



**HAZIR BETON SANTRALLERİNDE OLUŞAN ÇAMUR VE  
ATIKSUYUN TEKRAR KULLANIMI**

**REUSE OF WASTE WATER AND SLUDGE FROM READY  
MIXED CONCRETE PLANTS**

**ALİ GÜNER**

**PROF. DR. AYŞENUR UĞURLU**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

Ali GÜNER'in hazırladığı "Hazır Beton Santrallerinde Oluşan Çamur ve Atıksuyun Tekrar Kullanımı" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nuray YILDIZ

Başkan



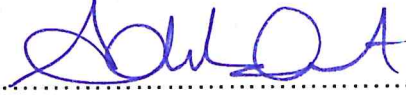
Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU

Danışman



Prof. Dr. Aydın AKBULUT

Üye



Doç. Dr. Müge ANDAÇ ÖZDİL

Üye



Dr. Öğretim Üyesi Hatice ŞENGÜL

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Ensttü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

26 / 06 / 2018



ALİ GÜNER

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30.05.2018



ALİ GÜNER

## ÖZET

### HAZIR BETON SANTRALLERİNDE OLUŞAN ÇAMUR VE ATIKSUYUN TEKRAR KULLANIMI

**Ali GÜNER**

**Yüksek Lisans, Çevre Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU**

**Haziran 2018, 63 sayfa**

Bu çalışmada, hazır beton santrallerinde üretim fazlası ortaya çıkan ve kullanılmayan betonlar ile çökeltme havuzlarında toplanan çamur ve atıksuyun atık durumundan çıkartılarak agrega ve geri dönüşüm suyu olarak tekrar kullanılma olanakları araştırılmıştır. Hazır beton sektöründe, farklı zamanlarda üretilen aynı sınıf betonun, taze beton ve sertleşmiş beton üzerinde yapılan kalite testlerinde benzer sonuçlar göstermesi ve süreklilik arz etmesi istenmektedir. Bu sebeple geri dönüşüm agregasının beton üretiminde sürekli olarak kullanılabilmesi ve beton testlerinde aynı kalite sonuçlarının elde edilebilmesi için, yapılan çalışmada atık beton ve beton çamurunun yıkama ve eleme işlemlerine tabi tutulması ile elde edilen geri dönüşüm

agregasından %30 oranında, çökme havuzunda toplanan su yoğunluğu şebeke suyu ile seyreltilerek  $1,04 \text{ g/cm}^3$  değerine sabitlenerek üretimde tekrar kullanılmıştır. Doğal agrega-geri dönüşüm agregası karışımı kullanılarak C25/30 ve C30/37 basınç dayanım sınıflarına ait beton numuneleri farklı şehirlerde yer alan iki tesiste hazırlanmış olup beton numuneleri üzerinde Türk Standartları Enstitüsü'nün belirlediği standartlar çerçevesinde testler yapılmıştır. Çalışmada, doğal agrega su emme oranları %0,21-2,50 aralığında iken geri dönüşüm agregası su emme oranı %5-10 aralığında yüksek oranlara sahip olduğu, geri dönüşüm agregaları özkütlesinin doğal agregalara oranla %15 daha düşük olduğu, geri dönüşüm iri agregalarının aşınma dayanım testlerinde Los Angeles katsayısı oranları doğal agregalara göre %30 daha fazla ve geri dönüşüm agregalarının aşınmaya karşı dirençlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Taze beton testlerinde, geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen beton numuneleri birim kütleleri şahit beton numunelerine göre  $0,65-0,70 \text{ kg/dm}^3$  daha düşük olduğu çökme değerlerinin ise şahit beton numunesine oranla %7-16 düşük olduğu tespit edilmiştir. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanım testlerinde; Tesis 1'de üretilen C25/30 sınıfı betonda 28 günlük basınç dayanım değeri  $30,2 \text{ MPa}$  olup  $30 \text{ MPa}$  sınır değeri sağladığı, C30/37 sınıf betonda ise 28 günlük basınç dayanım değeri  $37 \text{ MPa}$  olarak ölçülmüş ve  $37 \text{ MPa}$  sınır değeri sağladığı tespit edilmiştir. Tesis 2'de üretilen beton numunelerinin basınç dayanım testleri sonuçlarının sınır değerlere yakın olduğu ancak sağlamadığı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında beton santrallerinde oluşan atıksuyun tamamının sürekli olarak üretimde kullanımının mümkün olduğu, geri dönüşüm agregasının yıkama ve eleme işlemlerine tabi tutulduktan sonra kullanılabilceği tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Atık betonlar, beton yıkama, eski beton kırıkları, geri dönüştürülmüş agregalar, geri dönüştürülmüş betonlar, geri dönüşüm suyu.

