muhtevası, Aksu Nehri’nin ve Harşit Çayı’nın 4/8 mm tane sınıflarıyla Erkenez Çayı’nın 8/16 mm tane sınıfında bu değerden biraz daha yüksektir.

Tablo 3.2. Agregaların kimyasal bileşim yüzdeleri

Kimyasal Bileşim	Yüzde Miktarları (%)											
	Harşit Çayı Agregaları			Kelkit Çayı Agregaları			Aksu Nehri Agregaları			Erkenez Çayı Agregaları		
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm
SiO ₂	49.9100	45.1600	58.3300	47.9200	46.1000	48.6500	49.6200	51.3800	35.7700	48.2500	37.7500	28.6400
Al ₂ O ₃	8.7860	11.2430	16.2300	9.3500	12.5790	12.4920	9.4040	9.2260	7.0010	8.8170	8.0960	8.0980
CaO	15.9000	19.9200	5.3520	13.6940	21.6600	16.5200	16.7700	19.1500	36.2400	18.8700	29.2700	35.3500
Fe ₂ O ₃	8.4260	4.1430	6.9120	7.6200	5.8420	3.5860	7.3220	6.6430	0.6854	4.5090	4.3510	2.9400
MgO	5.9960	4.6260	4.1480	7.7910	2.3180	3.7410	8.0350	6.5200	5.1270	5.8190	5.1370	1.4630
Na ₂ O	2.0430	0.8400	1.0800	1.5500	0.7300	1.6200	0.7500	0.4700	0.2200	0.4000	0.0510	0.0680
P ₂ O ₅	0.1426	0.0953	0.1173	0.1614	0.1430	0.0606	0.0920	0.0989	0.0428	0.0880	0.0947	0.0516
SO ₃	0.0153	0.0648	0.5320	0.0706	0.0263	0.0113	0.0337	0.0335	0.0475	0.0119	0.0230	0.0163
Cl	0.0018	0.0158	0.0002	0.0002	0.0063	0.0086	0.0122	0.0339	0.0118	0.0137	0.0070	0.0188
K ₂ O	2.4830	1.3850	2.8720	2.4170	1.0390	1.9200	0.5447	0.6063	1.1410	0.6288	0.4681	0.7948
TiO ₂	0.6532	0.4120	0.8676	0.8382	0.5692	0.3656	0.4509	0.4213	0.0890	0.4179	0.3730	0.2317
V ₂ O ₅	0.0228	0.0228	0.0326	0.0270	0.0214	0.0248	0.0224	0.0221	0.0052	0.0194	0.0194	0.0087
Cr ₂ O ₃	0.0166	0.0269	0.0287	0.0146	0.0512	0.0158	0.0718	0.1091	0.0113	0.1122	0.0429	0.0147
MnO	0.0904	0.0786	0.0772	0.2034	0.1112	0.0570	0.0966	0.0925	0.0526	0.0828	0.0903	0.0524
LOI	5.5132	11.9668	3.4204	8.3426	8.8034	10.9274	6.7748	5.1934	13.5554	11.9603	14.2266	22.2520
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Agregaların 4/8 mm tane sınıflarına ait kimyasal bileşimlerinde silis oranı en fazla olan Aksu Nehri agregalarıdır. Bunu sırasıyla Kelkit Çayı, Harşit Çayı ve Erkenez Çayı agregaları izlemektedir. 8/16 mm tane sınıflarında ise silis oranı en fazla olan Harşit Çayı agregalarıdır. Bunu sırasıyla Kelkit Çayı, Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregaları izlemektedir.

Kimyasal bileşimlerine göre kayaçlar; asit, bazik ve nötr karakterli kayaçlar olmak üzere üç kısımda ele alınırlar. Asit karakterli kayaçlarda silis oranı %65-80 oranında, bazik karakterli kayaçlarda silis oranı %40-52 ve nötr karakterli kayaçlarda silis oranı %52-65 aralıklarında değişmektedir (Sür, 2009).

Buna göre; Tablo 3.2 incelendiğinde, 8/16 mm tane sınıfına ait Harşit Çayı agregaları nötr karakterli, Aksu Nehri'nin 8/16 mm tane sınıfı, Erkenez Çayı'nın 4/8 mm ve 8/16 mm tane sınıflarına ait agrega numunelerinin silis oranları tanımlanan aralıklardan daha düşük seviyelerde, diğer agrega numuneleri de bazik karakterlidir. Asit karakterli agrega numunesi ise bulunmamaktadır.

Agregaların 4/8 mm tane sınıflarında alümin miktarı en fazla olan Kelkit Çayı agregalarıdır. Bunu sırasıyla Harşit Çayı, Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregaları izlemektedir. 8/16 mm tane sınıflarında ise alümin miktarı en fazla olan Harşit Çayı agregalarıdır. Bunu da sırasıyla Kelkit Çayı, Erkenez Çayı ve Aksu Nehri agregaları izlemektedir.

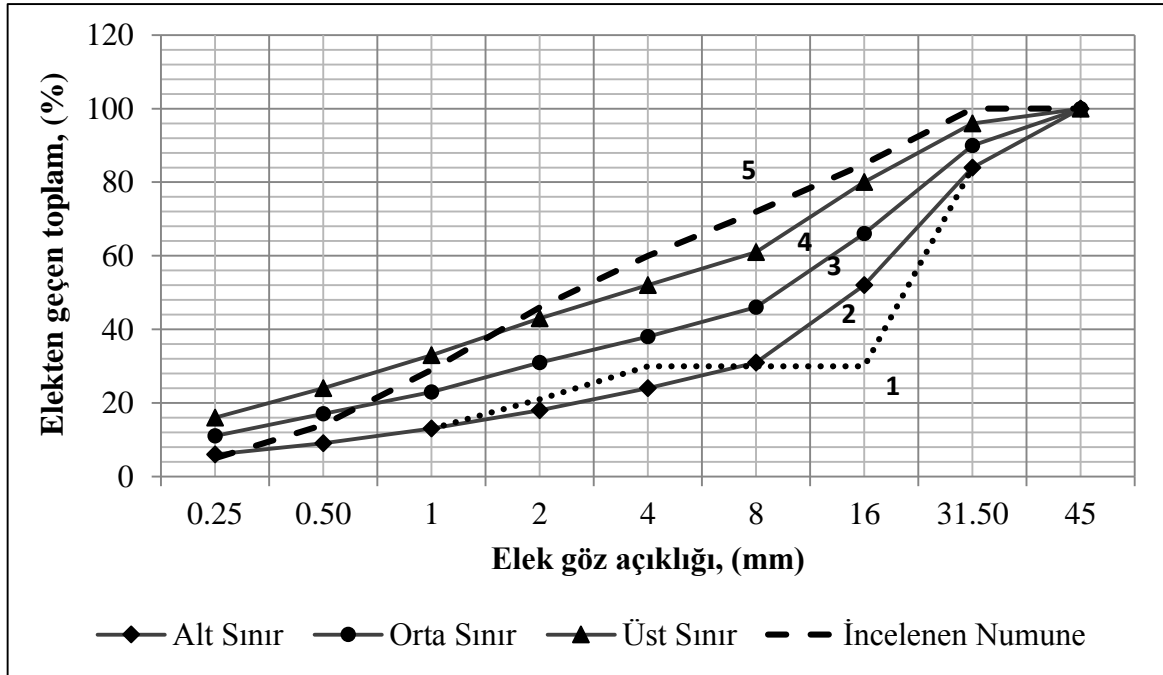
Shah vd. (1994), beton karışımında traslı çimento kullanılması durumunda eğer ortamda silisli ve alüminli agrega varsa birtakım reaksiyonlar sonucu beton ara yüzeyinde kimyasal bir bağlanmanın meydana gelebileceğinden bahsetmektedir. Tablo 3.2'den agrega bileşimlerinde bulunan silis ve alümin miktarlarının toplamaları dikkate alındığında, 4/8 mm tane sınıfında silis ve alümin birlikte en çok Aksu Nehri agregalarında bulunmaktadır. Bunu sırasıyla Kelkit Çayı, Harşit Çayı ve Erkenez Çayı agregaları takip etmektedir. Erkenez Çayı'na ait 4/8 mm tane sınıfında bu miktar diğerlerinden çok daha düşüktür. 8/16 mm tane sınıfında ise silis ve alümin birlikte en çok Harşit Çayı agregalarında bulunmaktadır. Bunu da sırasıyla Kelkit Çayı, Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregaları izlemektedir. Buradaki farklar çok daha yüksektir.

3.1.3. Tane Büyüklüğü Dağılımı

Harşit Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen A kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.3 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.1 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Harşit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	1663	1663	14.9	15	85
8	1479	3142	13.2	28	72
4	1286	4428	11.5	40	60
2	1567.6	5995.6	14.0	54	46
1	1978	7973.6	17.7	71	29
0.5	1627.5	9601.1	14.6	86	14
0.25	1038.2	10639.3	9.3	95	5
Tava	523.9	11163.2	4.7	100	0
TOPLAM	11163.2	-	100	389	-
İNCELİK MODÜLÜ: 3.89					



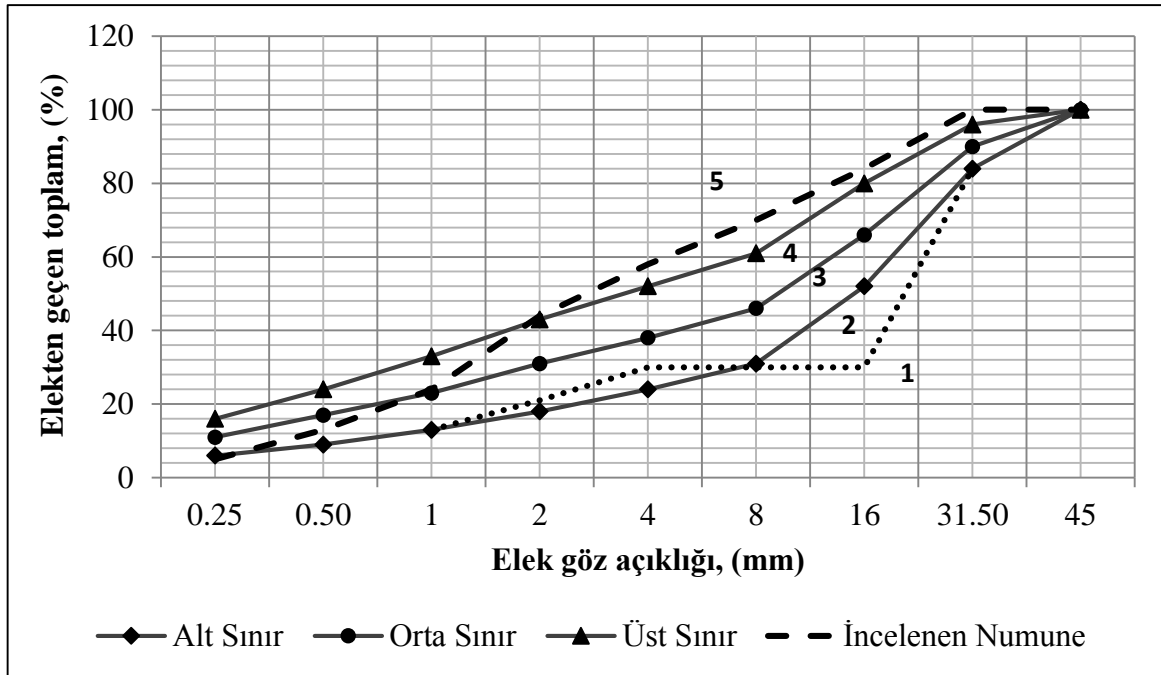
Şekil 3.1. Harşit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait granülometri eğrisi

Harşit Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen B kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.4 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.2 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Harşit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	1677	1677	16.3	16	84
8	1444.2	3121.3	14.0	30	70
4	1212.3	4333.6	11.8	42	58
2	1448.6	5782.1	14.1	56	44
1	1985.3	7767.4	19.3	76	24
0.5	1223.6	8991.1	11.9	87	13
0.25	827.8	9818.8	8.0	95	5
Tava	468.2	10287.1	4.6	100	0
TOPLAM	10287.1	-	100	402	-

İNCELİK MODÜLÜ: 4.02

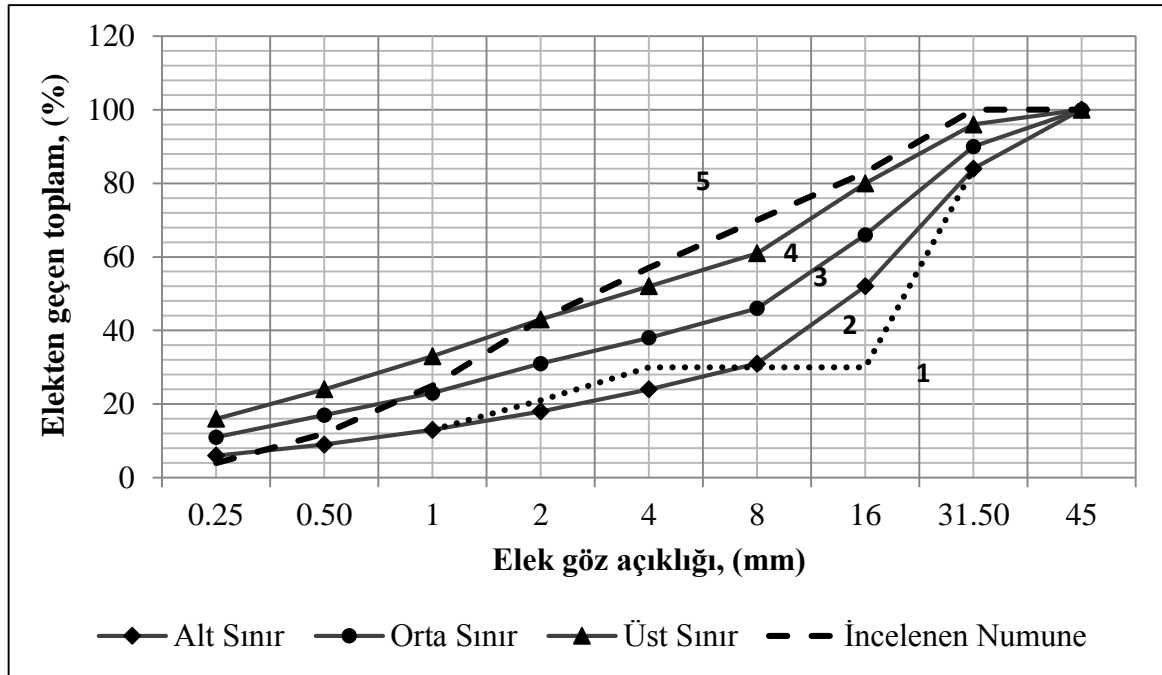


Şekil 3.2. Harşit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait granülometri eğrisi

Harşit Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen C kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.5 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.3 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Harşit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	1838.4	1838.4	17.1	17	83
8	1426.3	3264.7	13.3	30	70
4	1312.3	4577	12.2	43	57
2	1529.8	6106.8	14.2	57	43
1	1999.6	8106.4	18.6	75	25
0.5	1349.7	9456.1	12.6	88	12
0.25	827.1	10283.2	7.7	96	4
Tava	463.8	10747	4.3	100	0
TOPLAM	10747	-	100	406	-
İNCELİK MODÜLÜ: 4.06					

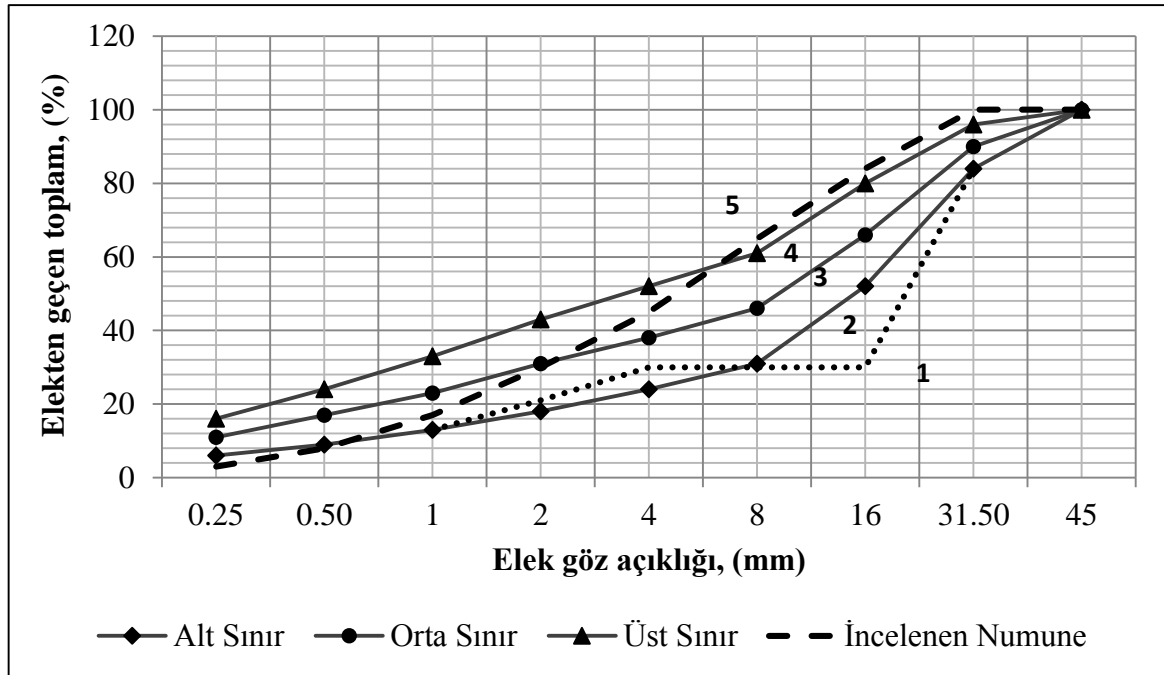


Şekil 3.3. Harşit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait granülometri eğrisi

Kelkit Çayı agregalarının çeyrekleme yöntemiyle bölünen A kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.6 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.4 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Kelkit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	1823.4	1823.4	16.1	16	84
8	2188.4	4011.8	19.4	35	65
4	2180.9	6192.7	19.3	55	45
2	1727.1	7919.8	15.3	70	30
1	1478	9397.8	13.1	83	17
0.5	989.2	10386.9	8.7	92	8
0.25	626.5	11013.4	5.5	97	3
Tava	295.6	11309	2.6	100	0
TOPLAM	11309	-	100	448	-
İNCELİK MODÜLÜ: 4.48					

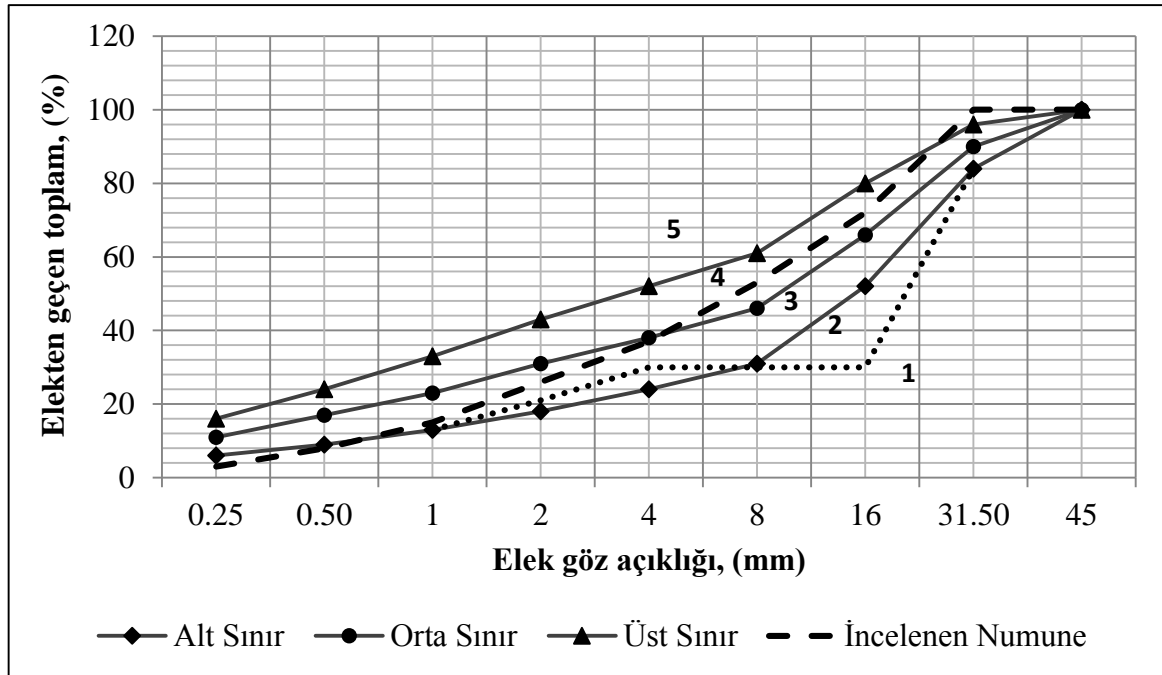


Şekil 3.4. Kelkit Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait granülometri eğrisi

Kelkit Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen B kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.7 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.5 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Kelkit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	2837.7	2837.7	28.3	28	72
8	1900.6	4738.3	18.9	47	53
4	1607.9	6346.2	16.0	63	37
2	1087.4	7433.6	10.8	74	26
1	1062.9	8496.5	10.6	85	15
0.5	750.3	9246.8	7.5	92	8
0.25	539	9785.7	5.4	97	3
Tava	254.2	10040	2.5	100	0
TOPLAM	10040	-	100	486	-
İNCELİK MODÜLÜ: 4.86					

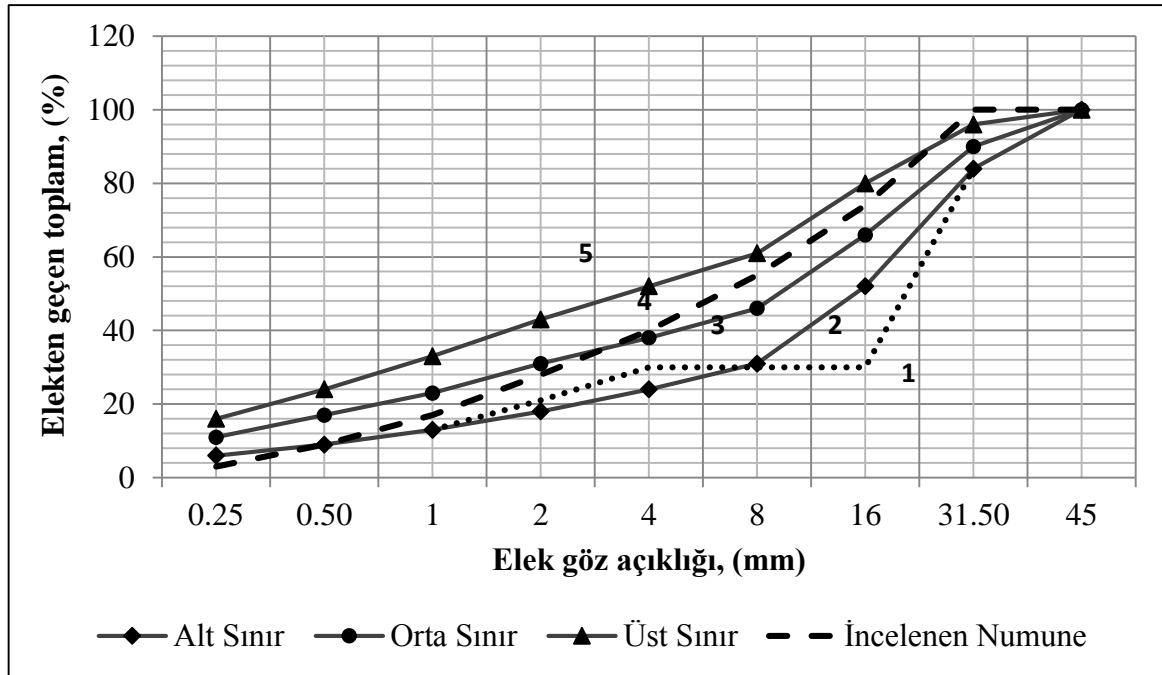


Şekil 3.5. Kelkit Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait granülometri eğrisi

Kelkit Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen C kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.8 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.6 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Kelkit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	2832.7	2832.7	25.7	26	74
8	2080.8	4913.5	18.9	45	55
4	1730.5	6644	15.7	60	40
2	1278.2	7922.1	11.6	72	28
1	1246.5	9168.6	11.3	83	17
0.5	864	10032.6	7.8	91	9
0.25	642.3	10674.9	5.8	97	3
Tava	352.3	11027.3	3.2	100	0
TOPLAM	11027.3	-	100	474	-
İNCELİK MODÜLÜ: 4.74					

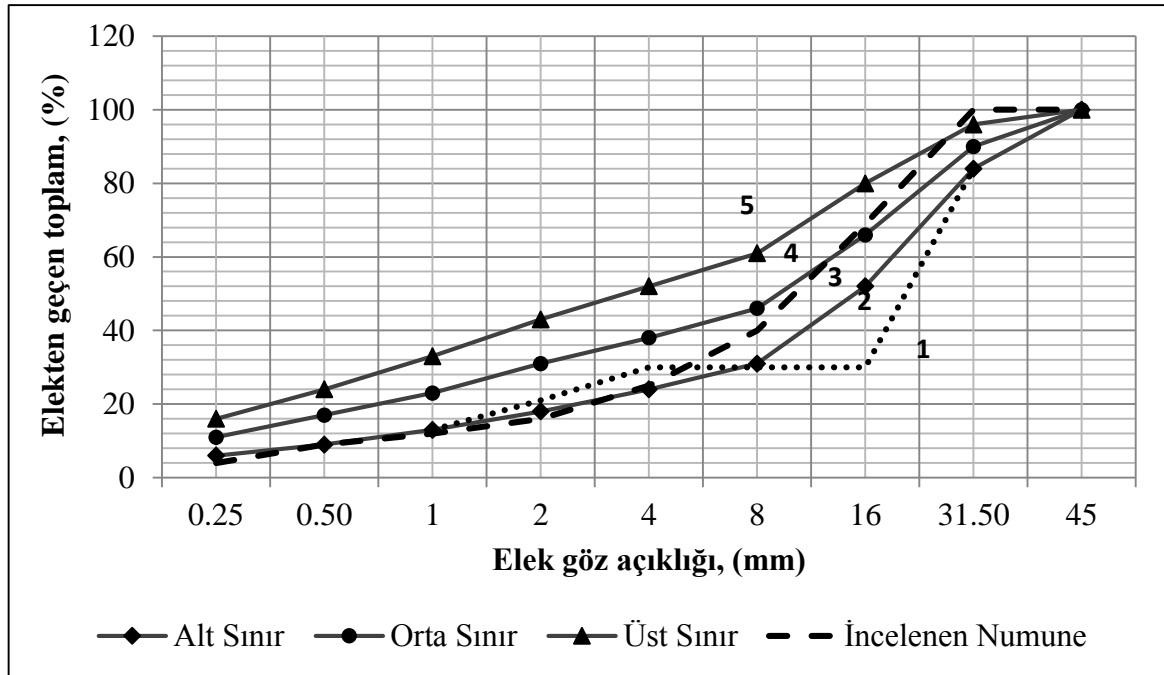


Şekil 3.6. Kelkit Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait granülometri eğrisi

Aksu Nehri agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen A kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.9 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.7 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Aksu Nehri agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	3107.5	3107.5	31.3	31	69
8	2895.2	6002.7	29.1	60	40
4	1442.9	7445.6	14.5	75	25
2	850.7	8296.3	8.6	84	16
1	444.5	8740.8	4.5	88	12
0.5	300.9	9041.7	3.0	91	9
0.25	475.5	9517.2	4.8	96	4
Tava	415.6	9932.8	4.2	100	0
TOPLAM	9932.8	-	100	525	-
İNCELİK MODÜLÜ: 5.25					



