

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özden ÖZGÜDEN

ATIK CAM KATKILI BETONLARIN İNCELENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ATIK CAM KATKILI BETONLARIN İNCELENMESİ

Özden ÖZGÜDEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 02/12/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
ÜYE

.....
Prof. Dr. İlker Fatih KARA
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve
fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat
Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK CAM KATKILI BETONLARIN İNCELENMESİ

Özden ÖZGÜDEN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
Yıl: 2019 Sayfa: 79
Jüri : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İlker Fatih KARA

Bu çalışmada, geri dönüşümde de kullanılabilen cam atıkların beton karışımında agreganın belirli oranlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Cam tamamen doğadan elde edilmiş ve yüzde yüz geri dönüştürülebilen bir malzemedir. Yüzyıllardır insanoğlu camın keşfinden sonra bu geri dönüşüm özelliği sayesinde enerji kaynaklarını daha verimli kullanmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışmada cam atıkları, iki etaplı olarak beton agregasının yerine kullanılarak hazırlanan numunelerdeki basınç ve çekmede eğilme dayanımları gözlenmiştir. Deneyler göstermiştir ki kullanılan cam atıkların yüzdeleri arttıkça beton mekanik özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Bununla birlikte, ağırlıkça %10 civarında atık camın özellikle ince gradasyonlarda kullanılması enerji verimliliğini artırmak için uygulanabilir bir yöntem olarak gözükmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık cam, Cam katkılı beton, Betonlarda atık cam kullanımı

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF WASTE GLASS ADDED CONCRETE

Özden ÖZGÜDEN

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
Year: 2019 Pages: 79
Jury : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İlker Fatih KARA

In this study, the usability of glass wastes, which can also be used in recycling, in certain proportions of aggregate in concrete mixture was investigated. Glass is a completely natural material and is 100% recyclable. After the discovery of glass for centuries, human beings have aimed to use energy sources more efficiently thanks to this recycling feature. In this study, compressive and tensile strengths of the samples prepared by using glass wastes instead of concrete aggregate in two stages were observed. Generally, experiments have shown that as the percentage of glass waste used increases, the mechanical properties of concrete are adversely affected. However, the usage of recycling glass about 10% by weight of aggregate especially in fine gradations, appears to be a viable method for increasing energy efficiency.

Keywords: Waste glass, Glass added concrete, Usage of waste glass in concrete

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

İnsanoğlu mevcudiyetinden itibaren en önemli iki sorunu çözmeyi hedeflemiştir. Bunlardan en önemlisi barınma ve korunma sorunudur. Bu problemi önceleri tamamen ilkel yöntemlerle aşmaya çalışan insanlar, betonun icadı ile neredeyse yeni bir çağa geçerek çözmüşlerdir.

Beton, tüm dünyanın yıllardır kullanmakta olduğu en ekonomik yapı malzemelerinden birisidir. Uzun yıllar boyunca kullanılabilir olması, üretiminin hemen hemen her coğrafik konumlarda yapılabiliyor olması tercih edilmesinde en önemli nedenlerin başında yer almaktadır.

Gelişen dünyada, hem nüfus artışı, hem de doğal kaynakların günden güne azalması, mevcut tüm kaynakları daha verimli kullanmaya mecbur bırakmıştır. Rekabetin günden güne neredeyse vahşi bir hal alması nedeniyle tüm üreticiler için verimliliği en üst seviyeye çıkarmak ve sürekli bunu gözden geçirmek ilk hedef haline gelmiştir.

Cam atıkların geri dönüşümü ilk olarak Avrupa'da Almanya ve İsviçre ülkelerinde başlamasıyla birlikte bu konunun Türkiye'de başlaması 1970'li yılların sonlarını bulmuştur.

Cam %100'ü geri dönüştürülebilen bir yapı malzemesi olmakla birlikte, ülkemizde bu oran %60- %70'lere dahi ulaşamamıştır.

Diğer taraftan ise bu atık camların bertarafı için hiç te küçümsenmeyecek ayrıca bir maliyet oluşmakta ve günden güne bu maliyetler ciddi boyutlara ulaşmaktadır.

Cam atıkların beton içerisinde kullanılabilir olması durumunda bertaraf maliyetlerinin minimize edilmesi ülke ekonomisini olumlu olarak etkileyecektir.

Aynı zamanda paralel olarak atık bertarafı ve buna harcanan paranın kısılarak bertaraf maliyetlerinin minimize edilmesi de oldukça önemli hale gelmiştir.

Cam atıkların beton içerisinde kullanılabilirliğinin araştırılması, fizibil olup olmadığı ve beton dayanımlarına etkilerinin araştırılması bu tezin konusunu oluşturmaktadır.

Çalışma iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada, atık cam numuneleri kum ve çakıl yerlerine ağırlıkça, %5, %10, %25 ve %50 oranlarında karıştırılmak suretiyle küp beton numuneler dökülmüştür. Küp numunelerde betonun basınç dayanımı gözlenmiştir. Numuneler 28 gün kür havuzunda bekletilmiş olup tüm kırınlar 28 günlük mukavemetlere ulaşıldığında yapılmıştır.

İkinci aşamada ise dane boyutları oldukça küçültülen pudra boyutlarındaki cam atıkları toz haline getirilerek, yine ağırlıkça %5, %10, %15, %25 ve %50 oranlarında karıştırılmak suretiyle kare prizma şeklinde beton numuneler dökülmüştür. Bu numunelerde ise basınç ve eğilmede çekme dayanımlarına bakılmıştır. İkinci etap çalışmalardaki numuneler de aynı birinci etaptakiler gibi 28 günlük olup, kür havuzunda bekletilmişlerdir.

Beton basınç ve çekme dayanımlarının cam atık katkı ilavesinin %10'u civarlarında olumlu etkilendiği, %15 ve üzerlerine çıkıldığında ise düştüğü görülmüştür.

Atık camların yaklaşık %10 mertebesinde kullanılması durumunda betonun mekanik özelliklerini çok fazla etkilemediği ve bu şekildeki kullanımların, tabiki önce cam atıkların uygun gradasyona getirilip sınıflandırılması ön koşuluyla, uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmama her türlü konuda destek veren, kıymetli bilgilerini ve deneyimlerini her zaman esirgemedi paylaşan değerli danışmanın Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında, bana her türlü desteği sonuna kadar veren çok değerli eşim Eda, biricik kızım Özgü ve canım oğlum Özen'e teşekkür ederim.

Deneylerde malzeme ve laboratuvarlarını kullandığım NEHİR BETON ve MAKROLAB firmalarına ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, benim yüksek lisans yapmam hususunda olumlu teşviklerde bulunan kıymetli babam Hayrullah ÖZGÜDEN'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1.GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Betonun Tanımı	3
2.2. Betonun Tarihçesi.....	3
2.3. Hazır Beton.....	5
2.3.1. Günümüzde Hazır Beton	5
2.3.2. Hazır Beton Bileşenleri.....	6
2.3.2.1. Çimento ve Tipleri	7
2.3.2.1.(1). Portland Çimentosu.....	8
2.3.2.2. Agrega.....	8
2.3.2.2.(1). Agrega Dayanımı	9
2.3.2.2.(2). Agregaların Yüzey Yapısı ve Tane Şekilleri.....	9
2.3.2.2.(3). Granülometri	12
2.3.2.3. Katkılar	13
2.3.2.4. Karışım Suyu	15
2.3.3. Su-Çimento Oranı.....	16
2.4. Beton Dayanımlarının Hesabı.....	17
2.4.1. Basınç Dayanımı	17
2.4.2. Çekme Dayanımı.....	18

2.4.3. Eğilme Dayanımı	19
2.5. Cam Sanayi	20
2.5.1. Camın Tanımı ve Tarihi	20
2.5.2. Camın Yapısı	22
2.5.3. Camın Kimyasal Özellikleri	23
2.5.4. Camın Fiziksel Özellikleri	24
2.5.5. Camın Mekanik Özellikleri	24
2.5.6. Camın Elektriksel Özellikleri	25
2.5.7. Camın Optik Özellikleri	26
2.5.8. Camın Bileşimi	27
2.5.9. Camın Üretimi	28
2.5.10. Camın Çeşitleri	29
2.5.11. Camın Geri dönüşümü	30
2.5.12. Atık Camın Çimento ve Betonda Kullanımı İle İlgili Önceki Çalışmalar	32
3. MATERYAL VE METOD	33
3.1. Materyal	33
3.1.1. Çimento	36
3.1.2. Agregat	37
3.1.3. Karışım Suyu	38
3.2. Metod	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
4.1. Deney Sonuçları	55
4.1.1. I. Etap Çalışmalar	55
4.1.2. II. Etap Çalışmalar	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. Yıllara Göre Türkiye’de Üretilen Hazır Beton Miktarları	6
Çizelge 2.2. Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Miktarları	8
Çizelge 2.3. Portland Çimentosunu Oluşturan Ana Bileşenler	8
Çizelge 2.4. Agregaların Geometrik Özelliklerinin Açılımları.....	10
Çizelge 2.5. Beton Agregalarının Yüzey Özellikleri	11
Çizelge 2.6. Betonda Kullanılacak Karma Suyunun Kalitesi	16
Çizelge 2.7. Camın Kompozisyonunda Bulunan Oksitlerin Sınıflandırılması	23
Çizelge 2.8. Cam Eldesinde Kullanılan Karışımlar	28
Çizelge 3.1. Çimento Fiziksel Özellikleri.....	36
Çizelge 3.2. Çimento Kimyasal Özellikleri	37
Çizelge 3.3. Agrega Granülometri Eğrisi.....	38
Çizelge 3.4. 1. Etap Deneylerde Kullanılan Betonların Karışım Numaraları	39
Çizelge 3.5. 1. Etap Deneylerde Kullanılan Betonların Karışım Oranları	40
Çizelge 3.6. Öğütülmüş Atık Cam Elek Analizi	45
Çizelge 3.7. 2. Etap Deneylerde Kullanılan Betonların Karışım Oranları	46
Çizelge 4.1. I.Etap %5, %10, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Betonların Kırım Sonuçları	62
Çizelge 4.2. 1.Etap Çalışmada Kullanılan Atık Cam Katkılı Betonların Basınç Dayanımı Değişimi	64
Çizelge 4.3. II.Etap Atık Cam Katkılı Betonların Basınç Dayanımları	67
Çizelge 4.4. II.Etap Atık Cam Katkılı Betonların Eğilme Dayanımları	68
Çizelge 4.5. II.Etap %5, %10, %15, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Beton Basınç Dayanım Grafikleri	70



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Beton Basınç Dayanımı Testinin Şematik Gösterimi	17
Şekil 2.2. Yarmada Çekme Deneyinin Şematik Gösterimi.....	18
Şekil 2.3. Eğilme Dayanımı Deneylerinin Şematik Gösterimi	19
Şekil 2.4. Mısırlıların Cam Üretimine Ait Bir Minyatür (URL-3).....	21
Şekil 2.5. Cam Üretiminin Aşamaları (Şişecam Topluluğu, 2010)	29
Şekil 2.6. Cam Şişenin Geri Dönüşüm Döngüsü	31
Şekil 3.1. Cam Kırıkları No.1	33
Şekil 3.2. Cam Kırıkları No.2	34
Şekil 3.3. Cam Kırıkları No.3	34
Şekil 3.4. Agregası No.1.....	35
Şekil 3.5. Agregası No.2.....	35
Şekil 3.6. Agregası No.3.....	36
Şekil 3.7. Beton pres cihazı no.1.....	52
Şekil 3.8. Beton pres cihazı no.2.....	52
Şekil 3.9. Kare prizma beton numuneleri	53
Şekil 3.10. Kür havuzuna konulan kare prizma beton numuneler	53
Şekil 4.1. I.Etap Şahit Numune Beton Kırım Grafiği	55
Şekil 4.2. I.Etap Kum Ağırlık %5 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği.....	56
Şekil 4.3. I.Etap Kum Ağırlık %10 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği.....	56
Şekil 4.4. I.Etap Kum Ağırlık %25 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği.....	57
Şekil 4.5. I.Etap Kum Ağırlık %50 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği.....	57
Şekil 4.6. I.Etap Çakıl Ağırlık %5 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği	58
Şekil 4.7. I.Etap Çakıl Ağırlık %10 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği	58
Şekil 4.8. I.Etap Çakıl Ağırlık %25 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği	59
Şekil 4.9. I.Etap Çakıl Ağırlık %50 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği	59
Şekil 4.10. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %5 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği	60

Şekil 4.11. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %10 Atık Cam Katkılı Beton Kırım	
Grafiği.....	60
Şekil 4.12. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %25 Atık Cam Katkılı Beton Kırım	
Grafiği.....	61
Şekil 4.13. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %50 Atık Cam Katkılı Beton Kırım	
Grafiği.....	61
Şekil 4.14. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %5, %10, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı	
Beton Numunelerin Kırım Grafikleri	63
Şekil 4.15. I. Etaptaki Kırılmış Beton Numunelere Ait Fotoğraflar	65
Şekil 4.16. II.Etap %5, %10, %15, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Beton Basınç	
Dayanım Grafikleri	70
Şekil 4.17. II.Etap %5, %10, %15, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Beton Eğilme	
Dayanım Grafikleri	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Å	: Angstrom
ASTM	: American Society for Testing and Materials
P	: Uygulanan Kırılma Yüğü
d	: Numune Çapı
l	: Numune Boyu
b	: Kırılma Kesitinin Genişliğı
h	: Kırılma Kesitinin Yüksekliğı
a	: Kırılma Hattı ile Yakınındaki Mesnet Arasındaki Ortalama Mesafe
S/Ç	: Su / Çimento Oranı
NPÇ	: Normal Portland Çimentosu
HBT	: Hazır Beton Tesisi
ÇEVKO	: Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı
FEVE	: Avrupa Cam Ambalaj Üreticileri Birliğı
FHCK	: Fırına Hazır Cam Kırığı



1.GİRİŞ

Beton, dünyanın en yaygın yapı malzemelerinin başında yer almaktadır. Bilindiği üzere beton; kum, çakıl (agrega olarak), çimento ve su karışımı ile üretilmektedir. Bu karışım harcına gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı malzemeleri daha önceden belirlenen uygun karışım oranlarında homojen olacak şekilde ilave edilir.

Dünyada her yıl ortaya çıkan milyonlarca tonluk atık camların bir kısmı cam üretimi yapan fabrikalarda geri dönüşümde kullanılmaktadır. Özellikle Almanya (2003 yılında) atık camların %94'ünü, İsveç ise (2010 yılında) %93'ü gibi büyük bir çoğunluğunu geri dönüştürebilmiş iken ülkemizde bu oran maalesef (2004 yılında) %66 seviyesinde kalmıştır. Bu sebeple atık camların ayrıştırılması sonrasında beton ve/veya betonarme yapılarda kullanılabilirliğinin araştırılması önem kazanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, endüstriyel bir atık olan cam atıklarının beton içerisindeki davranışının incelenmesidir. Bilindiği üzere her yıl milyonlarca liraya mal olan cam atıklarının bertarafı yerine beton üretiminde agrega yerine kullanılarak, ülke ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Her ne kadar, cam atıklarının geri dönüşüm oranı teorik olarak %100 olsa bile, özellikle ülkemizin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde pratikte bu pek mümkün olamamaktadır.

Çalışmanın ilk kısmında gradasyonuna göre ayrılmış atık camlar betonun içerisindeki kum-çakıl içeriğinin ağırlıkça belirli yüzdelerdeki kısımlarının yerine konulmasıyla, ikinci kısmında ise çok daha ince tane boyutundaki kısmın yerine konulmasıyla üretilen betonların dayanımları araştırılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Betonun Tanımı

Beton ülkemizin en çok kullanılan yapı taşlarındandır. Beton; çimento, doğal ve/veya yapay (kırmataş) agrega ile suyun önceden belirlenen oranlar ile karışımı oluşturmaktadır. Gerekli olması halinde harç adı verilen bu karışıma kimyasal ve mineral katkıları da yine daha önceden belirlenen oranlarda katılır.

2.2. Betonun Tarihçesi

M.Ö. 3000 li yıllarda ilk olarak Mısır'da saman katılmış çamurdan yapılmış tuğlalar kullanılmıştır. Ayrıca Piramitlerin yapımında alçıdan üretilmiş harçların kullanıldığı bilinmektedir.

Çinliler de Çin Seddi'nin yapımında büyük taşları bir arada sağlam bir şekilde tutmak için kendilerine göre çeşitli bağlayıcılar kullandılar.

Romalılar ise M.Ö. 800'de kireç harçlarını kullanmaya başlamışlardır. M.Ö. 300-M.S. 476 arasındaysa İtalya'daki Pozzuoli bölgesi civarlarında çıkartılan volkanik kül ile kireç harçlarını bir araya getirip bağlayıcı malzeme olarak kullandılar. Günümüzde bile halen ayakta olan Roma'daki Kulezyum ve Pantheon gibi yapılar bunlara birer örnektir.

Yine aynı dönemlerde, Orta ve Küçük Asya'da Türkler ve Persler tarafından "Horasan Harcı" diye tabir edilen ve Avrupalıların henüz keşfetmedikleri oldukça kuvvetli bir bağlayıcı kullanılıyordu.

İnşaat tekniklerinde 1800'lü yıllara kadar pek bir yenilik ortaya çıkmazken 1812 yılında Fransa'da Louis Vicat'ın ilk yapay çimentoyu üretmesiyle yeni bir dönem başladı. Joseph Aspdin adında bir İngiliz asıllı duvarcı ustası "Portland Çimentosu"nun patentini 1824 senesinde aldı.

1836'da betonla ilgili ilk basınç ve çekme dayanım deneyleri Almanya'da yapıldı.

İlk çimento fabrikası 1848'de İngiltere'de kuruldu.

1850 yılında Joseph Monier daha sağlam saksılar üretmek için betona demir çubuklar ekledi ve betonarmeyi buldu.

İlk beton yollar İskoçya’da 1879’da yapıldı.

1889 yılında ilk betonarme köprü Fransa’da inşa edildi.

1903 senesinde Amerika Birleşik Devletleri’nin Cincinnati eyaletinde İlk betonarme yüksek bina inşa edildi. Aynı yılda ilk olarak hazır betonun üretimi ise Almanya’da başlandı.

Beyoğlu/İstanbul’da bulunan Saint Antuan Kilisesi Türkiye’deki ilk betonarme uygulamasıdır. İstanbul doğumlu İtalyan mimar Giulio Mongeri tarafından yapılmıştır. Dünyanın da ilk betonarme kilisesi olduğu sanılmaktadır.

1916’da ABD’de beton transmiksini icat eden kişi bir Türkiye göçmeni idi.

1927’de Alman asıllı bir grup mühendis betonun transmiksinden döküm sahasına pompalanması maksadıyla “Beton harç iletme pompası” aracını icat ederek patentini aldılar. Dünya savaşlarının devam ettiği o yıllardan sonra bir kısmı günümüzde bile faaliyet gösteren birçok hazır beton firması kuruldu.

Beton üretimi ve döküm aşamalarında hava sürükleyici katkının ilk olarak kullanılması 1930 senesine tekabül etmektedir.

Hoover Barajı’nın tamamlanması 1936 yılına rastlamaktadır.

İlk olarak öngerilmeli beton üretimi ise 1948 yıllarına isabet etmiştir.

Norveç ’de, mikrosilisin ilk defa deneysel olarak 1950 yılında kullanıldı.

Yüksek dayanımlı beton uygulamalarının ilki 1964 yılında Lake Shore Drive, Marina City/ABD de 6000 psi (41.4 MPa) yapıldı.

1965’de beton üretiminde, süper akışkanlaştırıcılar ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmaya başlandı. 1971’de ise Mikrosilisin taşıyıcı sistemde kullanımı ilk kez Norveç ’de gerçekleşti.

Üçlü karışım (PÇ-Mikrosilis-Uçucu Kül) çimento ilk kez İzlanda’da 1981 yılında kullanılmaya başlanmıştır.

1985’de bir mineral katkı olan silis dumanı kullanılmaya başlandı.

Dünyanın en yüksek betonarme yapısının inşası ABD’de 1992’de yapıldı.

1993’de de mikrofiberlerin betonda kullanımına ise yine ilk kez ABD’de başlandı.

2.3. Hazır Beton

Hazır beton, kullanıcısına teslim edilmesi için önceden hazırlanmış reçetesine göre üretilmiş, sertleşmemiş durumda ve plastik kıvamdaki betondur. Hazır betonun üretimi ve işyerine kadar taşınıp kullanıcıya teslim edilmesi işlemleri, Hazır Beton Tesisleri (H.B.T.) betonun önceden hazırlanmış reçeteye göre üretilmesini ve bu şekilde üretilmiş olan betonun döküm sahasına nakledilmesini sağlayan kuruluşlardır. Betonu kullanacak olan taraf, istediği özelliklerdeki betonu hazır karılmış durumda temin etmektedir (Erdoğan, 2003).

Hazır beton üretimi dünya da ilk defa Almanya da 1903 senesinde gerçekleşmiştir. Hazır betonun, Avrupa’dan ABD’ye sıçraması ise en fazla birkaç sene içerisinde olmuştur. Hazır beton transmikserlerinin geliştirilmesi ile hazır beton endüstrisi 20. yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hız kazanmıştır. Özellikle kentleşme ve alt yapı çalışmalarında hazır beton ve beton ürünlerinin çok daha fazla bir şekilde üretilmesi oldukça önemli hale gelmiştir (Demiryürek, 2007).

Hazır betonu klasik yöntemlerle elde edilen (elle veya betonyer ile) betondan ayıran temel unsur, hazır betonun modern tesislerde önceden hazırlanmış reçetelere göre el değmeden üretilmiş olması, eskiden beri kullanılan klasik yöntemlerle, betonyer ya da elle karılan, betonlardan ayıran en temel unsurdur.

2.3.1. Günümüzde Hazır Beton

Beton, çağdaş ve bizim ülkemiz gibi gelişmekte olan toplumlarda en önemli yapı malzemelerinin başında yer almaktadır. İnşaatlarda hazır betonun kullanımı yıldan yıla yaygınlaşmaktadır (Çizelge 2.1)

Çizelge 2.1. Yıllara Göre Türkiye’de Üretilen Hazır Beton Miktarları (2013-2014 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri)

YILLAR	Hazır Beton Üretimi (Milyon/m³)
1988	1,500000
1993	10,000000
1998	26,542905
2003	26,828500
2005	46,300000
2006	70,732631
2007	74,359847
2008	69,600000
2009	66,430000
2010	79,680000
2011	90,450000
2012	93,050000
2013	102,000000
2014	107,000000

Türkiye’de ilk olarak hazır beton üretimi 1970’li yıllara denk gelmesine rağmen, üretiminin gerçek anlamda başlaması 1990’lı yılların başında, efektif bir şekilde yaygınlaşması ise 2000’li yılların başında olmuştur (Akakın ve diğ., 2013).

Beton için inşaat mühendisliği projelerinde en çok kullanılan yapı malzemesi tanımını rahatlıkla yapabiliriz.

2.3.2. Hazır Beton Bileşenleri

Hazır Betonun oluşturan bileşenleri şu şekilde sıralayabiliriz; bağlayıcı olarak çimento, agrega ve kullanılan katkıları ile son olarak karma suyudur.

2.3.2.1. Çimento ve Tipleri

Ana hammaddeleri kil ve kalker olan ve kum, çakıl, tuğla, briket ve benzeri mineral parçalarını yapıştırma için kullanılan bir malzemedir çimento. Bu yapıştırma özelliği ancak karışım ortamına su ilave edilmesi ile mümkün olur. Su, çimentoyla kimyasal reaksiyona girer ve sonucunda sertleşmeye başlar. Çimentonun üretimi, kil, kalker taşı ve gerekiyorsa bir miktar demir cevheri ve/veya kum ile birlikte karıştırılarak öğütülüp toz haline getirilmesi ile başlar. Hazırlanan bu harman 1400-1500 °C’de döner fırınlarda pişirilir. Pişirim sonucu ortaya çıkan ürüne “klinker” denir. Daha sonra klinkere %4-5 oranında alçıtaşı eklenerek çok ince toz haline gelene kadar öğütülen bu karışıma Portland Çimentosu denilir.

Hazırlanan çimentoya; klinker ve alçıtaşı dışında, gereksinimleri karşılamak için çimento tipine göre, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, tras ve benzeri katkıları karıştırılarak katkılı çimento üretilir. Birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşen çimentodur. Bununla birlikte beton bileşenleri içerisinde en önemlisi bağlayıcı olması sebebiyle çimentodur. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Çimentosu, Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cürüflu Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento’dur. Bunların dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır. Su/çimento oranı çimento hamurunun mukavemetinde en önemli etkidir. Betonda kullanılan çimento tipleri ve uygunluk değerlendirmesi TS EN 197 serilerinde standartlandırılmıştır. “Hidratasyon” olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar çimento ve suyun karışıma girdiği andan itibaren başlamakta ve devam etmektedir. Taze halde yumuşak plastik formda olan çimento hamuru, zaman içerisinde daha az plastik duruma gelmekte ve prizini almaktadır. Çimento hamurunun priz hızı ve ne hızla dayanım kazanabileceği su ve çimento içerisindeki ana bileşenler ile arasındaki kimyasal reaksiyonların ne ölçüde ve hangi hızla gerçekleşmiş olmasına bağlıdır. Böyle bir durum ise, çimento içerisindeki ana bileşenlerin oranlarına, çimento tanelerinin inceliğine, reaksiyonların devam edebilmesi için yeterli nemlilik ve sıcaklık ortamının mevcut olup olmamasına bağlı olmaktadır (Erdoğan, 2007).

2.3.2.1.(1). Portland Çimentosu

Portland çimentosunun içerisinde Çizelge 2.2’de gösterilen oksitler yer almaktadır. Tabloda yer alan SO_3 dışındaki bütün oksitler çimento klinkerini de oluşturan oksitlerdir. SO_3 ise klinker içerisinde bulunmamakta, çimento üretiminde kullanılan alçıdan gelmektedir (Erdoğan, 2007).

Çizelge 2.2. Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Miktarları (Erdoğan, 2007)

GENEL İSMİ	OKSİT	MİKTARI (%)
Kireç	CaO	60-67
Silis	SiO_2	17-25
Alümin	Al_2O_3	3-8
Demir	Fe_2O_3	0,5-6
Magnezi	MgO	0,1-4
Alkaliler	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0,2-1,3
Kükürt Anhidriti	SO_3	1-3

Çizelge 2.3.’de Portland çimentosunun ana bileşenleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Portland Çimentosunu Oluşturan Ana Bileşenler

ANA BİLEŞENLER	SEMBOLÜ
Dikalsiyum Silikat $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Trikalsiyum Silikat $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Trikalsiyum Aluminat $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
TetraKalsiyum Alüminoforit $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

2.3.2.2. Agrega

Beton üretiminde çimento ve su ile birlikte kullanılan kırmataş, çakıl ve kum gibi taneli malzemelere agrega denilir. Beton hacminin % 65-85’ini oluşturan agreganın özellikleri beton dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir (Gani, 1997).

Agregalar TS 706 EN 12620, 2003 standardında “Yapılarda kullanılan taneli malzeme” olarak tanımlanmıştır. Agregalar, doğal, yapay veya geri kazanılmış tipte olabilir.

2.3.2.2.(1). Agregalar Dayanımı

Agregaların basınç dayanımı, agregalar tanelerini oluşturan kaya parçalarının basınç dayanımı ile doğrudan ilişkilidir. Ortalama olarak beton içindeki agreganın basınç dayanımı 1500-2000 kgf/cm² dir. Bazı kayaların basınç dayanımlarına ait ortalama değerler şu şekildedir: Granit, 2000 kgf/cm²; kalker, 1600 kgf/cm²; kumtaşı 1300 kgf/cm² (Erdoğan, 2003).

Nehir yataklarından çıkartılmış olan agregaların, genellikle yüksek dayanımlı ve sert oldukları bilinmektedir. Agreganın mukavemeti, betonun basınç mukavemetinin takribi 40 MPa’a kadar olan beton sınıflarında birinci derecede önemli değildir. Basınç altında iken agregada çatlak oluşumu önce agregamatriss temas yüzeyinde başlar, sonra matris çatlar ve yayılma matriste olur. Yüksek mukavemetli betonlarda ise ($f_c > 60$ MPa) kırılma süreci çatlakların agregada içinde geçmesiyle olur. Yani normal dayanımlı betondaki gibi çatlak temas yüzeyinde başlayıp agregada etrafında tur atarak yayılmaz, doğrudan agreganın içinden geçer (Struble, ve diğ., 1986).

2.3.2.2.(2). Agregaların Yüzey Yapısı ve Tane Şekilleri

Doğal agregaların yüzey şekilleri oldukça farklılıklar gösterir. Uzun ve yassı taneli agregaların karışım içindeki oranları ne kadar az ise tane şekli açısından agregalar o kadar iyidir. Özellikle, şekli yassı ve uzun taneli olan agregaların kompozitesi düşük ve işlenebilirlik için gerekli su miktarları yüksektir. Buna rağmen, yüzeyi pürüzlü ve köşeli agregaların kullanımı durumunda agregalar ile çimento harcı arasında oluşan mekanik yapışma yani aderans, çok güçlü olmakla beraber işlenebilirlikleri yuvarlak agregalar ile kıyaslandığında çok daha zordur. Agregaların geometrik ve yüzey durumuna ilişkin özellikler Çizelge 2.4’de verilmiştir (Arıoğlu ve diğ., 2006).

Çizelge 2.4. Agregaların Geometrik Özelliklerinin Açılımları

TANE ŞEKLİ	AÇIKLAMA	ÖRNEKLER
Yuvarlak	Tamamen su içerisinde sürtünme nedeniyle yuvarlaklaşmışlardır.	Nehir yada deniz kıyısı çakılları, çöl, deniz kıyısı ve rüzgarın serpiştirdiği kumlar
Şekilsiz	Doğal olarak şekilsizdirler veya sürtünme nedeniyle kenarları yuvarlanmış biraz şekillidirler.	Diğer çakıllar, kum veya adi çakmak taşları
Köşeli	Pürüzlü düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği bir yapıdır.	Kırılmış kayaçların bütün çeşitleri, yamaç molozu, camsı cüruf
Yassı	Agrega genişliğinin diğer iki boyuta göre daha küçük olduğu agregalardır.	Laminalı-yapraksı kayaç
Uzun (Prizmatik)	Genellikle köşeli ve bir boyutun diğer iki boyuttan fark edilir şekilde daha büyük olduğu agregalardır.	Laminalı-yapraksı kayaç
Uzun ve Yassı	Tane uzunluğunun genişliğinden ve genişliğin ise belirgin bir şekilde kalınlıktan daha büyük olduğu agregalardır.	Laminalı-yapraksı kayaç

Beton agregalarının yüzey özellikleri ise Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Beton Agregalarının Yüzey Özellikleri

Grup No	Yüzey Karakteri	Kırılma Yüzeyi	Bazı Kayaç Örnekleri
1	Camsı	Konkav, oyuklu	Çakmaktaşı, camsı
2	Düzgün	Gayet düzgün	Mermer çakıl, kumtaşı arduaz
3	Taneli	Az veya çok miktarda taneler var	Kumtaşı, oolit
4	Pürüzlü	İnce ve orta büyüklükte taneler ve zorlukla gözlenebilen kristaller	Porfir, Bazalt, sert kumtaşları
5	Kristalli	Gözle görülebilen kristaller	Granit, andezit, gabro, gnays
6	Çok Boşluklu	Gözle fark edilen boşluk ve oyuklar	Boşluklu kumtaşı, tüfler, pomza

Betonun su ihtiyacını etkileyen başlıca kriterlerden birisi de agrega tanelerinin şekilleridir. Bu özellik aynı zamanda betonun işlenebilirliğini de doğrudan etkilemektedir. Dere çakılı gibi yuvarlak agregalarla yapılan betonların işlenebilirliği oldukça yüksektir. Kırmataş gibi köşeli agregalar ise sürtünme etkisiyle, taze betonun akıcılığını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple, yuvarlak agregayla yapılan ve belirli bir kıvama sahip olan betonların su ihtiyacı, yine aynı kıvama sahip kırmataş agregasıyla yapılmış olan betonların su ihtiyacından daha azdır. İşlenebilmeyi iyileştirmek için, köşeli agregalarla yapılan betonlarda, daha fazla ince agrega kullanılması gerekmektedir (Erdoğan, 2003). Bununla birlikte köşeli agregalarla yapılan betonlarda çimento hamuru ile agrega tanecikleri arasındaki aderans daha iyi olmaktadır. Köşeli agrega tanesinin yüzey alanının yuvarlak agrega tanesinin yüzey alanından daha büyük olması neticesinde aderans artmaktadır (Mindess. ve Young 1981).

Yapılan araştırmalarda, köşeli agregalarla yapılan betonların eğilme ve basınç dayanımlarında sırasıyla %31 ve %22 artış olduğu görülmüştür (Kaplan, 1959).

Agrega tane şeklinin nasıl tanımlanması konusunda birçok araştırma yapılmıştır (Lees, 1964). Türk standartlarına göre en büyük boyutu en küçük boyutundan 3 misli veya daha çok olan taneler şekilce kusurlu taneler olarak tanımlanmaktadır (TS 706 EN 1260, 2003).

2.3.2.2.(3). Granülometri

Granülometri, beton karışımını oluşturacak karışım malzemelerinin, karışıma hangi oranlarda katılacağını belirler. Özellikle, beton numunelerinin hazırlanması için tane çapı 0.25mm ile 63mm aralığında olan tanelerden belli ölçülerde alınmak suretiyle karışım hazırlanır.

Elek analizi sonucunda her elek üzerinde kalan agrega miktarı tartılarak, bulunan ağırlıklar numunenin toplam ağırlığı ile karşılaştırılarak her elek üzerinde kalan agrega miktarı yüzde (%) olarak hesaplanır. Bütün bu hesaplamaların sonuçları bir çizelge halinde gösterilir.

i. Granülometri Eğrisinin Özellikleri

- Granülometri eğrisi artan bir eğridir, sınır durumunda ancak yatay doğru parçaları olabilir.
- Eğrinin %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması da agreganın iri olduğunu gösterir.
- Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin %100 veya %0 çizgileriyle çakışması, o bölgelerde bulunmadığı anlamına gelmez.
- Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatların farkı, agrega yığnında o iki elek arasında kalan malzeme yüzdesini verir.

- Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane yok demektir. Bu tür bir granülometriye sahip olan agregalara “Kesikli (süreksiz)” granülometrilik agregalar denilir.

ii. Gradasyonun Değişiminin Etkisi

Gradasyon, taze betonun işlenebilme özelliği ve sertleşmiş betonun dayanım, durabilite, birim ağırlık, büzülme gibi önemli özellikleri ve ekonomisi üzerinde etkilidir.

2.3.2.3. Katkılar

Beton karışımının içerisine çimento ağırlığının %5'ini geçmemek üzere eklenen maddelere katkı maddeleri denilir. Katkılar, karışım betonunun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini istenilen yönde artırıp, azaltmak için kullanılırlar. TS EN 934-2 nolu standartta, bu sınıf içerisinde yer alan katkıları sekiz grupta ele alınmaktadır. Hava sürükleyiciler, priz geciktiriciler, su azaltıcılar, priz hızlandırıcılar, su azaltıcı ve priz geciktiriciler, en belirli başlı katkı sınıflarıdır. Kimyasal katkı maddelerinin işlevlerini dört ana grupta sıralayabilmek mümkündür: Normal veya yüksek miktarda su azaltmak, hava sürüklemek, priz geciktirmek ve priz hızlandırmak (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

Kimyasal katkı yardımıyla iyileştirilen beton özellikleri erken yaşlarda dayanım kazanma, erken priz geciktirilmesi, beton basınç dayanımının artırılması, izlenebilirliğinin artırılması, hidrasyon ısısının düşürülmesi, pompalanabilirliğinin artırılması, segregasyonun azaltılması, eski ve yeni betonlar arasındaki bağların kuvvetlendirilmesi şeklinde sıralanabilir (Gambhir, 1986).

Beton katkı maddeleri, su, çimento, agrega ve fiber donatı dışında, beton karışımında yer almaktadır. Beton harcını oluşturan malzemelerin karılma işleminden hemen önce veya karılma anında beton karışımının içerisine ilave edilirler (ASTM C 125, 2002, Ramachandran, 1995). Bu tür katkı maddeleri, betonun yerleştirilmesinde, beton özelliklerini istenilen yönde iyileştirmek için,

betonun daha efektif olarak sıkıştırılmasında, yüzeyinin düzeltilmesinde kolaylık sağlamak ve daha ekonomik bir beton elde edebilmek için kullanılmaktadır.

Katkıları iki ana gruba ayırabiliriz. Bunlar; kimyasal katkı maddeleri ve hava sürükleyicilerdir. Kimyasal katkı maddeleri suda çözünürlüğü yüksektir. Ancak bazı hava sürükleyici katkıların suda çözünürlüğü düşüktür. ASTM (American Society for Testing and Materials), kimyasal katkı maddeleri için C 494 nolu bir standart (ASTM C 494, 2002) ve hava sürükleyici katkı maddeleri için, C 260 nolu ayrı bir standart (ASTM C 260, 2006) yürürlüğe koymuştur. Türkiye'deki uygulama da 2002 yılına kadar, ASTM' deki çok benzer olmuştur: TS 3452 nolu standartta (TS 3452, 1984) kimyasal katkı maddeleri anlatılmış, TS 3456 nolu ayrı bir standartta da (TS 3456, 2002), hava sürükleyici katkı maddeleri irdelenmiştir. TS EN 934-2 no ile yeni bir standart Mart 2002 tarihinden itibaren Türkiye'de beton kimyasal katkı maddeleriyle ilgili olarak yürürlüğe girmiştir (TS EN 934-2, 2002). Yürürlüğe giren yeni standartta kimyasal katkı maddeleri arasında hava sürükleyiciler de yer almaktadır.

Mineral katkılı beton yapım maddelerinin hemen hemen tamamı, puzolanik özelliklidir. Puzolanlar, neredeyse kendi başlarına hiç bağlayıcılık özelliği olmayan fakat ince taneli durumdayken sulu ortamda kalsiyumhidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemelerdir. Diatomluk toprak, volkanik kül, volkanik tüf ve pişirilmiş kil, doğal puzolanların başında gelmektedir. Yapay puzolanlar ise başlıca; silis dumanı, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, ve pirinç kabuğu külüdür. Binlerce yıldan bu yana, söndürülmüş kireçle birleştirilerek, su altında da sertleşebilen doğal puzolanlar suya dayanıklı harç ve bir tür beton yapımında kullanılmıştır. Hem yapay hem de doğal puzolanlar, portland çimentolu beton yapımında mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Betonun çoğu teknik özelliklerini pozitif yönde değiştirmeleri ve ekonomik olmaları puzolanik katkı maddelerinin en önemli tercih sebepleridir. Puzolanik katkıların, çimento ağırlığının yarısına kadar kullanılabilmesi sebebiyle beton endüstrisinde çok önemli yeri bulunmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

Mineral katkı maddeleri ise beton karılma aşamasında karışıma ilave edilirler. Karışıma tam olarak, çimentonun, suyun, agreganın ve fiber donatının dışında, karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında katılırlar (ACI Committee 116, 1994).

2.3.2.4. Karışım Suyu

Karışım suyunun belirli başlı iki önemli işlevi vardır:

- i. Kuru haldeki çimento ve agrega karışımını işlenebilir yani plastik bir kıvama getirmek,
- ii. Çimento ile kimyasal reaksiyona girerek hazırlanarak yerine yerleştirilmiş ve boşlukları giderilmiş olan beton harcının priz almasını sağlamaktır.

Beton içerisinde bulunan karışım suyunun kalitesi ve miktarı beton dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir. Karışım suyu beton bileşimindeki iri agrega ve kum taneciklerini ıslatır ve bağlayıcı madde olan çimento ile hidrasyon reaksiyonuna girerek betonun sertleşip dayanım kazanmasını sağlar. Betona hesaplanan değerlerden fazla su vermek betonun dayanımını olumsuz etkiler. Aynı zamanda hazırlanan beton harcında yeteri kadar suyun olmaması halinde çimentonun hidrasyonunu tam olarak gerçekleştiremez ve agrega tanelerinin yüzeyleri tam olarak ıslanmayacağından agrega tanesi ile çimento şerbeti arasındaki aderansı zayıf kalmaktadır. Bu durum da betonun işlenebilirliğini tamamen olumsuz yönde etkilemektedir (Postacıoğlu, 1987).

Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır.

Betonda kullanılacak karma suyunun kalitesi TS 11222, 2001'e uygun olmalıdır.

Çizelge 2.6. Betonda Kullanılacak Karma Suyunun Kalitesi (TS 11222, 2001)

Kimyasal Maddeler, (Karma Suyundaki Konsantrasyon, ppm)	En Çok (ppm)
Klorür, Cl (Öngerilmeli betonda)	500
Klorür, Cl (Diğer donatılı betonlarda)	1000
Sülfat, SO ₄	3000
Alkaliler, (Na ₂ O+K ₂ O)	600
Toplam Katı Madde	50000
PH	≥7

2.3.3. Su-Çimento Oranı

1897 senesinde Feret, Su-Çimento (S/Ç) oranının azaltılmasıyla betonun basınç dayanımında artış olacağını göstermiştir (Akyüz, 1991). Ancak betonun işlenebilirliğinin de basınç dayanımı kadar önemli olması nedeniyle akışkanlaştırıcı ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri ortaya çıkana kadar uzun yıllar S/Ç oranını aşağılara çekebilmek mümkün olmamıştır. S/Ç oranını günümüzde bazı süperakışkanlaştırıcılar sayesinde 0,20 değerinin altına kadar indirebilmektedir. çimento hamurundaki boşluk oranının akışkanlaştırıcı katkıları yardımıyla %5 lere inmesi halinde mukavemetinin 200 MPa seviyelerine çıkması sağlanabilmektedir (Akyüz, 1991).