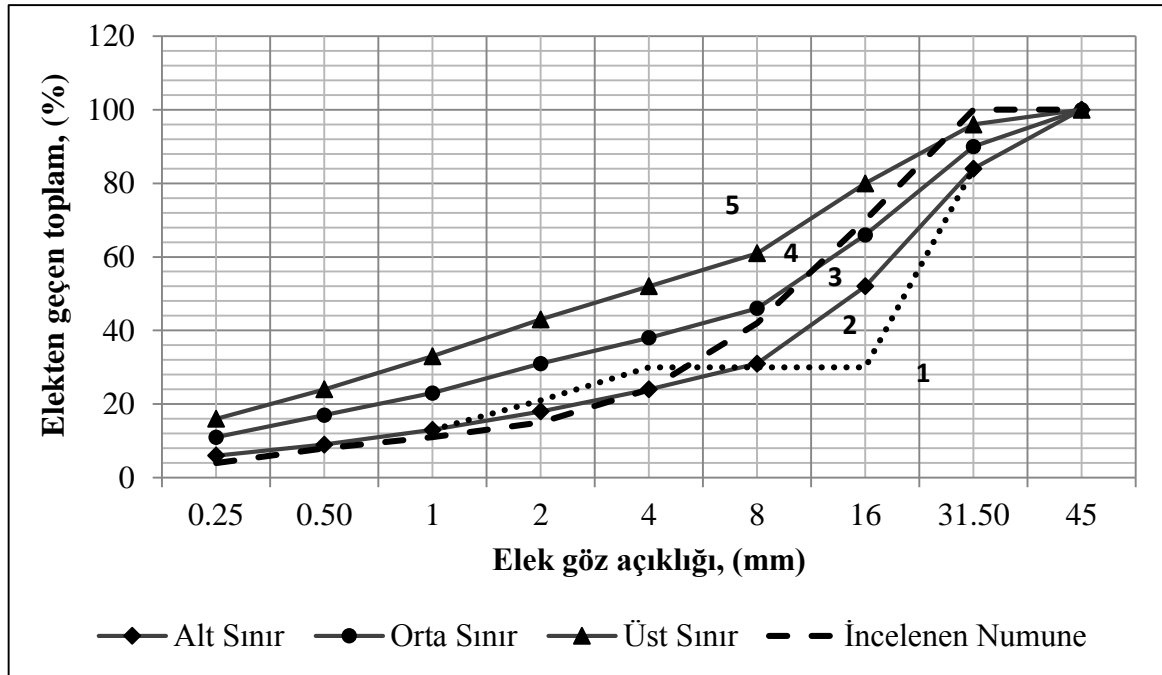
Şekil 3.7. Aksu Nehri agrega numunelerinin A kısımlarına ait granülometri eğrisi

Aksu Nehri agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen B kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.10 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.8 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Aksu Nehri agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	2986.4	2986.4	30.3	30	70
8	2770.9	5757.3	28.1	58	42
4	1761.4	7518.7	17.9	76	24
2	835.9	8354.6	8.5	85	15
1	432.2	8786.8	4.4	89	11
0.5	295.2	9082	3.0	92	8
0.25	365.8	9447.8	3.7	96	4
Tava	410.6	9858.4	4.2	100	0
TOPLAM	9858.4	-	100	526	-

İNCELİK MODÜLÜ: 5.26



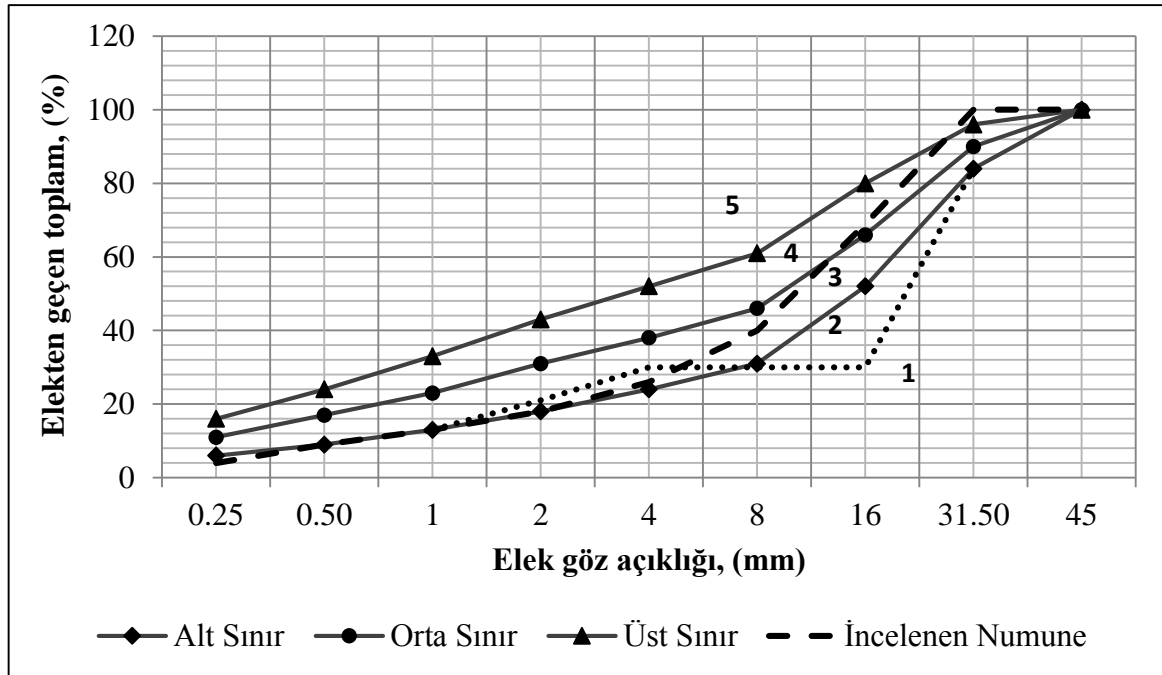
Şekil 3.8. Aksu Nehri agrega numunelerinin B kısımlarına ait granülometri eğrisi

Aksu Nehri agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen C kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.11 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.9 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Aksu Nehri agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	3249	3249	30.9	31	69
8	3041.8	6290.8	28.9	60	40
4	1456.6	7747.4	13.8	74	26
2	893.7	8641.1	8.5	82	18
1	487.2	9128.3	4.6	87	13
0.5	399.7	9528	3.8	91	9
0.25	525.3	10053.3	5.0	96	4
Tava	468.6	10521.9	4.5	100	0
TOPLAM	10521.9	-	100	521	-

İNCELİK MODÜLÜ: 5.21

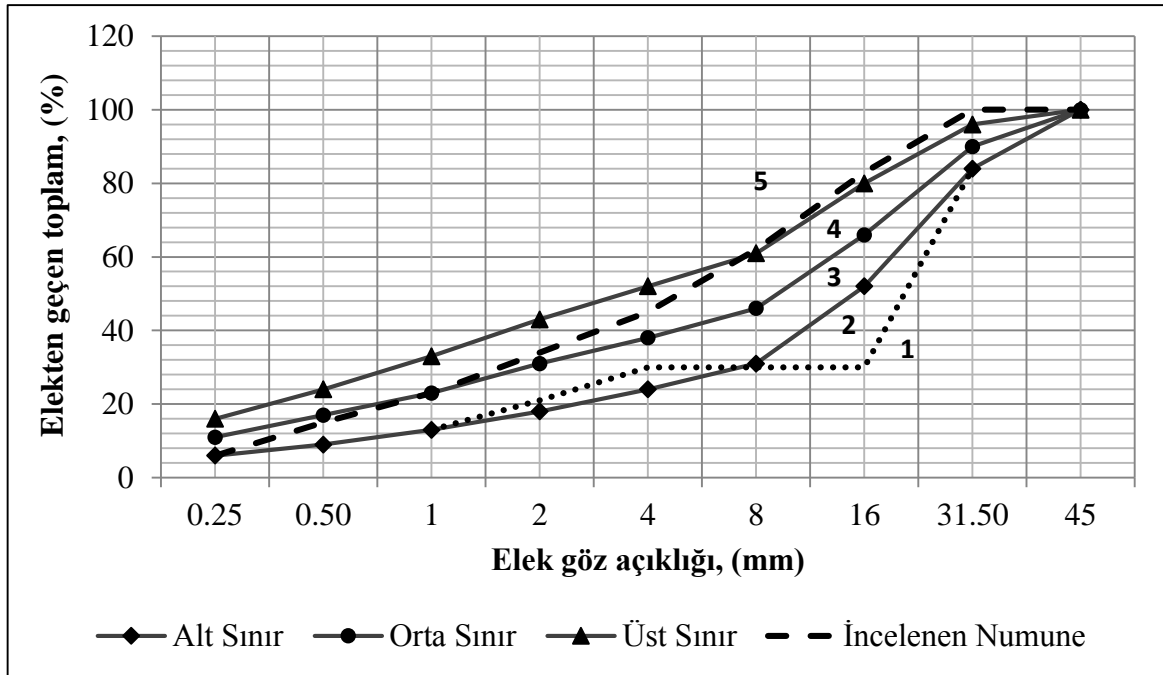


Şekil 3.9. Aksu Nehri agrega numunelerinin C kısımlarına ait granülometri eğrisi

Erkenez Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen A kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.12 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.10 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.12. Erkenez Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	1907	1907	16.9	17	83
8	2388	4295	21.2	38	62
4	1942.8	6237.8	17.2	55	45
2	1204.2	7442	10.7	66	34
1	1187.2	8629.2	10.5	77	23
0.5	963.9	9593.1	8.6	85	15
0.25	974.7	10567.8	8.7	94	6
Tava	697.4	11265.2	6.2	100	0
TOPLAM	11265.2	-	100	432	-
İNCELİK MODÜLÜ: 4.32					

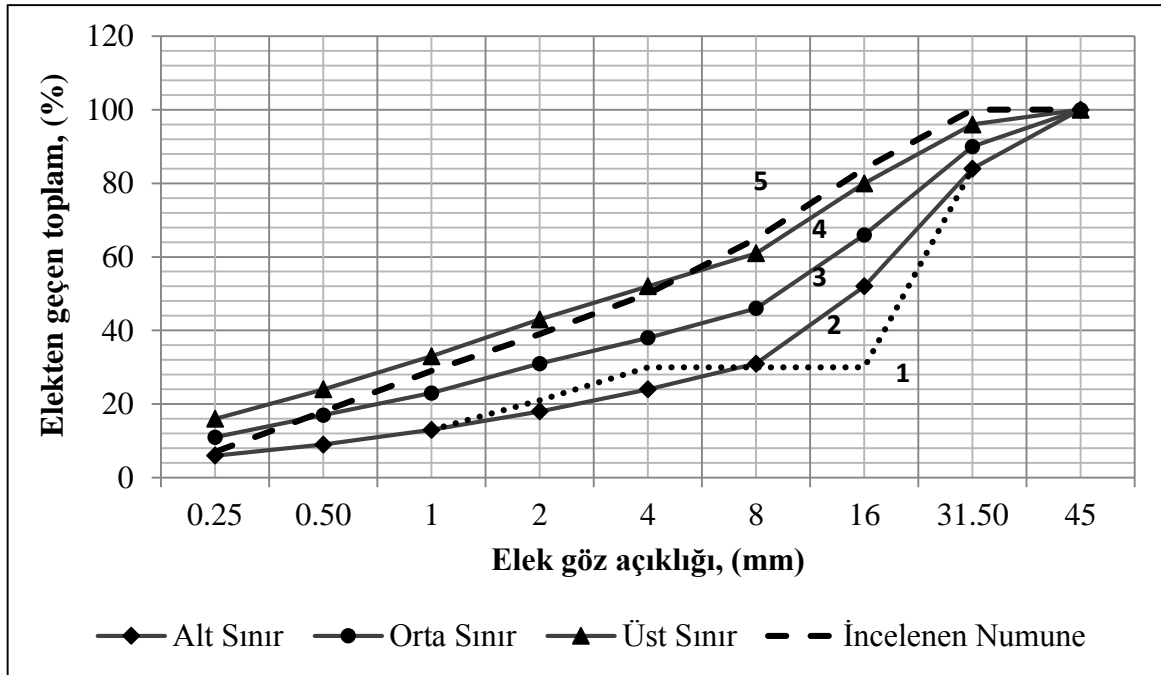


Şekil 3.10. Erkenez Çayı agrega numunelerinin A kısımlarına ait granülometri eğrisi

Erkenez Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen B kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.13 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.11 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.13. Erkenez Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	1884.3	1884.3	15.9	16	84
8	2285.3	4169.6	19.2	35	65
4	1776.4	5946	15.0	50	50
2	1265.6	7211.6	10.7	61	39
1	1176.4	8388	9.9	71	29
0.5	1352.6	9740.6	11.4	82	18
0.25	1318.4	11059	11.1	93	7
Tava	817.4	11876.4	6.9	100	0
TOPLAM	11876.4	-	100	408	-
İNCELİK MODÜLÜ: 4.08					



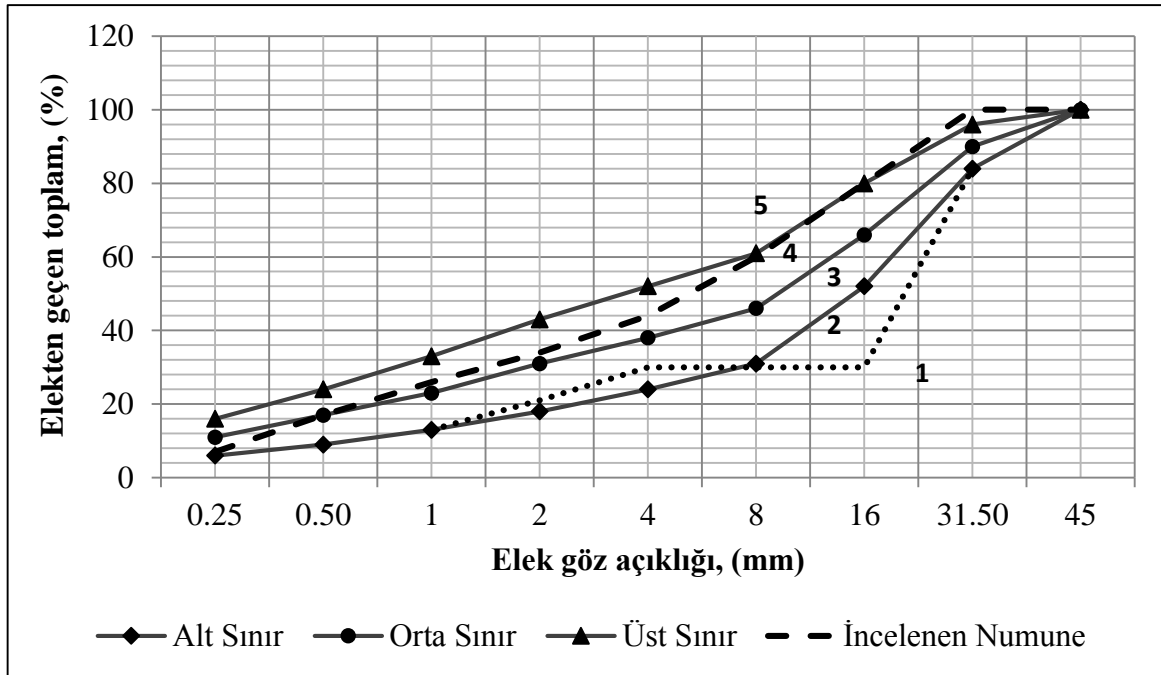
Şekil 3.11. Erkenez Çayı agrega numunelerinin B kısımlarına ait granülometri eğrisi

Erkenez Çayı agregalarının çeyreklemeye yöntemiyle bölünen C kısımları için elek analizi sonuçları Tablo 3.14 ile, granülometri eğrisi ise Şekil 3.12 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Erkenez Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı

Elek Göz Açılığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elek Üstünde Kalan Kümülatif (%)	Elekten Geçen Toplam (%)
31.5	0	0	0.0	0	100
16	2108.4	2108.4	20.1	20	80
8	2103.4	4211.8	20.1	40	60
4	1613.4	5825.2	15.4	56	44
2	1096.5	6921.7	10.5	66	34
1	873.8	7795.5	8.3	74	26
0.5	894.1	8689.6	8.5	83	17
0.25	1092.7	9782.3	10.4	93	7
Tava	688.2	10470.5	6.6	100	0
TOPLAM	10470.5	-	100	432	-

İNCELİK MODÜLÜ: 4.32



Şekil 3.12. Erkenez Çayı agrega numunelerinin C kısımlarına ait granülometri eğrisi

İncelik modülü sıfır ile granülometri deneyinde kullanılan elek sayısı arasında değerler almaktadır (Güner ve Süme, 2000). Yapılan deneylerde 8 farklı göz açıklığına sahip elekler kullanılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen incelik modülü değerleri de hep bu aralıkta hesaplanmıştır. Yukarıdaki tablolarda görüldüğü üzere en büyük incelik modülü değeri Aksu Nehri agregalarına aittir. Bunu sırasıyla Kelkit Çayı, Erkenez Çayı ve Harşit Çayı agregaları izlemiştir. İncelik modülü ne kadar büyükse agregalar da o kadar iridir. Yani, Aksu Nehri agregaları diğerlerinden daha iriyken Harşit Çayı agregaları da daha incedir.

TS 802 standardında agrega en büyük tane büyüklüğü 31.5 mm olan beton için verilen agrega tane büyüklüğü dağılım eğrisine ait sınırlar dikkate alındığında deneylerde kullanılan agrega numunelerinin granülometrik eğrilerinin genellikle 3. ve 4. bölgelerde kaldığı görülmüştür. Harşit Çayı agregalarına ait granülometrik eğrilerin diğer agrega örneklerine göre 5. bölgede daha fazla olduğu görülmektedir. TS 802’de 3 numaralı bölge uygun bölge, 4 numaralı bölge de kullanılabilir bölge olarak tanımlanmaktadır. Zorunlu durumlarda 2 numaralı bölgeye düşen tane dağılımlarının da beton karışımında kullanılabileceğinden bahsedilirken, 5 numaralı bölgenin ise kullanılmaması gerektiği tavsiye edilmektedir. Doğal nehir agregalarında ideal granülometri eğrisinin elde edilmesi mümkün olmamakla birlikte, beton karışımında agregaların granülometrilere ayarlanabilir. Yine de kullanılan agregaların granülometrik eğrileri bu sınırların çok dışarısında kalmamaktadır. Agregaların tamamı, TS 706 EN 12620+A1 standardında karışık agregalarda tane büyüklüğü dağılımı için belirtilen şartları sağlamaktadır.

3.1.4. Yüzey Nemi Oranı

Agrega numunelerinin her bir deney kısmı için hesaplanan yüzey nemi oranları ve bunların ortalaması Tablo 3.15 ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.15. Agregaların yüzey nemi oranları

Agrega Kaynağı	Yüzey Nemi Oranı (%)			
	A	B	C	Ortalama
Harşit Çayı	2.3	2.1	2.1	2.1
Kelkit Çayı	1.6	1.5	1.7	1.6
Aksu Nehri	1.5	1.5	1.8	1.5
Erkenez Çayı	1.5	1.3	1.5	1.5

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi en yüksek yüzey nemi oranı Harşit Çayı agregaları için hesaplanmıştır. Harşit Çayı agregalarını Kelkit Çayı agregaları izlemiştir. En düşük yüzey nemi oranları ise Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregalarında görülmüştür.

Yüzey nemi, suya doymun durumdaki agreganın yüzeyinde bulunan serbest sudur (Yalçın ve Gürü, 2006). Tane büyüklüğü dağılımı deneyiyle Aksu Nehri agregalarının daha iri olduğu Harşit Çayı agregalarının ise daha ince olduğu tespit edilmişti. İnce agregalar, iri agregalardan daha fazla yüzeye sahip olduklarından Harşit Çayı agregalarında yüzey nemi oranı daha fazladır. Yüzey nemi oranı, agreganın mevcut durumuna göre, beton karışım hesaplarında dikkate alınmalıdır.

3.1.5. Özgül Ağırlık

3.1.5.1. İnce Agregada Özgül Ağırlık

İnce agreganın numunelerinin her bir deney kısmı için hesaplanan özgül ağırlıkları ve bunların ortalaması Tablo 3.16 ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.16. İnce agregaların özgül ağırlıkları

Agrega Kaynağı	Kuru Özgül Ağırlık				Doymun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık				Görünen Özgül Ağırlık			
	A	B	C	Ort.	A	B	C	Ort.	A	B	C	Ort.
Harşit Çayı	2.48	2.47	2.45	2.48	2.59	2.59	2.60	2.59	2.78	2.82	2.87	2.80
Kelkit Çayı	2.44	2.55	2.32	2.50	2.54	2.62	2.44	2.58	2.70	2.74	2.65	2.72
Aksu Nehri	2.56	2.53	2.54	2.54	2.61	2.58	2.58	2.58	2.69	2.67	2.66	2.67
Erkenez Çayı	2.53	2.34	2.53	2.53	2.58	2.40	2.58	2.58	2.68	2.48	2.66	2.67

İnce agregaların kuru özgül ağırlık değerleri büyükten küçüğe doğru; Aksu Nehri, Erkenez Çayı, Kelkit Çayı ve Harşit Çayı agregaları olarak sıralanmıştır. Doymun kuru yüzey durumdaki özgül ağırlık değerlerinde en yüksek değeri Harşit Çayı agregaları verirken Kelkit Çayı, Erkenez Çayı ve Aksu Nehri agregaları aynı değerlerde hesaplanmıştır. Görünen özgül ağırlık da ise yine en büyük değeri Harşit Çayı agregaları verirken bunu Kelkit Çayı agregaları izlemiştir. Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregaları ise aynı değerleri vermiştir. Her bir ince agreganın numunesinin kuru, doymun kuru yüzey ve görünen özgül ağırlıkları karşılaştırıldığında ise büyüklüklerine göre; görünen özgül ağırlık, doymun kuru

yüzey özgül ağırlık ve kuru özgül ağırlık şeklinde bir sıralamanın meydana geldiği görülmektedir.

Kuru özgül ağırlıkta agreganın ağırlığı olarak agreganın tamamen kuru ağırlığı dikkate alınırken doygun kuru yüzey özgül ağırlıkta agreganın ağırlığı olarak hem katı maddelerin ağırlığı hem de doygun durumdaki agreganın içerisindeki suyun ağırlığı hesaba katılmaktadır. Her iki özgül ağırlık değerinde de agreganın hacmi olarak katı maddenin hacminin yanı sıra boşlukların tümünün hacimleri de hesaba katılmaktadır. Görünen özgül ağırlıkta ise agreganın ağırlığı olarak agreganın tamamen kuru ağırlığı dikkate alınırken agreganın hacmi olarak kuru agreganın hacmine eşit hacimdeki suyun ağırlığı kullanılmaktadır. Bu durumda ince agregaların kuru özgül ağırlık değerleriyle doygun kuru yüzey ve görünen özgül ağırlık değerlerinde oluşan sıralamalardaki farklılıklar agregaların boşluk hacimleriyle dolayısıyla su emme oranı ve porozite değerlerindeki farklılıklarla açıklanabilmektedir. Harşit Çayı ince agregalarının su emme oranı ve porozite değerleri diğerlerinden fazlayken Aksu Nehri ince agregalarının su emme oranı ve porozite değeri en düşük olarak hesaplanmıştır. Bunun dışında agregaların özgül ağırlıkları petrografik yapılarıyla ilişkilidir.

Düşük özgül ağırlık, agreganın boşluklu ve zayıf olmasına işarettir (Şimşek, 2007). Beton karışım hesabı yapılırken genellikle agregaların doygun kuru yüzey durumdaki özgül ağırlıkları kullanılmaktadır.

3.1.5.2. İri Agregada Özgül Ağırlık

İri agreganın numunelerinin her bir deney kısmı için hesaplanan özgül ağırlıkları ve bunların ortalaması Tablo 3.17 ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.17. İri agregaların özgül ağırlıkları

Agrega Kaynağı	Kuru Özgül Ağırlık			Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık			Görünen Özgül Ağırlık		
	A	B	Ort.	A	B	Ort.	A	B	Ort.
Harşit Çayı	2.41	2.42	2.42	2.45	2.47	2.46	2.52	2.54	2.53
Kelkit Çayı	2.46	2.47	2.47	2.49	2.50	2.50	2.54	2.56	2.55
Aksu Nehri	2.70	2.69	2.70	2.73	2.72	2.73	2.78	2.78	2.78
Erkeneç Çayı	2.63	2.65	2.64	2.67	2.69	2.68	2.73	2.75	2.74

İri agregaların tüm özgül ağırlık değerleri büyükten küçüğe doğru; Aksu Nehri, Erkeneç Çayı, Kelkit Çayı ve Harşit Çayı agregaları olarak sıralanmıştır. Her bir iri agreganın

numunesinin kuru, doymuş kuru yüzey ve görünen özgül ağırlıkları karşılaştırıldığında ise büyüklüklerine göre; görünen özgül ağırlık, doymuş kuru yüzey özgül ağırlık ve kuru özgül ağırlık şeklinde bir sıralamanın meydana geldiği görülmektedir. Bu sıralamanın hiçbir özgül ağırlık değerinde değişmemesi, iri agregaların su emme oranları ve porozitelerinde ince agregalarda olduğu gibi büyük farkların olmamasından kaynaklanmaktadır. Bunun dışında özgül ağırlık değerlerindeki farklılıklar agregaların petrografik yapılarıyla ilişkilidir. Bu çalışmada üretilen beton karışımlarında sadece iri agregalar kullanılmıştır. Beton karışım hesabı yapılırken de iri agregaların doymuş kuru yüzey durumdaki özgül ağırlıkları kullanılmıştır.

3.1.6. Su Emme Oranı

İnce agrega ve iri agrega numunelerinin her bir deney kısmı için hesaplanan su emme oranları ve bunların ortalaması Tablo 3.18 ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.18. Agregaların su emme oranları

Agrega Kaynağı	İnce Agregada Su Emme Oranı (%)				İri Agregada Su Emme Oranı (%)		
	A	B	C	Ort.	A	B	Ort.
Harşit Çayı	4.4	5.0	5.9	4.7	1.8	1.9	1.9
Kelkit Çayı	4.0	2.7	5.4	3.4	1.3	1.4	1.4
Aksu Nehri	2.0	1.8	2.0	2.0	1.0	1.2	1.1
Erkenez Çayı	2.1	2.3	2.4	2.4	1.4	1.3	1.4

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi ince agrega ve iri agrega su emme oranlarındaki sıralama genel itibarıyla değişmemiştir. Hem ince hem de iri agrega için en yüksek su emme oranı değerini Harşit Çayı agregaları verirken, bunu ince agregada sırasıyla; Kelkit Çayı, Erkenez Çayı ve Aksu Nehri agregaları izlemiştir. İri agregalar için Kelkit Çayı ve Erkenez Çayı agregalarına ait su emme oranları aynı değerde hesaplanırken en küçük su emme oranı ise Aksu Nehri agregalarında görülmüştür.

Su emme oranı, agrega boşluk yapısıyla ve kökeniyle fazlasıyla ilişkilidir. Agregada boşlukların fazla olması, agreganın donma, kimyasal ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. İyi bir beton agregasının su emme limitinin kum ve çakıl için %1'den fazla olması

istenmeyen özelliktir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır (Şimşek, 2007).

Agreganın kuru özgül ağırlığından yararlanılarak beton karışım hesabı yapılırsa beton karışım suyuna agreganın su emme kapasitesi kadar su ilave edilmesi gerekmektedir.

3.1.7. Porozite

İnce agrega ve iri agrega numunelerinin ortalama kuru özgül ağırlıkları ve su emme oranlarına göre hesaplanan porozite değerleri Tablo 3.19 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Agregaların poroziteleri

Agrega	Porozite (%)			
	Harşit Çayı	Kelkit Çayı	Aksu Nehri	Erkeneç Çayı
İnce agrega	11.7	8.5	5.1	6.1
İri agrega	4.6	3.5	3.0	3.7

İnce agregaların poroziteleri büyükten küçüğe doğru; Harşit Çayı, Kelkit Çayı, Erkeneç Çayı ve Aksu Nehri agregaları şeklinde sıralanırken iri agregada Erkeneç Çayı ve Kelkit Çayı agregaları sıralamada yer değiştirmiştir. Agregaların porozitelerine su emme oranları ve kuru özgül ağırlıkları etki etmektedir. İri agregalarda; Erkeneç Çayı agregalarının, Kelkit Çayı agregalarından kuru özgül ağırlıkları daha fazlayken su emme oranları aynı şekilde hesaplanmıştır. Dolayısıyla Erkeneç Çayı'na ait iri agregaların poroziteleri, Kelkit Çayı agregalarından daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 3.19'da görüldüğü gibi ince agregaların poroziteleri iri agregalardan daha yüksektir. İri agregaların porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılmakla da betonların mekanik mukavemetini artırmış oluruz (Şimşek, 2007).

3.1.8. Birim Ağırlık

3.1.8.1. Sıkışık Birim Ağırlık

Agrega numunelerinin her bir deney kısmı için hesaplanan sıkışık birim ağırlıkları ve bunların ortalaması Tablo 3.20 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.20. Agregaların sıkışık birim ağırlıkları

Agrega Kaynağı	Sıkışık Birim Ağırlık (kg/m ³)			
	A	B	C	Ortalama
Harşit Çayı	1885	1913	1924	1919
Kelkit Çayı	1931	1974	1992	1983
Aksu Nehri	2072	2065	2033	2069
Erkeneç Çayı	1981	1969	1977	1979

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi en büyük sıkışık birim ağırlık, Aksu Nehri agregaları için hesaplanmıştır. Bunu sırasıyla; Kelkit Çayı, Erkeneç Çayı ve Harşit Çayı agregaları izlemiştir.

Birim ağırlık tayinindeki agreganın hacmi, hem agreganın tanelerinin hacimlerini hem de taneler arasındaki boşlukları içermektedir. Belirli hacimdeki bir kabı dolduracak agreganın numunesinin ağırlığına; agreganın gradasyonu, tane şekli (tanelerin yuvarlak, köşeli, yassı, ince, uzun olması), tanelerin mevcut nem durumu (tanelerin tamamen kuru, hava kurusu, ıslak olması), tanelerin kap içerisine gevşek veya sıkıştırılmış tarzda yerleştirilmiş olması etki etmektedir (Erdoğan, 2010). Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agreganın ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısıyla birim ağırlık artar (Şimşek, 2007).

Agregaların sıkışık birim ağırlıkları; Kelkit Çayı ve Erkeneç Çayı agregaları haricinde özgül ağırlıklarıyla paraleldir. Kelkit Çayı ve Erkeneç Çayı agregalarının sıkışık birim ağırlıklarıyla özgül ağırlıklarının paralel olmaması ise agregaların tane şekilleri ve granülometrileriyle açıklanabilmektedir.

3.1.8.2. Gevşek Birim Ağırlık

Agrega numunelerinin her bir deney kısmı için hesaplanan gevşek birim ağırlıkları ve bunların ortalaması Tablo 3.21 ile aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.21. Agregaların gevşek birim ağırlıkları

Agrega Kaynağı	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)			
	A	B	C	Ortalama
Harşit Çayı	1710	1732	1721	1721
Kelkit Çayı	1742	1799	1792	1796
Aksu Nehri	1912	1903	1924	1908
Erkenez Çayı	1796	1854	1810	1803

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi en büyük gevşek birim ağırlık, Aksu Nehri agregaları için hesaplanmıştır. Bunu sırasıyla; Erkenez Çayı, Kelkit Çayı ve Harşit Çayı agregaları izlemiştir.

Sıkışık birim ağırlığı etkileyen faktörler, gevşek birim ağırlığı da etkilemektedir. Gevşek birim ağırlık değerleri, özgül ağırlık değerleri paralelinde sıralanmıştır. Diğer faktörler de buna tesir edebilmektedir. Agreganın gevşek birim ağırlığı, beton karışım hesaplarında kullanılabilir.

3.2 Çimento

Kullanılan çimentoların mekanik ve fiziksel özellikleriyle birlikte ana bileşenleri ve kimyasal bileşenlerinin çimento kütlesinin yüzdesi cinsinden miktarları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Çimento sınıflarına ait ana bileşenlerin yüzdeleri Tablo 3.22’de, kimyasal bileşenlerin yüzdeleri Tablo 3.23’de, mekanik özellikler Tablo 3.24’de, fiziksel özellikler ise Tablo 3.25’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kullanılan çimentoların TS EN 197-1 standardına uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 3.22. Kullanılan çimentolarda ana bileşenlerin çimento kütlesinin yüzdesi cinsinden miktarları

Çimento Sınıfı	Ana Bileşenlerin Miktarları (%)			
	Klinker	Tras	Kalker	Toplam
CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R	70.00	5.50	24.50	100.00
CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R	84.60	5.10	10.30	100.00

Tablo 3.23. Kullanılan çimentolarda kimyasal bileşenlerin çimento kütlesinin yüzdesi cinsinden miktarları

Kimyasal Bileşim	Kimyasal Bileşenlerin Miktarları (%)	
	CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R Çimento Sınıfı	CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R Çimento Sınıfı
SiO ₂	15.27	17.67
Al ₂ O ₃	3.56	3.99
Fe ₂ O ₃	2.15	2.39
CaO	60.50	60.59
MgO	1.05	1.72
SO ₃	2.20	3.02
K ₂ O	0.79	0.90
Na ₂ O	0.25	0.33
Cl ⁻	0.0106	0.0159
Kızdırma Kaybı	12.40	8.41
Çözünemeyen Kalıntı	1.8194	0.9641
Toplam	100.00	100.00

Tablo 3.24. Kullanılan çimentoların mekanik özellikleri

Çimento Sınıfı	Basınç Dayanımları (Mpa)		
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R	20.1	31.6	37.5
CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R	26.1	43.1	51.0

Tablo 3.25. Kullanılan çimentoların fiziksel özellikleri

Özellikler	CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R Çimento Sınıfı	CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R Çimento Sınıfı
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.16	3.15
Özgül Yüzey (cm ² /g)	5200	4250
Hacim Genleşmesi (mm)	1	1
32 Mikronluk Elekte Kalan (%)	16	11
Kıvam Suyu (%)	30.5	29.5
Priz Başlangıcı (dk)	140	135
Priz Sonu (dk)	190	185

3.3. Beton

3.3.1. Sertleşmiş Betonda Yoğunluk

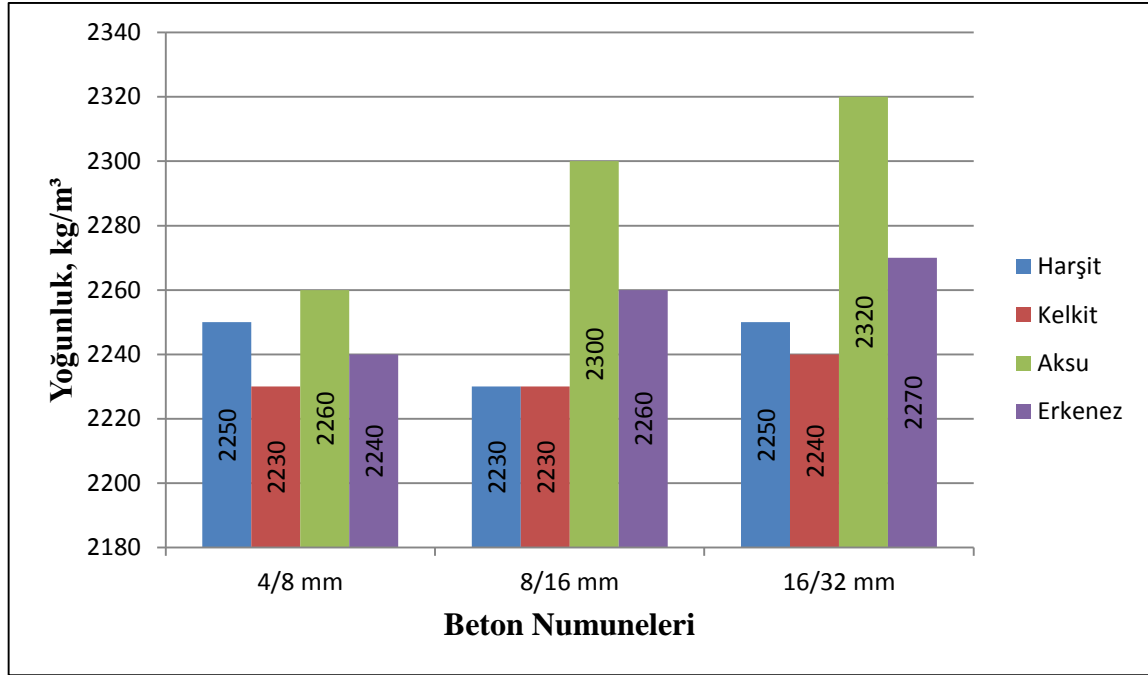
Tüm beton serilerine ait numunelerin suya doygun durumdaki kütleleri Tablo 3.26, yoğunluk değerleri ise Tablo 3.27 ile aşağıda gösterilmiştir. Hesaplanan ortalama yoğunluk değerleri ise sonuçların daha kolay karşılaştırılabilmesi için Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 ile grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 3.26. Beton numunelerin suya doygun durumdaki kütleleri

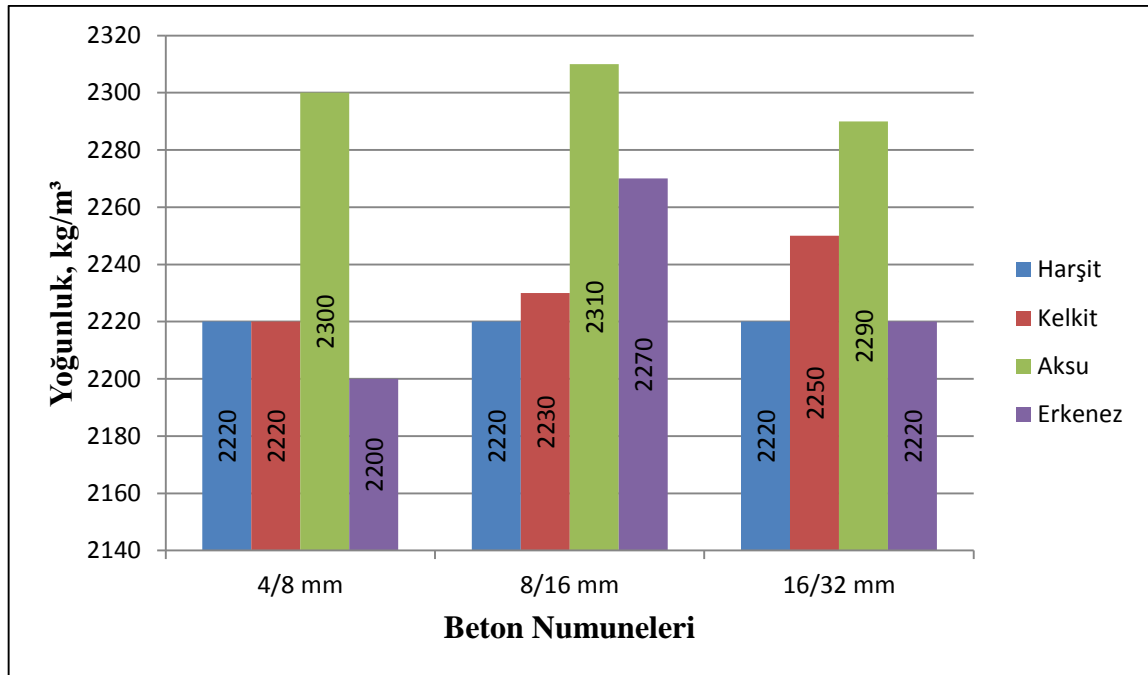
Agrega Kaynağı	Beton Kodu	Kütle (m_s), g		
		1.numune	2.numune	3.numune
HARŞİT	H-4/8-32.5	7.6526	7.5370	7.6095
	H-8/16-32.5	7.5310	7.5590	7.4455
	H-16/32-32.5	7.5550	7.5975	7.6010
KELKİT	K-4/8-32.5	7.4895	7.5185	7.5185
	K-8/16-32.5	7.4675	7.5715	7.5135
	K-16/32-32.5	7.4845	7.5660	7.6645
AKSU	A-4/8-32.5	7.6305	7.6320	7.6750
	A-8/16-32.5	7.8075	7.6740	7.8075
	A-16/32-32.5	7.8980	7.8460	7.8120
ERKENEZ	E-4/8-32.5	7.5555	7.6035	7.5485
	E-8/16-32.5	7.6165	7.6595	7.6400
	E-16/32-32.5	7.7280	7.5635	7.6785
HARŞİT	H-4/8-42.5	7.4500	7.5635	7.4855
	H-8/16-42.5	7.4500	7.5635	7.4970
	H-16/32-42.5	7.4240	7.5280	7.5480
KELKİT	K-4/8-42.5	7.5345	7.4470	7.4680
	K-8/16-42.5	7.4710	7.5335	7.5575
	K-16/32-42.5	7.5820	7.6425	7.5460
AKSU	A-4/8-42.5	7.7165	7.8080	7.7485
	A-8/16-42.5	7.7810	7.8015	7.7555
	A-16/32-42.5	7.6630	7.6815	7.7910
ERKENEZ	E-4/8-42.5	7.4840	7.2990	7.4855
	E-8/16-42.5	7.6875	7.6455	7.6565
	E-16/32-42.5	7.4970	7.5525	7.4440

Tablo 3.27. Beton numunelerin suya doymundaki yoğunlukları

Agrega Kaynağı	Beton Kodu	Yoğunluk (D_s), kg/m ³			
		1.numune	2.numune	3.numune	Ortalama
HARŞİT	H-4/8-32.5	2270	2230	2250	2250
	H-8/16-32.5	2230	2240	2210	2230
	H-16/32-32.5	2240	2250	2250	2250
KELKİT	K-4/8-32.5	2220	2230	2230	2230
	K-8/16-32.5	2210	2240	2230	2230
	K-16/32-32.5	2220	2240	2270	2240
AKSU	A-4/8-32.5	2260	2260	2270	2260
	A-8/16-32.5	2310	2270	2310	2300
	A-16/32-32.5	2340	2320	2310	2320
ERKENEZ	E-4/8-32.5	2240	2250	2240	2240
	E-8/16-32.5	2260	2270	2260	2260
	E-16/32-32.5	2290	2240	2280	2270
HARŞİT	H-4/8-42.5	2210	2240	2220	2220
	H-8/16-42.5	2210	2240	2220	2220
	H-16/32-42.5	2200	2230	2240	2220
KELKİT	K-4/8-42.5	2230	2210	2210	2220
	K-8/16-42.5	2210	2230	2240	2230
	K-16/32-42.5	2250	2260	2240	2250
AKSU	A-4/8-42.5	2290	2310	2300	2300
	A-8/16-42.5	2310	2310	2300	2310
	A-16/32-42.5	2270	2280	2310	2290
ERKENEZ	E-4/8-42.5	2220	2160	2220	2200
	E-8/16-42.5	2280	2270	2270	2270
	E-16/32-42.5	2220	2240	2210	2220



Şekil 3.13. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama yoğunlukları



Şekil 3.14. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama yoğunlukları

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'den görüldüğü üzere genel itibariyle; CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama yoğunlukları, CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama yoğunluklarından daha yüksektir. Yine, karışımlardaki en büyük tane boyutu arttıkça ortalama yoğunluğun çoğunlukla arttığı

görülmektedir. Aksu Nehri agregalarıyla üretilen beton numunelerin yoğunlukları, diğer agregalarla üretilen numunelerden hep daha yüksektir. Agregâ özgül ağırlığı yüksek olan numunelerin yoğunluklarının da genellikle yüksek olduğu görülmektedir.

Beton yoğunluğunun büyük olması, kaba agregâ miktarının standart dağılım ölçüleri içerisinde mümkün olduğu kadar fazla olması ile sağlanabilir. Diğer taraftan ince agregâ miktarının da, kaba agregâ boşluklarını doldurabilecek miktar ve dağılımda olması gerekir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Bu çalışmada üretilen betonların karışımlarında ince agregâ kullanılmamıştır. Dolayısıyla iri agregaların boşlukları sadece çimento hamuru ile doldurulmuştur. Agregâ tane büyüklüğü arttıkça çimentonun dozajı da artırılmıştır. Beton numunelerinin yoğunlukları genellikle; beton bileşenlerinin özgül ağırlıkları ve agregâ tane büyüklüğü arttıkça daha yüksek değerler almıştır.

3.3.2. Basınç Dayanımı

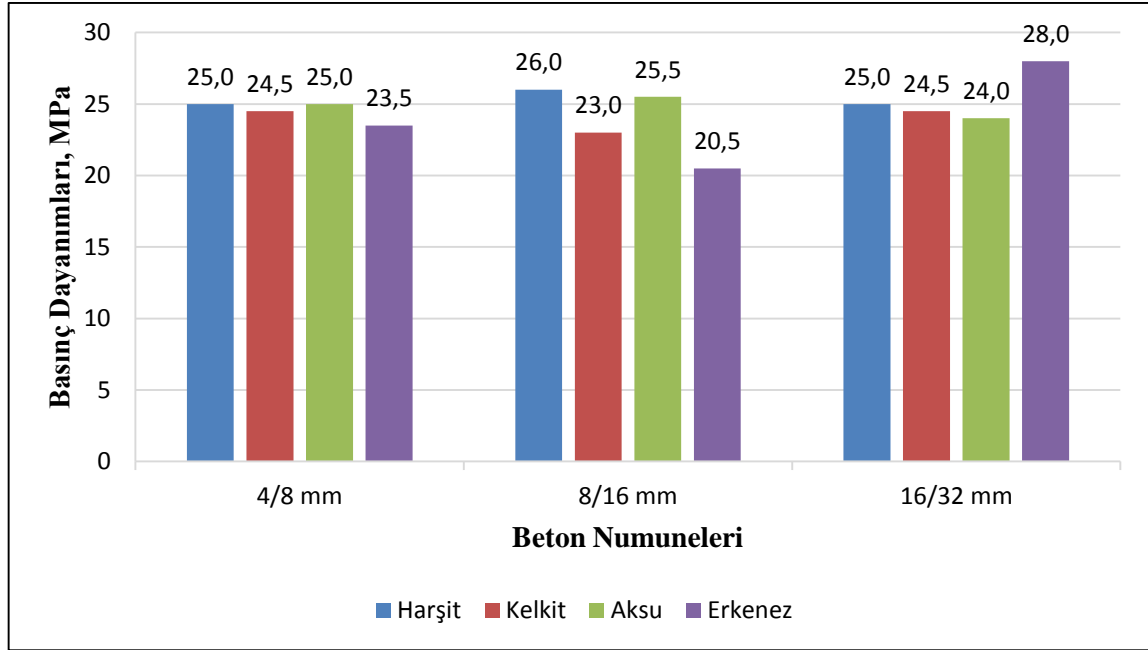
Tüm beton serilerine ait numunelerin kırılma yükleri, Tablo 3.28’de, basınç dayanımları ise Tablo 3.29 ile aşağıda gösterilmiştir. Hesaplanan ortalama basınç dayanımları ise sonuçların daha kolay karşılaştırılabilmesi için Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 ile grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 3.28. Beton numunelerin kırılma yükleri

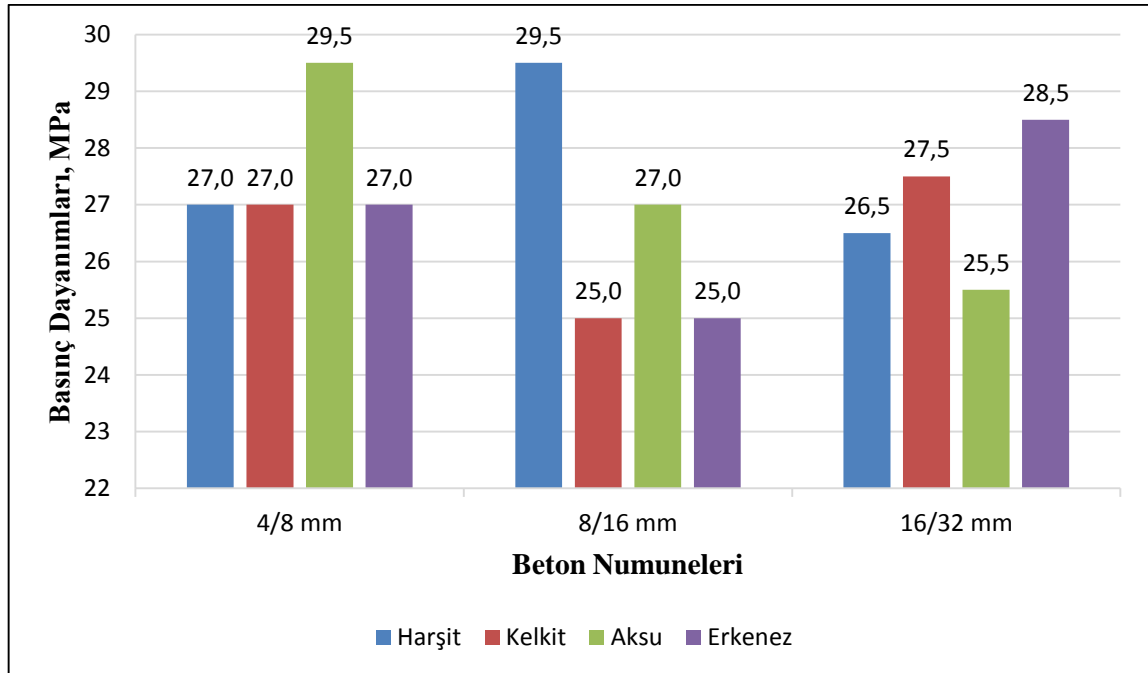
Agrega Kaynağı	Beton Kodu	Kırılma Yüğü, kN		
		1.numune	2.numune	3.numune
HARŞİT	H-4/8-32.5	561.1	560.5	570.1
	H-8/16-32.5	579.2	612.3	564.8
	H-16/32-32.5	565.4	548.0	567.4
KELKİT	K-4/8-32.5	545.7	552.3	542.8
	K-8/16-32.5	548.2	498.3	512.3
	K-16/32-32.5	554.5	549.2	563.4
AKSU	A-4/8-32.5	583.9	556.0	542.9
	A-8/16-32.5	566.8	579.5	582.3
	A-16/32-32.5	560.6	543.1	524.2
ERKENEZ	E-4/8-32.5	543.7	516.6	535.6
	E-8/16-32.5	498.1	451.9	442.8
	E-16/32-32.5	633.8	644.9	623.1
HARŞİT	H-4/8-42.5	563.7	655.2	620.2
	H-8/16-42.5	720.3	655.2	635.6
	H-16/32-42.5	587.2	612.1	603.9
KELKİT	K-4/8-42.5	616.5	595.3	612.8
	K-8/16-42.5	573.2	580.8	527.2
	K-16/32-42.5	635.7	641.4	574.9
AKSU	A-4/8-42.5	644.1	703.2	655.2
	A-8/16-42.5	604.7	605.0	602.6
	A-16/32-42.5	578.2	552.2	593.2
ERKENEZ	E-4/8-42.5	579.5	617.5	620.2
	E-8/16-42.5	561.9	555.0	562.6
	E-16/32-42.5	635.6	687.7	597.5

Tablo 3.29. Beton numunelerin basınç dayanımları

Agrega Kaynağı	Beton Kodu	Basınç Dayanımı, MPa			
		1.numune	2.numune	3.numune	Ortalama
HARŞİT	H-4/8-32.5	25.0	25.0	25.5	25.0
	H-8/16-32.5	25.5	27.0	25.0	26.0
	H-16/32-32.5	25.0	24.5	25.0	25.0
KELKİT	K-4/8-32.5	24.5	24.5	24.0	24.5
	K-8/16-32.5	24.5	22.0	23.0	23.0
	K-16/32-32.5	24.5	24.5	25.0	24.5
AKSU	A-4/8-32.5	26.0	24.5	24.0	25.0
	A-8/16-32.5	25.0	26.0	26.0	25.5
	A-16/32-32.5	25.0	24.0	23.5	24.0
ERKENEZ	E-4/8-32.5	24.0	23.0	24.0	23.5
	E-8/16-32.5	22.0	20.0	19.5	20.5
	E-16/32-32.5	28.0	28.5	27.5	28.0
HARŞİT	H-4/8-42.5	25.0	29.0	27.5	27.0
	H-8/16-42.5	32.0	29.0	28.0	29.5
	H-16/32-42.5	26.0	27.0	27.0	26.5
KELKİT	K-4/8-42.5	27.5	26.5	27.0	27.0
	K-8/16-42.5	25.5	26.0	23.5	25.0
	K-16/32-42.5	28.5	28.5	25.5	27.5
AKSU	A-4/8-42.5	28.5	31.5	29.0	29.5
	A-8/16-42.5	27.0	27.0	27.0	27.0
	A-16/32-42.5	25.5	24.5	26.5	25.5
ERKENEZ	E-4/8-42.5	26.0	27.5	27.5	27.0
	E-8/16-42.5	25.0	24.5	25.0	25.0
	E-16/32-42.5	28.0	30.5	26.5	28.5



Şekil 3.15. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama basınç dayanımları



Şekil 3.16. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama basınç dayanımları

Numuneler, TS EN 12390-2'ye uygun olarak hazırlanmalı ve küre tabi tutulmalıdır. Numunelerin basınç dayanımları TS EN 12390-3' e göre tayin edilmelidir. Beton basınç dayanımının uygunluğu, 28 gün yaşta deneye tabi tutulmuş numuneler üzerinde tayin edilir. Elde edilen beton basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesinde; aynı taze beton harmanından iki veya daha fazla sayıda deney numunesi hazırlandığında ve bu

numunelerden elde edilen sonuçlardan herhangi birinin, ortalama sonuca göre sapmasının %15'ten daha fazla olması durumunda, numune sonuçlarının hepsi reddedilir (TS EN 13515, 2014). Buna göre; Tablo 3.29 incelendiğinde deney sonuçlarının tamamının bu kriteri sağladığı görülmektedir.

Çimento mukavemeti arttıkça beton mukavemeti de artar (Güner ve Süme, 2000). Betonun mekanik özellikleri üzerinde en etkili olan, çimento agrega aderansıdır (Şimşek, 2007). Çimento hamurunun yeterli dayanımda olması, bir yandan bu malzemenin yük taşıma kapasitesinin yeterli düzeyde olabilmesini sağlar iken, bir yandan da çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın daha kuvvetli olabilmesine yardımcı olmaktadır (Erdoğan, 2010).

Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'dan görüldüğü üzere tüm numunelerde; CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama basınç dayanımları, CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların ortalama basınç dayanımlarından daha yüksektir. 4/8 mm tane sınıfındaki agregalarla üretilen beton numuneler için en yüksek basınç dayanımı değerlerini Aksu Nehrine ait numuneler, 8/16 mm tane sınıfındaki agregalarla üretilen beton numuneler için en yüksek basınç dayanımı değerini Harşit Çayına ait numuneler ve 16/32 mm tane sınıfındaki agregalarla üretilen beton numuneler için en yüksek basınç dayanımı değerini Erkenez Çayı numuneleri vermiştir. Tüm numunelerde en yüksek basınç dayanımları 29.5 MPa ile CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen 4/8 mm agrega tane sınıfına sahip Aksu Nehri numuneleri ile 8/16 mm agrega tane sınıfına sahip olan Harşit Çayı numunelerinde elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı ise 20.5 MPa ile CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen 8/16 mm agrega tane sınıfıyla oluşturulan Erkenez Çayı numunelerine aittir. Ortalama basınç dayanımlarındaki sıralama her iki çimento sınıfıyla üretilen betonlarda da genellikle aynı şekilde oluşmuştur.

Gerçekleştirilen deneylerde de görülmüştür ki, çimento mukavemetinin artmasıyla beton basınç dayanımı da artmıştır. Çimento mukavemetinin artması, çimento hamurunun dayanımının yanı sıra çimento hamuru ile agrega yüzeyleri arasındaki aderans dayanımını da artırmaktadır.

Bazı agregalar kimyasal yapıları sebebiyle çimento hamuru ile reaksiyona girerek aralarında bir bağ oluştururlar. Bu olay daha çok agrega yüzeyinde çökelmiş olan Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek bağ dayanımını artırır. Burada meydana gelen reaksiyon puzolanik reaksiyondur. Traslı çimento kullanıldığında ortamda silisli ve alüminli agrega varsa bu tarz reaksiyonlar sonucu daha iyi bir bağlanma meydana gelir (Shah vd., 1994).

Beton karışımlarında kullanılan çimentolar belirli oranlarda tras içermektedir. Agregalara yapılan kimyasal analizler incelendiğinde; silis miktarı en çok Harşit Çayı numunelerinin 8/16 mm tane sınıfında daha sonra da Aksu Nehri numunelerinin 4/8 mm tane sınıfında görülmekte iken en az da Erkenez Çayı numunelerinin 8/16 mm tane sınıfında görülmüştür. Alümin miktarı ise en çok Harşit Çayı numunelerinin 8/16 mm tane sınıfında rastlanılmıştır. Burada beton basınç dayanımlarına, agregaların silis ve alümin miktarlarının da olumlu etkisi görülmektedir.

Beton dayanımını etkileyen faktörler; su/çimento oranı, karma suyunun kalitesi, çimento özellikleri, agrega özellikleri, betona uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırılma işlemleri, kür koşulları ve betonun yaşı (Erdoğan, 2010).

Beton karışım hesabı yapılırken tüm beton numuneleri için su/çimento oranı sabit tutulmuş ve numunelerin hepsinde aynı beton karma suyu kullanılmıştır. Beton numunelerinin oluşturulmasında uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırılma işlemleriyle kür koşulları tüm beton serilerinde aynı koşullarda ve aynı şekilde uygulanmasına dikkat edilmiştir. Tüm numunelere, 28 gün sonunda basınç dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. Buna göre, beton numunelerinin basınç dayanımlarındaki farklılıklara agrega özellikleri etki etmiştir.