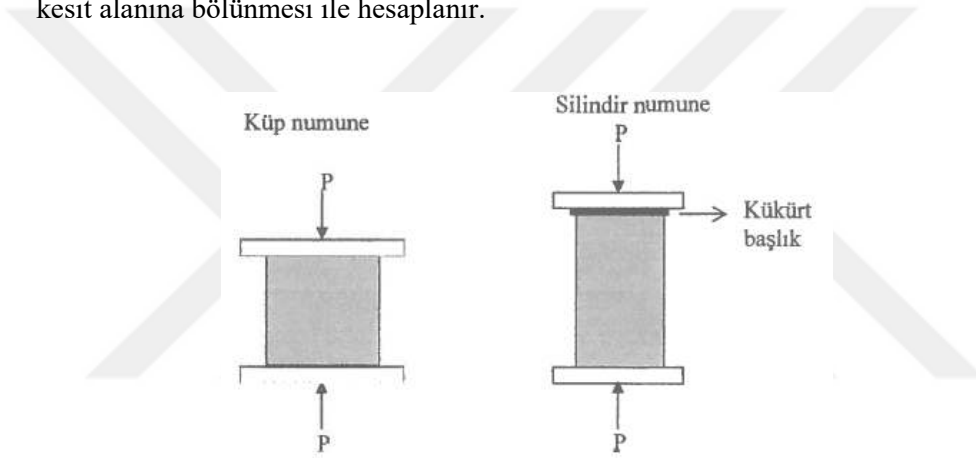
Beton döküm yerine yerleştirildikten sonra vibratörler yardımıyla iyice sıkıştırıldığında çimento hamurundaki kapiler boşluk hacmi S/Ç oranı ile hidrasyon derecesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Betonda S/Ç oranı ne kadar düşük olursa betona bağlayıcılık özelliği katan çimento taneleri arasındaki mesafe o kadar küçük olacak ve bunun neticesinde hidrasyon sonunda gelişen kristaller bu boşlukları doldurarak geçirimsizliği düşürecektir (Collepardi ve Gököz, 1989).

S/Ç oranı dayanım ilişkisi belirli bir yaşta özellikle çimento tipine bağlı olarak değişecektir.

2.4. Beton Dayanımlarının Hesabı

2.4.1. Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımının hesaplanmasında, boyutları 15 cm veya 20 cm olan küp numuneler ya da çapı 15 cm, yüksekliği 30 cm olan silindir numuneler kullanılır. Basınç dayanımı ise, beton numunelerin pres altındaki kırılma yüklerinin kesit alanına bölünmesi ile hesaplanır.



Şekil 2.1. Beton Basınç Dayanımı Testinin Şematik Gösterimi

Beton numunelerin basınç dayanımı, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

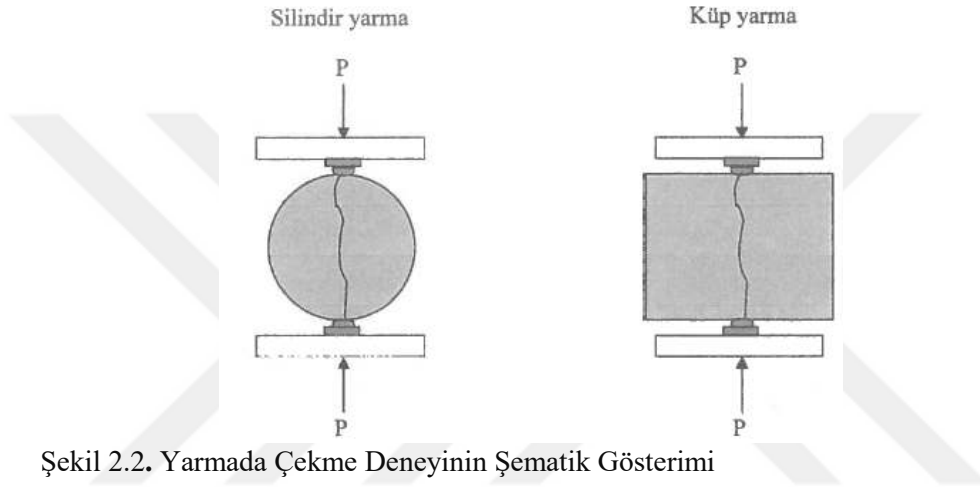
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

P : Kırılma Yüğü

A : Numunenin Kesit Alanı

2.4.2. Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının aşağı yukarı olarak %10'u mertebesinde dir. Doğrudan betonun çekme dayanımının belirlenmesi bir hayli zordur. Bu sebeple, yarmada çekme dayanımı adı verilen daha pratik bir dolaylı çekme testi yapılır. Bu test yöntemi Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yarmada Çekme Deneyinin Şematik Gösterimi

Bir beton numunenin yarmada çekme dayanımı aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

Silindir numune kullanılmış ise;

$$\sigma = \frac{2P}{\pi dl} \quad (2.2)$$

P : Uygulanan Kırılma Yüğü

d : Numune Çapı

l : Numune Boyu

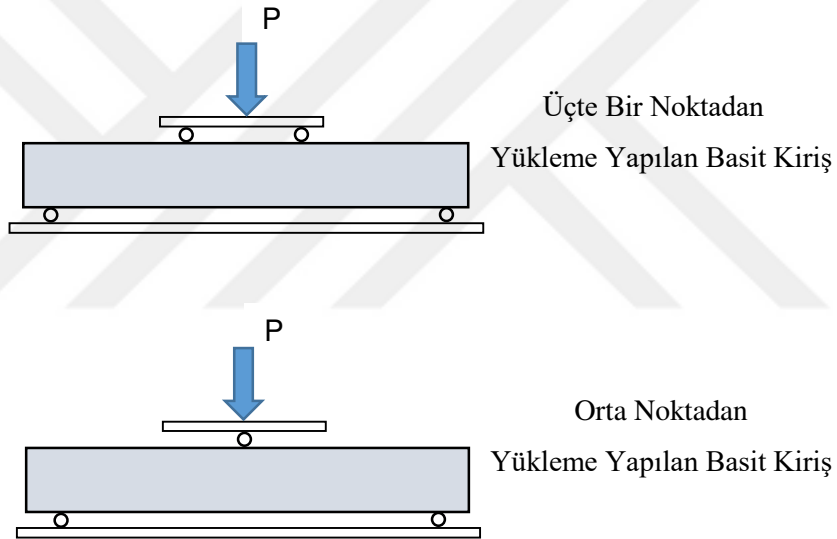
Küp numune kullanılmış ise;

$$\sigma = \frac{2P}{\pi l^2} \quad (2.3)$$

l : Küp Numune Boyutu

2.4.3. Eğilme Dayanımı

Betonun eğilme dayanımı, kiriş numuneler üzerinde (a) üçte bir noktalardan yüklenmiş basit kiriş yöntemi veya (b) orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile belirlenir. Bunlardan birincisi daha gerçekçi sonuç verir. Her iki yöntem de şematik olarak Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Eğilme Dayanımı Deneylerinin Şematik Gösterimi

Bir beton numunenin eğilme dayanımı, aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanır. Üçte bir noktadan yüklenmiş basit kiriş yönteminde, kırılma orta üçte birlik kısımda meydana gelmişse;

$$\sigma = \frac{Pl}{bh^2} \quad (2.4)$$

Kırılma orta üçte birlik kısmın dışında meydana gelmişse;

$$\sigma = \frac{3Pa}{bh^2} \quad (2.5)$$

P : Uygulanan Kırılma Yüğü

l : Mesnetler Arası Mesafe

b : Kırılma Kesitinin Genişliğı

h : Kırılma Kesitinin Yüksekliğı

a : Kırılma Hattı ile Yakınındaki Mesnet Arasındaki Ortalama Mesafe

Orta noktadan yüklenmiş basit kiriş yönteminde ise;

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (2.6)$$

2.5. Cam Sanayi

2.5.1. Camın Tanımı ve Tarihi

Cam, çoğunlukla saydam veya yarı saydam olarak imal edilmiş, genellikle sert ve kırılğan olan ve sıvıların muhafazalarında ve ışık geçiriminde kullanılan inorganik amorf yapıda katı madde diye tanımlanabilir.

Camın hangi tarihte icat edildiğı tam olarak bilinmemekle birlikte büyük olasılıkla M.Ö. 3000 yıllarının sonlarına doğru Bronz Çağı'nda keşfedildiğı düşünülmektedir. Arkeolojik kanıtlara göre bu keşif Mezopotamya'da meydana gelmiştir. Bu keşif, hiç şüphesiz, yöresel boncuklarda, duvar fayanslarında, seramiklerde ve diğğr nesnelerde kullanılmış cam gibi sır üretimi sonucunda ortaya çıkmıştır. Erken dönemlerde cam, yarı değerli ve değerli taşlara alternatif bir ürün olarak üretilmiştir. Bu sebeple, hemen hemen tüm erken dönem camları şeffaf değildir ve oldukça parlak, göz alıcı renklerde üretilmişlerdir. Üzerinde tarih olan en eski cam ise M.Ö. 1551-1527 yılları arasında yaşayan Mısır Firavunu Amenhotep'e ait olan iri bir boncuktur (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Mısırlıların Cam Üretimine Ait Bir Minyatür (URL-3)

Anadolu'ya ise cam Orta Asya'dan göç eden Selçuklular tarafından getirilmiştir. Artuklular zamanında cami ve medreselerde cam kullanılmıştır.

15. yüzyılda ilk kristal cam Venedik'te icat edilmiştir. 1675 senesinde George Ravenscroft isimli bir cam ustası, cama kurşun oksit ilave ederek kurşunlu camın icadını yapmıştır.

Düz pencere camı, ilk olarak, merdane ürünü olacak şekilde, Fransa'da 1688 yılında üretilmeye başlanmıştır. Cam sanayi Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 1608 yılında başlamıştır. Devam eden 300 yıl boyunca proses, neredeyse tamamen el işi ve parmak hesabı ile yapılmıştır. Kimyasal yönden, bu süreç içerisindeki en önemli gelişme cam harmanını oluşturan maddelerin saflaştırılması olmuştur. Bununla paralel olarak da yakıt ekonomisi arttırılmıştır. Camların fiziksel ve optik özellikleri ile kimyasal bileşimleri arasında bağlantılar olduğu tespit edilmiştir. Buna rağmen, cam üretimi, 1900'lü yıllara kadar tamamıyla bir sanat olarak kalmıştır. İnsanoğlu, üretim proseslerini tamamen önceki deneyimlere ve gizli formüllere dayalı olarak ilkel bir şekilde yapmıştır. Cam üretiminin sürekli bir şekilde levha halinde yapılması anlamına gelen Fourcalt prosesi, 1914 yılında ilk olarak Belçika'da geliştirilmiştir. Takip eden elli yıl içerisinde levha halindeki camın optik bozuklukları giderilerek buzlu ve parlatılmış cam levhaların, üretim maliyetleri düşürülmeye çalışılmıştır. 1902 ve 1905 senelerinde Amerika Birleşik Devletleri'nde patenti alınan kavramları esas alan bir grup araştırmacı, İngiltere'de

yüzer cam projesinin uygulanışını daha da geliştirmişlerdir. Yeni geliştirilen yüzer cam prosesi, yıllardır süregelen diğer prosesleri on yılda kullanım dışı bırakarak pazarı ele geçirmiştir. Bu konuda çalışan mühendis ve araştırmacılar sürekli iyileştirme yöntemleri geliştirerek yeni yeni ürünler ortaya çıkarmaktadırlar. Şişe, elektrik ampullerinin ve benzeri katma değeri yüksek ürünlerin üretimini hızlandırmak için otomatik makinalar geliştirilmiştir. Bunun bir sonucu olarak cam endüstrisi bugün, üretim, denetim ve geliştirmede modern bilim ve mühendisliğin bütün cihazlarını kullanmaya olanak sağlayarak ileri derecede özel bir endüstri olarak nitelendirilebilir (Aydın, 2006).

Camlar, yüksek sıcaklıklarda bile yüksek viskoziteye sahip sıvılar olup, inorganik maddelerden elde edilen ve silikat sistemden oluşan seramik malzemelerdir (Baradan, 2003). Bununla birlikte, bileşenlerinin yüksek sıcaklıklarda eriyinceye kadar ısıtılması ve kristalleşmeden katı bir hale gelinceye kadar soğutulmasıyla diğer seramiklerden ayrılır (Smith, 2001). Cam, fiziksel açıdan bir katı olup, belirli bir erime noktası olmayan aşırı soğutulmuş bir sıvı durumundadır ve kristallenmesine engel olacak kadar yüksek bir viskoziteye sahiptir. Cam, amorf iç yapılı, yüksek sertliğe sahip, saydam, kimyasal etkenlere ve ısı değişikliklerine dayanıklı, ışığı düzgün kırma özelliğine sahip ve güneş radyasyonuna geçirimli bir malzeme olarak tanımlanabilir. Camın ana maddesi ise saydamlık özelliğini sağlayan, amorf bünye içerisinde erimiş ve dağılmış durumda bulunan silis (SiO_2)'tir (Baradan, 2003).

2.5.2. Camın Yapısı

Camların içyapısının büyük çoğunluğunu silikat sistemler oluşturmaktadır. En önemli bileşenleri ise; SiO_2 , CaO ve Na_2O diye sıralanabilir. Bunların dışında bor oksit, çinko oksit, alüminyum oksit, kurşun oksit vb. birçok bileşen de üretilen camın birtakım özelliklerini iyileştirmek ve/veya değiştirmek amacıyla tercih edilebilir (Esin, 1981).

Camda yer alan oksitler, içyapıyı oluşturan zincirdeki fonksiyonlarına göre Çizelge 2.7.'de sunulduğu gibi camlaştırmacılar, ağ değiştiriciler ve ara oksitler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Amorf içyapının oluşmasını sağlayan oksitler (SiO_2 gibi) camlaştırmacı, karışıma ilave edilmesiyle yeni bir zincir oluşturmayıp var olan yapıya katılan oksitler ise ara oksitler olarak adlandırılmaktadır. Ağ değiştiriciler olarak bilinen oksitler ise ağıkıran, camın viskozitesini düşüren, kimyasal, optik ve ekonomik avantajlar sağlayan bileşenlerdir (Amstock, 1997).

Çizelge 2.7. Camın Kompozisyonunda Bulunan Oksitlerin Sınıflandırılması

CAMLAŞTIRICILAR	AĞ	ARA OKSİTLER
SiO_2	Na_2O	Al_2O_3
B_2O_3	K_2O	TiO_2
GeO_2	CaO	ZnO
P_2O_5	MgO	PbO
V_2O_5	BaO	BeO

2.5.3. Camın Kimyasal Özellikleri

Bir malzemenin temasta bulunduğu gaz, sıvı veya katı haldeki maddelerin etkilerine karşı gösterdiği direnç, o malzemenin kimyasal dayanıklılığı olarak tanımlanabilir. Genellikle camdaki alkali oranının yüksek olması camın kimyasal dayanıklılığını zayıflatırken, boroksit, alüminyum oksit, çinko oksit ve zirkonyum oksit ise camın kimyasal dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır.

Camların ana bileşeni olan silisin, suda ve asit içerisinde çözünebilirliği oldukça düşüktür. Ancak yüksek sıcaklıklarda alkalın karışımlar ve fosforik asit tarafından, tüm sıcaklık seviyelerinde dehidroflorik asit tarafından hasara uğrar. Camın sadece silis ve alkali oksitlerden (Na_2 ve K_2O) üretilmesi durumunda ise suda çözünebilme tehlikesi oluşur ve buna su camı adı verilmektedir. Bu şekilde üretilen camların kullanım alanları çok kısıtlıdır. Bu tip camlarda, alkali oksitler, asitler

tarafından yüzeyden sökülebilir. Bu durum ise yüzeyde gözenekli bir silis yapısı kalmasına neden olur (Mantell ve Diğ., 1958).

2.5.4. Camın Fiziksel Özellikleri

Viskozite, camın şekillendirilmesindeki en önemli özelliktir. Camın belirli bir ergime sıcaklığı olmamasıyla birlikte, viskozite, camın kimyasal özelliği ile üretim sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Camın şekillenmesi için her bir işlemin başında ve sonunda camın istenilen viskozitede olması gerekir. Şekillendirmede en önemli ikinci özellik ise yüzey gerilimidir. Bu özellik, camın çok küçük gözeneklere girmesini ve bunları doldurmasını sağlar.

Camın yoğunlukları bileşimlerine giren ana bileşenlerin oranına ve cinsine göre değişiklik gösterir. Çeşitli camların yoğunlukları; $2,2 \text{ g/cm}^3$ ile $3,0 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Bazı özel cam türlerinde 8 g/cm^3 yoğunluklara ulaşılmaktadır. Binalarda kullanılan camların ve şişe camlarının yoğunlukları $2,3$ - $2,6 \text{ g/cm}^3$ arasındadır.

Sıcaklıkta genleşme, camın ısı-sıcaklık şoklarına dayanıklılığını ve ısıtma ile soğutma arasında camda oluşan gerilmeleri belirlemede önemli bir özelliktir. Camın ısı iletkenliği, üretimi esnasında kullanılan potasyum, soda ve kurşun oksitli karışımların oranıyla paralel bir doğrultuda yükselmektedir. Camın sıcaklığı arttıkça ısı sığası da beraberce artmaktadır. Her cam çeşidinin değişik sıcaklıklardaki ısı sığaları değişik olduğu gibi, camların ısı sığalarının sıcaklıkla değişimleri de değişik olabilmektedir (Aydın, 2006).

2.5.5. Camın Mekanik Özellikleri

Camın mekanik dayanımları içinde özellikle çekme dayanımını ele alabiliriz. Camlarda dayanım, yüzeyinde bulunabilecek kusurlara oldukça bağlıdır. Teorik olarak camın dayanabileceği maksimum çekme dayanımı, hatasız olarak henüz üretilmiş cam lifleri üzerinde test edildiğinde 3000 N/mm^2 değerine ulaşabilmektedir. Hâlbuki üretilen camların pratikte sahip olabilecekleri çekme

dayanımı, eğilme testleri sonucunda bulunmaktadır. Camın yüzeyine bağlı olarak çekme dayanımı, eğilme testleri sonucunda bulunmakta olup 20 ila 200 N/mm² arasında değerlere denk gelmektedir. Dayanım, üretimden hemen sonra en yüksek değerine ulaşır ve camın yaşı arttıkça kimyasal etkilerden veya aşınmadan dolayı yüzey kusurları da artacağından dayanım düşer. Bu yüzden eski camlar kırılmaya daha yatkın olduklarından daha zor kesilir (Taylor, 1983).

Cam, normal sıcaklıklarda elastik bir malzemedir. Plastik deformasyon oluşmadan kırılmaya uğrar. Camın dış yüklere tepkisinde dikkat çeken bir diğer nokta, basınç yükü uygulanması durumunda bile camın kırılmasının gerilmenin çekme bileşeninden kaynaklanmasıdır. Dolayısıyla camın dış yükler altında davranışı, çekme dayanımı ile ifade edilmektedir (Mantell ve diğ., 1958). Camın basınç dayanımı 500-900 MPa, elastisite modülü 4,5-10 GPa aralığında değişmektedir. Poisson oranı ise 0,22'dir. Camların darbeye karşı oldukça dayanıksız olduğu bilinmektedir (Baradan, 2003).

2.5.6. Camın Elektriksel Özellikleri

Camda atomların dış yörüngelerindeki elektronların güçlü bağlarla kısıtlanmış olması ve metallerdeki gibi serbest elektron bulunmaması, camların metallerin aksine elektrik akımını iletmemesine neden olur. O halde camların elektrik dirençleri yüksektir, uygulamada yalıtkan olarak kullanılabilir diyebiliriz. Diğer taraftan, cam aslında bir sıvıdır ve camların çok büyük bir kısmı, serbest kaldığında akım taşıyabilecek metalik iyonlar (NA gibi) içermektedir. Yani aslında cam, ancak metalik iyonları bağlı kalabilecek kadar viskozitesi yüksekse yalıtandır. Sonuç olarak camın viskozitesi düştükçe, bir başka ifadeyle sıcaklığı yükseldikçe elektrik direnci azalır. Yeteri kadar yüksek sıcaklık seviyelerinde, cam oldukça fazla elektriksel akım taşıyabilir. Bu durumun bir neticesi olarak, ergimiş cam içerisinde akım geçirilerek camı ısıtmak mümkün olmaktadır. Oldukça yüksek kalitede optik cam üretiminde olduğu gibi, yakıttan kaynaklanan kirlilik oluşmamasına özen

gösterilmesi gereken durumlarda, camı oluşturan maddelerin eritilmesi elektriksel olarak da gerçekleştirilebilmektedir.

Özellikle borosilikat camlar, elektriksel ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak borosilikat sızdırmazlık camları, farklı metallerin akkor lambalarda ve elektronik tüplerde kaplanmasında kullanılmaktadır. Buna ek olarak klasik ampüllerde soda-kireç camı kullanılmasına rağmen, elektriksel gücün artacağı veya lambanın açık alanda çevresel etkilere maruz kalacağı durumlarda düşük genleşmeli borosilikat camlar tercih edilmektedir (Amstock, 1997).

2.5.7. Camın Optik Özellikleri

Işık, tanecikli bir yapıdadır, yani farklı enerjilere sahip fotonların akışı sonucunda meydana gelmektedir. Işık herhangi bir metale çarptığında, fotondaki enerji metal tarafından emilmekte ve hemen metalde bulunan serbest elektronlar tarafından geri ışınlanmaktadır. O halde metaller yüzeylerine gelen ışığı yansıtır. Geleneksel renksiz camlarda ise, elektronlar serbest değildir, belirli enerji seviyelerinde rijit bir şekilde bağlıdır ve metallerdeki gibi yansıma olayı gerçekleşmez.

Camların ışığı emmemesi, ancak üretiminde kullanılan malzemelerin dikkatli bir şekilde seçilebilmesine bağlıdır. Bazı safsızlıklar çok küçük miktarlarda bulunsun bile, renkli ve dolayısıyla ışık geçirmez bir cam üretimine neden olabilir. Kahverengi veya koyu yeşil renge neden olan demir oksit en çok sıkıntı yaratan safsızlıklardan biridir. Renksiz cam gözle görülebilen ışığı ne yansıtır ne de bünyesine emer.

Bununla birlikte camların sıvılarda olduğu gibi yapısı düzensizdir ve moleküller kendi başlarına gözle görülebilen ışığın dalga boyundan çok daha küçüktür. Bu nedenle aslında, ışık dalgasının geçişini engelleyebilecek büyüklükte bir yapı bulunmaz. Görülebilen ışığın dalga boyu yaklaşık 4000-7000 angstromdur. Camı oluşturan moleküllerin boyutu ise sadece 2-3 Å'dur. Bu yüzden ışık dalgalarını ne moleküller, ne de oluşturdıkları düzensiz ve boşluklu yapı durdurabilir.

Görülebilien ışık için cam, yansıtılmadan ve emilmeden hareket edilebilen bir ortam konumundadır. Fakat ışık, her ne kadar cam içerisinde geçebilse de, cam ortamı yüklü olan elektron ve protonlarla doludur. Işık dalgası, cam içerisinde, boşlukta hareket edebildiği kadar hızlı hareket edemez. Işığın boşluktaki hızının cam içerisindeki hızına oranına kırılma indeksi adı verilir. Saf silis içeren camlarda kırılma indeksi 1,458 değerine sahipken, pencere camlarında bu değer 1,510'a ulaşmaktadır. Optik amaçlarla üretilen camlarda ise kırılma indeksi 1,650'lere kadar yükselebilir (Amstock, 1997).

2.5.8. Camın Bileşimi

Son 30 yıl içerisinde binlerce yeni cam formülü bulunmuş olmasına karşın, dünyada üretilen camın %90'dan fazlasını, 2000 yıl önce olduğu gibi, kireç, soda ve kum oluşturmaktadır. Cam yapımında en önemli faktör, erimiş oksitlerin viskozitesi ve bu viskoziteyle bileşim arasındaki bağıntıdır. Cam genelde silisyum asidi; alkali veya toprak alkalili oksitler ve az bir oranda da renk verici oksitlerin karışımından meydana gelir.

Potas veya soda, kireç ve renk verici veya ağartıcı maddeler ile hazırlanan harman uygun şartlarda eritilerek cam kumu meydana getirilir. Camın bir oksitler karışımı olduğu kimyasal deneyler neticesinde tespit edilmiştir. Bu oksitler, silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum III-oksit (Al_2O_3), kalsiyum oksit (CaO), bor III-oksit (B_2O_3), sodyum oksit (Na_2O), magnezyum oksit (MgO) ve kurşun oksit (PbO) gibi oksit bileşimleridir. Erime noktası yaklaşık 1800° olan, Silisyumoksit doğada kuvarz kumu (SiO_2) olarak bulunmaktadır. Kireç (CaCO_3) ise tabiatta kireçtaşı, mermer veya tebeşir olarak bulunmaktadır. Önceki yıllarda, cam üretiminde yalnızca yanmış kireç (CaO) kullanılmış olsa da günümüzde artık öğütülmüş kireçtaşıdan faydalanılmaktadır. Camın harmanını oluşturan maddeleri erime noktaları altında belirli bir sıcaklıkta eritebilmek için Soda (Na_2CO_3) (Susuz natrium) karbonat gibi birtakım katalizörlere ihtiyaç vardır. Soda 890° civarında erimektedir. Potasın ise erime noktası 890° düzeylerindedir. İkisi de fabrikalarda üretilirler. Soda üretimi

genellikle SOLVAY yöntemiyle gerçekleştirilir. Cam eriyiğinde yalnızca sodyum sülfat kullanılabilir. Erime derecesi 900° derecedir. Kurşunoksit (Pb_3O_4); cama ışık kırılgenliğini arttırmak suretiyle daha fazla parlaklık kazandırır. Camın özgül ağırlığı artar. Bor; camın ısı değişimlerine dayanıklılığını arttırır, laboratuvar camları, yemek pişirilen cam kaplar vb. (Aydın, 2006).

Çizelge 2.8. Cam Eldesinde Kullanılan Karışımlar

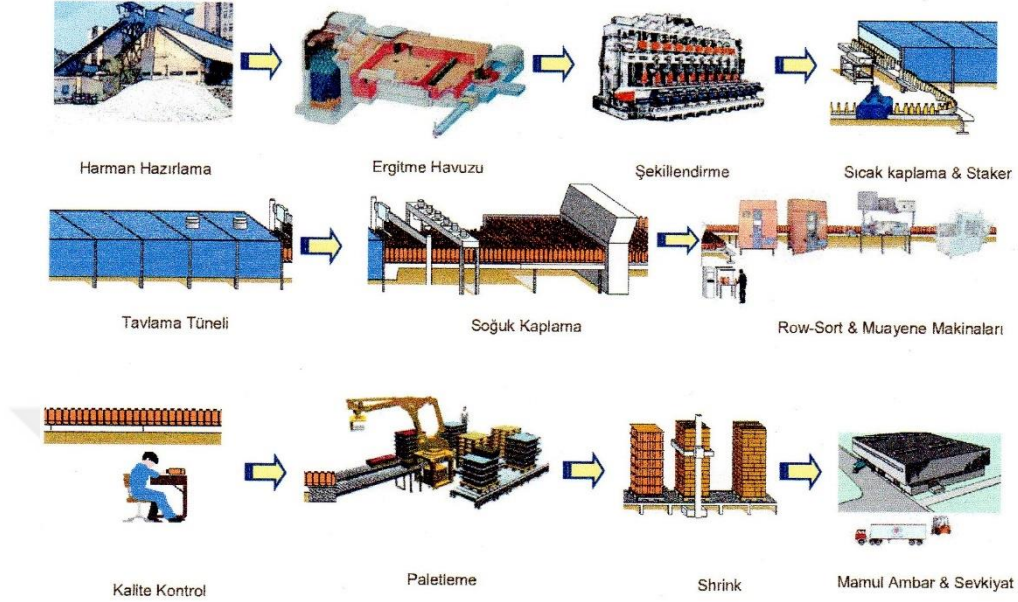
NORMAL CAM	KRİSTAL CAM
%72 Silis	%42 Silis
%15 Soda	%24 Potas + Soda
%13 Kalker	%28 Kurşunoksit

2.5.9. Camın Üretimi

Cam Üretimi pek çok aşamalardan geçerek gerçekleşmektedir. Şekil 2.5’de aşamalar sırasıyla verilmiştir.

Cam üretim süreci, kuvars kumu, feldspat, soda külü, kalker, dolomit, boraks, borik asit, kurşun ve baryum bileşikleri gibi temel hammaddelerin camın üretileceği fabrikaya getirilip silolarda saklanmasıyla başlar. Camın türüne bağlı olarak verilen oksit kompozisyonlarına ulaşabilmek için hammaddeler gerekli oranlarda tartılır ve mikserlere iletilip karıştırılır (Amstock, 1997).

Hammaddelerin karıştırılmasından sonra eritme işlemine geçmeden hemen önce cam kırıkları da bu karışıma eklenmektedir. Yeni cam üretiminde atık camların kullanılması özellikle enerji tasarrufu ve doğal hammaddelerin korunması konularında büyük faydalar sağlamaktadır (Baradan, 2003).



Şekil 2.5. Cam Üretiminin Aşamaları (Şişecam Topluluğu, 2010)

Cam fırınlarını, pota ve tank fırınları olacak şekilde iki gruba ayırabiliriz. Cam fırınının orta yerinde oluşan havuzda cam oluşmakta iken, fırının karşılıklı kenarlarında, sıra ile brülörler yer almaktadır. Berrak cam ise, fırının diğer ucundan alınır ve üretim süreklidir.

Kafes tuğla örülü kamara girişinde sıcaklık 1540°C ve çıkışında 650°C dir. Aynı anda hava, önceden ısıtılmış rejeneratif kamaradan geçirilerek, ön ısıtmaya sokulur ve yakılacak gaz yakıt ile karıştırılır. Bu rejeneratif prensip yardımıyla büyük miktarlarda ısı kazanılır ve daha yüksek sıcaklıklara eritilir.

2.5.10. Camın Çeşitleri

Camın kullanım alanları oldukça geniş olmakla birlikte camın üretimi esnasında az miktarda katkı maddeleri de eklenebilir. Camların kullanım alanları çok geniş olup, bileşimlerinde çoğunlukla yüksek oranda SiO_2 bulunduğundan silikat camları olarak anılırlar. Aslında cam ailesindeki ürünlerin 50.000'den fazla farklı kompozisyona sahip olduğu tahmin edilmektedir. (Brady ve diğ. 2002).

Cam çeşitliliğini ise çok kaba bir genelleme ile;

- Erimiş silikat camları,
- %96 silikat camları,
- Soda-Kireç camları,
- Kurşunlu camlar,
- Borosilikat camları,
- Alüminosilikat camları,

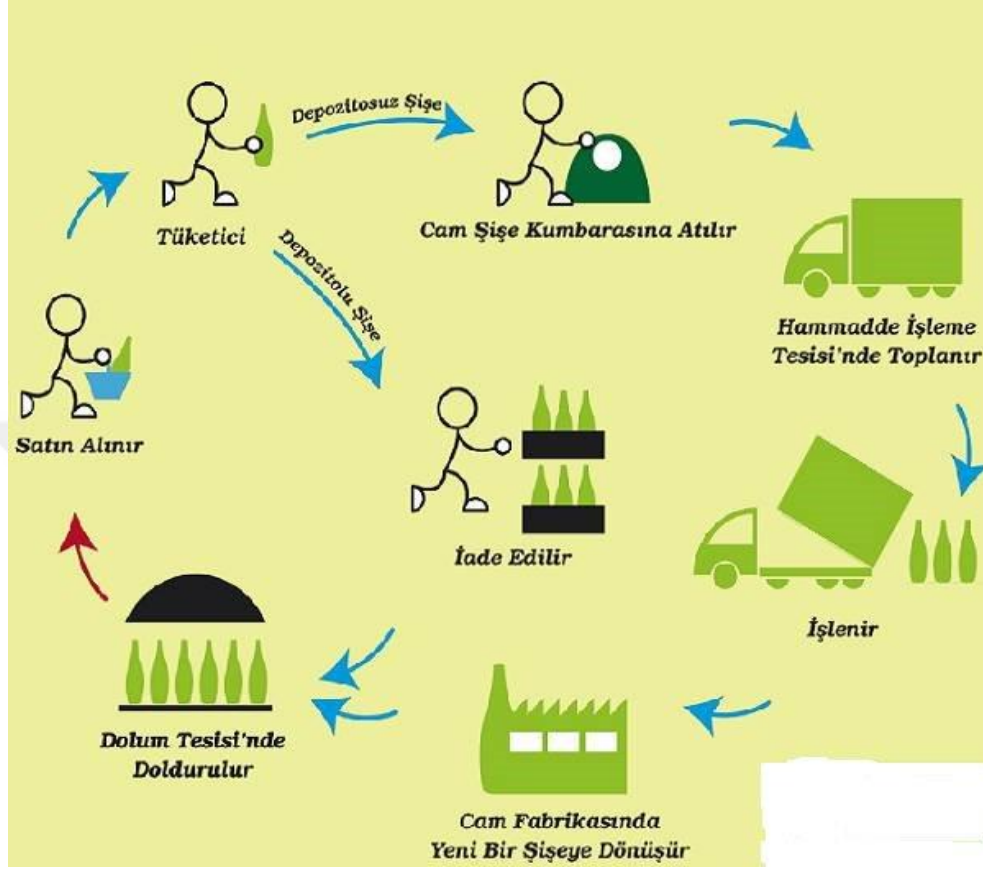
şeklinde sınıflandırabiliriz.

2.5.11. Camın Geri dönüşümü

Geri dönüşüm, kullanım işlevini tamamlamış olan, tamamen veya kısmen geri dönüştürülebilir özellikteki atıkların, malzemeye özel çeşitli işlemlerden sonra hammadde haline getirilerek üretime tekrar dâhil edilmesi anlamına gelmektedir.

Geri dönüştürülebilir atıklar, hangi ürünlerin üretiminde hammadde olarak kullanılacağına bağlı olarak “açık döngülü geri dönüşüm” veya “kapalı döngülü geri dönüşüm” süreçlerine sahip olabilirler. Kapalı bir yaşam döngüsüne sahip olan cam ambalaj, hiçbir kalite ve malzeme kaybı olmadan sonsuza dek geri dönüşümü mümkün olan yegâne ambalaj malzemesidir (Şişecam Topluluğu, 2010). Dünyada en fazla cam ambalaj malzemesi olarak kullanılmakta olan cam şişenin geri dönüşüm döngüsü Şekil 2.6.’da yer almaktadır.

Avrupa Cam Ambalajları Üreticileri Birliği (FEVE)’in istatistiklerine göre 2008 yılında geri dönüşüm oranları %19 iken Avrupa ortalaması %65 oranında gerçekleşmiştir. 2009 yılına göre ise ülkemizde 420.000.000 adet cam konteynırın %25’i geri dönüştürülmüş olup Avrupa ortalaması ise %67 dir. Ülkemizde 2010 yılında 452 milyar cam konteynırın geri dönüşüm oranı %20,24 olmuştur. Avrupa ortalaması ise %67 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2.6. Cam Şişenin Geri Dönüşüm Döngüsü

Türkiye’de cam geri dönüşümü, gerçek anlamda 1970’li yılların sonlarında cam ambalaj atığı toplama faaliyetleri ile başlamıştır. 1985 yılında, Anadolu Cam tarafından Fırına Hazır Cam Kırığı (FHCK) hazırlama işlemlerini gerçekleştirmek üzere Çayırova Cam Kırığı tesisi devreye alınmıştır. Ülkedeki ilk cam kumbaraları, Şişecam’ın yatırımlarıyla 1987 yılından itibaren İstanbul’dan başlanarak hizmete sunulmuştur. 2007 yılında ülke genelinde sayısı 2700’e ulaşan cam kumbaraları ÇEVKO Vakfı’na devredilmiştir. Cam kumbaraları halen ÇEVKO tarafından işletilmekte, sayıları her geçen yıl hızla artmaktadır (2009 yılında 3250 adet).

2.5.12. Atık Camın Çimento ve Betonda Kullanımı İle İlgili Önceki Çalışmalar

Camın doğal ortamlarda öz niteliklerini değiştirmemesi nedeniyle geri dönüşüm için çok uygun bir malzeme özelliği göstermektedir. 1960’lardan itibaren cam atıklarının çimento ve beton sanayinde kullanımı çalışmaları yapılmaktadır. Geçen 10 yılda bu çalışmalardaki artış nedeni, çevresel düzenlemeler ve atık bertaraf maliyetleridir. Diğer önemli bir konu da atık camların geri kazandırılması camların kirlenmesi ve farklı renkte olması nedeniyle çok maliyetlidir. Bu nedenle karışık camlar içinde yeni pazarlara ihtiyaç vardır (Shi ve Zheng, 2007).

Bu konuda çalışan bilim insanları deneyleri için bir çok kaynaktan, farklı türde ve çok farklı renklerde camlar kullanmışlardır. Çalışmalarda, cam şişe, LCD tüp, elektronik cam, düz cam soda-silis, pencere camı, boro silikat ve kurşun silikat vb. cam atıkları kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Deneyisel çalışmalarda kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, beton karışımında kullanılan diğer malzemeler ve yöntemler ile yapılan deneyisel çalışmalar bu bölümde tanımlanmıştır.

3.1. Materyal

Yapılan deneyisel çalışmalardaki beton numune karışımlarında Mersin ili Akdeniz ilçesinde kurulu Nehir Beton A.Ş.'ye ait hazır beton tesislerindeki çimento, agrega ve karışım suyu kullanılmıştır.

Beton numune karışımlarında kullanılan cam kırıkları ise Şişecam Trakya Cam Mersin Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Hurdaya ayrılmış, kırılmış ve elenmiş olarak temin edilen cam kırıkları (Şekil 3.1., Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.) ilk aşamada üç farklı gradasyonda olacak şekilde agrega oranları değiştirilerek kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Cam Kırıkları No.1



Şekil 3.2. Cam Kırıkları No.2



Şekil 3.3. Cam Kırıkları No.3



Şekil 3.4. Agregat No.1



Şekil 3.5. Agregat No.2



Şekil 3.6. Agregat No.3

3.1.1. Çimento

Deneylerde kullanılan beton numunelerde kullanılan CEM-1 sınıfı PÇ 42,5 Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2. deki gibidir.

Çizelge 3.1. Çimento Fiziksel Özellikleri

İlgili Standart		TS EN 197
Özgül Ağırlık	g/cm ³	3,17
Sertleşme Süresi	Başlangıç	200 dk
	Final	260 dk
Litre Ağırlığı	g/lt	950
İncelik / Özgül Yüzey	cm ² /g	3370
Basınç Dayanımı	7 Gün / 28 Gün	42,8 / 51,3

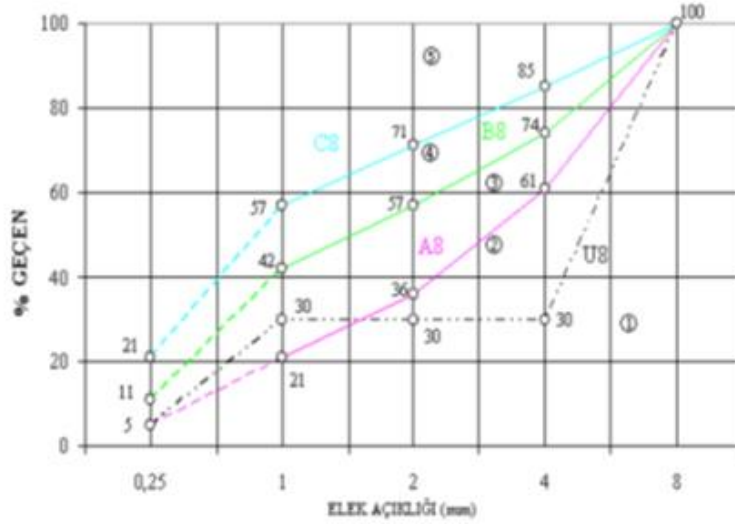
Çizelge 3.2. Çimento Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Analiz	%
İlgili Standart	TS EN 197
Erimez Kalıntı	0,25
SiO ₂	20,01
Al ₂ O ₃	5,04
Fe ₂ O ₃	3,90
Mn ₂ O ₃	0,07
CaO	62,91
MgO	2,41
SO ₃	2,70
Kızdırma Kaybı	1,11
Na ₂ O	0,13
K ₂ O	0,88
Toplam Alkaliler (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	0,71
S.CaO	0,50

3.1.2. Agregas

Deneylerde kullanılan agregas Nehir Hazır Beton Tesislerinden temin edilmiştir. Kırma taş olarak taş ocaklarından tedariki sağlanan beton agregasına ait granülometri eğrisi Çizelge 3.3.'de yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Agrega Granülometri Eğrisi



3.1.3. Karışım Suyu

Deney çalışmalarında hazır beton tesisinde kullanılan doğal kuyu suyu karışım suyu olarak kullanılmıştır.