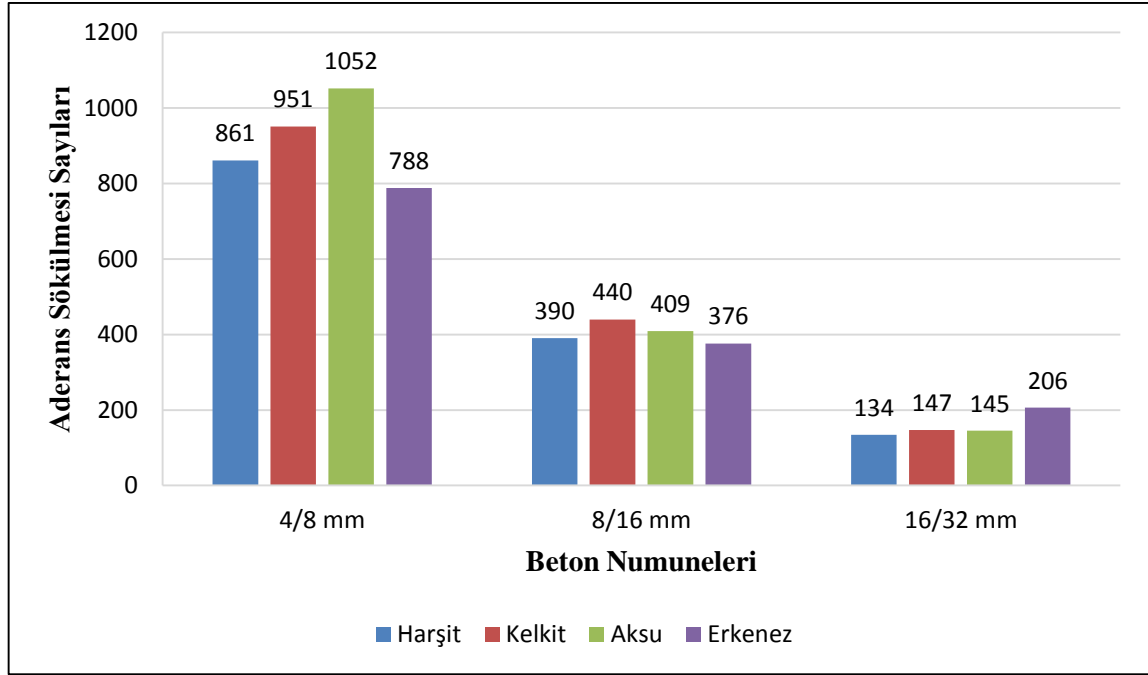
3.3.3. Kırılma Yüzeylerinde Oluşan Kırılma Şekilleri

Beton numunelerin kırılma yüzeylerinde meydana gelen kırılma şekillerinin (aderans sökülmesi, agrega kırılması) miktarları, Tablo 3.30 ile aşağıda gösterilmiştir. Hesaplanan ortalama kırılma şekillerinin (aderans sökülmesi, agrega kırılması) sayıları ise sonuçların daha kolay karşılaştırılabilmesi için Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 ile grafiksel olarak verilmiştir.

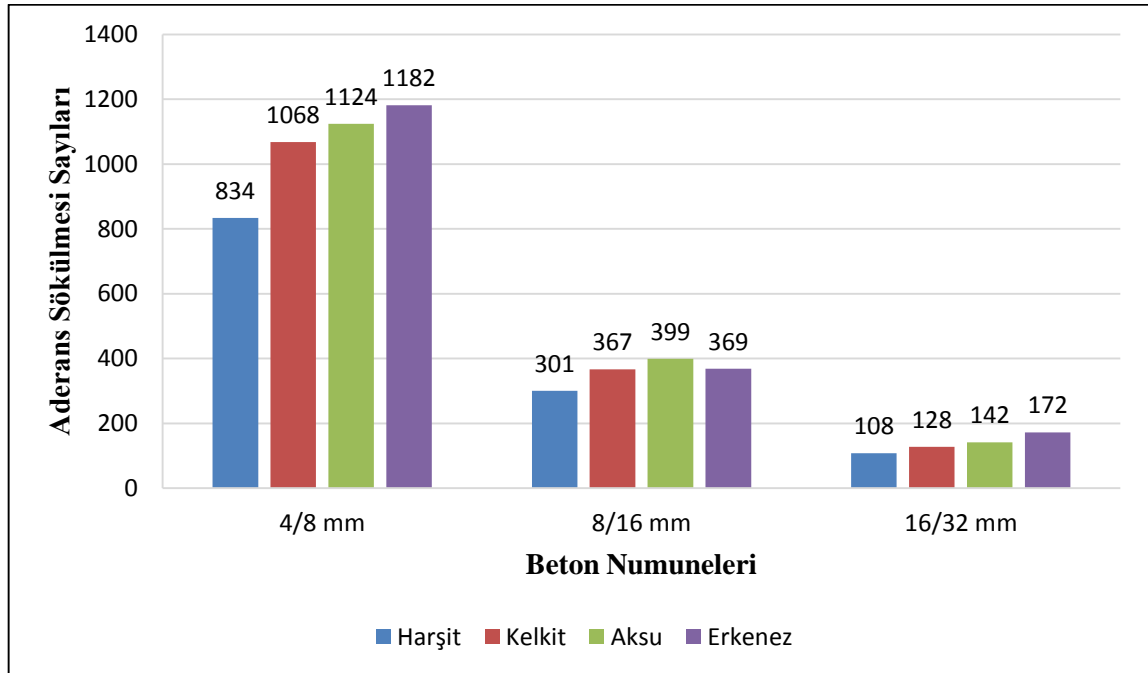
Tablo 3.30. Kırılma yüzeylerinde oluşan kırılma şekillerinin miktarları

Agrega	Beton	1.numune	2.numune	3.numune	Ortalama
--------	-------	----------	----------	----------	----------

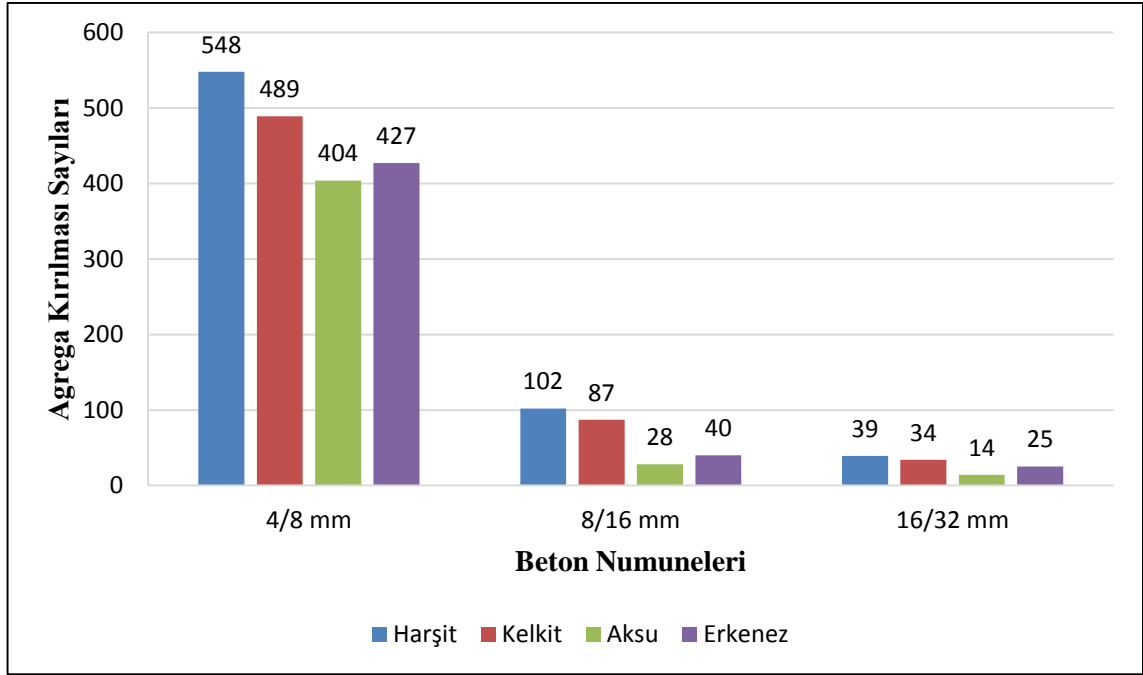
Kaynağı	Kodu	AS	AK	AS	AK	AS	AK	AS	AK
HARŞİT	H-4/8-32.5	836	488	880	672	867	484	861	548
	H-8/16-32.5	414	114	369	82	386	110	390	102
	H-16/32-32.5	126	43	145	36	132	37	134	39
KELKİT	K-4/8-32.5	963	506	941	447	949	513	951	489
	K-8/16-32.5	462	83	386	96	473	81	440	87
	K-16/32-32.5	156	36	124	31	162	35	147	34
AKSU	A-4/8-32.5	1130	366	1088	384	937	461	1052	404
	A-8/16-32.5	422	30	442	26	363	29	409	28
	A-16/32-32.5	146	11	150	12	140	18	145	14
ERKENEZ	E-4/8-32.5	887	442	726	383	751	455	788	427
	E-8/16-32.5	360	47	410	44	358	29	376	40
	E-16/32-32.5	207	28	214	31	198	29	206	25
HARŞİT	H-4/8-42.5	960	570	709	430	833	500	834	500
	H-8/16-42.5	322	98	292	90	289	92	301	93
	H-16/32-42.5	107	42	108	51	109	50	108	48
KELKİT	K-4/8-42.5	1009	412	1094	485	1101	469	1068	455
	K-8/16-42.5	343	122	377	84	380	96	367	101
	K-16/32-42.5	145	31	125	29	114	35	128	32
AKSU	A-4/8-42.5	1134	119	1086	122	1152	167	1124	136
	A-8/16-42.5	387	35	405	22	405	30	399	29
	A-16/32-42.5	145	7	138	8	143	11	142	9
ERKENEZ	E-4/8-42.5	1041	229	1324	278	1182	272	1182	260
	E-8/16-42.5	349	50	413	64	344	66	369	60
	E-16/32-42.5	172	19	154	28	191	21	172	23



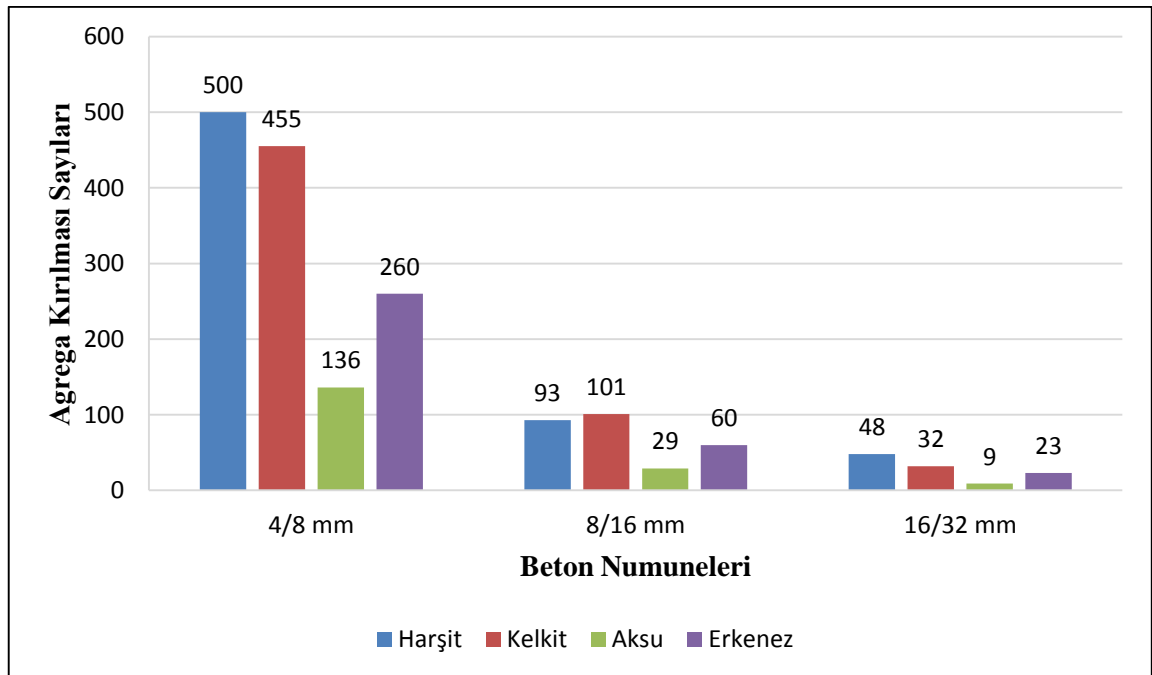
Şekil 3.17. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda aderans sökülmesi sayıları



Şekil 3.18. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda aderans sökülmesi sayıları



Şekil 3.19. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda agrega kırılması sayıları



Şekil 3.20. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonlarda agrega kırılması sayıları

Yukarıdaki tablo ve grafikler incelendiğinde beton yapımında kullanılan agregaların tane boyutları küçüldükçe beton numunesindeki agrega tane sayısının artması sebebiyle kırılma (aderans sökülmesi, agrega kırılması) sayılarının da arttığı görülmektedir. En çok agrega kırılması, Harşit Çayı agregalarıyla üretilen betonlarda olmuştur. Bunu, Kelkit Çayı ve Erkenez Çayı agregalarıyla üretilen betonlar izlemiştir. En az agrega kırılması ise Aksu

Nehri agregalarıyla üretilen betonlarda oluşmuştur. Aderans sökülmesinde ise agrega kırılma sayılarında oluşan sıralamanın tersine yakın bir durum söz konusudur.

Özellikle CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların aderans sökülmesi sayılarında görülmektedir ki Harşit Çayı agregalarıyla üretilen beton serilerinde aderans sökülmesi miktarları diğer beton serilerinden daha düşüktür.

Yaklaşık olarak 40 MPa'lık bir basınç mukavemetine kadar, agreganın mukavemeti birinci derecede öneme sahip değildir, çatlak oluşumu önce agrega-matris temas yüzeyinde başlar, sonra matris çatlak ve yayılma matriste olur. Yüksek mukavemetli beton halinde ise kırılma süreci çatlakların agrega içinden geçmesiyle olur. Yani normal dayanımlı betondaki gibi çatlak temas yüzeyinde başlayıp agrega etrafında tur atarak yayılmaz doğrudan agreganın içinden geçer (Struble vd., 1986).

Bu çalışmada yüksek dayanımlı beton üretilmemiştir ancak basınç dayanımı tayini deneyinde kullanılan deney makinasının kırılma algılaması değiştirilerek beton numunesi kırılma yüküne ulaştıktan sonra da deney devam etmiştir.

Bazı kayaçların ortalama basınç dayanımları; granit için 90-230 MPa, siyenit için 170-260 MPa, gabro için 180 MPa, bazalt için 110-350 MPa belirtilmektedir (Sür, 2009). Kalker için ortalama basınç dayanımının 160 MPa, kumtaşı için 130 MPa civarında olduğu belirtilmektedir (Erdoğan, 1995).

Beton numunelerini oluşturan agregaların petrografik analizleri incelendiğinde miktarı en fazla olan kayaç türünün granit kökenli kayaçlar olduğu görülmektedir. Burada yüzde miktarlarındaki farklar diğer kayaç türlerine göre önemli derecede daha fazladır. Agregada modal bileşiminde granit oranı en fazla olan Harşit Çayı agregalarıdır. En çok agrega kırılma miktarı da bu agregalarla üretilen beton numunelerinde görülmüştür.

İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerinin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır (Şimşek, 2007).

Bu çalışmada yalnızca iri agregalar kullanılmıştır. İri agregaların porozitelerinin sıralaması, $p_{\text{harşit}} > p_{\text{erkenez}} > p_{\text{kelkit}} > p_{\text{aksu}}$ şeklindedir. Kelkit Çayı iri agregalarıyla Erkenez Çayı iri agregalarının porozite değerleri birbirine yakındır. Yani agrega kırılma sayılarında oluşan sıralama, agregaların poroziteleriyle de genellikle örtüşmektedir.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar (Şimşek, 2007).

Agregaların özgül ağırlıklarının sıralaması, $\theta_{aksu} > \theta_{erkenez} > \theta_{kelkit} > \theta_{harşit}$ şeklindedir. Bu durumda, agrega kırılma sayılarında oluşan sıralama, agregaların özgül ağırlıklarıyla da örtüşmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gümüşhane İli sınırları içerisinde temin edilen Harşit Çayı ve Kelkit Çayı agregaları ile Kahramanmaraş İli sınırları içerisinde temin edilen Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregalarına birtakım agrega deneyleri uygulanarak agregaların özellikleri belirlenmiştir. Temin edilen agregalar, 3 farklı tane sınıfına ayrılarak beton serilerinin karışımlarında kullanılmıştır. Beton serilerinde ayrıca 2 farklı çimento sınıfı kullanılmıştır. Toplamda, 4 farklı agrega kaynağı, 3 farklı tane sınıfı ve 2 farklı çimento sınıfından oluşturulan 24 farklı seride beton üretilmiştir. Elde edilen beton numunelerinin suya doygun durumdaki yoğunlukları, basınç dayanımları ve kırılma şekilleri deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Yapılan tüm deneylerde TSE standartlarına uyulmuştur. Doğal nehir agregalarının kırılma mekanizmalarının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş olan çalışmalar sonucunda elde edilen verilere dayanılarak ortaya konulan sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Aynı kaynağın farklı tane sınıflarında kayaçların farklı oranlarda bulunabildiği gibi, farklı kaynaklarda bazı kayaçların benzer oranlarda bulunabildiği görülmüştür.
- Agregaya kaynaklarından elde edilen numunelerin tamamı TS 706 EN 12620+A1 standardında karışık agregalarda tane büyüklüğü dağılımı için belirtilen şartları sağlamıştır.
- Aksu Nehri agregaları daha iri, Harşit Çayı agregaları daha incedir. En yüksek yüzey nemi oranı Harşit Çayı agregalarında, en düşük Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregalarında görülmüştür. İnce agregalar, iri agregalardan daha fazla yüzeye sahip olduklarından Harşit Çayı agregalarında yüzey nemi oranı daha fazladır.
- İri agregaların doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları incelendiğinde en yüksek özgül ağırlık değeri Aksu Nehri agregalarında, en düşük özgül ağırlık değeri ise Harşit Çayı agregalarında belirlenmiştir.
- İri agregalarda, su emme oranı en yüksek Harşit Çayı agregalarında, en düşük Aksu Nehri agregalarında hesaplanmıştır. Agregaya numunelerinin tamamında su emme oranının %1'den daha büyük olduğu görülmüştür.
- İri agregalarda, Harşit Çayı agregalarında en yüksek, Aksu Nehri agregalarında en düşük porozite değerleri hesaplanmıştır.

- Beton bileşenlerinin özgül ağırlıkları ve agreg a tane büyüklüğü arttıkça betonun yoğunluğu da artmıştır.
- Çimento mukavemeti arttıkça beton basınç dayanımının da arttığı görülmüştür. Normal dayanımlı betonların dayanımına, çimento hamurunun dayanımıyla birlikte çimento hamuru-agrega ara yüzeyinin dayanımı da etki etmektedir. Çimento mukavemetinin artmasıyla çimento hamuru-agrega ara yüzeyi aderans dayanımının da artarak beton basıncını artırdığı düşünülmektedir.
- 4/8 mm tane sınıfında silis ve alümin birlikte en çok Aksu Nehri agregalarında, en az Erkenez Çayı agregalarında bulunmuştur. 8/16 mm tane sınıfında ise silis ve alümin birlikte en çok Harşit Çayı agregalarında, en az Erkenez Çayı agregalarında bulunmuştur. Tüm beton numunelerde en yüksek basınç dayanımları CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen 4/8 mm agreg a tane sınıfına sahip Aksu Nehri numuneleri ile 8/16 mm agreg a tane sınıfına sahip olan Harşit Çayı numunelerinde elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı ise CEM II/B-M (P-LL) 32.5 R sınıfı çimento ile üretilen 8/16 mm agreg a tane sınıfıyla oluşturulan Erkenez Çayı numunelerinde hesaplanmıştır. Beton karışımında traslı çimento ile birlikte silis ve alümin miktarı fazla olan agreg a kullanıldığında basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Bu artışın nedeni olarak, ara yüzeyde daha iyi bir bağlanmanın meydana geldiği ve beton basınç dayanımının en fazla bu etkiye bağlı olarak arttığı düşünülmektedir.
- Tüm betonlarda aderans sökülmelerinin agreg a kırılmalarından fazla olması beton dayanımlarında belirleyici mekanizmanın aderans sökülmesi olduğuna işaret etmektedir.
- Özellikle CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R sınıfı çimento ile üretilen betonların aderans sökülmesi sayılarından görülmektedir ki Harşit Çayı agregalarıyla üretilen beton serilerinde aderans sökülmesi miktarları diğer beton serilerinden daha düşüktür. Bu durum, Harşit Çayı agregalarının kimyasal bileşimlerindeki silis ve alümin miktarlarının yüksek olmasının bu agregalarla üretilen betonlarda agreg a-çimento hamuru ara yüzeyine olumlu etkisi ile açıklanabilmektedir.
- Harşit Çayı, Kelkit Çayı, Aksu Nehri ve Erkenez Çayı agregalarının petrografik bileşimlerinde miktarı en fazla olan kayaç türü granit kökenli kayaçlardır. Granit

miktarı en fazla olan agregâ türü ise Harşit Çayı agregâlarıdır. En çok agregâ kırılması da bu agregâlarla üretilen betonlarda görölmüşür. Agregâ kırılma sayılarında Harşit Çayı agregâlarıyla üretilen betonları, Kelkit Çayı ve Erkenez Çayı agregâlarıyla üretilen betonların izlediğı ve en az agregâ kırılmasının da Aksu Nehri agregâlarıyla üretilen betonlarda olduğı görölmüşür. Agregâ kırılma miktarlarında oluşan sıralamanın beton yapımında kullanılan agregâların porozite değeri ve özgül ağırlıkları paralelinde olması, düşük porozite ve yüksek özgül ağırlıklı agregâların dayanımının da yüksek olduğunu düşündürmektedir.

- Agregâların petrografik ve kimyasal yapılarının, agregâ ve beton dayanımlarında fazlasıyla etkili olduğı görölmüşür.

Çalışmada doğal nehir agregâlarının petrografik ve kimyasal yapısının bu agregâlarla üretilen betonlarda kırılma mekanizmasına önemli derecede etki ettiğı belirlenmiştir. Beton karışımında kullanılan agregâ ve çimentonun birbiriyle olan uyumu, üretilen betonun dayanımını da olumlu yönde etkilemektedir. Bu araştırmadan, istenilen özellikte ve dayanımda bir beton üretilmesi için, öncelikle beton karışımında kullanılacak olan bileşenlerin her birinin özelliklerinin ve ayrıca birbiriyle olan etkileşimlerinin belirlenmesi gerektiğı anlaşılmıştır. Bunlar sağlandığı takdirde, doğal kaynaklar daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu da ülke ekonomisine uzun vadede büyük katkıları sağlayacaktır. Silis ve alümin oranı daha yüksek agregâlarla üretilen normal ve yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımları ve kırılma mekanizmaları ile birlikte bu tür agregâlarla üretilen betonların durabiliteleri incelenerek çalışma desteklenebilir.

5. KAYNAKLAR

- Akman, M.S., 1987, Yapı Malzemeleri, İstanbul İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Alexander, M.G. and Milne, T.I., 1995, Influence of Cement Blend and Aggregate Type on The Stress-Strain Behavior and Elastic Modulus of Concrete, ACI Materials Journal, Vol.93, No.2, 227-235p.
- Arslan, M., 2001, Beton, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 237s.
- Beshr, H., Almusallam, A., Maslehuddin, M., 2003, Effect of Coarse Aggregate Quality on The Mechanical Properties of High Strength Concrete, Constuction and Building Materials, Vol.17, No.2, 97-103p.
- Çalışkan, S., 2003, Agrega Cinsi ve Tane Boyunun Arayüzey Aderans Dayanımına Etkisi, Çimento ve Beton Dünyası, Sayı.41, Ankara, 65-66s.
- Çetin, A. and Carrasquillo, R.L., 1998, High-Performance Concrete: Influence of Coarse Aggregates on Mechanical Properties, ACI Materials Journal, Vol.95, No.3, 252-261p.
- Doğangün, A., 2007, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1-6s.
- Ekmekyapar, T. ve Örüng, İ., 1997, İnşaat Malzeme Bilgisi, Atatürk Üniversitesi Yayınları, 3.Baskı, Erzurum, 278s.
- Erdoğan, T.Y., 1995, Betonu Oluşturan Malzemeler Agregalar, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 88-90s.
- Erdoğan, T.Y., 2003, Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 1.Baskı, Ankara, 741s.
- Erdoğan, T.Y., 2010, Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 3.Baskı, Ankara, 68-446s.
- Gutierrez, P.A. and Canovas, M.F., 1996, High-Performance Concrete: Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning, ACI Materials Journal, Vol.93, No:3, USA, 233-241p.
- Güner, M.S. ve Süme, V., 2000, Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayınevi, 2.Baskı, Erzurum, 33-87s.
- Güneyli, A., 2010, Adana ve Çevresinde Üretilen Agregaların Beton Üretiminde Kullanılabilirlikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1-59s.
- Kara, O., 2000, Kahramanmaraş Kum Ocaklarındaki Agregaların Beton Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 22-23s.

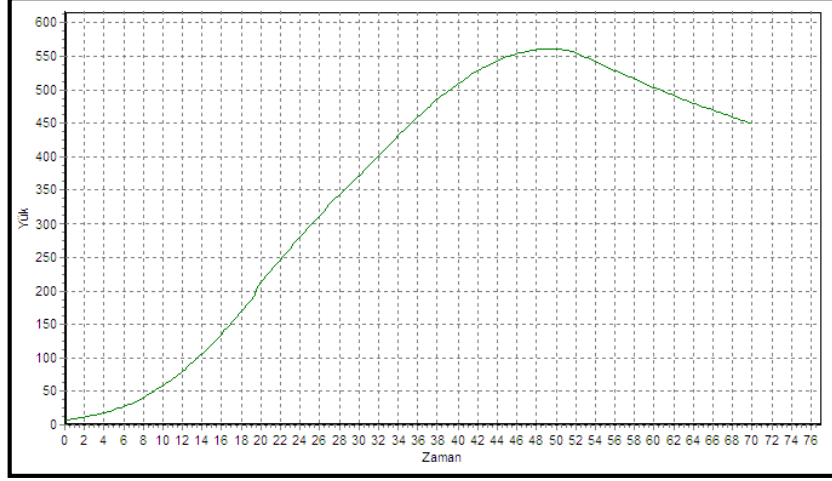
- Kayaturan, S., 2010, Farklı Kökenli Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3s.
- Korkanç, M. ve Tuğrul, A., 2003, Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton agregası Olarak Kullanılabilirliği, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 99-106s.
- Korkanç, M. ve Tuğrul, A., 2004, Beton Agregası Olarak Kullanılacak Bazaltların Alkali-Silis Reaksiyonu Yönünden İncelenmesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi, C.17, S.2, İstanbul, 161-169s.
- Lang, F.C., 1943, Deleterious Substances, Report on Significance of Tests of Concrete and Concrete Aggregates, STP-22A, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 138p.
- Neville, A.M., 1981, Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, England.
- Oktar, O.N., 1977, Bağlayıcı Hamurun Yapısının Betonun Kısa Süreli İnelastik Davranışındaki İşlevi, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Özışık, G., 2000, Beton, Birsan Yayınevi, İstanbul, 3-109s.
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., 1999, Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Özturan, T. and Çeçen, C., 1997, Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of Concretes with Different Strengths, Cement and Concrete Research, Vol.27, No:2, 165-170p.
- Pourghadri Sefidehkar, H., 2017, Geri Dönüşüm Agregası ile Üretilmiş Betonun Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-73s.
- Pul, S., 1994, Agregası Petrografik Yapısının Beton Dayanım ve Akışkanlığı Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 80-82s.
- Pul, S., 2000, Doğu Karadeniz Bölümü Agregalarıyla Yüksek Performanslı Beton Üretimi ve Özelliklerinin Diğer Betonlarla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 136s.
- Shah, P.S., Lange, A.D., Li, Z., Mitsui, K., 1994, Relationship Between Microstructure and Mechanical Properties of The Paste-Aggregate Interface, ACI Materials Journal, Vol.91, No.1, 30-39p.
- Struble, L., Skalny, J. and Mindess, S., 1986, A Review of The Cement-Aggregate Bond, Cement and Concrete Research, Vol.10, 953-958p.
- Sür, A., 2009, Mineraller ve Kayaçlar, Bilim Yayıncılık, Ankara.
- Şengül, Ö., 2000, Agregası Türünün Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 62-63s.