3.2. Metod

Çalışmada, beton basınç ve çekme dayanımını etkileyen faktörleri incelemek ve etkilerinin derecesini değerlendirmek amacıyla 2 farklı etapta bir dizi laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Laboratuvarda, farklı yüzdelerde atık cam katkılı beton numuneler üretilmiş ve bu numunelerin 28 günlük kırım sonuçlarına bakılmıştır.

Atık cam katkılı Deney betonları iki farklı gruplandırma ile hazırlanmıştır. Birinci aşamada kum ağırlığının sırasıyla %5, %10, %25 ve %50'si, ikinci aşamada çakıl ağırlığının %5, %10, %25 ve %50'si ve son aşamada da kum ve çakıl toplam ağırlığının %5, %10, %25 ve %50'si oranlarında cam atıklar kullanılarak beton numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan 15 cm x 15 cm x 15 cm ebatlarındaki beton

numuneler beton preste kırılarak basınç dayanımları tespit edilmiştir. Bu kırılar, her üç grup için 28 günlük numuneler ile yapılmıştır. Hazırlanan beton karışımların karışım numaraları Çizelge 3.4.'de, karışımlardaki kullanılan malzeme oranları ise Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. 1. Etap Deneylerde Kullanılan Betonların Karışım Numaraları

Karışım No	Beton Karışımları
1.00	C20 Beton
1.11	Kum ağırlığının %5'i Atık Cam Katkılı
1.12	Kum ağırlığının %10'u Atık Cam Katkılı
1.13	Kum ağırlığının %25'i Atık Cam Katkılı
1.14	Kum ağırlığının %50'si Atık Cam Katkılı
1.21	Çakıl ağırlığının %5'i Atık Cam Katkılı
1.22	Çakıl ağırlığının %10'u Atık Cam Katkılı
1.23	Çakıl ağırlığının %25'i Atık Cam Katkılı
1.24	Çakıl ağırlığının %50'si Atık Cam Katkılı
1.31	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %5'i Atık Cam Katkılı
1.32	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %10'u Atık Cam Katkılı
1.33	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %25'i Atık Cam Katkılı
1.34	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %50'si Atık Cam Katkılı

Çizelge 3.5. 1. Etap Deneylerde Kullanılan Betonların Karışım Oranları

ŞAHİT NUMUNE KARIŞIMI 1.00		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	1106	3,7328	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	4-8 mm Agregası (kg)	321	1,0834	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	8-22 mm Agregası (kg)	563	1,9001	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	Su (lt)	143	0,4826	

1. NUMUNE KARIŞIMI 1.11		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	1050,7	3,5461	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	55,3	0,1866	
	4-8 mm Agregası (kg)	321	1,0834	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	8-22 mm Agregası (kg)	563	1,9001	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	Su (lt)	143	0,4826	

2. NUMUNE KARIŞIMI 1.12		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	995,4	3,3595	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	110,6	0,3733	
	4-8 mm Agregası (kg)	321	1,0834	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	8-22 mm Agregası (kg)	563	1,9001	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	Su (lt)	143	0,4826	

Çizelge 3.5.'in devamı

3. NUMUNE KARIŞIMI 1.13		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	829,5	2,7996	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	276,5	0,9332	
	4-8 mm Agregası (kg)	321	1,0834	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	8-22 mm Agregası (kg)	563	1,9001	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	Su (lt)	143	0,4826	

4. NUMUNE KARIŞIMI 1.14		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	553	1,8664	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	553	1,8664	
	4-8 mm Agregası (kg)	321	1,0834	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	8-22 mm Agregası (kg)	563	1,9001	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	Su (lt)	143	0,4826	

5. NUMUNE KARIŞIMI 1.21		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	1106	3,7328	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	4-8 mm Agregası (kg)	304,95	1,0292	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	16,05	0,0542	
	8-22 mm Agregası (kg)	534,85	1,8051	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	28,15	0,0950	
	Su (lt)	143	0,4826	

Çizelge 3.5.'in devamı

6. NUMUNE KARIŞIMI 1.22		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	1106	3,7328	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	4-8 mm Agregası (kg)	288,9	0,9750	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	32,1	0,1083	
	8-22 mm Agregası (kg)	506,7	1,7101	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	56,3	0,1900	
	Su (lt)	143	0,4826	

7. NUMUNE KARIŞIMI 1.23		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	1106	3,7328	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	4-8 mm Agregası (kg)	240,75	0,8125	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	80,25	0,2708	
	8-22 mm Agregası (kg)	422,25	1,4251	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	140,75	0,4750	
	Su (lt)	143	0,4826	

8. NUMUNE KARIŞIMI 1.24		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	1106	3,7328	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	0	0	
	4-8 mm Agregası (kg)	160,5	0,5417	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	160,5	0,5417	
	8-22 mm Agregası (kg)	281,5	0,9501	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	281,5	0,9501	
	Su (lt)	143	0,4826	

Çizelge 3.5.'in devamı

9. NUMUNE KARIŞIMI 1.31		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	1050,7	3,5461	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	55,3	0,1866	
	4-8 mm Agregası (kg)	304,95	1,0292	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	16,05	0,0542	
	8-22 mm Agregası (kg)	534,85	1,8051	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	28,15	0,0950	
	Su (lt)	143	0,4826	

10. NUMUNE KARIŞIMI 1.32		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	995,4	3,3595	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	110,6	0,3733	
	4-8 mm Agregası (kg)	288,9	0,9750	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	32,1	0,1083	
	8-22 mm Agregası (kg)	506,7	1,7101	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	56,3	0,1900	
	Su (lt)	143	0,4826	

11. NUMUNE KARIŞIMI 1.33		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	829,5	2,7996	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	276,5	0,9332	
	4-8 mm Agregası (kg)	240,75	0,8125	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	80,25	0,2708	
	8-22 mm Agregası (kg)	422,25	1,4251	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	140,75	0,4750	
	Su (lt)	143	0,4826	

Çizelge 3.5.'in devamı

12. NUMUNE KARIŞIMI 1.34		1 m3 Betonda	15x15 cm Küp Numune için	S/Ç
	Çimento (kg)	260	0,8775	0,55
	0-4 mm Agregası (kg)	553	1,8664	
	0-4 mm Atık Cam (kg)	553	1,8664	
	4-8 mm Agregası (kg)	160,5	0,5417	
	4-8 mm Atık Cam (kg)	160,5	0,5417	
	8-22 mm Agregası (kg)	281,5	0,9501	
	8-22 mm Atık Cam (kg)	281,5	0,9501	
	Su (lt)	143	0,4826	

İkinci çalışma serisinde ise; cam atıkları toz haline gelene kadar öğütülmüş, Çizelge 3.6.'daki gradasyondaki ince karışımların %5, %10, %15, %25 ve %50'si oranları ile hazırlanan 4 cm x 4 cm x 16 cm kare prizma numuneler kullanılmıştır. Bu gruptaki beton numunelerin 28 günlük basınç ve eğilme dayanımlarına bakılmıştır.

2. Eapta hazırlanan beton numunelere ait karışım oranları Çizelge 3.7.'de yer almaktadır.

Çizelge 3.6. Öğütülmüş Atık Cam Elek Analizi

KAYNAK	CAM ATIK			CAM ATIK		
ELEK	NUM.ADI: KABA			NUM.ADI: İNCE		
BOYUTU	TOPL.AGIRL.		21000	TOPL.AGIRL.		18000
ELEK NO	Küm. Kal.(gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kal.(gr)	% Kalan	% Geçen
31,5mm	0	0,0	100,0	0	0,0	100,0
22,40mm	0	0,0	100,0	0	0,0	100,0
16,00mm	0	0,0	100,0	0	0,0	100,0
11,20mm	0	0,0	100,0	0	0,0	100,0
8,00mm	0	0,0	100,0	0	0,0	100,0
5,60mm	66	0,3	99,7	0	0,0	100,0
4,00mm	756	3,6	96,4	13,5	0,1	99,9
2,00mm	8109	38,6	61,4	2130	11,8	88,2
1,00mm	12780	60,9	39,1	5583	31,0	69,0
0,500mm	15867	75,6	24,4	8887,5	49,4	50,6
0,250mm	18054	86,0	14,0	11929,5	66,3	33,7
0,125mm	19479	92,8	7,2	15442,5	85,8	14,2
0,063mm	20310	96,7	3,3	17151	95,3	4,7
İNCELİK MODÜLÜ	4,5			3,4		
İNCE MADDE %	3,3			4,7		

3. MATERYAL VE METOD

Özden ÖZGÜDEN

Çizelge 3.7. 2. Etap Deneylerde Kullanılan Betonların Karışım Oranları

ŞAHİT BETON KARIŞIM HESABI										
BETON SINFI				LAB REF NO				RAP. TARİHİ		
ÇİMENTO CİNSİ				KİMYASAL KATKI CİNSİ				MİNERAL KATKI ADI		
AGREGA CİNSİ				KİMYASAL KATKI ADI				MİNERAL KATKI ADI		
KİMYASAL KATKI ADI				KİMYASAL KATKI CİNSİ				MİNERAL KATKI ADI		
Malzeme	Hesaplamalar			Hacim (m³)	D.y.k. Özg. Ağırlığı (kg)	Ağırlık (kg)	1 m³ BETONDA KLORÜR VE SÜLFAT İÇERİĞİ HESABI			
Çimento	Su	316	575	191,7	3	575	BETON BİLEŞENLERİ	SÜLFAT İÇERİĞİ	KLORÜR İÇERİĞİ	
Mineral Katkı	Öğütülmüş Akı Cam			0,0	2,33	0	KUM 1	0	0	
Su				316,0	1	316	KUM 2	0,19	0	
Kimyasal Katkı	%	0		0,0	1,2	0	IRI 1	0,19	0	
Hava				15,0			IRI 2	0,19	0	
Kamı hacim toplamı				522,7			IRI 3	0,190	0	
Agregalar	Agrega hacmi = 1000 - Kamı hacim toplamı			A.h =	477,3		SU	29,76	9,4042	
KUM 1	KUM 1 Hacmi % = (A.h x K.1 / 100)			100	477,3	2,590	1296,3	ÇİMENTO	0	
KUM 2	KUM 2 Hacmi % = (A.h x K.2 / 100)			0	0,0	2,590	0,0	KDİL	0,4	
IRI 1	IRI 1 Hacmi % = (A.h x İ.1 / 100)			0	0,0	2,670	0,0	KİM. KATKI	0	
IRI 2	IRI 2 Hacmi % = (A.h x İ.2 / 100)			0	0,0	2,670	0,0	TOLAM	9,4042	
IRI 3	IRI 3 Hacmi % = (A.h x İ.3 / 100)			0	0,0	2,670	0,0	ÇEVRESEL ETKİ SINFI :		
Katı - =	Eter			Toplam	1000,0	2127,3				
AGREGALAR										
Gradasyon										
Elek (TSE) mm	İnce		Kaba			Karışım				
	KUM 1	KUM 2	IRI 1	IRI 2	IRI 3					
25,0						0,0				
22,4						0,0				
16,0						0,0				
8,0						0,0				
4,0						0,0				
2,0						0,0				
1,0						0,0				
0,500						0,0				
0,250						0,0				
Karışım %	100	0	0	0	0	100				
Şartname										
Min.		Max.								
100	100									
100	100									
75	93									
48	61									
27	68									
16	56									
9	44									
6	31									
2	16									
Karışımın Düzeltme Tutarları										
Malzeme Lt		1000	2							
Çimento		575,0	1150							
Mineral Katkı		0,0	0							
Su		316,0	632							
Kimyasal Katkı		0,0	0							
Agregalar		KUM 1	1296,3	2473						
		KUM 2	0,0	0						
		IRI 1	0,0	0						
		IRI 2	0,0	0						
		IRI 3	0,0	0						
Toplam		2127,3	4255							
Rutubet Düzeltmesi										
İlk Slump cm:	KUM 1		KUM 2	IRI 1	IRI 2	IRI 3	Karışımın Ort. Rutubet Değeri			
30 Dk. Sonra cm:	0		0	0	0	0	0,0			
Rutubet	0		0	0	0	0	0,0			
Su Emme	1,63		0	0	0	0	0,0			
Toplam %	0		-1,63	0	0	0	0,0			
Toplam Su Lt.	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Clorür miktar %										
Clorür miktar %		0,0000								
Sülfat miktar %										
Sülfat miktar %		0,0016								
Mukavemetler Nmm²										
Numune No:		Etkinlik		2. Güm.		7. Güm.		28. Güm.		
TS EN 12390-2		TS EN 12390-2		TS EN 12390-2		TS EN 12390-2		TS EN 12390-2		
Hava Sıcaklığı °C										
Beton Sıcaklığı °C										
Ölçülen hava %										
Birim Ağırlık										
NOT:										
KARIŞIM GRONÜLOMETRİSİ										

3. MATERYAL VE METOD

Özden ÖZGÜDEN

Çizelge 3.7.'nin devamı

%5 TOZ ATIK CAM KATKILI BETON KARIŞIM HESABI									
BETON SINIFI :					LAB REF NO :				
ÇİMENTO CİNSİ :					RAP. TARİHİ :				
AGREGA CİNSİ :					KİMYASAL KATKI CİNSİ :				
KİMYASAL KATKI ADI :					MİNERAL KATKI ADI :				

Malzeme	Hesaplamalar	Hacim (m³)	D.y.k. Özg. Ağ. (Gr)	Ağırlık (Kg)
Çimento	Su S/C Oranı W/C 316 0,5498 575 Kg.	182,2	3	548,5
Mineral Katkı	Öğütülmüş Atık Cam	11,4	2,5	28,5
Su		316,0	1	316
Kimyasal Katkı	% 0	0,0	1,2	0
Hava		15,0		
Kısmi hacim toplamı		524,6		
Agregalar	Agrega hacmi =1000-Kısmi hacim toplamı A.h.=	475,4		
KUM 1	KUM 1 Hacmi % = (A.h. x K 1 /100)	100	475,4	1231,4
KUM 2	KUM 2 Hacmi % = (A.h. x K 2 /100)	0	0,0	0,0
İRİ 1	İRİ 1 Hacmi % = (A.h. x İr.1 /100)	0	0,0	0,0
İRİ 2	İRİ 2 Hacmi % = (A.h. x İr.2 /100)	0	0,0	0,0
İRİ 3	İRİ 3 Hacmi % = (A.h. x İr.3 /100)	0	0,0	0,0
Katki - =	Elm*	Toplam	1000,0	2122,4

1 m³ BETONDA CLORÜR VE SÜLFAT İÇERİĞİ HESABI					
BETON BİLEŞENLERİ	SÜLFAT İÇERİĞİ	KLORÜR İÇERİĞİ			
KUM 1	0	0			
KUM 2	0,19	0			
İRİ 1	0,19	0			
İRİ 2	0,19	0			
İRİ 3	0,190	0			
SU	29,76	9,4042			
ÇİMENTO	0	0			
KÜL	0,4	0,0114			
KİM. KATKI	0	0			
TOLAM	9,4156	3,4197			

AGREGALAR						
Gradasyon						
Elek (TSE) mm	İnce KUM 1	KUM 2	İRİ 1	İRİ 2	İRİ 3	Karışım
25,0						0,0
22,4						0,0
16,0						0,0
8,0						0,0
4,0						0,0
2,0						0,0
1,0						0,0
0,500						0,0
0,250						0,0
Karışım %	100	0	0	0	0	100

Şartname	
Min.	Max.
100	100
100	100
75	93
48	81
27	68
16	56
9	44
6	31
2	16

Karışımın Düzeltilmiş Tartıları		
Malzeme Lt.	1000	1
Çimento	548,5	547
Mineral Katkı	28,5	29
Su	316,0	316
Kimyasal Katkı	0,0	0
Agregalar	KUM 1 1231,4 KUM 2 0,0 İRİ 1 0,0 İRİ 2 0,0 İRİ 3 0,0	1231
Toplam	2122,4	2122

Rutubet Düzeltmesi					
İlk Slump cm.	KUM 1	KUM 2	İRİ 1	İRİ 2	İRİ 3
30 Dk. Sonra cm.					
Rutubet	0				
Su Emme	1,63				
Toplam %	0	-1,63	0	0	0
Toplam Su Lt.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Clorür miktarı %		Sülfat miktarı %	
0,0006	0,0017		

Mukavemetler N/mm²				
Numune No:	Edin Kurusu Yoğunluk TS EN12390-7	2. Gün	7. Gün	28. Gün
Ort.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

NOT:

KARIŞIM GRONÜLOMETRİSİ				
GEÇEN %	TSE ELEK NO (mm)			
100	0.250 mm	0.500 mm	1 mm	2 mm
90				
80				
70				
60				
50				
40				
30				
20				
10				
0				
	4 mm	8 mm	16 mm	22,4 mm
	TSE ELEK NO (mm)			
	MAX. ŞARTNAME	MIN. ŞARTNAME	IDEAL EĞRİ	KOMBİNASYON

3. MATERYAL VE METOD

Özden ÖZGÜDEN

Çizelge 3.7.'nin devamı

%10 TOZ ATIK CAM KATKILI BETON KARIŞIM HESABI									
BETON SINIFI :					LAB REF NO :				
ÇİMENTO CİNSİ :					RAP. TARİHİ :				
AGREGA CİNSİ :					KİMYASAL KATKI CİNSİ :				
KİMYASAL KATKI ADI :					MINERAL KATKI ADI :				

Malzeme	Hesaplamalar	Hacim (m³)	D.y.k. Özg. Ağ.(Gr)	Ağırlık (Kg)	1 m³ BETONDA CLORÜR VE SÜLFAT İÇERİĞİ HESABI																																	
Çimento	Su S/C Oranı W/C 316 0,5496 575 Kg.	172,7	3	518	<table border="1"> <thead> <tr> <th>BETON BİLEŞENLERİ</th> <th>SÜLFAT İÇERİĞİ</th> <th>KLORÜR İÇERİĞİ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KUM 1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>KUM 2</td> <td>0,19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>İRİ 1</td> <td>0,19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>İRİ 2</td> <td>0,19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>İRİ 3</td> <td>0,190</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SU</td> <td>29,76</td> <td>9,4042</td> </tr> <tr> <td>ÇİMENTO</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>KÜL</td> <td>0,4</td> <td>0,0228</td> </tr> <tr> <td>KİM. KATKI</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>TOLAM</td> <td>9,427</td> <td>3,4197</td> </tr> </tbody> </table>	BETON BİLEŞENLERİ	SÜLFAT İÇERİĞİ	KLORÜR İÇERİĞİ	KUM 1	0	0	KUM 2	0,19	0	İRİ 1	0,19	0	İRİ 2	0,19	0	İRİ 3	0,190	0	SU	29,76	9,4042	ÇİMENTO	0	0	KÜL	0,4	0,0228	KİM. KATKI	0	0	TOLAM	9,427	3,4197
BETON BİLEŞENLERİ	SÜLFAT İÇERİĞİ	KLORÜR İÇERİĞİ																																				
KUM 1	0	0																																				
KUM 2	0,19	0																																				
İRİ 1	0,19	0																																				
İRİ 2	0,19	0																																				
İRİ 3	0,190	0																																				
SU	29,76	9,4042																																				
ÇİMENTO	0	0																																				
KÜL	0,4	0,0228																																				
KİM. KATKI	0	0																																				
TOLAM	9,427	3,4197																																				
Mineral Katkı	Öğütülmüş Atık Cam	22,8	2,5	57																																		
Su		316,0	1	316																																		
Kimyasal Katkı	% 0	0,0	1,2	0																																		
Hava		15,0																																				
Kısmi hacim toplamı		526,5																																				
Agregalar	Agrega hacmi = 1000 - Kısmi hacim toplamı A.h.=	473,5																																				
KUM 1	KUM 1 Hacmi % = (A.h. x K 1 / 100)	100	2,590	1226,5																																		
KUM 2	KUM 2 Hacmi % = (A.h. x K 2 / 100)	0	2,500	0,0																																		
İRİ 1	İRİ 1 Hacmi % = (A.h. x İr.1 / 100)	0	2,670	0,0																																		
İRİ 2	İRİ 2 Hacmi % = (A.h. x İr.2 / 100)	0	2,670	0,0																																		
İRİ 3	İRİ 3 Hacmi % = (A.h. x İr.3 / 100)	0	2,670	0,0																																		
Katki - =	E/m³ Toplam	1000,0		2117,5																																		

AGREGALAR						
Gradasyon						
Elek (TSE) mm	İnce		Kaba			Karışım
	KUM 1	KUM 2	İRİ 1	İRİ 2	İRİ 3	
25,0						0,0
22,4						0,0
16,0						0,0
8,0						0,0
4,0						0,0
2,0						0,0
1,0						0,0
0,500						0,0
0,250						0,0
Karışım %	100	0	0	0	0	100

Şartname	
Min.	Max.
100	100
100	100
75	93
46	81
27	68
16	56
9	44
6	31
2	16

Karışımın Düzeltilmiş Tartıları		
Malzeme Lt.	1000	0,9
Çimento	518,0	466
Mineral Katkı	57,0	51,3
Su	316,0	284
Kimyasal Katkı	0,0	0
Agregalar	KUM 1 1226,5 1104	
	KUM 2 0,0 0	
	İRİ 1 0,0 0	
	İRİ 2 0,0 0	
	İRİ 3 0,0 0	
Toplam	2117,5	1906

Rutubet Düzeltmesi						
İlk Slump cm:						
30 Dk. Sonra cm:						
Rutubet	0					
Su Emme	1,63					
Toplam %	0	-1,63	0	0	0	
Toplam Su Lt.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Clorür miktarı %		Sülfat miktarı %	
0,0007	0,0018		

Mukavemetler N/mm²				
Numune No:	Etaz kurusu yoğunluk T.S. EN12380-7	2. Gün	7. Gün	28. Gün
Ort.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

NOT:

KARIŞIM GRONÜLOMETRİSİ

3. MATERYAL VE METOD

Özden ÖZGÜDEN

Çizelge 3.7.'nin devamı

%15 TOZ ATIK CAM KATKILI BETON KARIŞIM HESABI									
BETON SINIFI :					LAB REF NO :				
ÇİMENTO CİNSİ :					RAP. TARİHİ :				
AGREGA CİNSİ :					KİMYASAL KATKI CİNSİ :				
KİMYASAL KATKI ADI :					MINERAL KATKI ADI :				

Malzeme	Hesaplamalar	Hacim (m³)	D.y.k. Özg. Ağ. (Gr)	Ağırlık (Kg)	1 m³ BETONDA CLORÜR VE SÜLFAT İÇERİĞİ HESABI	
Çimento	Su 316 S/C Oranı W/C 0,5496	575	Kg.	162,9	3	488,75
Mineral Katkı	Öğütülmüş Atık Cam	34,5	2,5	86,25		
Su		316,0	1	316		
Kimyasal Katkı	% 0	0,0	1,2	0		
Hava		15,0				
Kısmi hacim toplamı		528,4				
Agregalar	Agrega hacmi = 1000 - Kısmi hacim toplamı	A.h=	471,6			
KUM 1	KUM 1 Hacmi % = (A.h. x K 1 / 100)	100	471,6	2,590	1221,4	
KUM 2	KUM 2 Hacmi % = (A.h. x K 2 / 100)	0	0,0	2,500	0,0	
İRİ 1	İRİ 1 Hacmi % = (A.h. x İr.1 / 100)	0	0,0	2,670	0,0	
İRİ 2	İRİ 2 Hacmi % = (A.h. x İr.2 / 100)	0	0,0	2,670	0,0	
İRİ 3	İRİ 3 Hacmi % = (A.h. x İr.3 / 100)	0	0,0	2,670	0,0	
Katki - =	Elm*	Toplam	1000,0		2112,4	

AGREGALAR						
Gradasyon						
Elek (TSE) mm	İnoe KUM 1	KUM 2	İRİ 1	İRİ 2	İRİ 3	Karışım
25,0						0,0
22,4						0,0
16,0						0,0
8,0						0,0
4,0						0,0
2,0						0,0
1,0						0,0
0,500						0,0
0,250						0,0
Karışım %	100	0	0	0	0	100

Şartname	
Min.	Max.
100	100
100	100
75	93
48	81
27	68
16	56
9	44
6	31
2	16

Karışımın Düzeltilmiş Tartıları			
Malzeme Lt.	1000	0,9	
Çimento	488,8	440	
Mineral Katkı	86,3	77,6	
Su	316,0	284	
Kimyasal Katkı	0,0	0	
Agregalar	KUM 1 1221,4	1099	
	KUM 2 0,0	0	
	İRİ 1 0,0	0	
	İRİ 2 0,0	0	
	İRİ 3 0,0	0	
Toplam	2112,4	1901	

Rutubet Düzeltmesi						
İlk Slump cm:						
30 Dk. Sonra cm:						
Rutubet	0					
Su Emme	1,63					
Toplam %	0	-1,63	0	0	0	0
Toplam Su Lt.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Mukavemetler N/mm²			
Numune No:	EN 12390-7	2. Gün	7. Gün
Ort.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

KARIŞIM GRONÜLOMETRİSİ			
Clorür miktar %	0,0007		
Sülfat miktar %	0,0019		
Hava Sıcaklığı °C			
Beton Sıcaklığı °C			
Ölçülen hava %			
Birim Ağ. Kg/cm³			
NOT:			

Çizelge 3.7.'nin devamı

%25 TOZ ATIK CAM KATKILI BETON KARIŞIM HESABI									
BETON SINIFI :					LAB REF NO :				
ÇİMENTO CİNSİ :					RAP. TARİHİ :				
AGREGA CİNSİ :					KİMYASAL KATKI CİNSİ :				
KİMYASAL KATKI ADI :					MINERAL KATKI ADI :				

Malzeme	Hesaplamalar	Hacim (m³)	D.y.k. Özg. Ağ.(Gr)	Ağırlık (Kg)	1 m³ BETONDA CLORÜR VE SÜLFAT İÇERİĞİ HESABI
Çimento	Su S/C Oranı W/C 316 0,5496 575 Kg	143,8	3	431,25	BETON BİLEŞENLERİ
Mineral Katkı	Öğütülmüş Atık Cam	57,5	2,5	143,75	SÜLFAT İÇERİĞİ
Su		316,0	1	316	KLORÜR İÇERİĞİ
Kimyasal Katkı	% 0	0,0	1,2	0	
Hava		15,0			
Kısmi hacim toplamı		532,3			
Agregalar	Agrega hacmi = 1000 - Kısmi hacim toplamı A.h.=	467,8			
KUM 1	KUM 1 Hacmi % = (A.h. x K 1 / 100)	100	2,580	1211,5	
KUM 2	KUM 2 Hacmi % = (A.h. x K 2 / 100)	0	0,0	0,0	
İRİ 1	İRİ 1 Hacmi % = (A.h. x İr. 1 / 100)	0	0,0	0,0	
İRİ 2	İRİ 2 Hacmi % = (A.h. x İr. 2 / 100)	0	0,0	0,0	
İRİ 3	İRİ 3 Hacmi % = (A.h. x İr. 3 / 100)	0	0,0	0,0	
Katki - =	E/m³ Toplam	1000,0		2102,5	

AGREGALAR						
Elek (TSE) mm	İnce KUM 1	KUM 2	Kaba İRİ 1	İRİ 2	İRİ 3	Karışım
25,0						0,0
22,4						0,0
16,0						0,0
8,0						0,0
4,0						0,0
2,0						0,0
1,0						0,0
0,500						0,0
0,250						0,0
Karışım %	100	0	0	0	0	100

Şartname	
Min.	Max.
100	100
100	100
75	93
48	81
27	68
16	56
9	44
6	31
2	16

Karışımın Düzeltilmiş Tartıları		
Malzeme Lt.	1000	0,9
Çimento	431,3	388
Mineral Katkı	143,8	129,4
Su	316,0	284
Kimyasal Katkı	0,0	0
Agregalar	KUM 1 1211,5 1090	
	KUM 2 0,0 0	
	İRİ 1 0,0 0	
	İRİ 2 0,0 0	
	İRİ 3 0,0 0	
Toplam	2102,5	1892

Rutubet Düzeltmesi					
İlk Slump cm:					
30 Dk. Sonra cm:					
Rutubet					
Su Emme					
Toplam %	0	-1,63	0	0	0
Toplam Su Lt.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Clorür miktar %		Sülfat miktar %	
0,0008	0,0022		

Mukavemetler N/mm²				
Numune No:	EDV KURSU yoğunluk TS EN12390-7	2. Gün	7. Gün	28. Gün
Hava Sıcaklığı °C				
Beton Sıcaklığı °C				
Ölçülen hava %				
Birim Ağ.Kg/cm³				
Ort.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

NOT:

KARIŞIM GRONÜLOMETRİSİ

3. MATERYAL VE METOD

Özden ÖZGÜDEN

Çizelge 3.7.'nin devamı

%50 TOZ ATIK CAM KATKILI BETON KARIŞIM HESABI									
BETON SINIFI :					LAB REF NO :				
ÇİMENTO CİNSİ :					RAP. TARİHİ :				
AGREGA CİNSİ :					KİMYASAL KATKI CİNSİ :				
KİMYASAL KATKI ADI :					MINERAL KATKI ADI :				

Malzeme	Hesaplamalar	Hacim (m³)	D.y.k. Özg. Ağ. (Gr)	Ağırlık (Kg)	1 m³ BETONDA CLORÜR VE SÜLFAT İÇERİĞİ HESABI																																	
Çimento	Su S/C Oranı W/C 0,5496 316 575 Kg	95,8	3	287,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>BETON BİLEŞENLERİ</th> <th>SÜLFAT İÇERİĞİ</th> <th>KLORÜR İÇERİĞİ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KUM 1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>KUM 2</td> <td>0,19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>İRİ 1</td> <td>0,19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>İRİ 2</td> <td>0,19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>İRİ 3</td> <td>0,190</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SU</td> <td>29,76</td> <td>9,4042</td> </tr> <tr> <td>ÇİMENTO</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>KÜL</td> <td>0,4</td> <td>0,115</td> </tr> <tr> <td>KİM. KATKI</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>TOLAM</td> <td>9,5192</td> <td>3,4197</td> </tr> </tbody> </table>	BETON BİLEŞENLERİ	SÜLFAT İÇERİĞİ	KLORÜR İÇERİĞİ	KUM 1	0	0	KUM 2	0,19	0	İRİ 1	0,19	0	İRİ 2	0,19	0	İRİ 3	0,190	0	SU	29,76	9,4042	ÇİMENTO	0	0	KÜL	0,4	0,115	KİM. KATKI	0	0	TOLAM	9,5192	3,4197
BETON BİLEŞENLERİ	SÜLFAT İÇERİĞİ	KLORÜR İÇERİĞİ																																				
KUM 1	0	0																																				
KUM 2	0,19	0																																				
İRİ 1	0,19	0																																				
İRİ 2	0,19	0																																				
İRİ 3	0,190	0																																				
SU	29,76	9,4042																																				
ÇİMENTO	0	0																																				
KÜL	0,4	0,115																																				
KİM. KATKI	0	0																																				
TOLAM	9,5192	3,4197																																				
Mineral Katkı	Öğütülmüş Atık Cam	115,0	2,5	287,5																																		
Su		316,0	1	316																																		
Kimyasal Katkı	% 0	0,0	1,2	0																																		
Hava		15,0																																				
Kısmi hacim toplamı		541,8																																				
Agregalar	Agrega hacmi = 1000 - Kısmi hacim toplamı A.h =	458,2																																				
KUM 1	KUM 1 Hacmi % = (A.h. x K 1 / 100)	100	458,2	2,500																																		
KUM 2	KUM 2 Hacmi % = (A.h. x K 2 / 100)	0	0,0	2,500																																		
İRİ 1	İRİ 1 Hacmi % = (A.h. x İr.1 / 100)	0	0,0	2,670																																		
İRİ 2	İRİ 2 Hacmi % = (A.h. x İr.2 / 100)	0	0,0	2,670																																		
İRİ 3	İRİ 3 Hacmi % = (A.h. x İr.3 / 100)	0	0,0	2,670																																		
Katki - =	Elm³	Toplam	1000,0	2077,7																																		

AGREGALAR						
Gradasyon						
Elek (TSE) mm	Inoe KUM 1	KUM 2	Kaba İRİ 1	İRİ 2	İRİ 3	Karşım
25,0						0,0
22,4						0,0
16,0						0,0
8,0						0,0
4,0						0,0
2,0						0,0
1,0						0,0
0,500						0,0
0,250						0,0
Karşım %	100	0	0	0	0	100

Şartname	
Min.	Max.
100	100
100	100
75	93
48	81
27	68
16	56
9	44
6	31
2	16

Karşımın Düzeltilmiş Tartıları		
Malzeme Lt.	1000	0,9
Çimento	287,5	259
Mineral Katkı	287,5	258,8
Su	316,0	284
Kimyasal Katkı	0,0	0
Agregalar	KUM 1 1188,7	1088
	KUM 2 0,0	0
	İRİ 1 0,0	0
	İRİ 2 0,0	0
	İRİ 3 0,0	0
Toplam	2077,7	1870

Rutubet Düzeltmesi					
İlk Slump cm:					
30 Dk. Sonra cm:					
Rutubet	0				
Su Emme	1,63				
Toplam %	0	-1,63	0	0	0
Toplam Su Lt.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Clorür miktarı %		Sülfat miktarı %	
0,0012	0,0033		

Mukavemetler N/mm²				
Numune No:	ETİY KURUSU yoğunluk TS EN12359-7	2. Gün	7. Gün	28. Gün
Ort.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

NOT:

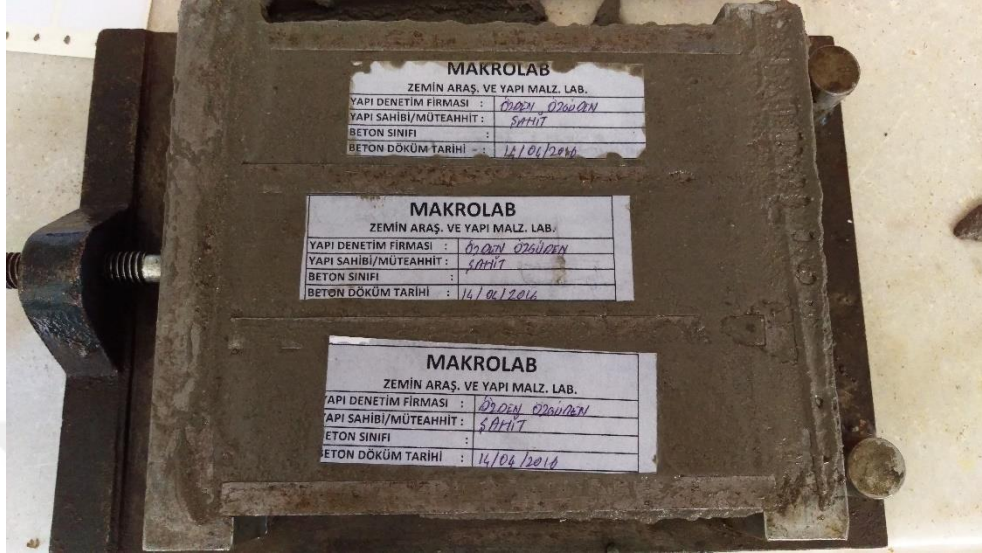
KARIŞIM GRONÜLOMETRİSİ



Şekil 3.7. Beton pres cihazı no.1



Şekil 3.8. Beton pres cihazı no.2



Şekil 3.9. Kare prizma beton numuneleri



Şekil 3.10. Kür havuzuna konulan kare prizma beton numuneler



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

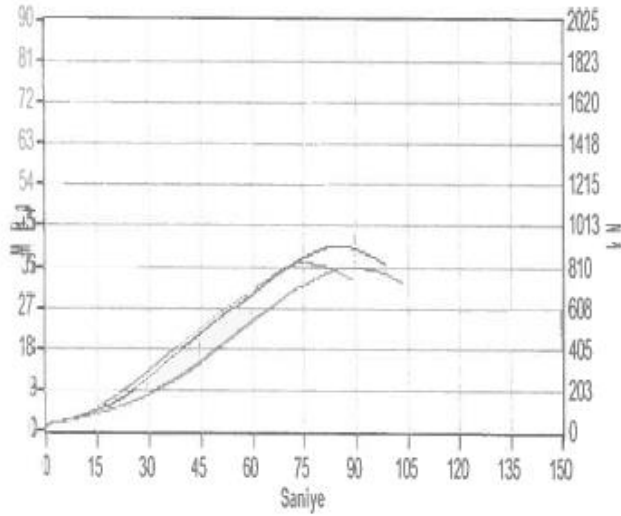
4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. I. Etap Çalışmalar

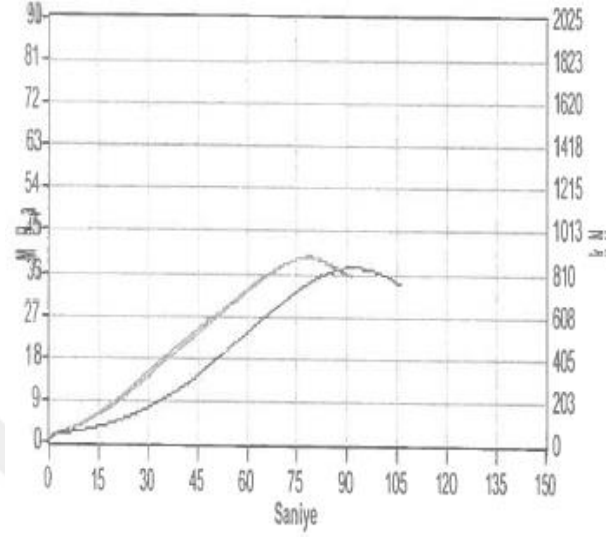
Birinci grupta hazırlanan atık cam katkıli beton numuneler beton pres yardımıyla test edilerek basınç dayanımları bulunmuştur.

28 günlük numuneler betonun tam olarak prizini almasından sonra kür havuzuna alınmıştır. Numuneler kırım zamanından 24 saat önceden havuzdan çıkartılmış ve tamamen kuruduktan sonra kırım gerçekleştirilmiştir.

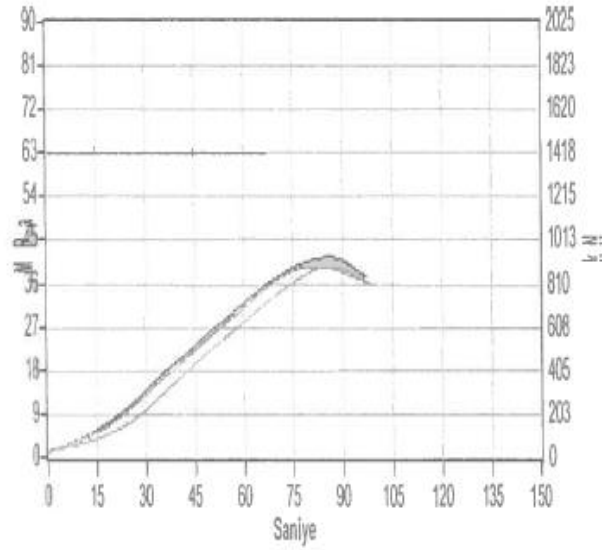
Şahit numune atık cam kullanılmadan hazırlanmış olup, numunenin beton preste kırılma grafiği Şekil 4.1.'deki gibidir. Hazırlanan ilk grupta C20 beton numunesinin sırasıyla, kum ağırlığının %5, %10, %25 ve %50'si kadar cam atığı kullanılmıştır. Kırım grafikleri Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'deki gibidir.