- Şengül, Ö., Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Hacıkamiloğlu, M., Özbek, E., Altay, B., 2000, Effects of Aggregate Type on Mechanical Properties of Normal and High Strength Concretes, Second International Symposium on Cement and Concrete Technology in th, İstanbul, 40-49p.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C., Kuruç, S., Yüceer, Z., 2003, Agregat Türünün Farklı Beton Sınıflarının Aşınma Dayanımına Etkisi, 5.Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı, İstanbul, 525-534s.
- Şimşek, O., 2007, Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 2.Baskı, Ankara, 17-165s.
- Tasong, W.A., Lynsdale, C.J., Cripps, J.C., 1998, Aggregate-Cement Paste Interface.II: Influence of Aggregate Physical Properties, Cement and Concrete Research, Vol.28, No.10, 1453-1465p.
- Taşdemir, C., Hacıkamiloğlu, M., Taşdemir, M.A., Altay, B., Şen, G., 1998, The Influence of Aggregate Type on The Mechanical Properties of Concrete, ERMCO 98: 12 th European RMC Congress, Lisbon, 633-640p.
- Taylor, M.A., Tai, M.A. and Ramey, M.R., 1975, Biaxial Compressive Behaviour of Fibre Reinforced Mortar, ACI Journal, September, 496-501p.
- Taymaz, H., 1995, Yapı Bilgisi Cilt III, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, İstanbul, 297s.
- Tokuyay, M., 1998, Agregat Tipinin Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt 9, Sayı 2, 1627-1638s.
- TS EN 196-1: 2016. Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 196-2: 2014. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun kimyasal analizi, TSE, Ankara.
- TS EN 196-3+A1: 2010. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 196-6: 2010. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 6: İncelik tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 197-1: 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.
- TS EN 206: 2013. Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk, TSE, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1: 2009. Beton agregaları, TSE, Ankara.
- TS 802: 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları, TSE, Ankara.
- TS EN 932-1: 1997. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 1: Numune alma metotları, TSE, Ankara.
- TS EN 932-2: 1999. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Laboratuvar numunelerinin azaltılması metodu, TSE, Ankara.

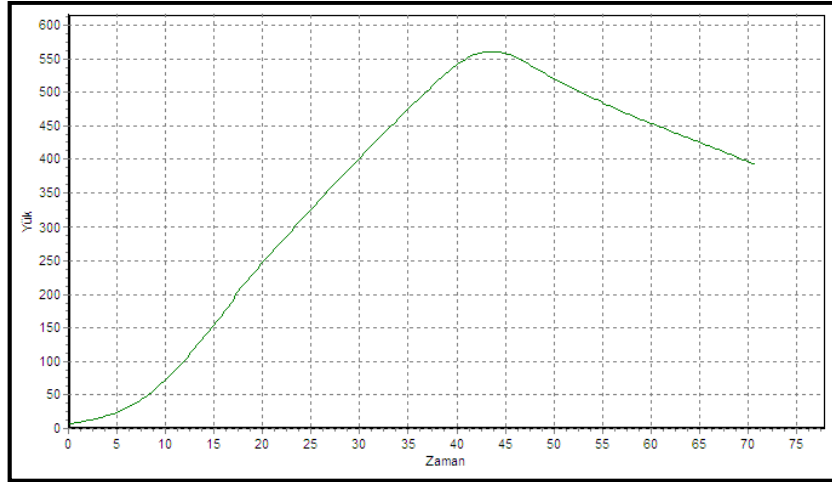
- TS EN 932-5: 2012. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Bölüm 5: Genel cihazlar ve kalibrasyon, TSE, Ankara.
- TS EN 933-1: 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini-Eleme yöntemi, TSE, Ankara.
- TS EN 933-2: 1996. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler kısım 2: Tane boyutu dağılım tayini-Deney elekleri, elek göz açıklıklarını anma büyüklükleri, TSE, Ankara.
- TS EN 1008: 2003. Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, TSE, Ankara.
- TS ISO 3310-1: 2009. Deney elekleri-Teknik özellikler ve deneyler-Bölüm 1: Metal tel örgülü deney elekleri, TSE, Ankara.
- TS 3523: 2015. Beton agregalarının yüzey nemi oranının tayini, TSE, Ankara.
- TS 3526: 1980. Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini, TSE, Ankara.
- TS 3529: 1980. Beton agregalarının birim ağırlıklarının tayini, TSE, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3: 1997. Agregaların genel özellikleri için deneyler kısım 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-1: 2013. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-2: 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3: 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-4: 2002. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 4: Basınç dayanımı - Deney makinelerinin özellikleri, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7: 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini, TSE, Ankara.
- TS 13515: 2014. TS EN 206'nın uygulamasına yönelik tamamlayıcı standard, TSE, Ankara.
- Tuncer, M., 1994, Effects of The Maximum Size of Natural Aggregate on The Compressive Strength of Concrete, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University in Partial Fulfillment of The Degree of Master of Science in Civil Engineering, Master's Thesis, Ankara, 63p.
- Uğurlu, A., 1999, Agregat-Çimento Hamuru Bağı Üzerine, 2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Ankara, 213-229s.
- Yalçın, H. ve Gürü, M., 2006, Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, Ankara, 3-15s.

- Yaşar, E., Erdoğan, Y. ve Kılıç, A., 2003, Effect of Limestone Aggregate Type and Water-Cement Ratio on Concrete Strength, Materials Letters, 58, 772-777p.
- Yörük, O., 2015, Yüksek Dayanımlı Betonlarda Agrega Geometrisinin ve Doğrultusunun Kırılma Mekanizmasına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-161s.
- Yıldız, S., Batmaz, A., Ulucan, Z.Ç., 2006, Rize İlindeki Farklı İki Dereye Ait Agregaların Beton Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, C.5, S.1, 73-78
- Zhong, M.H. and Gjorv, O.E., 1990, Microstructure of The Interfacial Zone Between Light Weigth Aggregate and Cement Paste, Cement and Concrete Research, Vol.20, 610-618p.

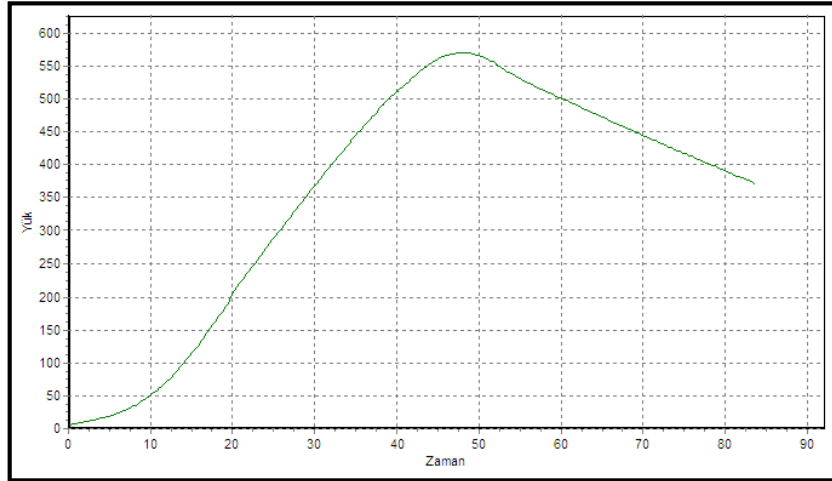
6. EKLER



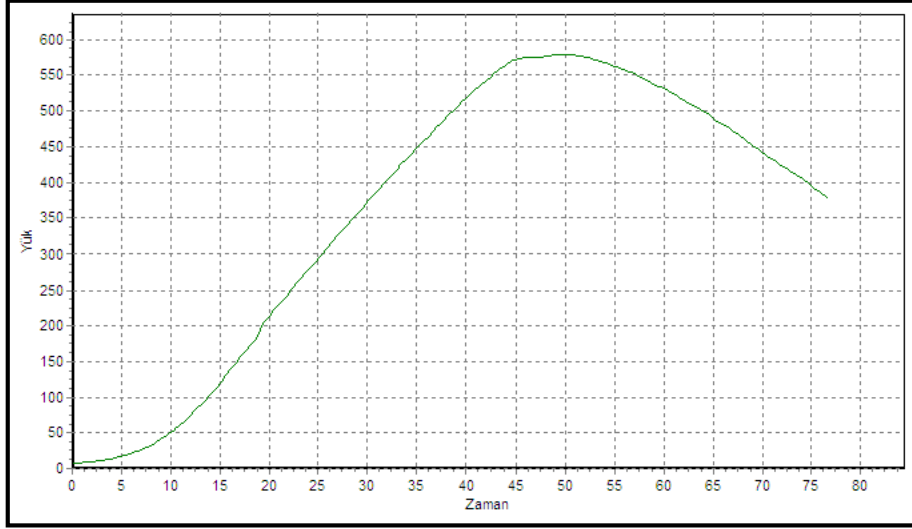
Ek Şekil 1. H-4/8-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



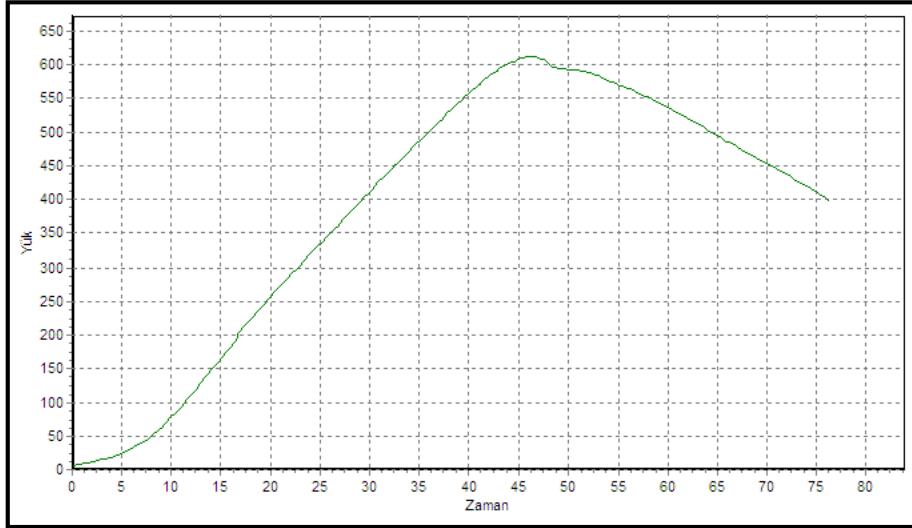
Ek Şekil 2. H-4/8-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



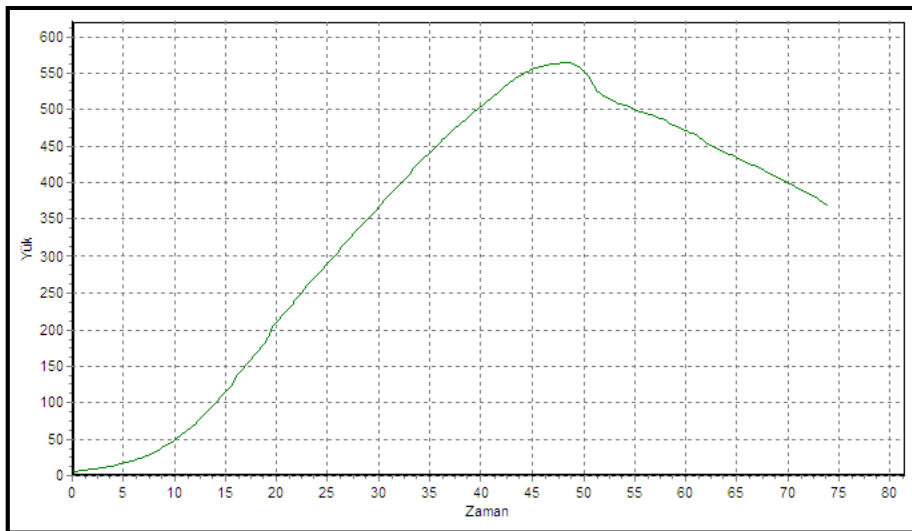
Ek Şekil 3. H-4/8-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



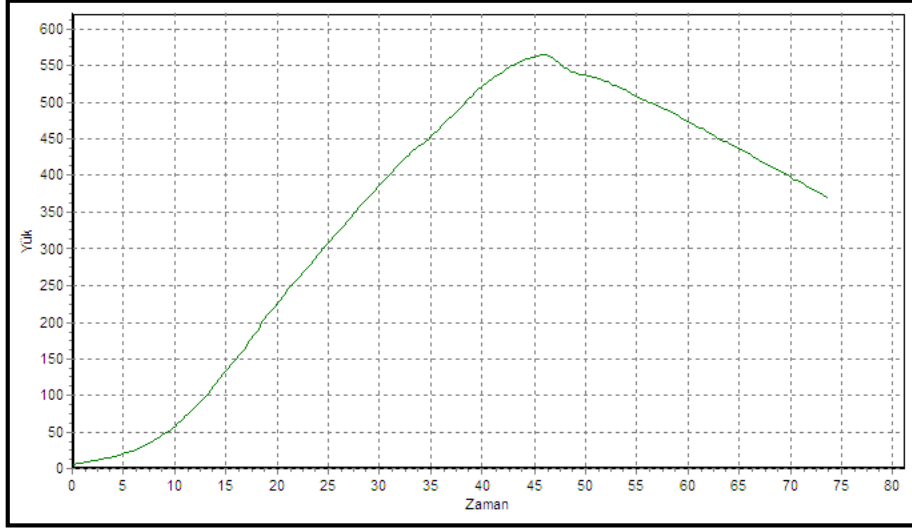
Ek Şekil 4. H-8/16-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



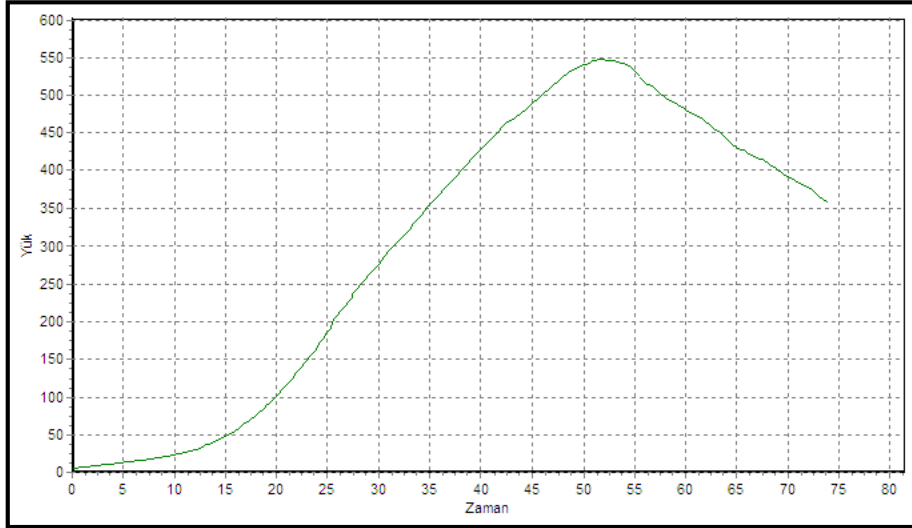
Ek Şekil 5. H-8/16-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



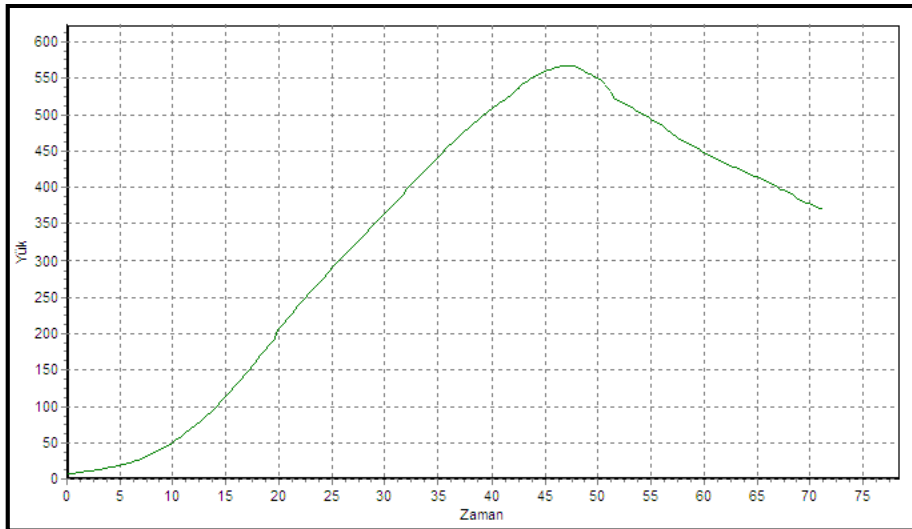
Ek Şekil 6. H-8/16-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



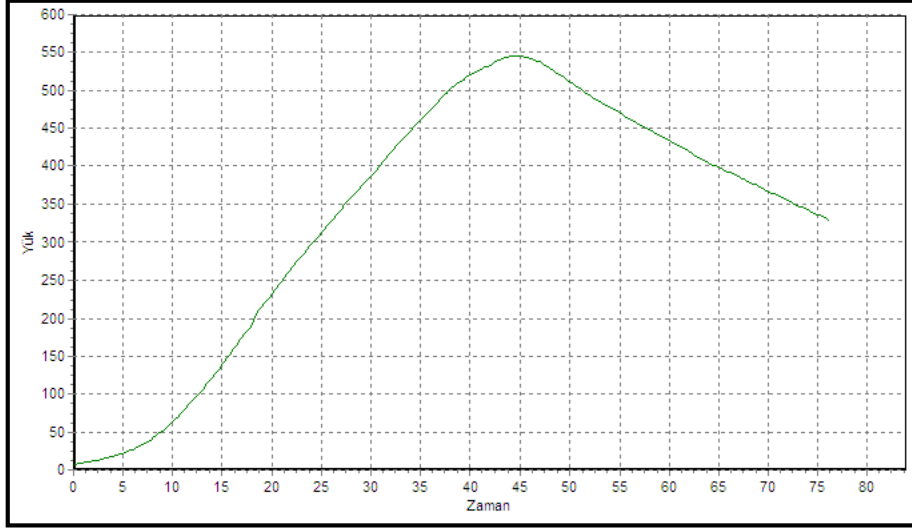
Ek Şekil 7. H-16/32-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



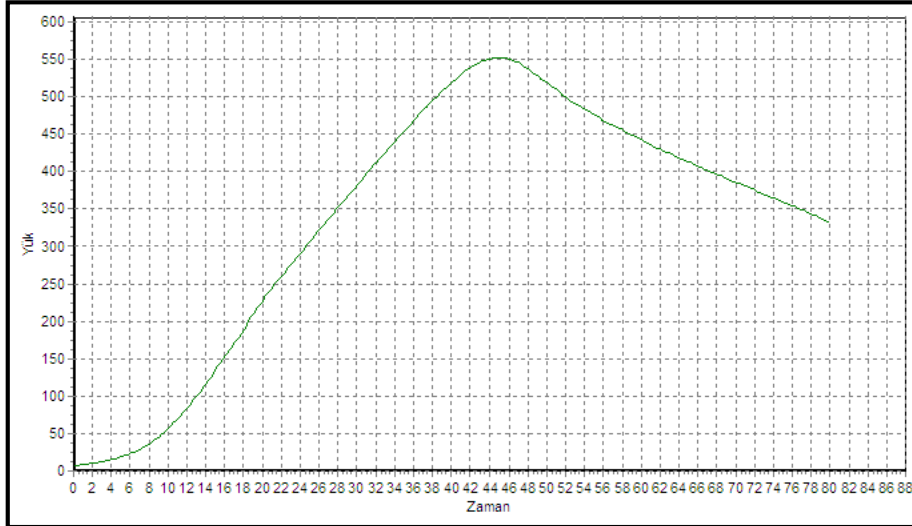
Ek Şekil 8. H-16/32-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



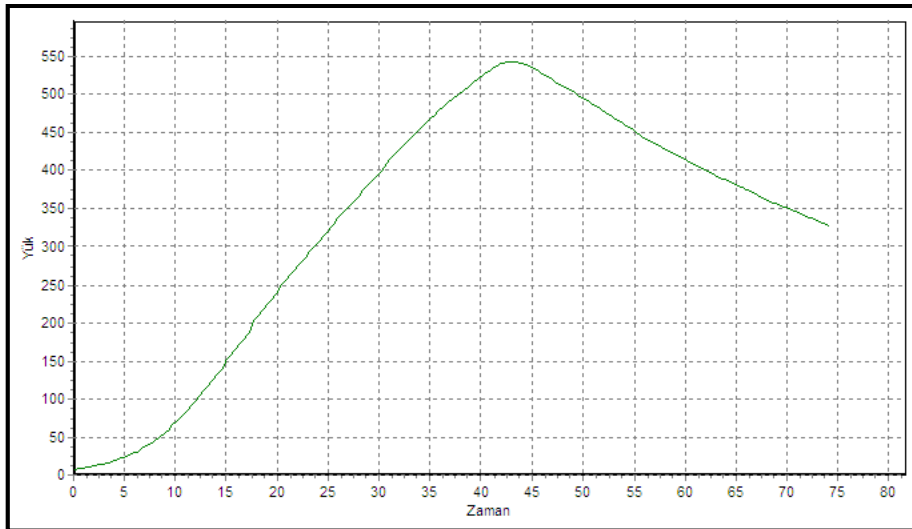
Ek Şekil 9. H-16/32-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



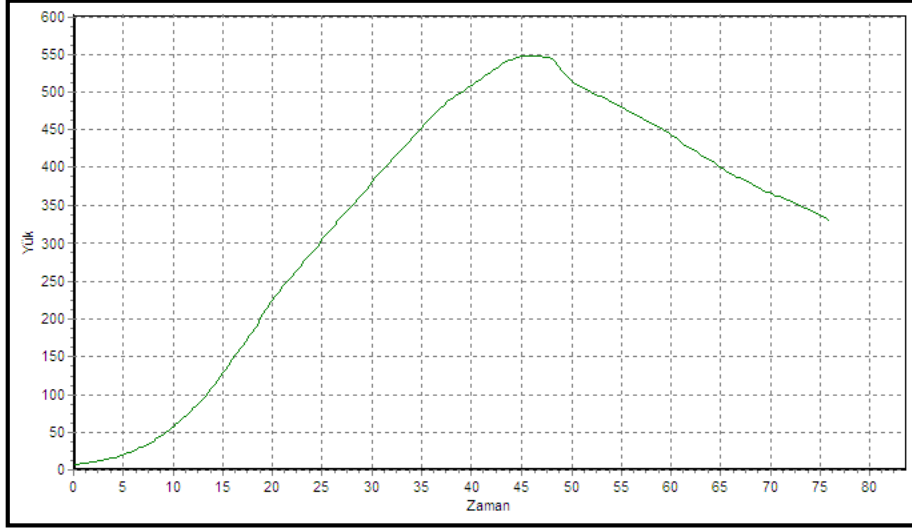
Ek Şekil 10. K-4/8-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



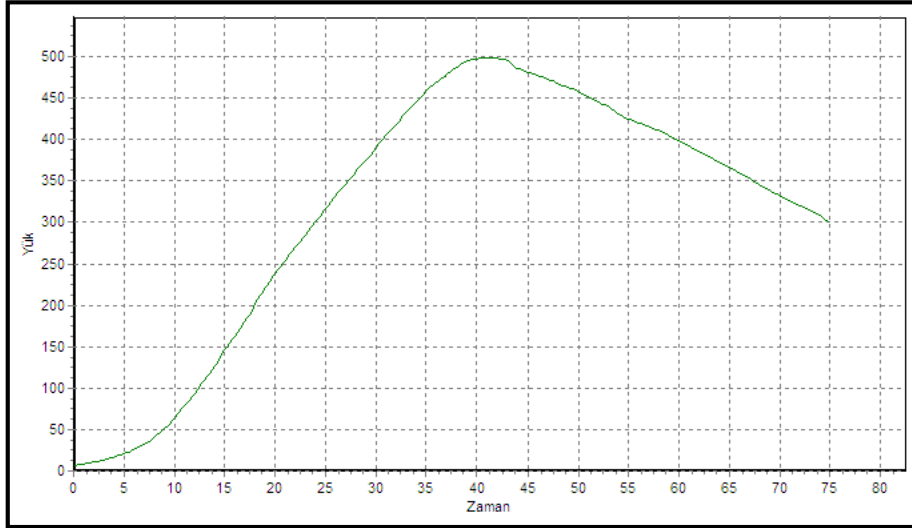
Ek Şekil 11. K-4/8-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



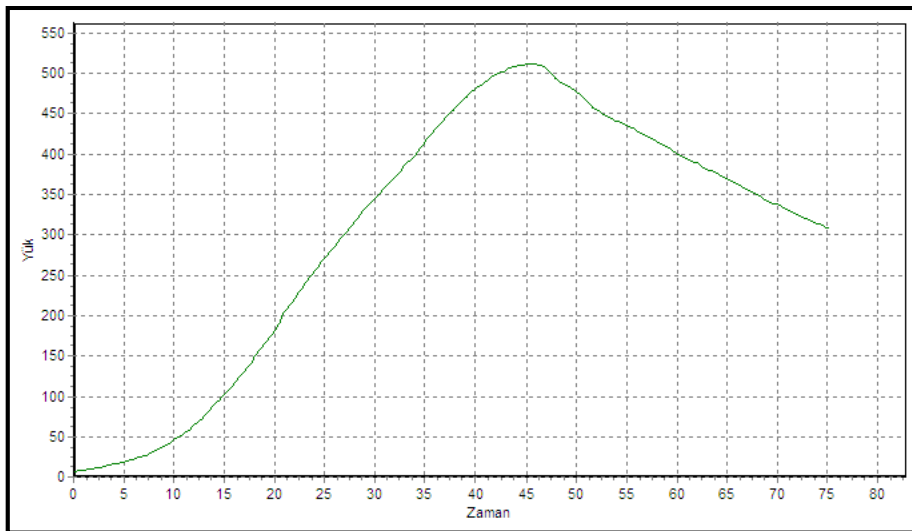
Ek Şekil 12. K-4/8-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



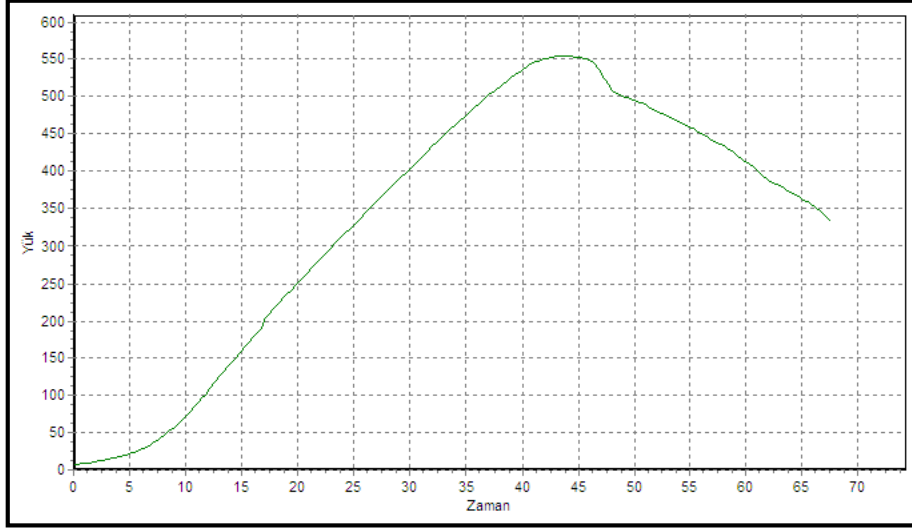
Ek Şekil 13. K-8/16-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



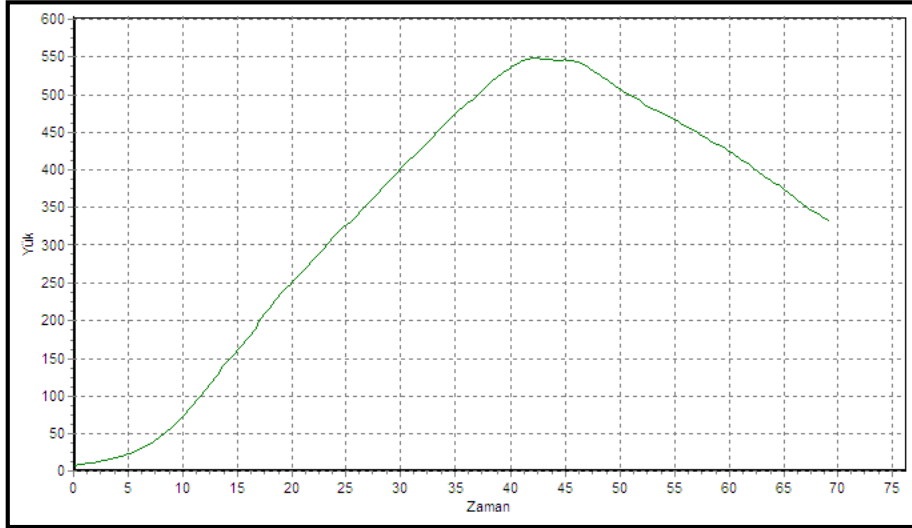
Ek Şekil 14. K-8/16-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