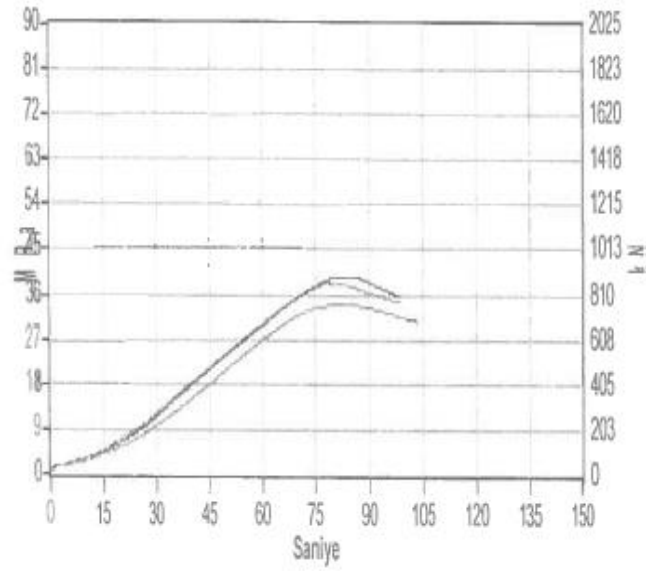
Şekil 4.1. I.Etap Şahit Numune Beton Kırım Grafiği



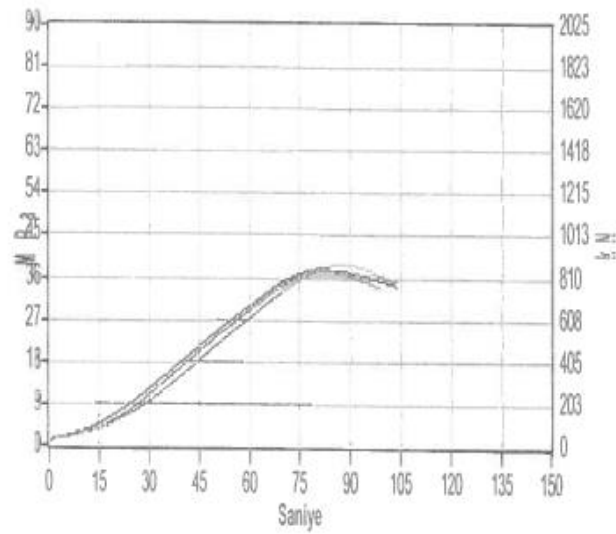
Şekil 4.2. I.Etap Kum Ağırlık %5 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği



Şekil 4.3. I.Etap Kum Ağırlık %10 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği



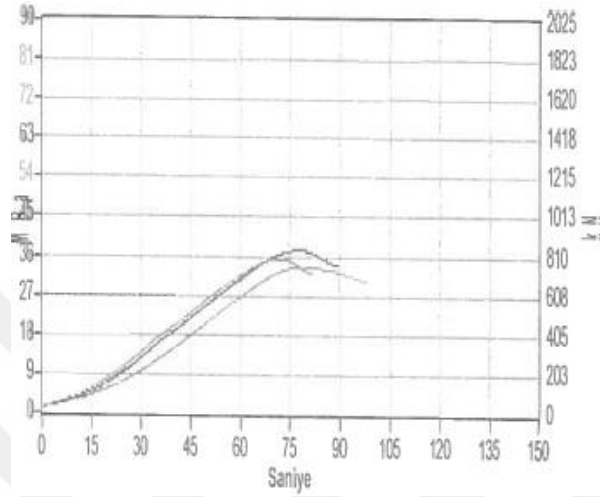
Şekil 4.4. I.Etap Kum Ağırlık %25 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği



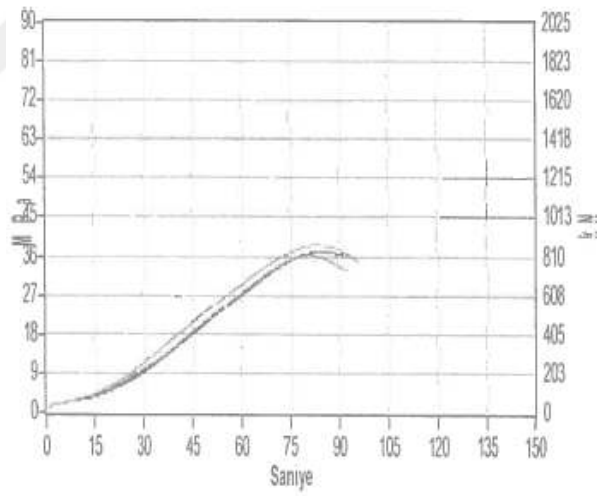
Şekil 4.5. I.Etap Kum Ağırlık %50 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği

1.Etapta kum ağırlığının yüzde oranları ile hazırlanan numuneler çakıl ağırlığınca da aynı oranlarda hazırlanarak betonları dökülmüştür. Çakıl ağırlığının

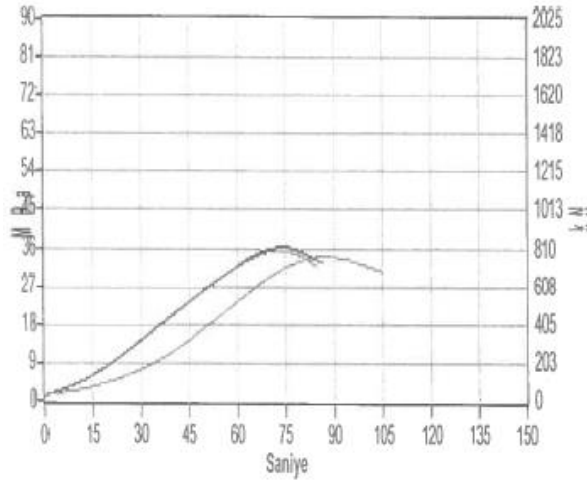
aynı yüzdelik dilimlerle hazırlanan küp numunelerin beton preste kırılma grafikleri de Şekil 4.6., Şekil 4.7., Şekil 4.8. ve Şekil 4.9'daki gibi gerçekleşmiştir.



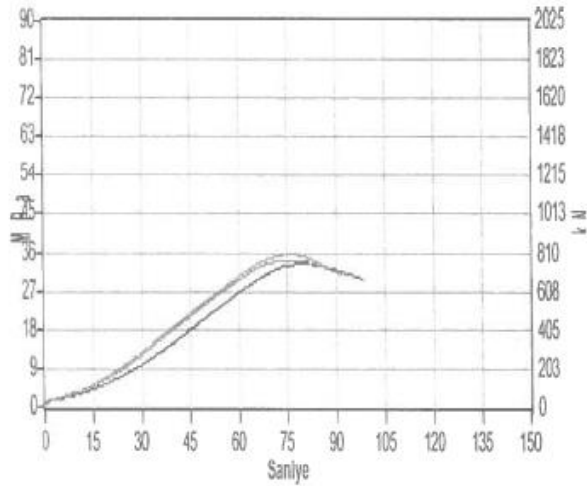
Şekil 4.6. I.Etap Çakıl Ağırlık %5 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği



Şekil 4.7. I.Etap Çakıl Ağırlık %10 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği

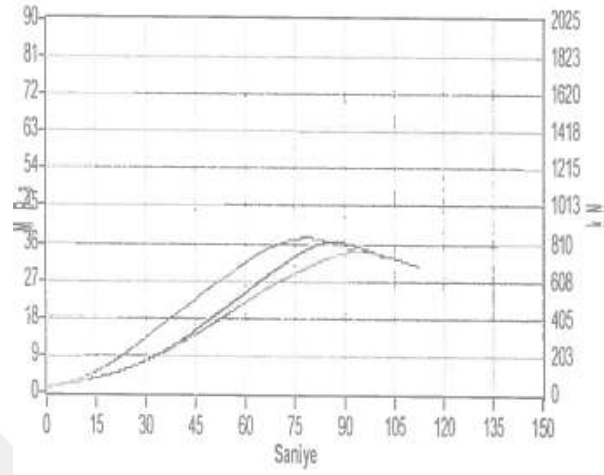


Şekil 4.8. I.Etap Çakıl Ağırlık %25 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği

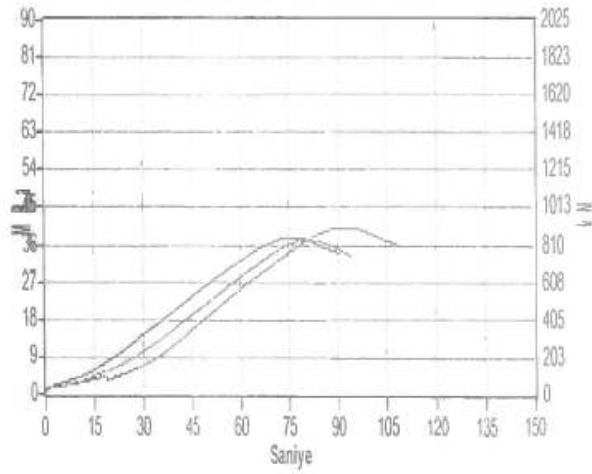


Şekil 4.9. I.Etap Çakıl Ağırlık %50 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği

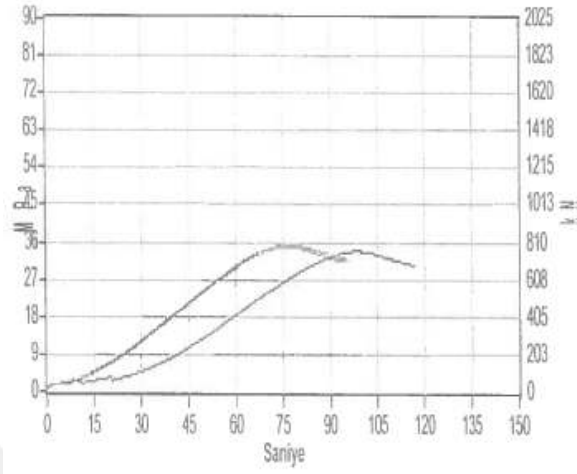
İlk etapta son olaraksa beton karışımının hem kum hem de çakıl ağırlıklarının %5, %10, %25 ve %50 oranlarında atık cam katkıli beton küp numuneleri kırılmış ve Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'deki gibi kırım grafikleri elde edilmiştir.



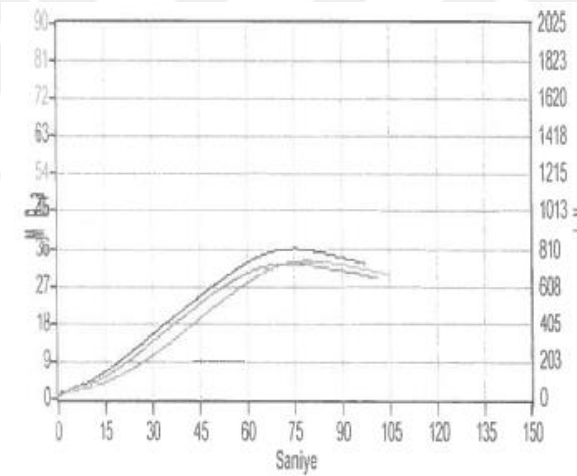
Şekil 4.10. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %5 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği



Şekil 4.11. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %10 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği



Şekil 4.12. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %25 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği



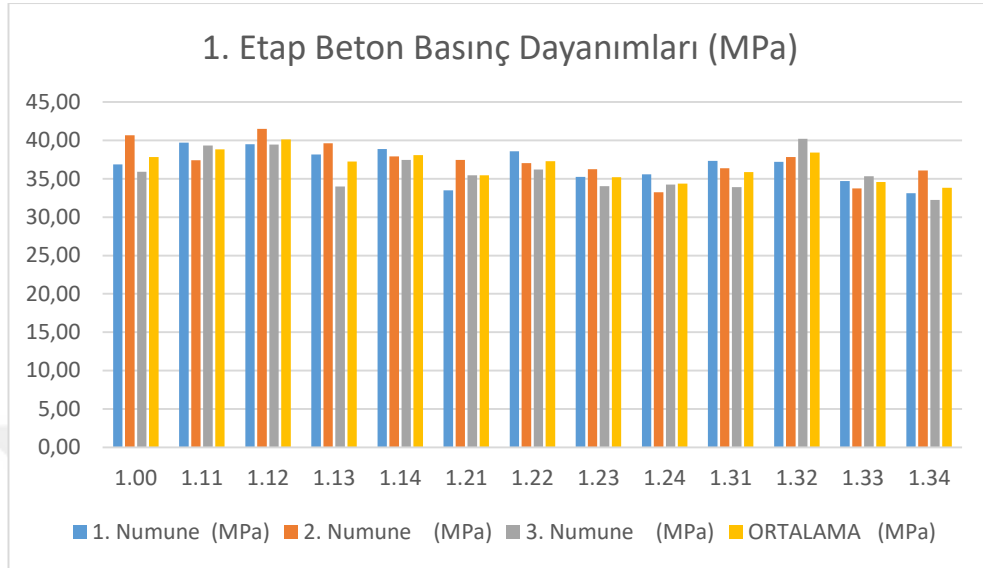
Şekil 4.13. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %50 Atık Cam Katkılı Beton Kırım Grafiği

Tüm bu kırım sonuçlarından sonra ortaya çıkan tablo ise Çizelge 4.1.'deki gibidir.

Çizelge 4.1. I.Etap %5, %10, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Betonların Kırım Sonuçları

Karışım No	Beton Karışımları	1. Numune (MPa)	2. Numune (MPa)	3. Numune (MPa)	ORTALAMA (MPa)
1.00	C20 Beton	36,87	40,66	35,92	37,82
1.11	Kum ağırlığının %5'i Atık Cam Katkılı	39,73	37,43	39,33	38,83
1.12	Kum ağırlığının %10'u Atık Cam Katkılı	39,49	41,49	39,48	40,15
1.13	Kum ağırlığının %25'i Atık Cam Katkılı	38,19	39,62	33,99	37,27
1.14	Kum ağırlığının %50'si Atık Cam Katkılı	38,88	37,92	37,45	38,08
1.21	Çakıl ağırlığının %5'i Atık Cam Katkılı	33,48	37,44	35,45	35,46
1.22	Çakıl ağırlığının %10'u Atık Cam Katkılı	38,59	37,06	36,20	37,28
1.23	Çakıl ağırlığının %25'i Atık Cam Katkılı	35,26	36,26	34,05	35,19
1.24	Çakıl ağırlığının %50'si Atık Cam Katkılı	35,59	33,24	34,24	34,36
1.31	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %5'i Atık Cam Katkılı	37,35	36,36	33,90	35,87
1.32	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %10'u Atık Cam Katkılı	37,20	37,82	40,20	38,41
1.33	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %25'i Atık Cam Katkılı	34,71	33,75	35,32	34,59
1.34	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %50'si Atık Cam Katkılı	33,11	36,08	32,24	33,81

Çizelge 4.1.'deki sonuçlar kullanılarak bu etapta yapılan tüm deneylerin sonuçları aynı grafikte gösterilmek istendiğinde ortaya Şekil 4.14.'deki gibi bir grafik çıkmaktadır.



Şekil 4.14. I.Etap Kum ve Çakıl Ağırlık %5, %10, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Beton Numunelerin Kırım Grafikleri

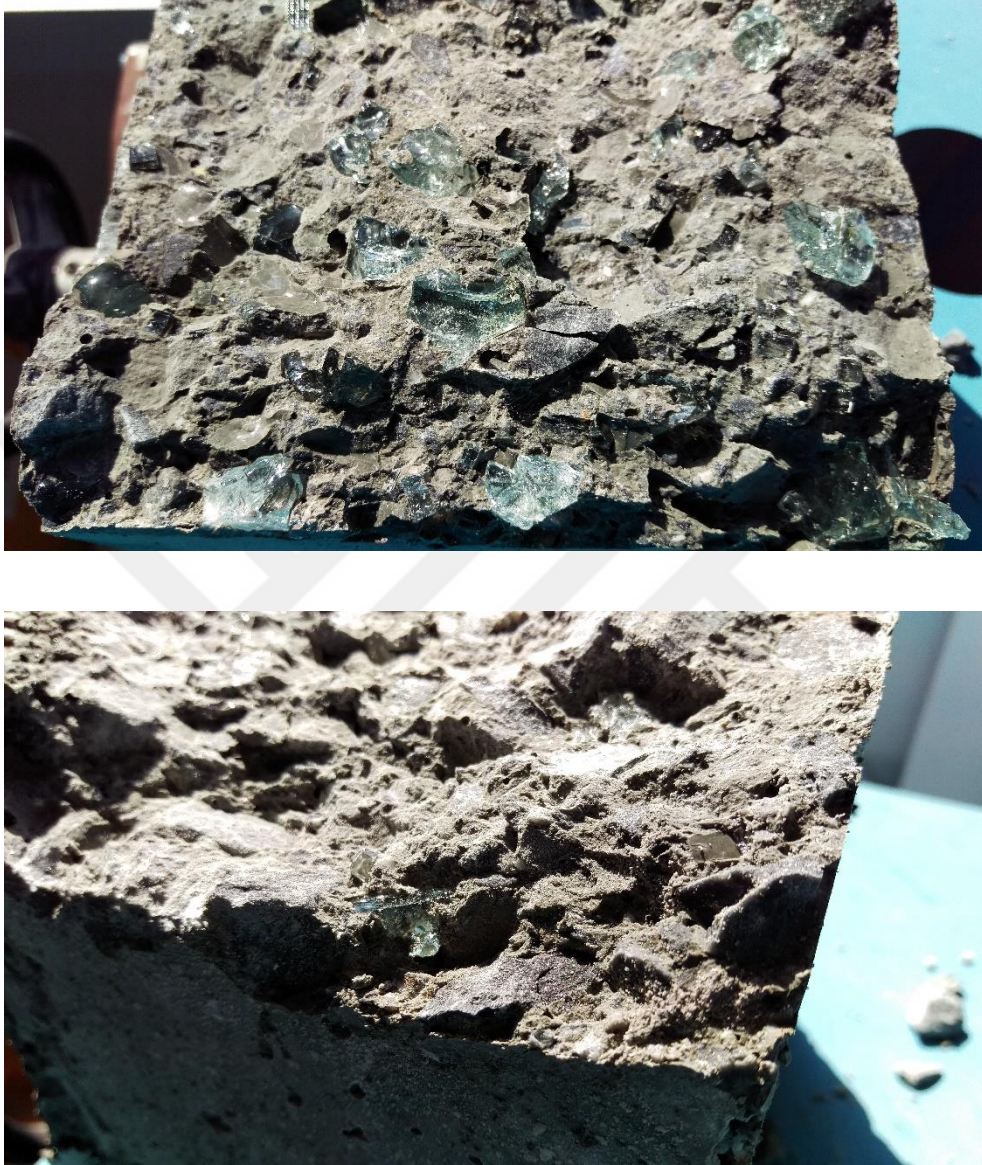
Şekil 4.14.'deki grafik ve Çizelge 4.1. irdelendiğinde, beton basınç dayanımlarının cam atık katkısı ile ne şekilde değiştiğini gösteren tablo Çizelge 4.2. yer almaktadır.

Çizelge 4.2. 1.Etap Çalışmada Kullanılan Atık Cam Katkılı Betonların Basınç Dayanımı Değişimi

Karışım No	Beton Karışımları	ORTALAMA BASINÇ DAYANIMI (MPa)	ŞAHİT NUMUNEYE GÖRE DAYANIM FARKI (%)
1.00	C20 Beton	37,82	
1.11	Kum ağırlığının %5'i Atık Cam Katkılı	38,83	2,67
1.12	Kum ağırlığının %10'u Atık Cam Katkılı	40,15	6,16
1.13	Kum ağırlığının %25'i Atık Cam Katkılı	37,27	-1,45
1.14	Kum ağırlığının %50'si Atık Cam Katkılı	38,08	0,69
1.21	Çakıl ağırlığının %5'i Atık Cam Katkılı	35,46	-6,24
1.22	Çakıl ağırlığının %10'u Atık Cam Katkılı	37,28	-1,43
1.23	Çakıl ağırlığının %25'i Atık Cam Katkılı	35,19	-6,95
1.24	Çakıl ağırlığının %50'si Atık Cam Katkılı	34,36	-9,15
1.31	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %5'i Atık Cam Katkılı	35,87	-5,16
1.32	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %10'u Atık Cam Katkılı	38,41	1,56
1.33	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %25'i Atık Cam Katkılı	34,59	-8,54
1.34	Kum ve Çakıl ağırlıklarının %50'si Atık Cam Katkılı	33,81	-10,60

Çizelge 4.2.'de, beton içerisine kum ağırlığının %10'u oranında atık cam katıldığında şahit numuneye göre ortalama % 6,16 oranında daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir.

Beton numunelerde atık cam katkısı kum yerine çakıl ile yapıldığında ise minimum % 1,43 ile % 9,15 aralığında basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. I. Etaptaki Kırılmış Beton Numunelere Ait Fotoğraflar

4.1.2. II. Etap Çalışmalar

Bu etapta, cam atıklar Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümündeki değirmenlerde öğütülerek toz haline getirilmiştir. Pudra haline gelinceye kadar değirmende öğütülen atık cam katkısıyla hazırlanan 4 cm x 4 cm x

16 cm ebatlardaki kare prizma numunelerle eğilme dayanımlarına ve basınç dayanımlarına bakılmıştır.

Beton harcının su/çimento oranı ilk etapdaki gibi 0,55 olarak hazırlanmıştır. Kullanılan çimentonun birim hacim ağırlığı ise 575 Kg/m³ dür.

Hazırlanan beton karışımlarında sırasıyla, 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,50 mm, 1 mm, 2 mm ve 4 mm elek göz aralıklarındaki cam atıklar yine sırasıyla, %5, %10, %15, %25 ve %50 oranlarında kullanılarak beton numuneler hazırlanmıştır.

Kare prizma şeklindeki dökülen beton numunelerinin 28 günlük iken beton preste kırılması ile Çizelge 4.3.'deki basınç dayanımları ve Çizelge 4.4.'de verilen eğilme dayanımları elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. II.Etap Atık Cam Katkılı Betonların Basınç Dayanımları

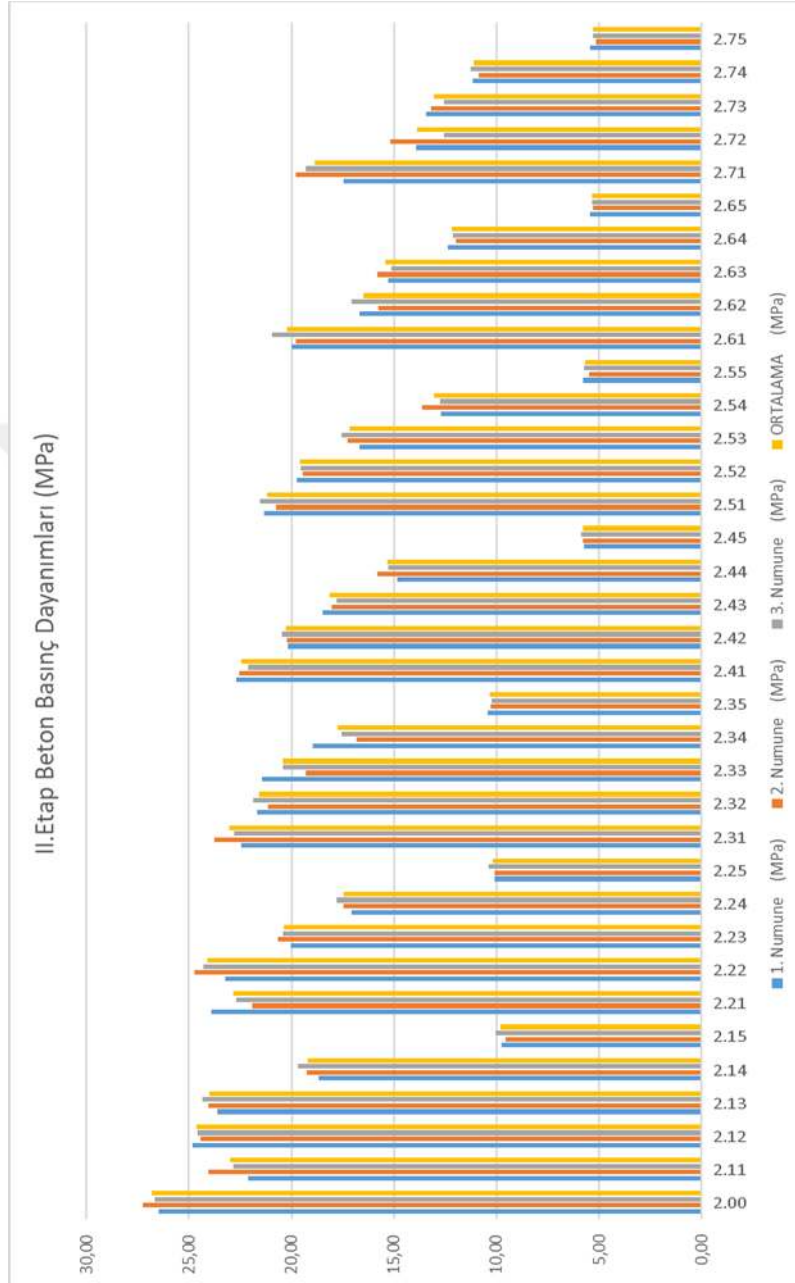
KARIŞIM NO	Beton Karışımları	1. Numune (MPa)	2. Numune (MPa)	3. Numune (MPa)	ORTALAMA (MPa)
2.00	ŞAHİT NUMUNE	26,49	27,24	26,69	26,81
2.11	0-0,063 mm %5 Atık Cam Katkılı	22,12	24,04	22,83	23,00
2.12	0-0,063 mm %10 Atık Cam Katkılı	24,83	24,44	24,60	24,62
2.13	0-0,063 mm %15 Atık Cam Katkılı	23,60	24,06	24,36	24,01
2.14	0-0,063 mm %25 Atık Cam Katkılı	18,69	19,25	19,71	19,22
2.15	0-0,063 mm %50 Atık Cam Katkılı	9,75	9,57	10,03	9,78
2.21	0,063-0,125 mm %5 Atık Cam Katkılı	23,92	21,93	22,70	22,85
2.22	0,063-0,125 mm %10 Atık Cam Katkılı	23,22	24,73	24,31	24,09
2.23	0,063-0,125 mm %15 Atık Cam Katkılı	20,04	20,64	20,43	20,37
2.24	0,063-0,125 mm %25 Atık Cam Katkılı	17,05	17,46	17,82	17,44
2.25	0,063-0,125 mm %50 Atık Cam Katkılı	10,08	10,09	10,40	10,19
2.31	0,125-0,25 mm %5 Atık Cam Katkılı	22,47	23,77	22,78	23,01
2.32	0,125-0,25 mm %10 Atık Cam Katkılı	21,66	21,14	21,89	21,56
2.33	0,125-0,25 mm %15 Atık Cam Katkılı	21,44	19,32	20,43	20,40
2.34	0,125-0,25 mm %25 Atık Cam Katkılı	18,96	16,81	17,54	17,77
2.35	0,125-0,25 mm %50 Atık Cam Katkılı	10,42	10,29	10,25	10,32
2.41	0,25-0,50 mm %5 Atık Cam Katkılı	22,68	22,56	22,10	22,45
2.42	0,25-0,50 mm %10 Atık Cam Katkılı	20,15	20,24	20,48	20,29
2.43	0,25-0,50 mm %15 Atık Cam Katkılı	18,50	18,04	17,81	18,12
2.44	0,25-0,50 mm %25 Atık Cam Katkılı	14,86	15,80	15,26	15,31
2.45	0,25-0,50 mm %50 Atık Cam Katkılı	5,71	5,77	5,86	5,78
2.51	0,50-1,00 mm %5 Atık Cam Katkılı	21,32	20,74	21,54	21,20
2.52	0,50-1,00 mm %10 Atık Cam Katkılı	19,72	19,43	19,56	19,57
2.53	0,50-1,00 mm %15 Atık Cam Katkılı	16,68	17,26	17,54	17,16
2.54	0,50-1,00 mm %25 Atık Cam Katkılı	12,72	13,61	12,77	13,03
2.55	0,50-1,00 mm %50 Atık Cam Katkılı	5,79	5,48	5,74	5,67
2.61	1-2 mm %5 Atık Cam Katkılı	19,97	19,80	20,96	20,24
2.62	1-2 mm %10 Atık Cam Katkılı	16,70	15,74	17,09	16,51
2.63	1-2 mm %15 Atık Cam Katkılı	15,29	15,79	15,13	15,40
2.64	1-2 mm %25 Atık Cam Katkılı	12,37	12,00	12,11	12,16

2.65	1-2 mm %50 Atık Cam Katkılı	5,44	5,28	5,34	5,35
2.71	2-4 mm %5 Atık Cam Katkılı	17,46	19,80	19,29	18,85
2.72	2-4 mm %10 Atık Cam Katkılı	13,91	15,16	12,58	13,88
2.73	2-4 mm %15 Atık Cam Katkılı	13,44	13,17	12,58	13,06
2.74	2-4 mm %25 Atık Cam Katkılı	11,14	10,89	11,25	11,09
2.75	2-4 mm %50 Atık Cam Katkılı	5,42	5,13	5,29	5,28

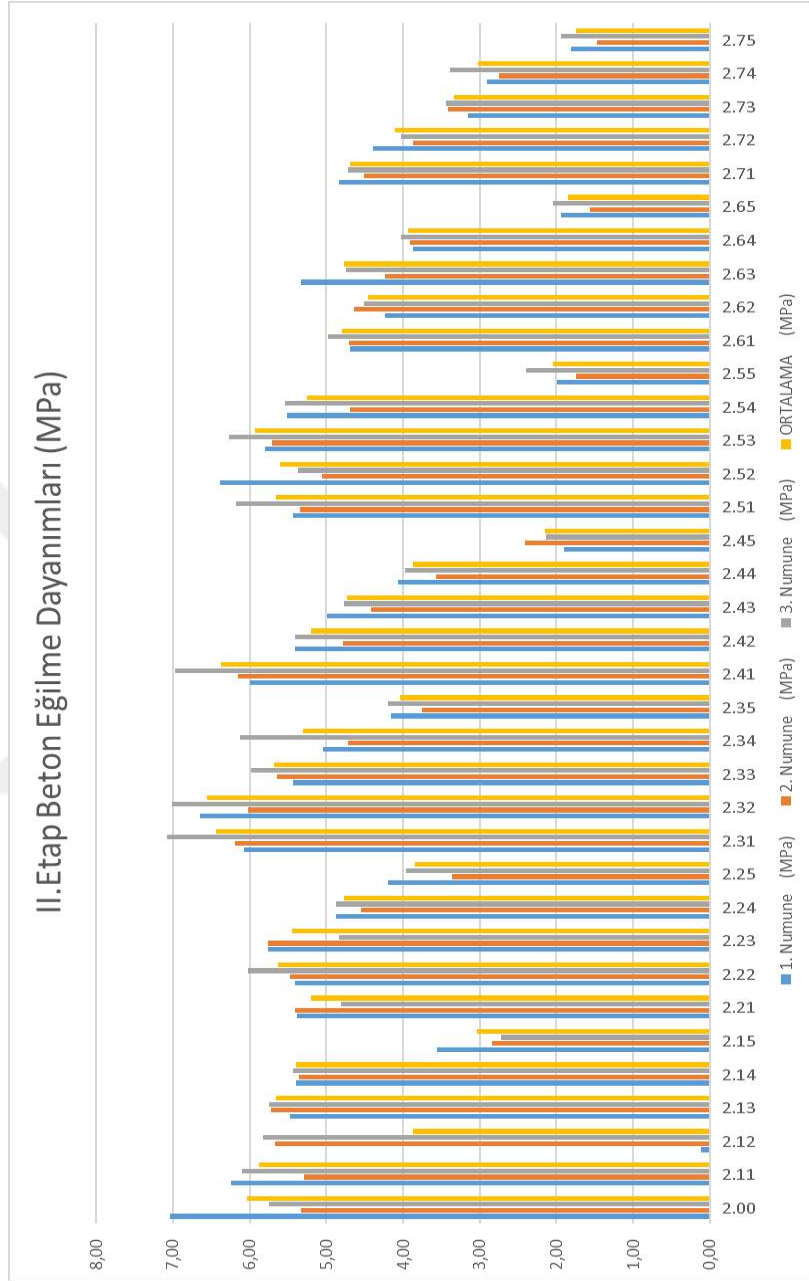
Çizelge 4.4. II.Etap Atık Cam Katkılı Betonların Eğilme Dayanımları

KARIŞIM NO	Beton Karışımları	1. Numune (MPa)	2. Numune (MPa)	3. Numune (MPa)	ORTALAMA (MPa)
2.00	ŞAHİT NUMUNE	7,03	5,34	5,75	6,04
2.11	0-0,063 mm %5 Atık Cam Katkılı	6,24	5,30	6,10	5,88
2.12	0-0,063 mm %10 Atık Cam Katkılı	0,12	5,67	5,83	3,87
2.13	0-0,063 mm %15 Atık Cam Katkılı	5,47	5,72	5,75	5,65
2.14	0-0,063 mm %25 Atık Cam Katkılı	5,39	5,36	5,43	5,39
2.15	0-0,063 mm %50 Atık Cam Katkılı	3,56	2,85	2,72	3,04
2.21	0,063-0,125 mm %5 Atık Cam Katkılı	5,38	5,41	4,82	5,20
2.22	0,063-0,125 mm %10 Atık Cam Katkılı	5,40	5,48	6,02	5,63
2.23	0,063-0,125 mm %15 Atık Cam Katkılı	5,76	5,77	4,83	5,45
2.24	0,063-0,125 mm %25 Atık Cam Katkılı	4,87	4,55	4,88	4,77
2.25	0,063-0,125 mm %50 Atık Cam Katkılı	4,20	3,37	3,97	3,84
2.31	0,125-0,25 mm %5 Atık Cam Katkılı	6,08	6,19	7,07	6,44
2.32	0,125-0,25 mm %10 Atık Cam Katkılı	6,65	6,02	7,02	6,56
2.33	0,125-0,25 mm %15 Atık Cam Katkılı	5,43	5,64	5,98	5,68
2.34	0,125-0,25 mm %25 Atık Cam Katkılı	5,05	4,71	6,13	5,30
2.35	0,125-0,25 mm %50 Atık Cam Katkılı	4,16	3,75	4,20	4,04
2.41	0,25-0,50 mm %5 Atık Cam Katkılı	5,99	6,15	6,98	6,37
2.42	0,25-0,50 mm %10 Atık Cam Katkılı	5,40	4,79	5,40	5,20
2.43	0,25-0,50 mm %15 Atık Cam Katkılı	4,99	4,42	4,77	4,73
2.44	0,25-0,50 mm %25 Atık Cam Katkılı	4,06	3,57	3,98	3,87
2.45	0,25-0,50 mm %50 Atık Cam Katkılı	1,90	2,41	2,13	2,15
2.51	0,50-1,00 mm %5 Atık Cam Katkılı	5,43	5,34	6,18	5,65
2.52	0,50-1,00 mm %10 Atık Cam Katkılı	6,38	5,06	5,37	5,60

2.53	0,50-1,00 mm %15 Atık Cam Katkılı	5,80	5,71	6,28	5,93
2.54	0,50-1,00 mm %25 Atık Cam Katkılı	5,51	4,69	5,54	5,25
2.55	0,50-1,00 mm %50 Atık Cam Katkılı	2,00	1,75	2,39	2,05
2.61	1-2 mm %5 Atık Cam Katkılı	4,69	4,70	4,98	4,79
2.62	1-2 mm %10 Atık Cam Katkılı	4,24	4,64	4,51	4,46
2.63	1-2 mm %15 Atık Cam Katkılı	5,34	4,23	4,74	4,77
2.64	1-2 mm %25 Atık Cam Katkılı	3,87	3,91	4,02	3,94
2.65	1-2 mm %50 Atık Cam Katkılı	1,94	1,56	2,04	1,85
2.71	2-4 mm %5 Atık Cam Katkılı	4,83	4,51	4,72	4,69
2.72	2-4 mm %10 Atık Cam Katkılı	4,39	3,87	4,02	4,10
2.73	2-4 mm %15 Atık Cam Katkılı	3,15	3,42	3,43	3,33
2.74	2-4 mm %25 Atık Cam Katkılı	2,90	2,76	3,39	3,02
2.75	2-4 mm %50 Atık Cam Katkılı	1,81	1,47	1,94	1,74



Şekil 4.16. II.Etap %5, %10, %15, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Beton Basınç Dayanım Grafikleri



Şekil 4.17. II.Etap %5, %10, %15, %25 ve %50 Atık Cam Katkılı Beton Eğilme Dayanım Grafikleri

Şekil 4.16.'daki grafik incelendiğinde beton numunelerinin basınç dayanımlarındaki değişimin 0-0,125 mm aralığındaki cam tozları katkısı ile %10 mertebesinde maksimuma ulaştığı, diğer elek aralıklarında ise basınç dayanımlarının ilave edilen atık cam miktarının artışıyla ters orantılı olarak düştüğü tespit edilmiştir.

Buna karşılık, Şekil 4.17.'deki grafikten ise; 0,125-0,25 mm aralığındaki atık cam katkılı betonların % 5 ilavesi ile beton eğilme dayanımının % 6,6 ;% 10 ilavesi ile de % 8,6 oranında daha fazla eğilme dayanımına ulaşıldığı görülmektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı cam atıklarının beton içerisinde kullanılabilirliğini araştırmaktır. Çalışmada ŞİŞECAM Trakya Cam Mersin Fabrikasından çıkan atık camlar kullanılmıştır. Amaç, atık camların hazır beton tesislerinde kullanımını sağlayarak beton maliyetlerini düşürerek, aynı zamanda atık bertarafına harcanan bütçenin azaltılmasını sağlamaktır.

Yapılan deneyler göstermiştir ki;

1. Tamamen geri dönüştürülebilen bir malzeme olan cam atıkların beton karışımı içerisinde yaklaşık %10 civarlarında kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir.
2. Yapılan çalışmada beton içerisine giren ince gradasyondaki atık cam miktarı %10 mertebesinde iken betonun basınç dayanımının yaklaşık % 6 civarında arttığı, buna karşılık iri boyutlardaki atık cam kullanımının ise dayanımı düşürdüğü tespit edilmiştir.
3. Beton içerisinde agrega yerine kullanılan atık camların tane büyüklüğü, yani gradasyonu arttıkça beton dayanımları düşmektedir.
4. Cam atıkların çakıl ebatlarında olanlarının beton yüzeyine aderansının iyi olmadığı ve yüzeyden koptukları gözlenmiştir.
5. Toz halindeki atık camların ise herhangi bir aderans sorunu gözlemlenmemiştir.
6. 0,125-0,25 mm aralığındaki atık cam kullanımı ile elde edilen betonun şahit numuneye göre eğilme dayanımının yaklaşık % 9 oranında daha fazla çıktığı tespit edilmiştir.

Genel itibarı ile atık camların tane boyutlarının maksimum 0,25 mm olacak şekilde öğütülmesi ile elde edilen harmanın beton içerisine % 10 mertebesinde katılması ile beton basınç ve eğilme dayanımlarının daha fazla çıktığı söylenebilir.



KAYNAKLAR

- ACI Committee116, 116R-90, 1994. "Cement and concrete terminology," ACI Manual of Concrete Practice, part 1
- Akalın T., Kılınç C., Işık A., Zengin H., 2013. hazır beton sektörü ve beton kullanımındaki gelişmeler, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi ve Fuarı, İstanbul
- Akyüz S., 1991. "Boşluk Oranı ve Geometrisinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul 246-255
- Amstock J. S., 1997. Handbook of Glass in Construction, McGraw-Hill, New York, 584
- Arioğlu E., Arioğlu N., Yılmaz O. A., 2006. Beton agregaları çözümlü problemler bilgi föyleri 244-245
- ASTM C 125, 2002. Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 260, 2006. Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 494, 2002. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- Aydın E., 2006. Şişecam Araştırma ve Teknoloji Genel Müdür Yardımcılığı Hizmete Özel Yayınları, İstanbul.
- Baradan B., 2003. İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 307-394, İzmir.
- Brady G. S., Clauser H. R. ve Vaccari J. A., 2002. Materials Handbook, Fifteenth Edition, McGraw-Hill, New York, 1244
- Collepardi M. Ve Gököz N.Ü., 1989. Betonda Zaman İçerisinde Dayanıklılık. Birinci Ulusal Beton Kongresi, cilt (5), 67-78, İstanbul.

- Demiryürek B. E.,2007. Yüksek Lisans Tezi Türkiye’de hazır beton sektörü ve sektördeki büyüme, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Erdoğan T.,2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 741 s.
- Erdoğan T.Y.,2007. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara
- Erdoğan S. T., Erdoğan T. Y.,2007. Kimyasal katkı maddeleri ve tarihi geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara.
- Esin A., 1981. Properties of materials for mechanical design, METU Faculty of Engineering Publication, NoÇ69, Ankara.
- Gani M.S.J.,1997. Cement and Concrete, Chapman & Hall, London.
- Gambhir M. L., 1986. Concrete Technology, TATA McGrow- Hill Publishing Compony, Delhi.
- Kaplan M. F., 1959 Flexural and compressive strenght of concrete as affected by the properties of coarse aggregates, Journal of American Concrete Institute, May, 1193-1208.
- Lees G., 1964. The measurement of particle elongation and flakiness; A critical discussion of British Standard and other methods, Magazine of Concrete Research. 16 No.49, 225-230.
- Mantell C. L., Salzberg H. W., 1958. Engineering Materials Handbook, Journal of The Electrochemical Society.
- Mindes F., Young J.F., Darwin D.,2003.”Concrete”, Prentice Hall, USA
- Postacıoğlu B., 1987. Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul 404
- Shi C., Zheng K., 2007. A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. Resources, Conservation and Recycling, 52, 234-247
- Smith W. F., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (Çev. N. Kınıkoğlu), Literatür Yayıncılık,855, İstanbul.
- Struble L., Skanlly J., Mindess S., 1986. A reveiw of the cement-aggregate bond, Cement and Concrete Research, 10:953-958

- Şişecam Topluluğu, 2010, Çalışma Raporları, İstanbul.
- Taylor G. D., 1983. Materials of Construction, Second Edition, Construction Press, 326
- TS EN 197, 2012. Genel çimentolar- bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 11222, 2001. Beton- hazır beton- sınıflandırma, özellikler performans üretim ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3452, 1984. Beton kimyasal katkı maddeleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3456, 2002. Betona hava sürükleyici katkı maddeleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620, 2003, Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 934-2, 2002, Beton, harç ve şerbet için kimyasal katkıları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL-1: <http://tonbullar.com.tr/index.php/293> (ziyaret tarihi: 05.03.2017)
- URL-2: http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Tarih/BeTarihi.pdf (ziyaret tarihi: 05.03.2017)
- URL-3: <http://technoblog43.blogspot.com/2018/02/blog-post.html> (ziyaret tarihi: 05.03.2017)



ÖZGEÇMİŞ

22.11.1975 de Tavşanlı’da doğan Özden ÖZGÜDEN, ilk ve orta öğretimini Milâs’ta tamamladı. 1992 yılında İzmir Atatürk Lisesi’nden mezun oldu. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü bitirdi. Yumurtalık Sugözü Termik Santrali, BTC Boru Hattı Ceyhan Deniz Terminali, İskenderun Demir Çelik Fabrikası’nda inşaat mühendisliği yaptı. 2010 yılından itibaren ise; Atatürk’ün direktifleriyle 1935 yılında Türkiye İş Bankası tarafından kurulan ŞİŞECAM’da çalışmakta olan Özden ÖZGÜDEN evli ve iki çocuk babasıdır.