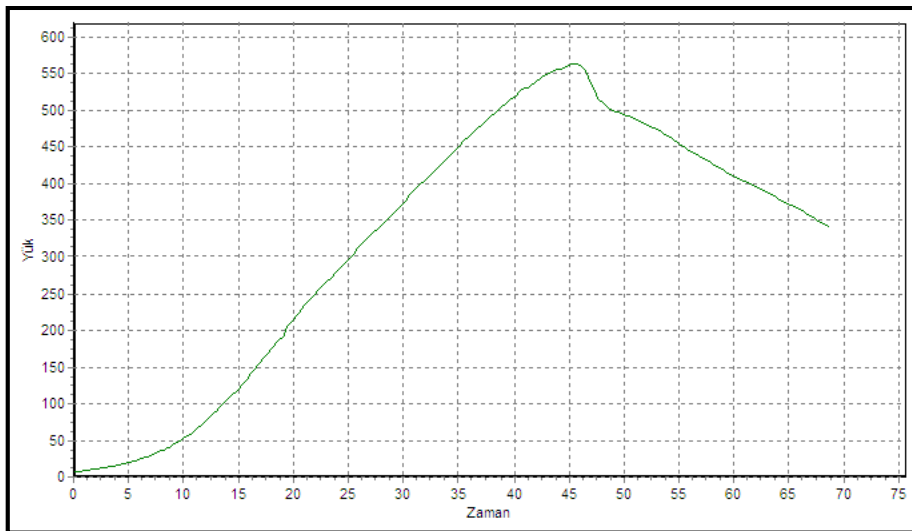
Ek Şekil 15. K-8/16-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



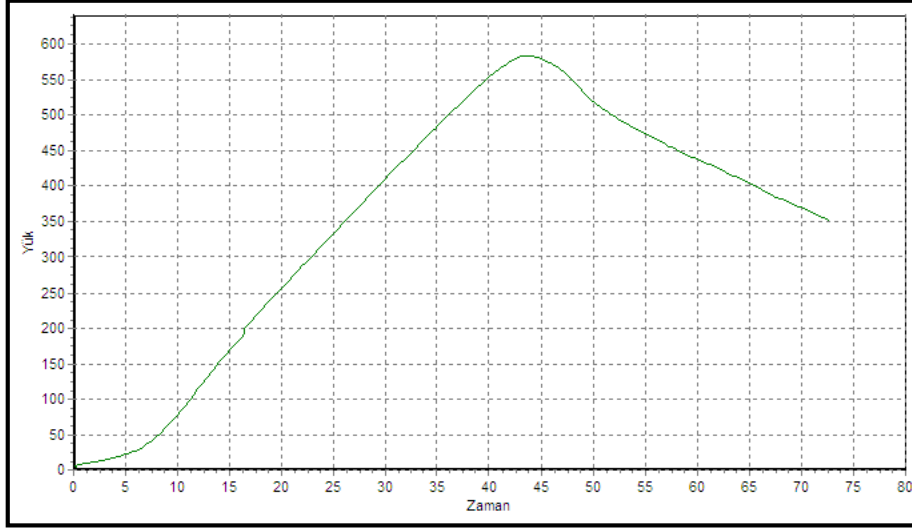
Ek Şekil 16. K-16/32-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



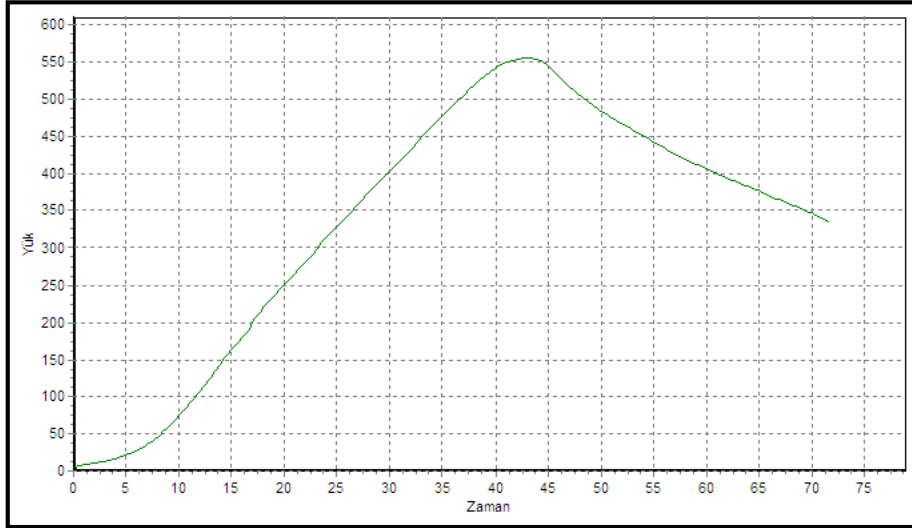
Ek Şekil 17. K-16/32-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



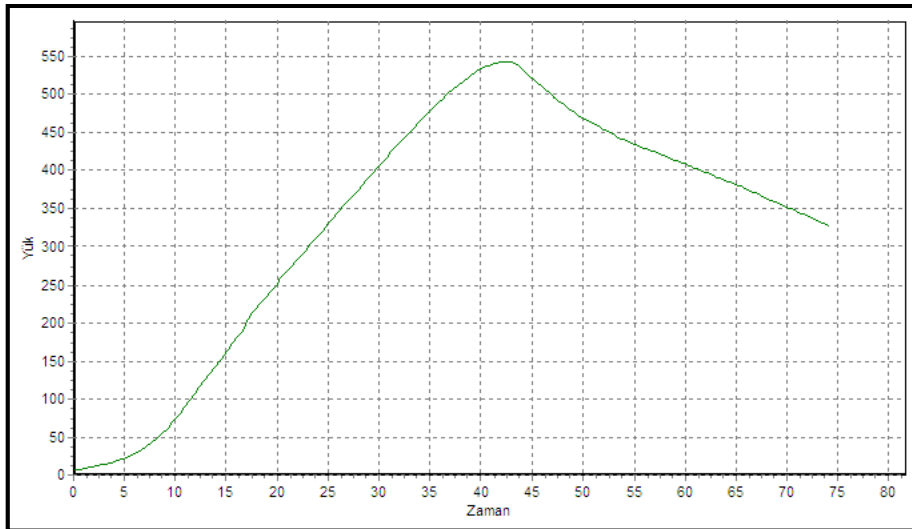
Ek Şekil 18. K-16/32-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



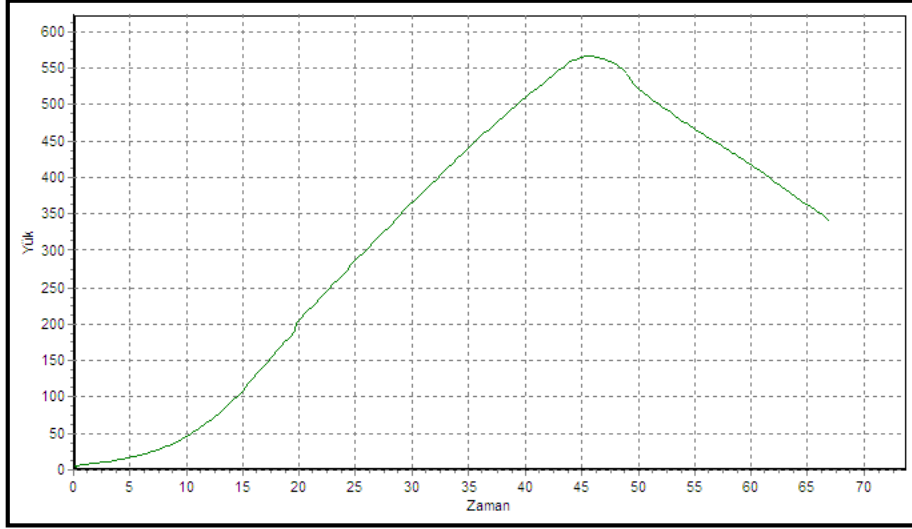
Ek Şekil 19. A-4/8-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



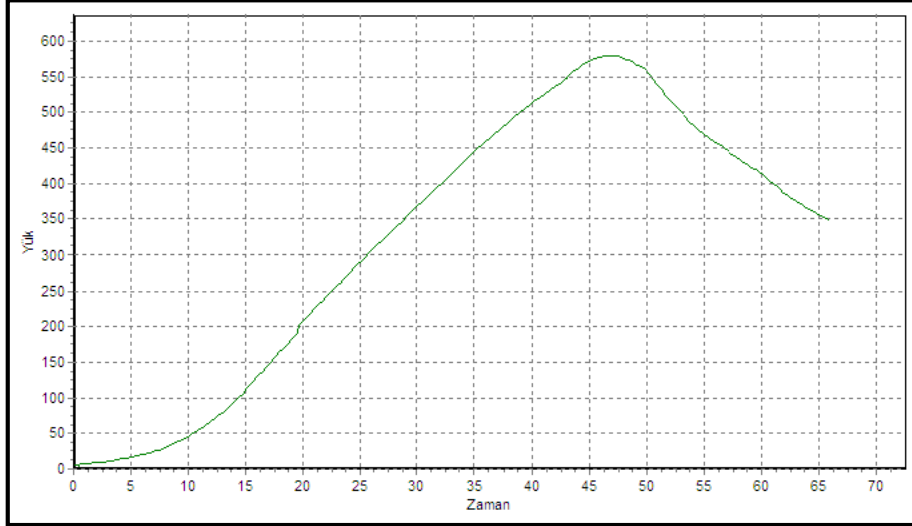
Ek Şekil 20. A-4/8-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



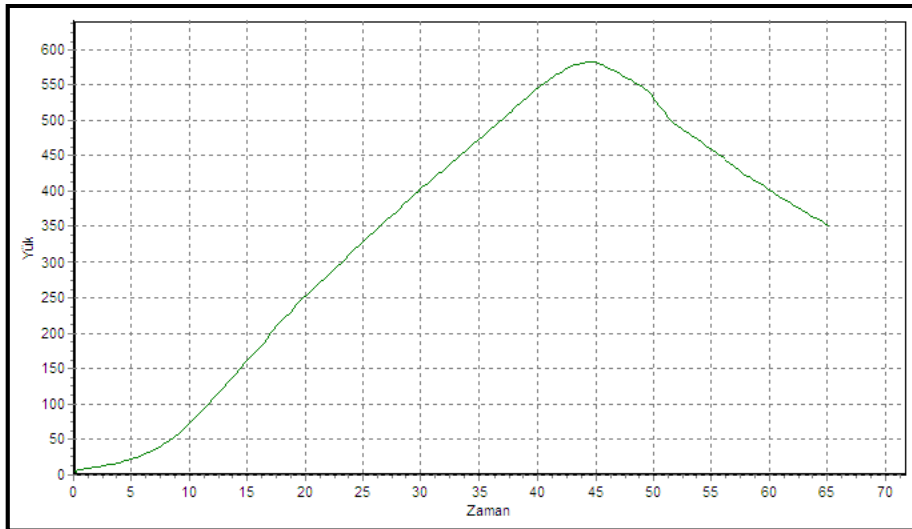
Ek Şekil 21. A-4/8-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



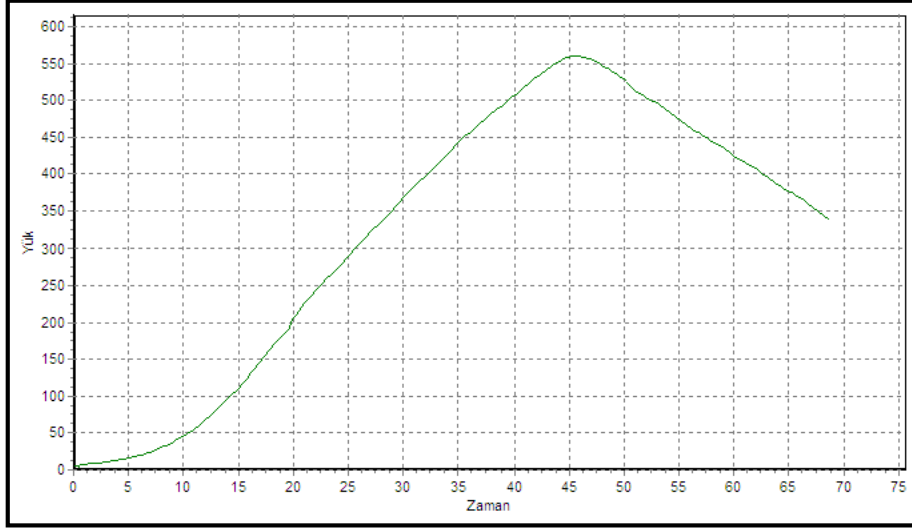
Ek Şekil 22. A-8/16-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



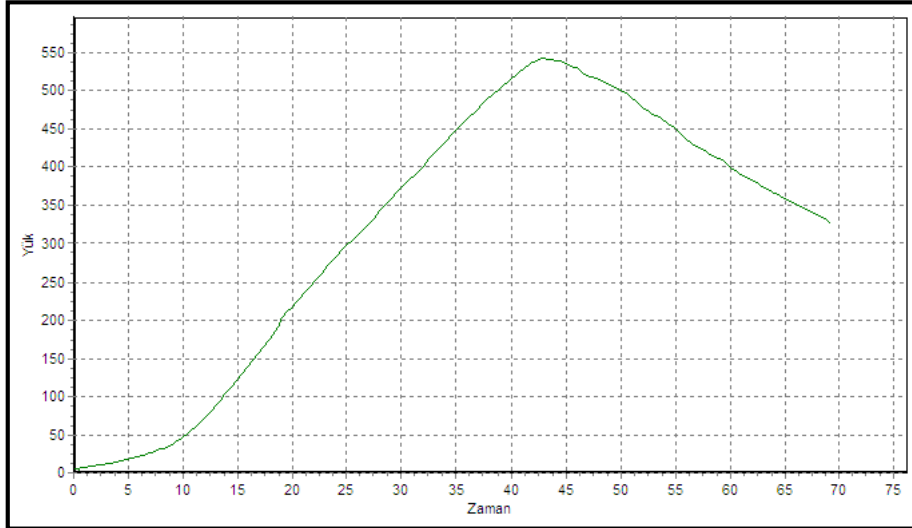
Ek Şekil 23. A-8/16-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



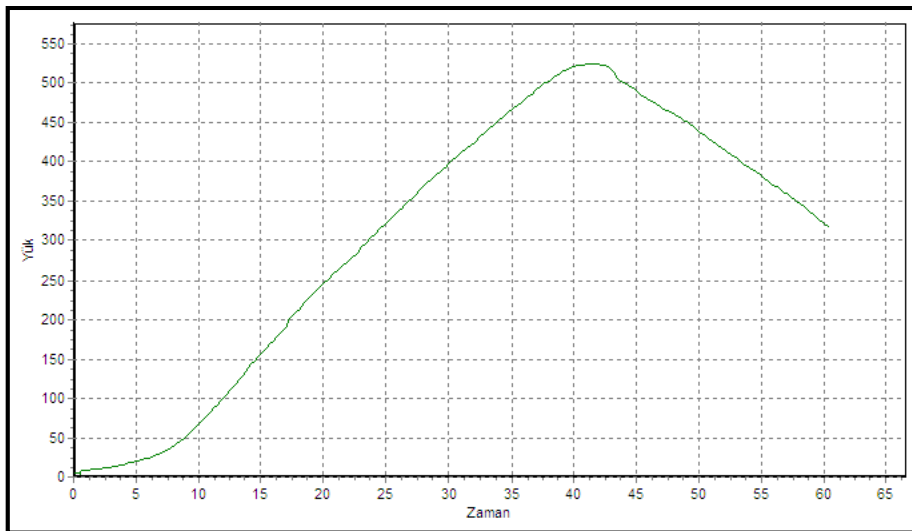
Ek Şekil 24. A-8/16-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



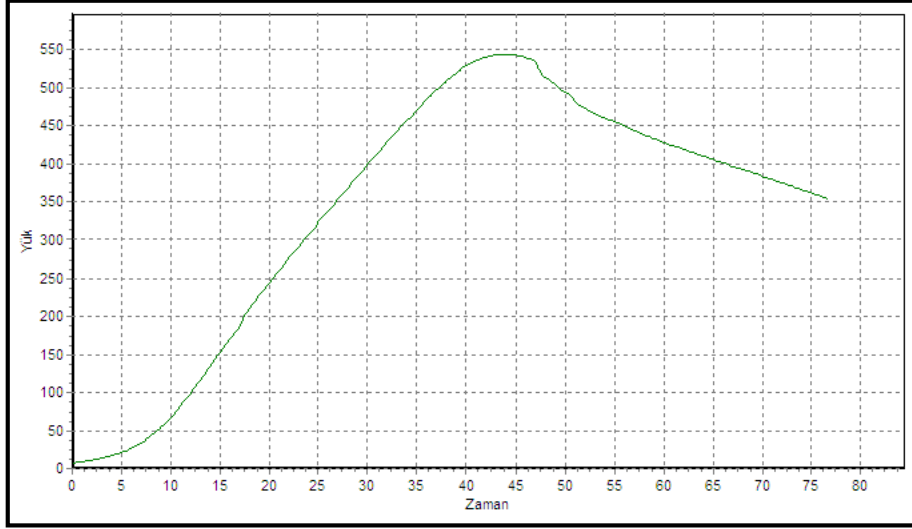
Ek Şekil 25. A-16/32-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



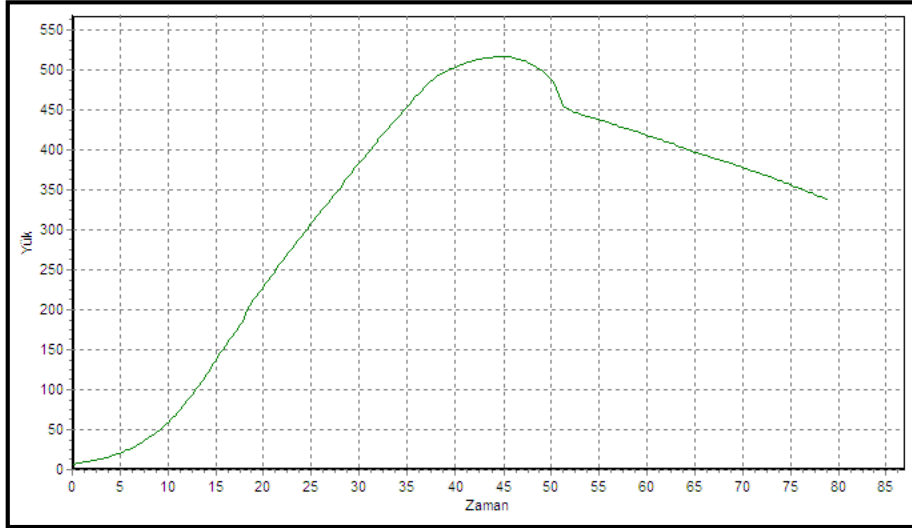
Ek Şekil 26. A-16/32-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



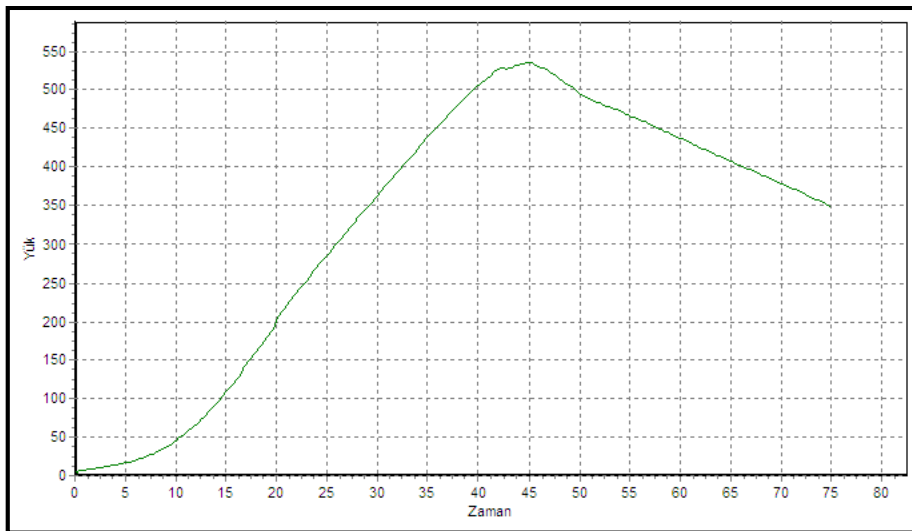
Ek Şekil 27. A-16/32-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



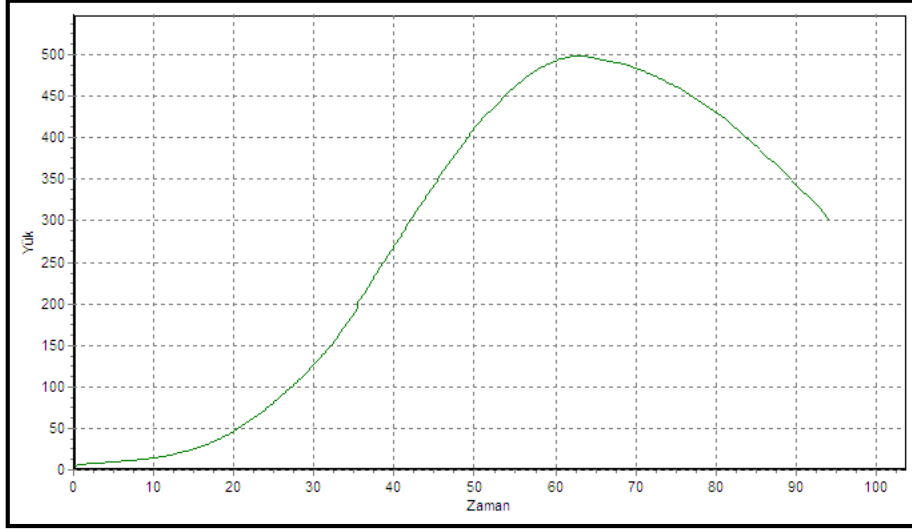
Ek Şekil 28. E-4/8-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



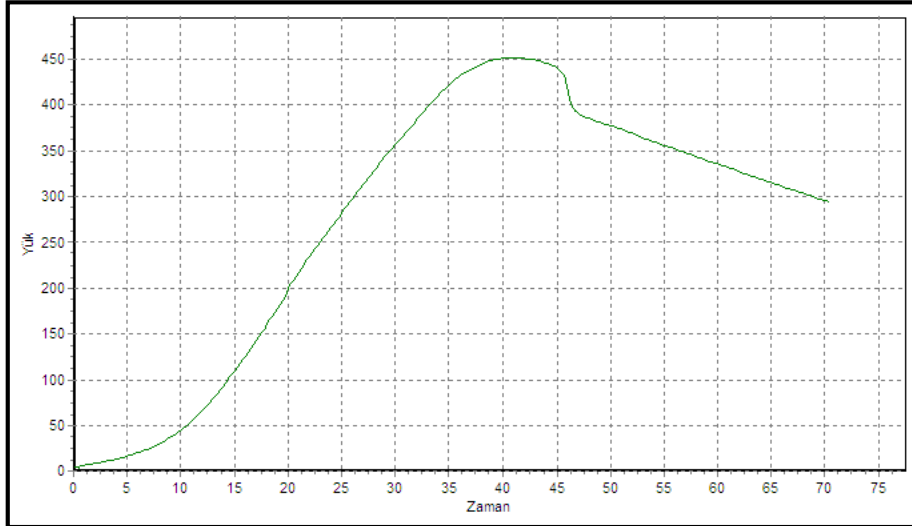
Ek Şekil 29. E-4/8-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



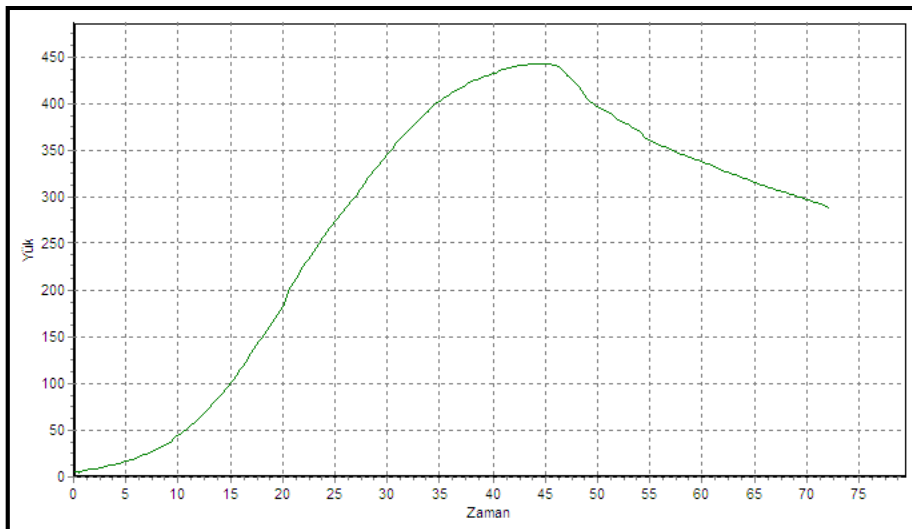
Ek Şekil 30. E-4/8-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



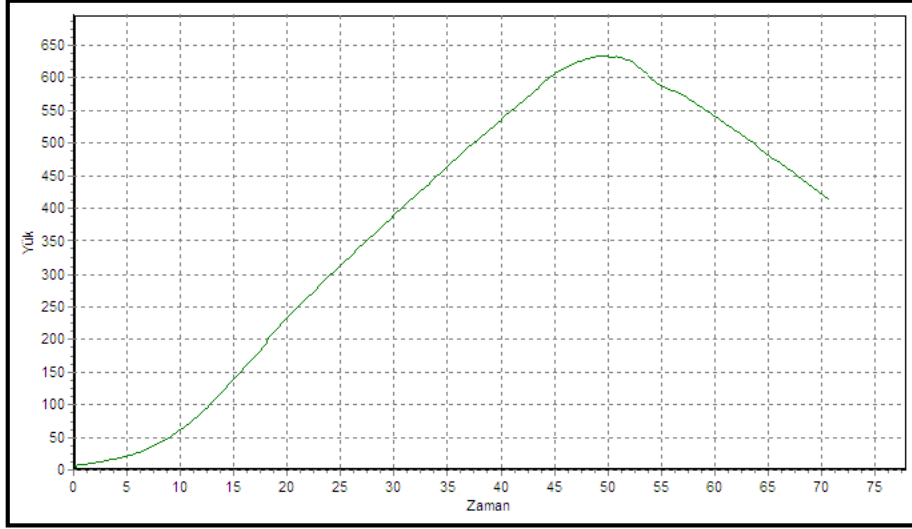
Ek Şekil 31. E-8/16-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



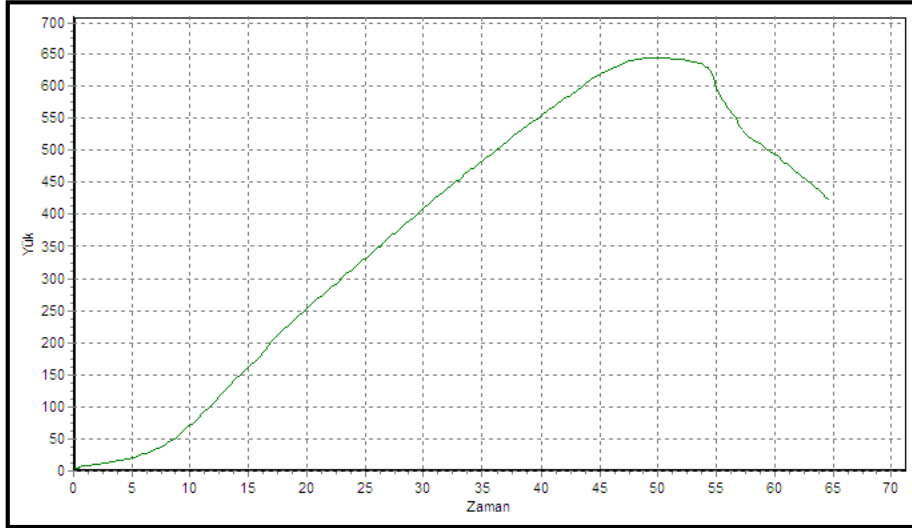
Ek Şekil 32. E-8/16-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



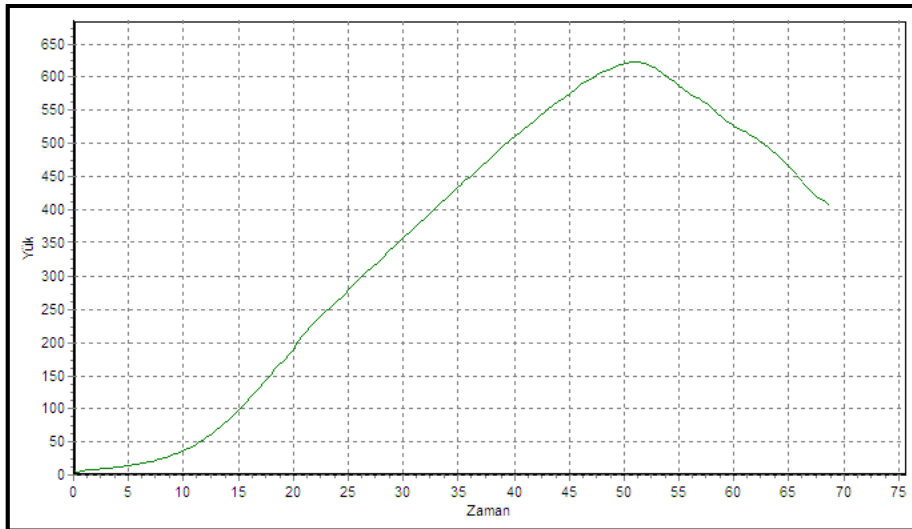
Ek Şekil 33. E-8/16-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



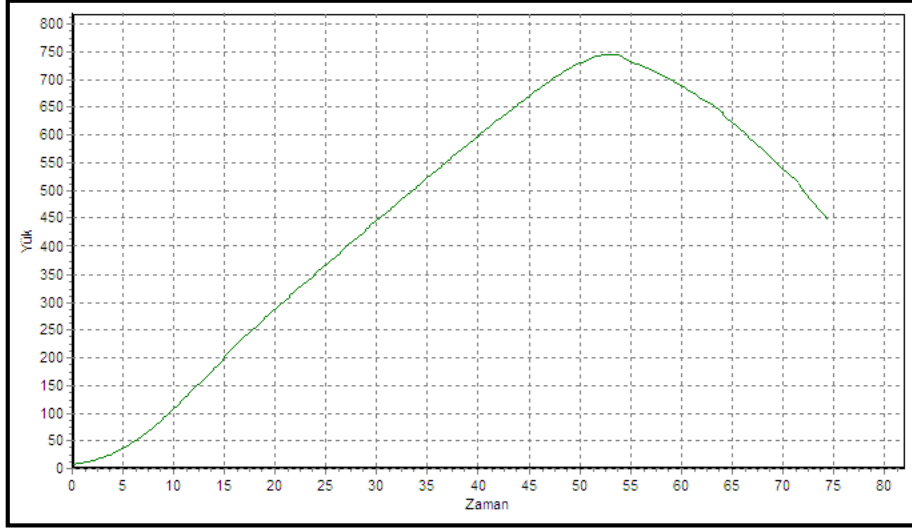
Ek Şekil 34. E-16/32-32.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



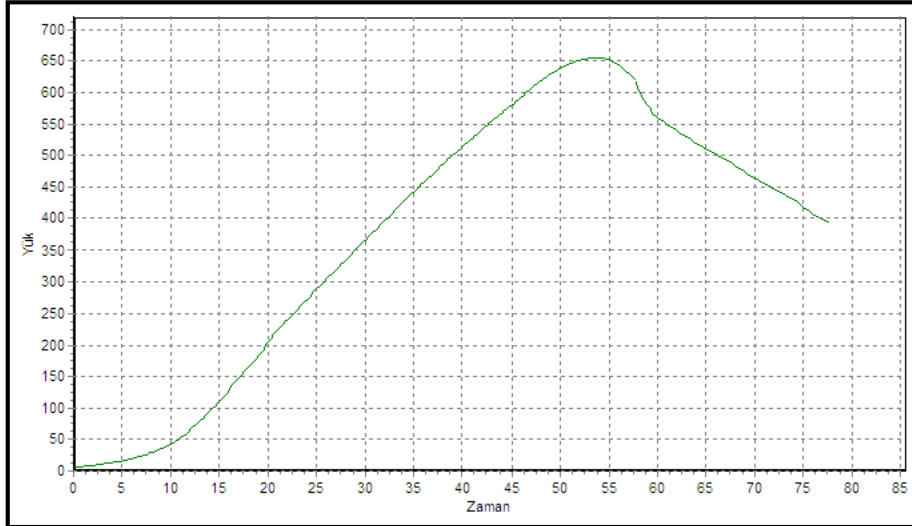
Ek Şekil 35. E-16/32-32.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



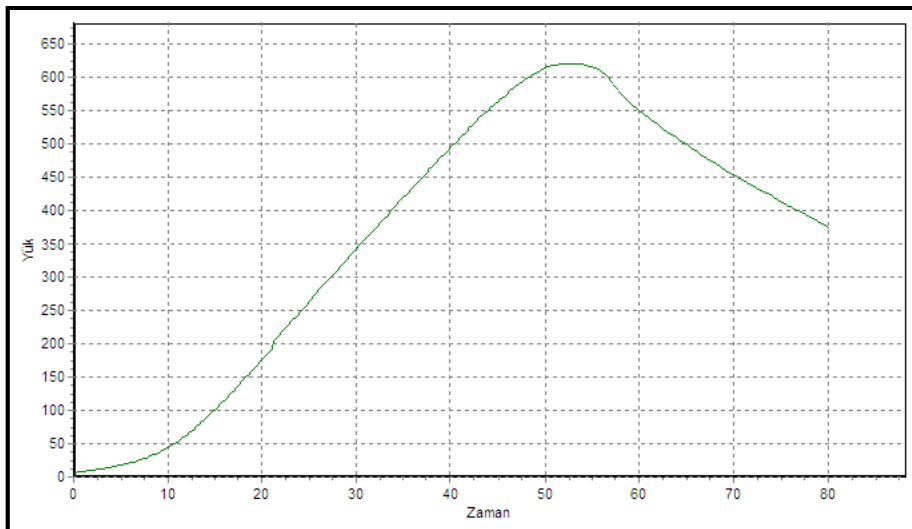
Ek Şekil 36. E-16/32-32.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



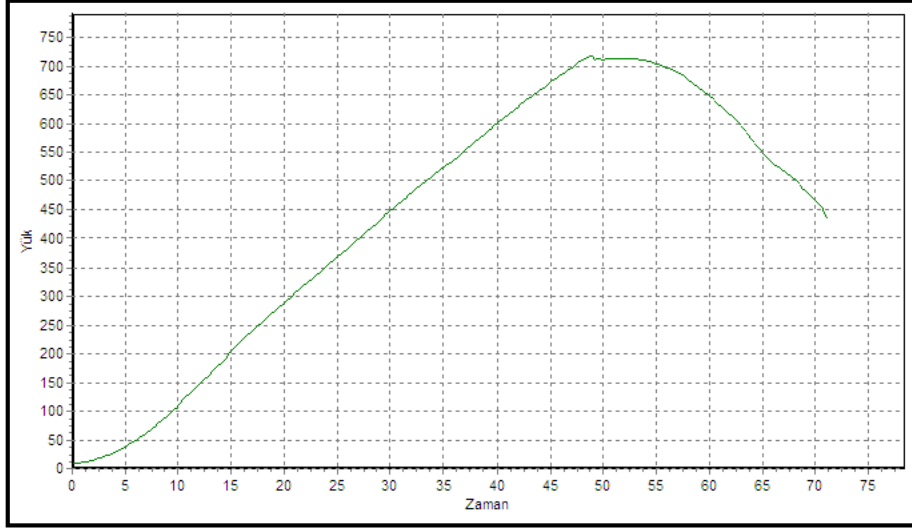
Ek Şekil 37. H-4/8-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



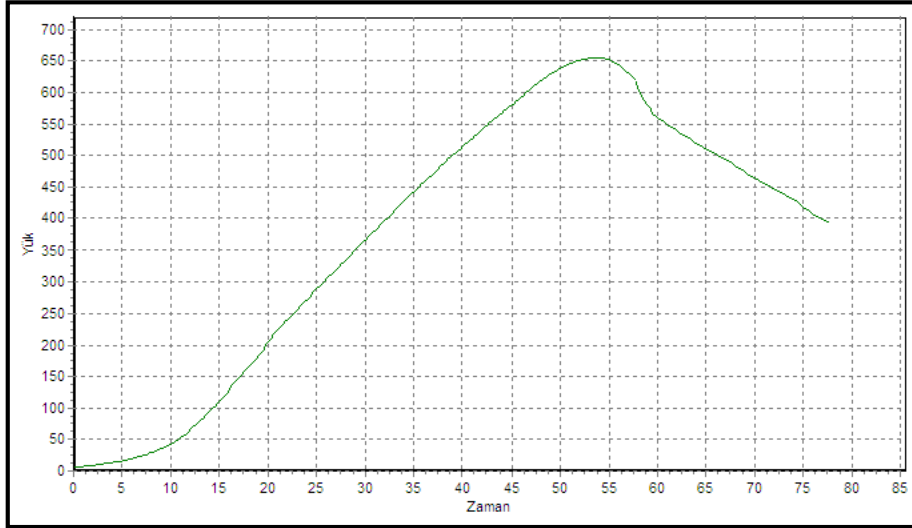
Ek Şekil 38. H-4/8-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



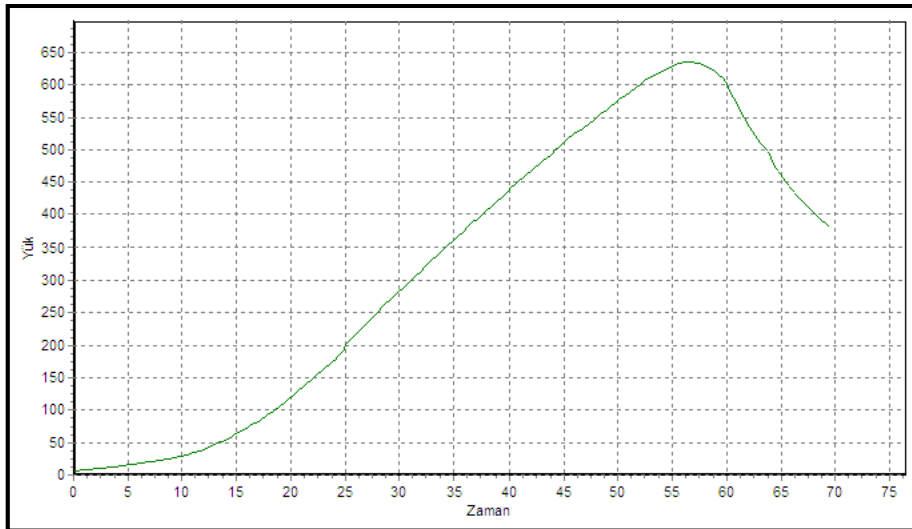
Ek Şekil 39. H-4/8-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



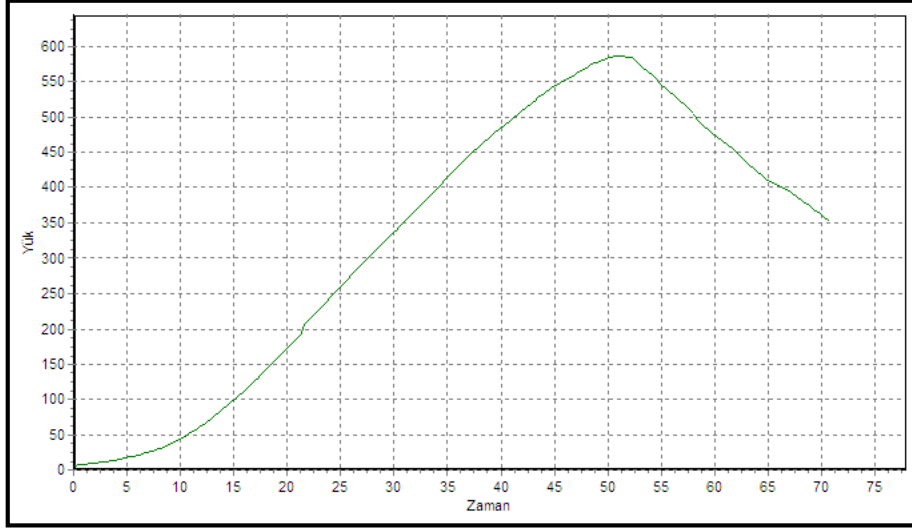
Ek Şekil 40. H-8/16-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



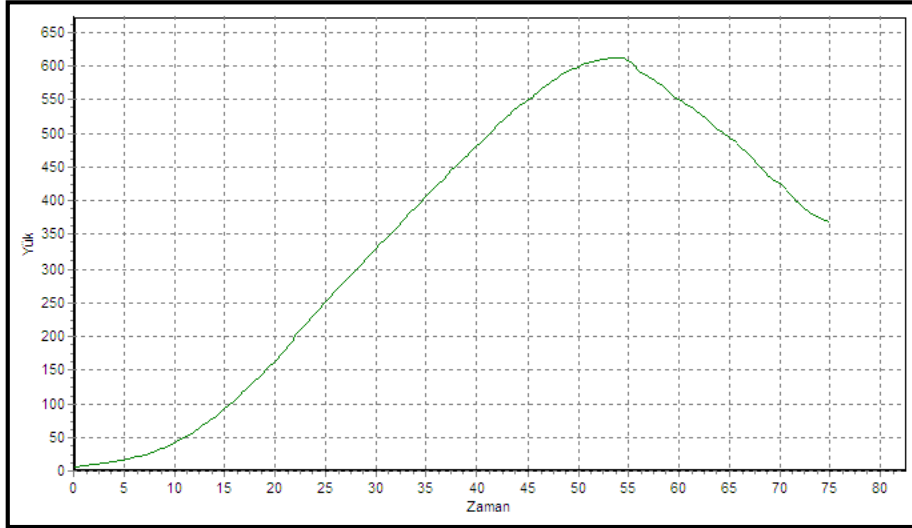
Ek Şekil 41. H-8/16-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



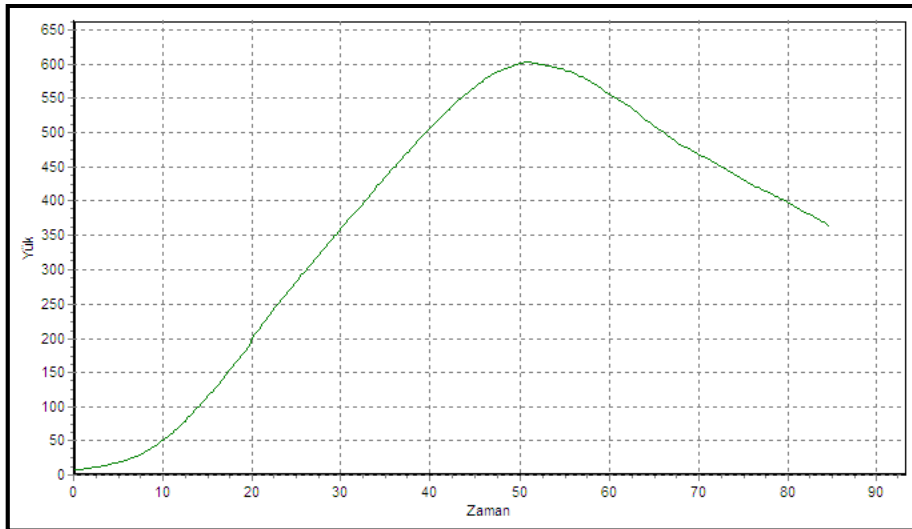
Ek Şekil 42. H-8/16-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



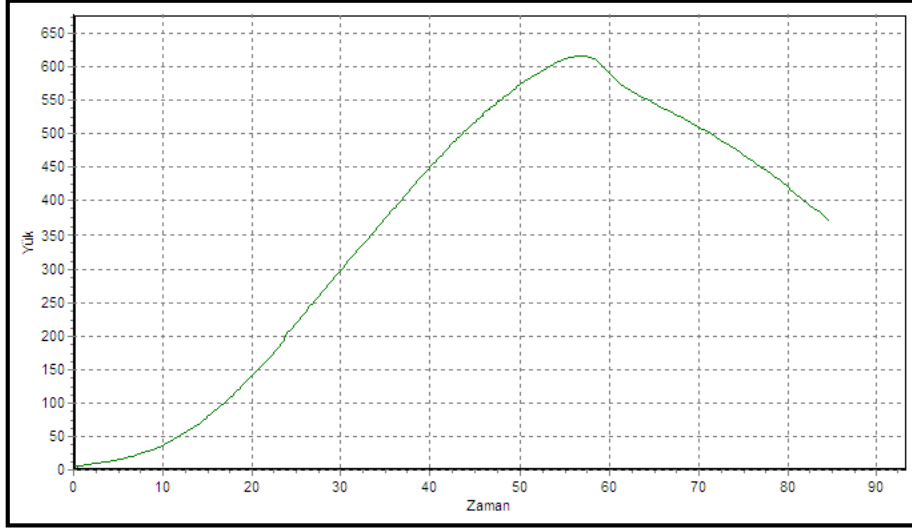
Ek Şekil 43. H-16/32-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



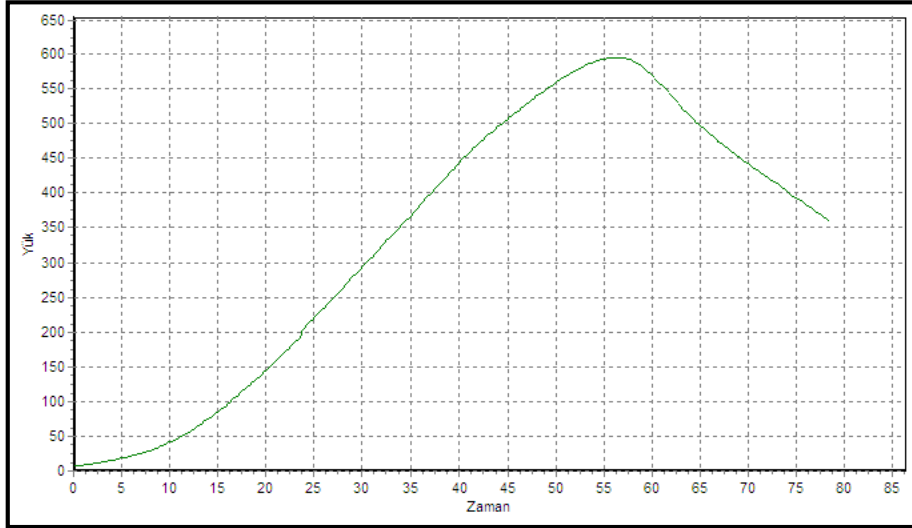
Ek Şekil 44. H-16/32-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



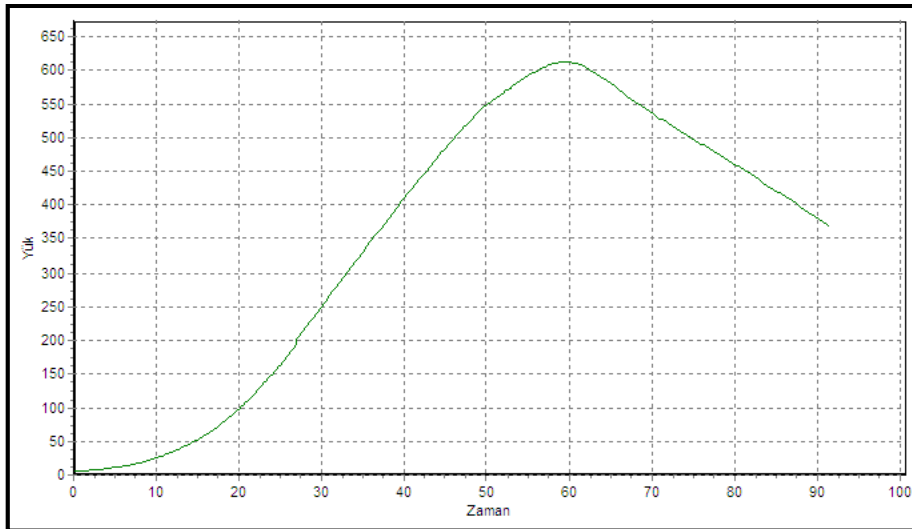
Ek Şekil 45. H-16/32-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



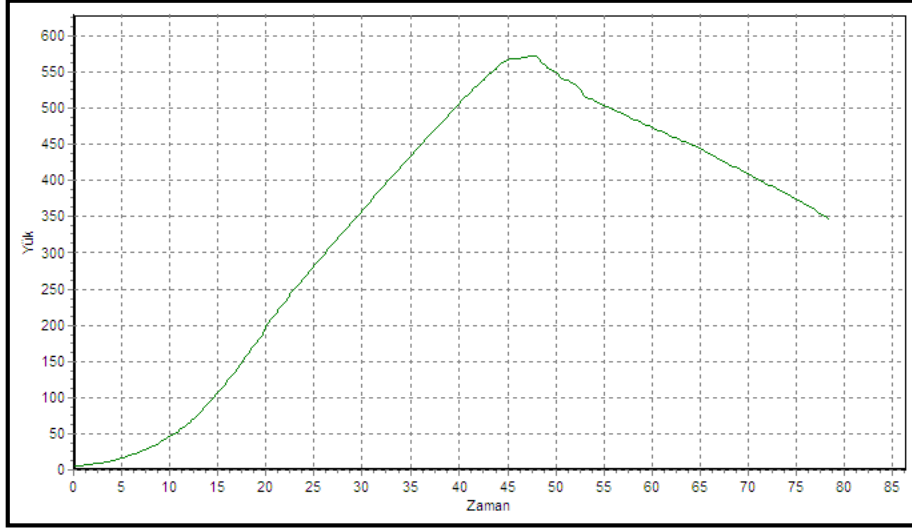
Ek Şekil 46. K-4/8-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



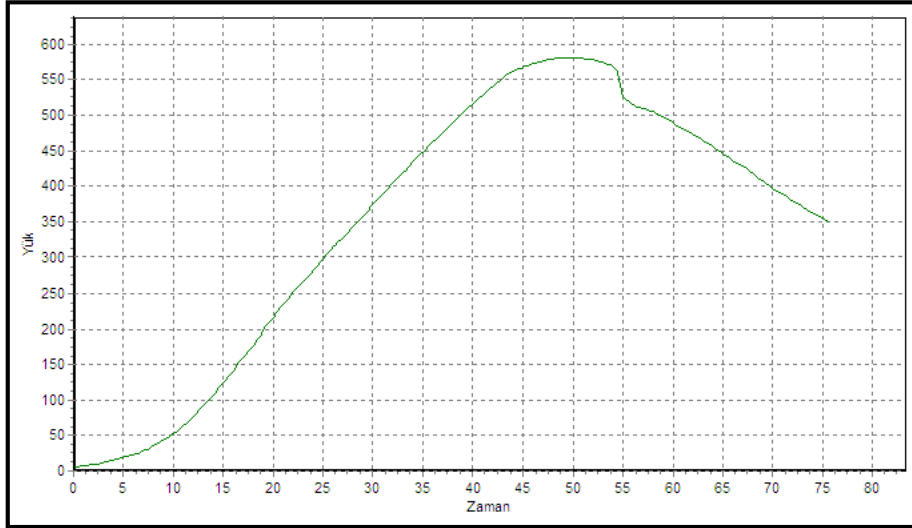
Ek Şekil 47. K-4/8-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



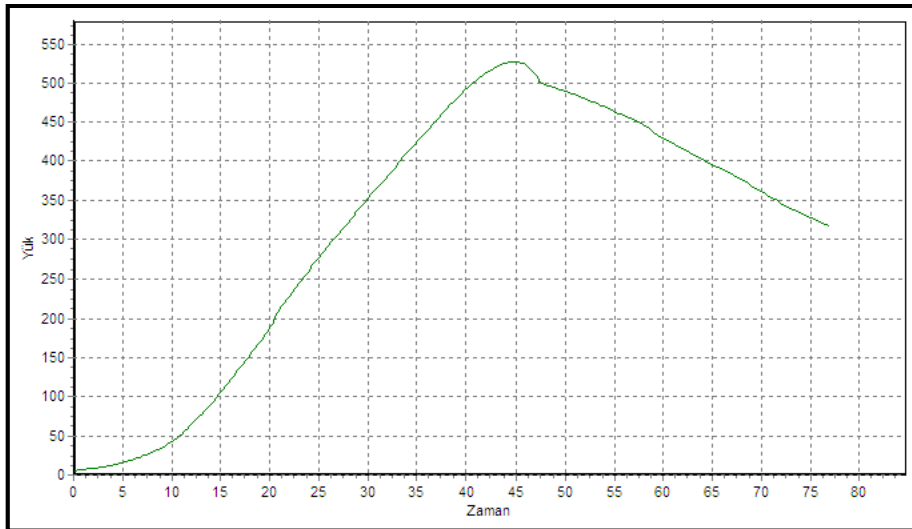
Ek Şekil 48. K-4/8-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



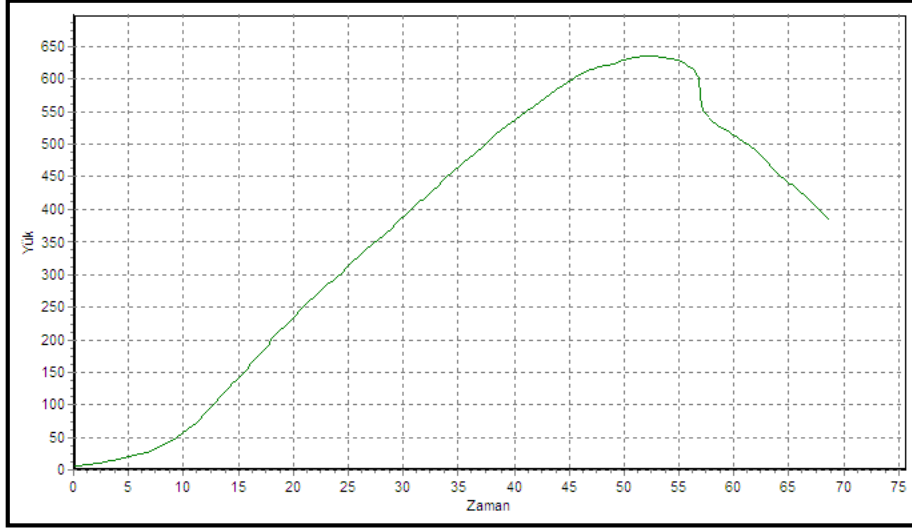
Ek Şekil 49. K-8/16-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



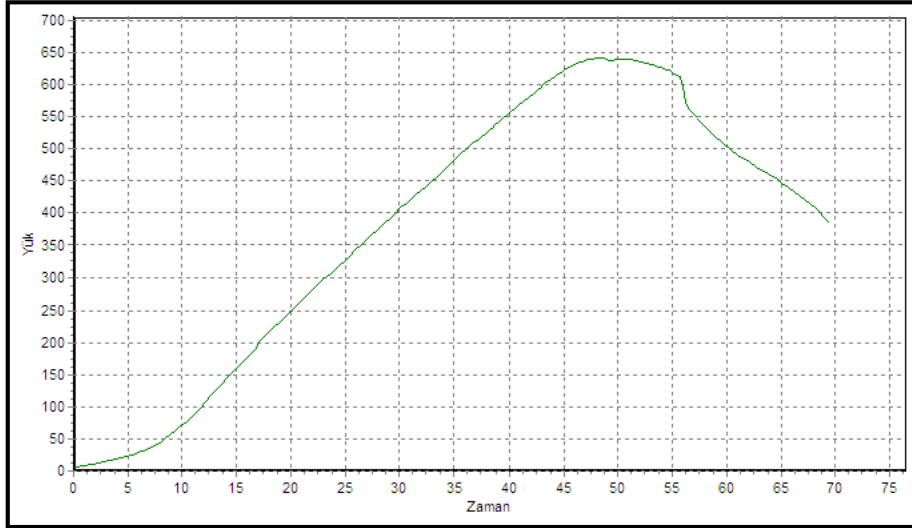
Ek Şekil 50. K-8/16-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



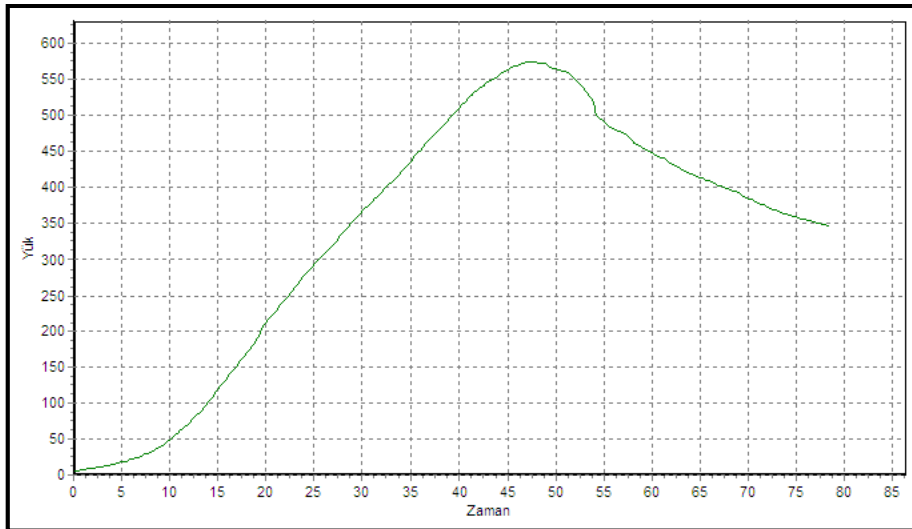
Ek Şekil 51. K-8/16-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



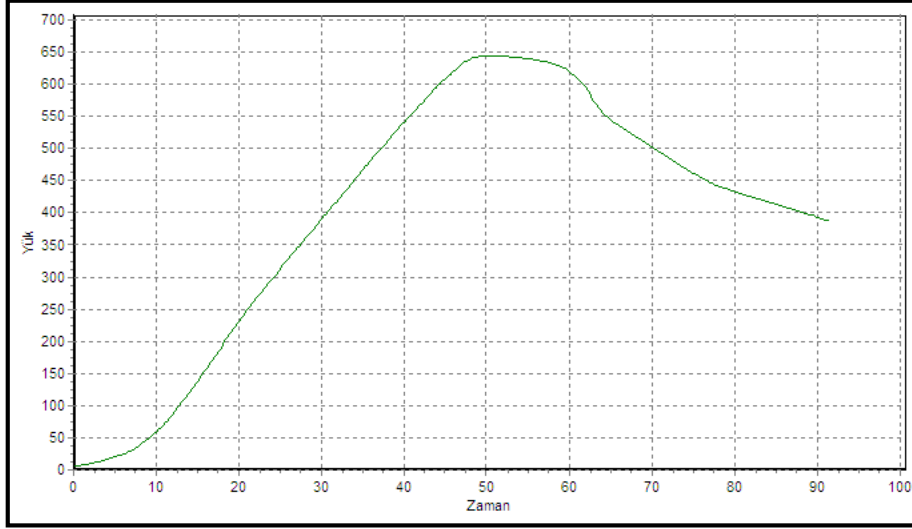
Ek Şekil 52. K-16/32-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



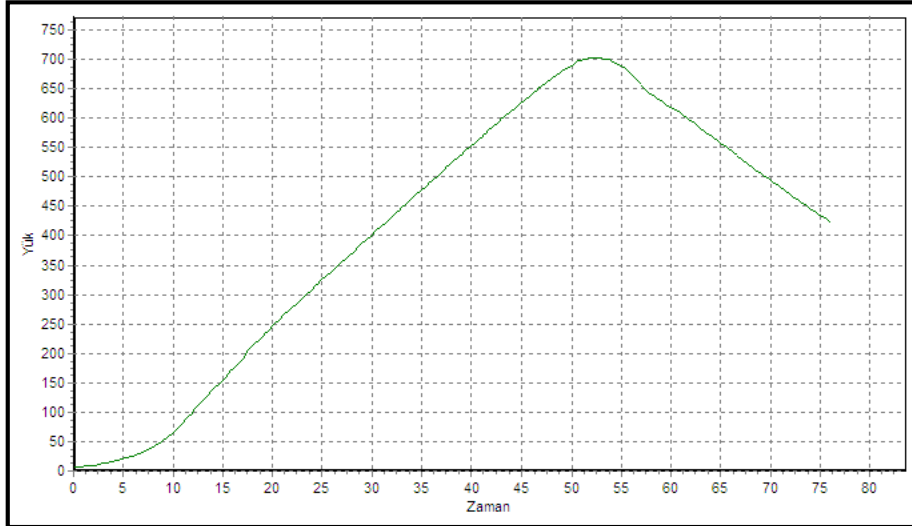
Ek Şekil 53. K-16/32-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



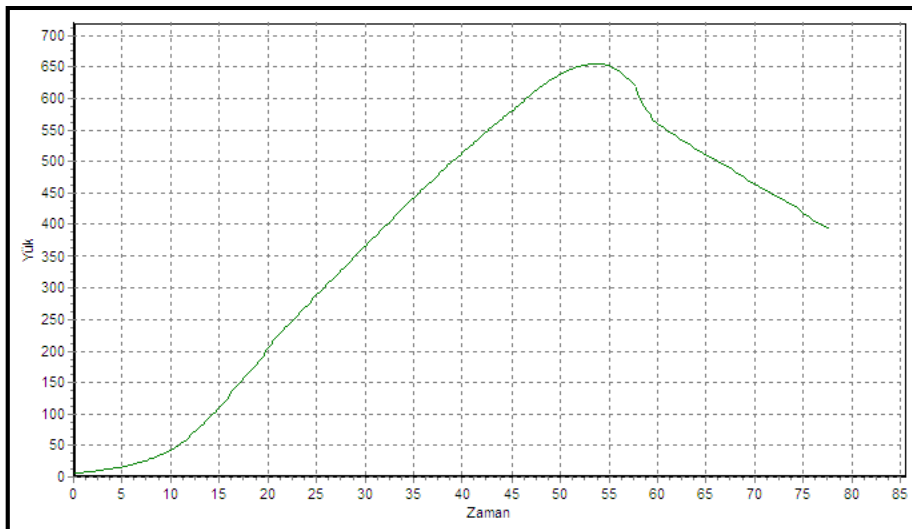
Ek Şekil 54. K-16/32-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



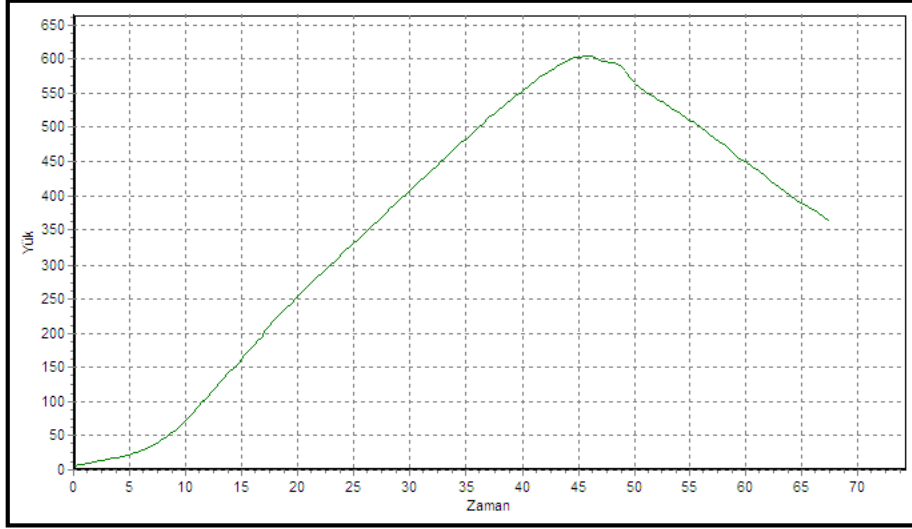
Ek Şekil 55. A-4/8-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



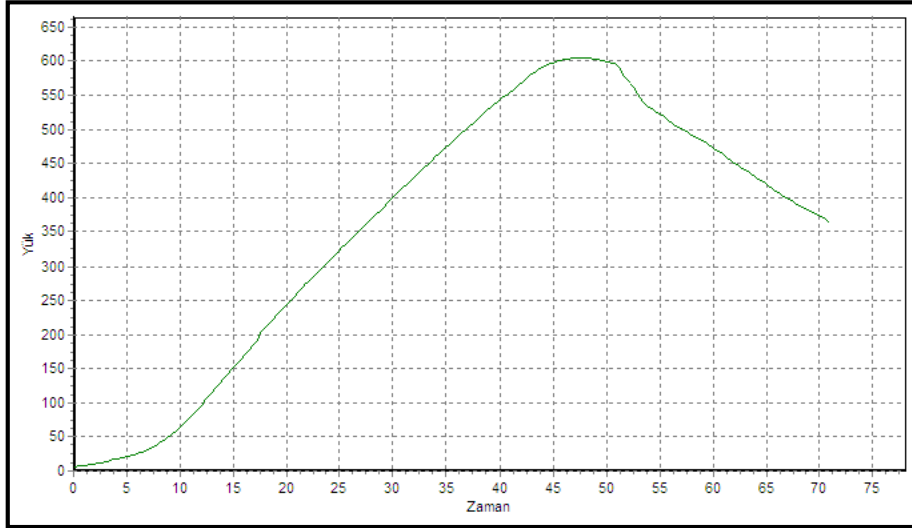
Ek Şekil 56. A-4/8-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



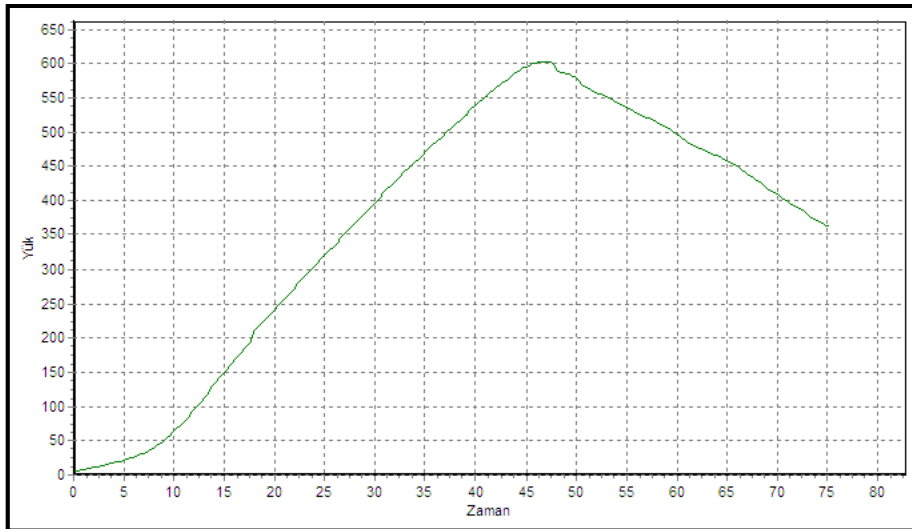
Ek Şekil 57. A-4/8-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



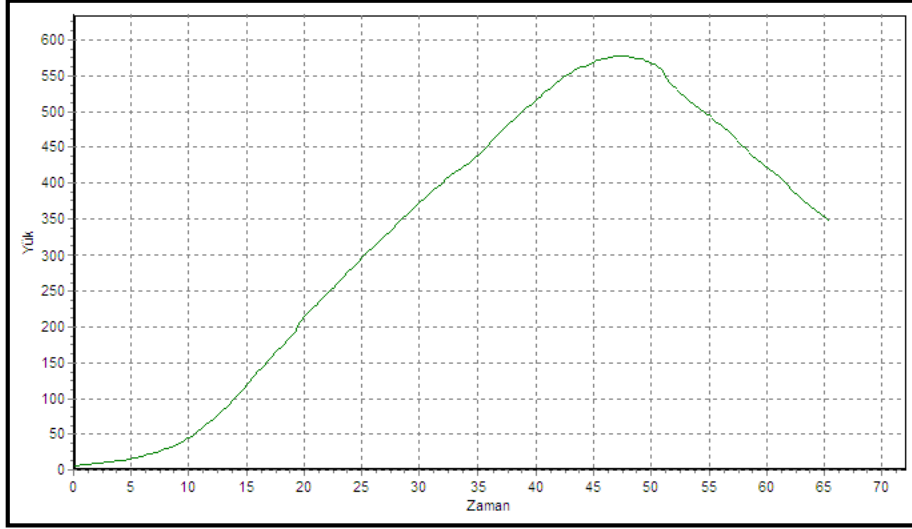
Ek Şekil 58. A-8/16-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



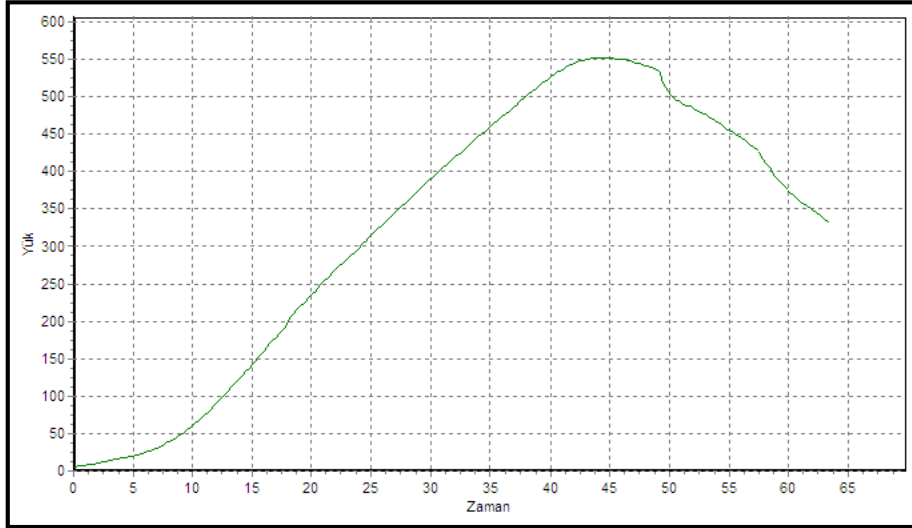
Ek Şekil 59. A-8/16-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



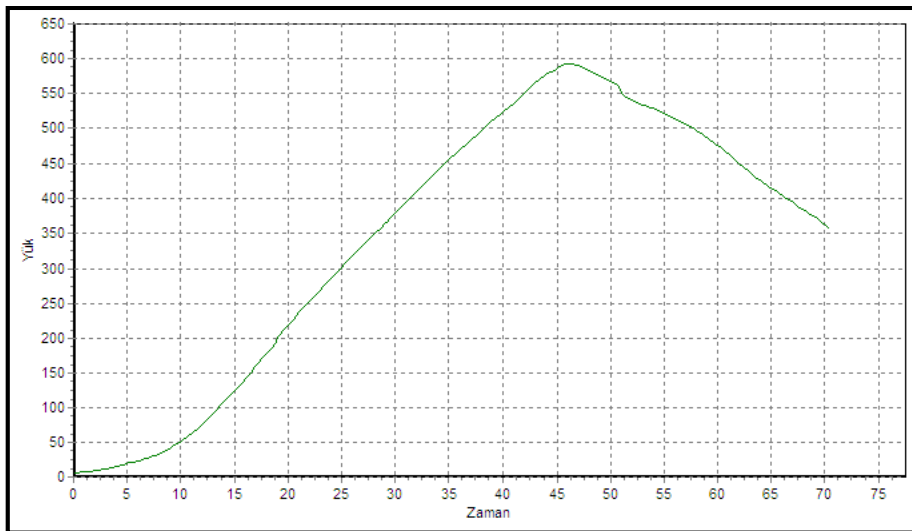
Ek Şekil 60. A-8/16-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



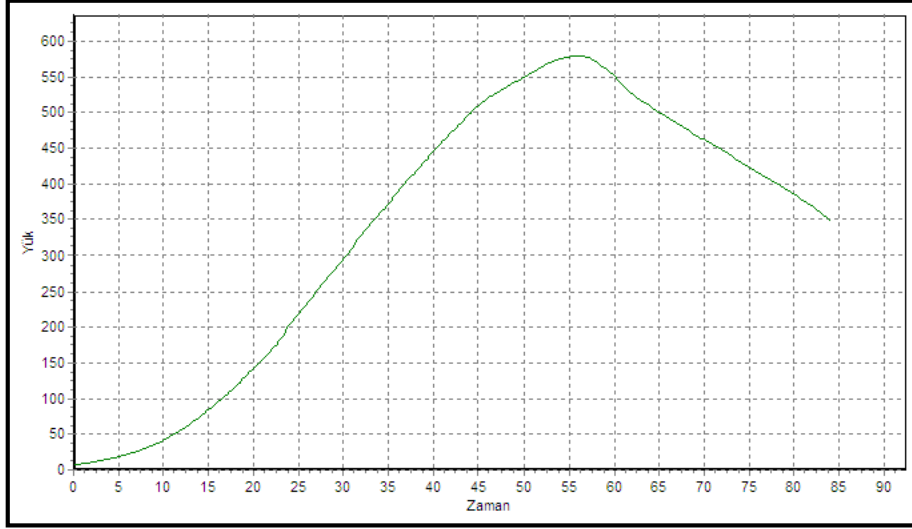
Ek Şekil 61. A-16/32-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



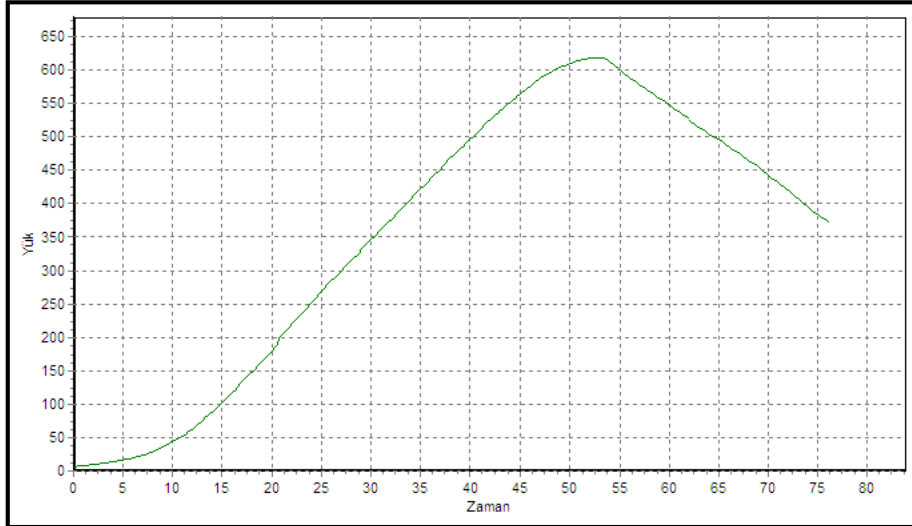
Ek Şekil 62. A-16/32-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



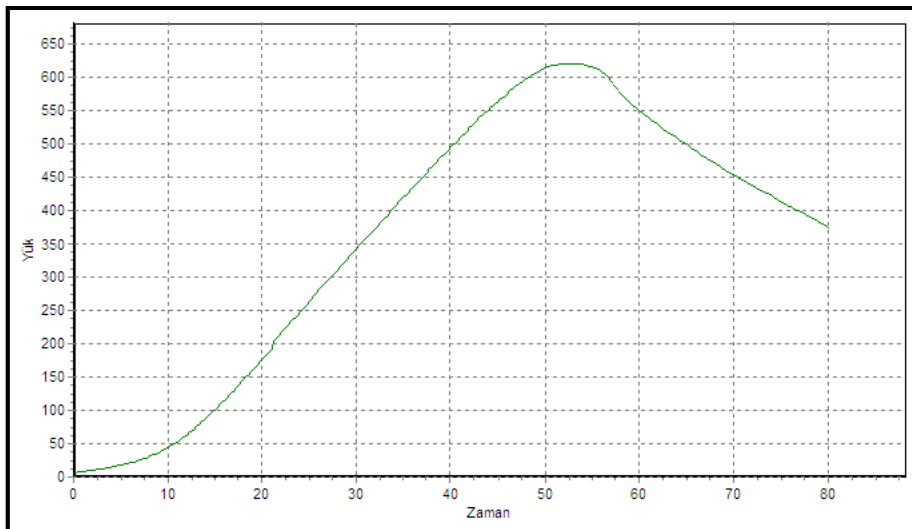
Ek Şekil 63. A-16/32-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



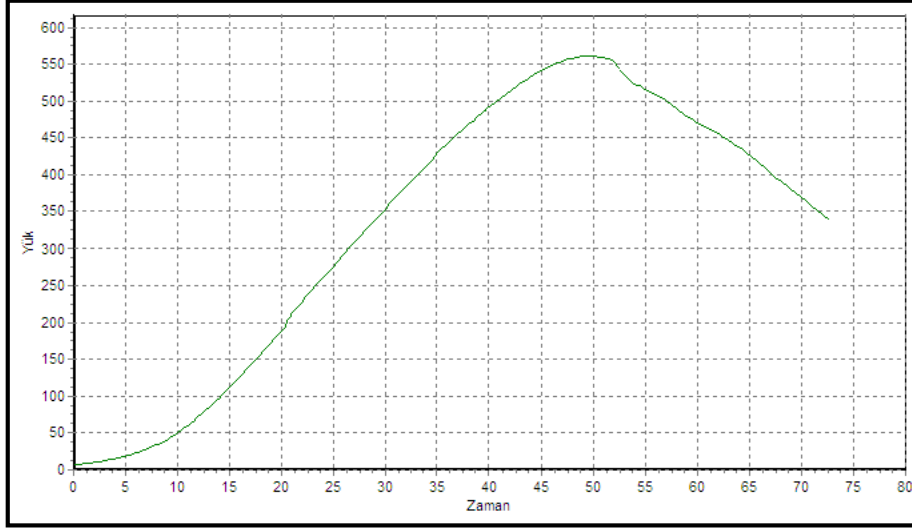
Ek Şekil 64. E-4/8-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



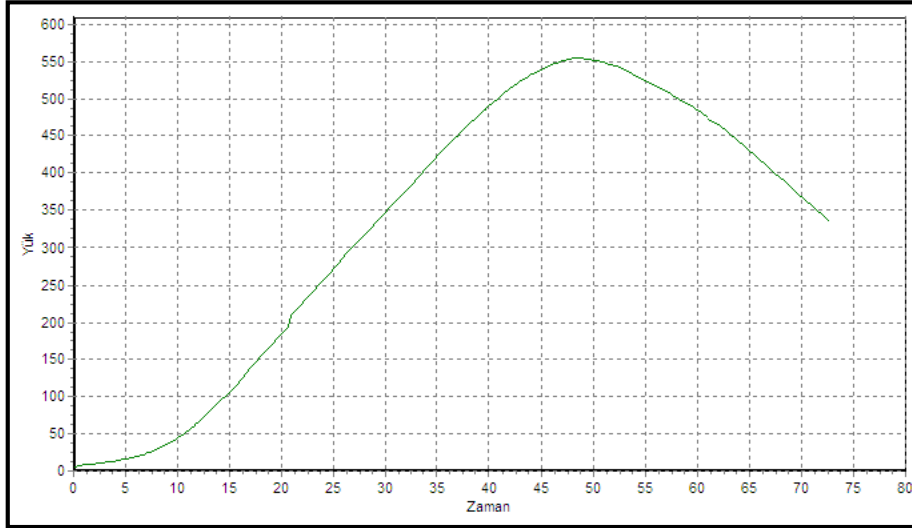
Ek Şekil 65. E-4/8-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



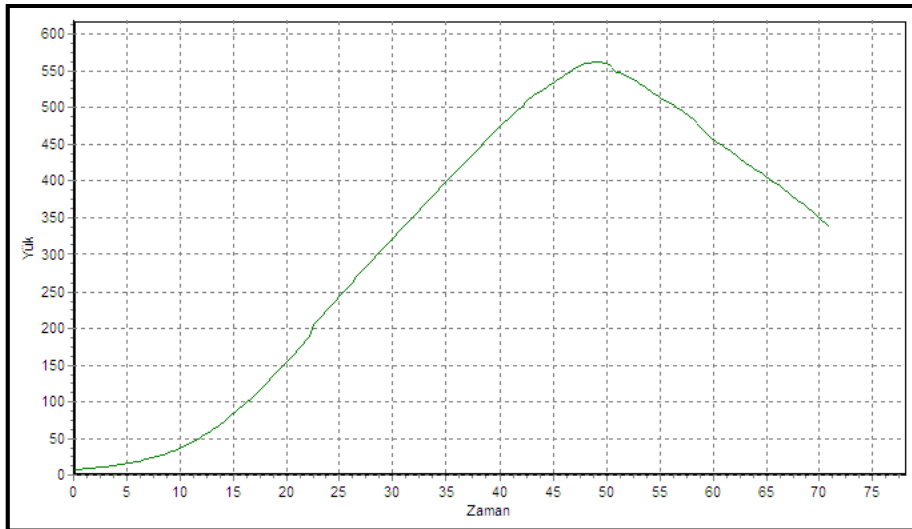
Ek Şekil 66. E-4/8-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



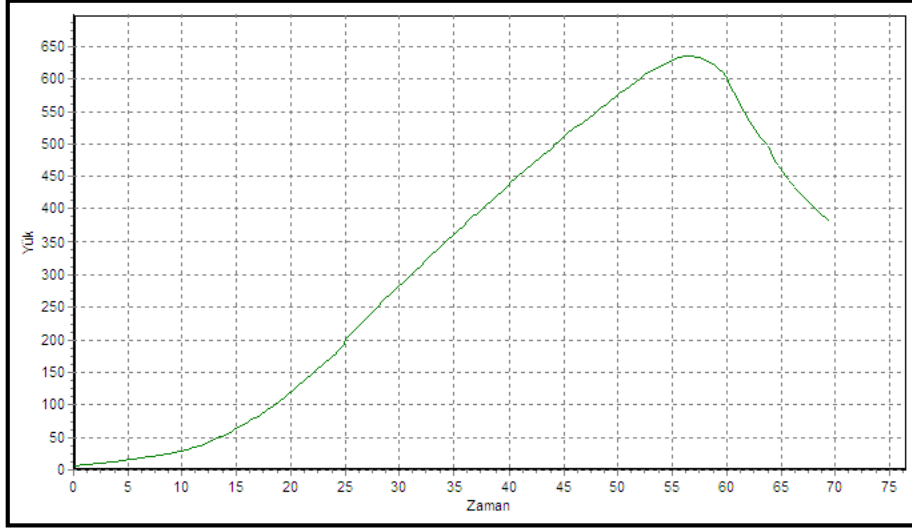
Ek Şekil 67. E-8/16-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



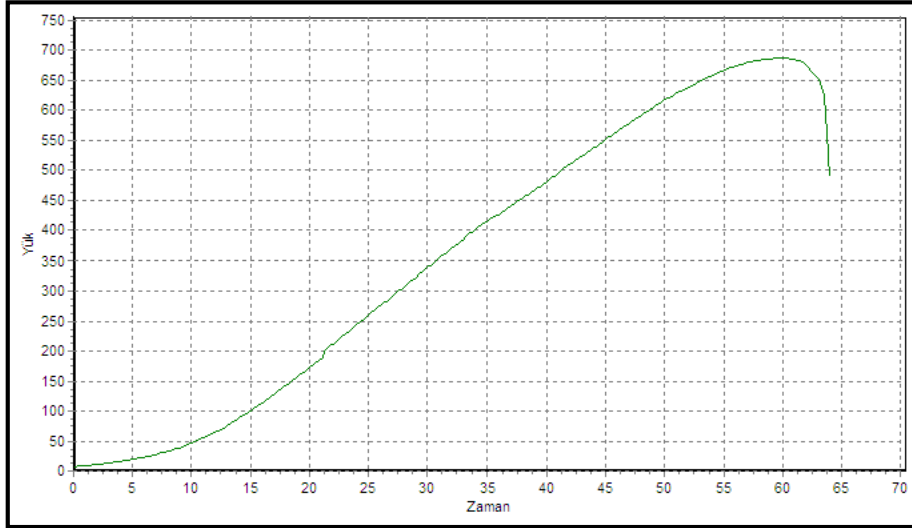
Ek Şekil 68. E-8/16-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



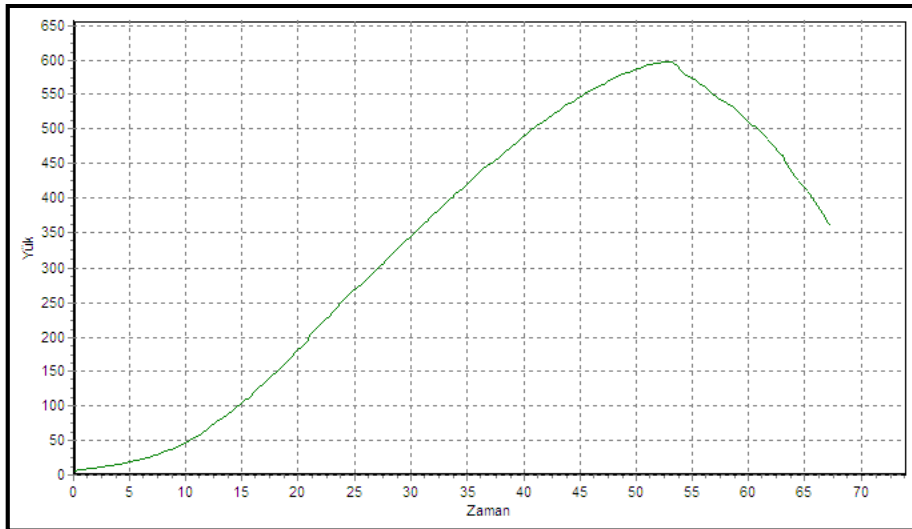
Ek Şekil 69. E-8/16-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği



Ek Şekil 70. E-16/32-42.5 beton serisinin 1. numunesine ait yük-zaman grafiği



Ek Şekil 71. E-16/32-42.5 beton serisinin 2. numunesine ait yük-zaman grafiği



Ek Şekil 72. E-16/32-42.5 beton serisinin 3. numunesine ait yük-zaman grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa KÖSEKUL, 1986 yılında Kırıkkale’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’ da tamamladı. 2004 yılında Ankara Yenimahalle Mobil Lisesi’ nden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ nden 2009 yılında mezun oldu. 2009 ile 2011 yılları arasında Ankara’ da MAFA İnşaat Limited Şirketi’ nde inşaat mühendisi olarak çalıştı. 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılından bu yana Gümüşhane Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’ nde inşaat mühendisi olarak görev yapmakta olup, evli ve bir çocuk babasıdır.