## **ABSTRACT**

# **REUSE OF WASTE WATER AND SLUDGE FROM READY-MIXED CONCRETE PLANTS**

**Ali GÜNER**

**Master of Science, Department of Environmental Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU**

**June 2018, 63 pages**

In this study, possibility of reuse of aggregate and recycled water as sludge and wastewater collected from ready-mixed concrete plants and unused concrete and sedimentation pools were investigated. It is demanded that the ready-mixed concrete industry show similar results and consistency in the quality tests made on the same class concrete, fresh concrete and hardened concrete produced at different times. For this reason, in order to be able to use the recycling aggregate continuously in the production of concrete and to obtain the same quality results in the concrete tests, the recycling aggregate obtained by washing and sifting the waste concrete and concrete slurry in the work carried out, the concentration of water collected in the sedimentation pool was diluted with mains water and fixed to 1.04 g/cm<sup>3</sup> and reused



in production. Concrete samples belonging to C25/30 and C30/37 compressive strength classes were prepared in two different cities using natural aggregate-recycling aggregate mixture and tests were made on concrete samples within the framework of standards determined by Turkish Standards Institute. In the study, it is found that the natural aggregate water absorption ratios are in the range of 0.21-2.50% while the recycling aggregate water absorption ratios have high rates in the range of 5-10%, and the specific gravity of recycle aggregates is 15% lower than the natural aggregates. In the abrasion resistance tests of the recycled coarse aggregates, the Los Angeles coefficient ratios were found to be 30% higher than the natural aggregates and the recycling aggregates' resistance to abrasion was lower. In fresh concrete tests, it is determined that the unit weight of concrete samples produced by recycling aggregate are lower by 0.65-0.70 kg/dm<sup>3</sup> than the witness concrete samples, and the slump values are 7-16% lower than the witness concrete sample. In compressive strength tests made on hardened concrete specimens; in the case of C25/30 class concrete produced in the 1st plant, the 28 day compressive strength value was 30.2 MPa and the 30 MPa limit value was provided. In the C30/37 class concrete, the 28 day compressive strength value was measured as 37 MPa and it was found to provide 37 MPa limit value. It is determined that results of compressive strength tests of concrete specimens produced in the facility 2 are close to the limit values but did not provide the limit values. It has been determined that all of the wastewater generated in the concrete plants can be used continuously in the production process after being subjected to the washing and screening processes of the recycling aggregate.

**ANAHTAR KELİMELER:** Waste concrete, wash of concrete, old concrete fractures, recycled aggregates, recycled concretes, recycled water.

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmamda değerli katkı ve eleőtirileriyle yol gÖsteren, sonsuz sabırla beni her zaman alıőmaya teşvik eden ve gÜven veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşenur UğURLU'ya, Önemli yorum ve değerlendirmeleri ile katkıda bulunan jÜri üyeleri Sayın Prof. Dr. Nuray YILDIZ'a, Sayın Prof. Dr. Aydın AKBULUT'a, Sayın Doç. Dr. Müge Andaç ÖZDİL'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hatice şENGÜL'e ve her zaman yanımda olan Ailem'e içtenlikle teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
ÇİZELGELER.....	viii
ŞEKİLLER .....	ix
KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi.....	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Hazır Beton Sektörü Tarihi ve Uygulamaları .....	3
2.1.1 Hazır Beton Üretimi.....	4
2.2 Hazır Beton Santrallerinin Çevresel Etkileri.....	7
2.2.1 Hazır Beton Santrallerinde (H.B.T.) Atık Su Ve Beton Çamurunun Tekrar Kullanımı .....	12
2.2.2 Mevcut Durumda H.B.T.'lerde Beton Çamuru ve Atık Suyun Tekrar Kullanımı 16	
2.3 Literatür Taraması .....	21
3. MATERYAL ve YÖNTEMLER.....	25
3.1 Atık Çamurun ve Atıksuyun yeniden Kullanılması.....	25
3.2 Analiz Metodları .....	30
3.2.1 Agrega Deneyleri.....	30
3.2.1.1 Elek Analizi Deneyi .....	30
3.2.1.2 Özgül Kütle ve Su Emme Deneyleri.....	31
3.2.1.3 Los Angeles (Aşınma Dayanımı) Deneyi .....	33
3.2.2 Taze Beton Deneyleri.....	33
3.2.2.1 Taze Beton Yoğunluk Deneyi.....	33

3.2.2.2	Çökme (Slump) Değerinin Belirlenmesi .....	34
3.2.3	Sertleşmiş Beton Basınç Dayanım Deneyi.....	36
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI .....	37
4.1	Agrega Deneyleri.....	37
4.1.1	Elek Analizi Sonuçları.....	37
4.1.2	Özgül Kütle ve Su Emme Sonuçları .....	41
4.1.3	Los Angeles (Aşınma Dayanımı) Deneyi Sonucu .....	43
4.2	Geri Dönüşüm Suyu Özellikleri .....	44
4.3	Üretilen Betonun Özelliklerinin Belirlenmesi .....	45
4.3.1	Taze Beton Yoğunluk ve Çökme Deneyi Sonuçları.....	46
4.3.2	Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları.....	47
5.	SONUÇLARIN TARTIŞILMASI .....	50
5.1	Geri Dönüşüm Agregası ve Geri Dönüşüm Suyuna Yönelik Değerlendirme	50
5.2	Beton Kalitesine Yönelik Değerlendirme .....	51
5.3	Geri Kazanım Sistemine Yönelik Değerlendirme .....	51
5.4	Çevresel Kazanımlar .....	52
5.5	Sonuçlar .....	55
5.6	Gelecek Çalışmalar İçin Öneri.....	57
	KAYNAKÇA.....	60
	ÖZGEÇMİŞ .....	63

## ÇİZELGELER

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> Hazır Beton Tesislerinde Oluşan Başlıca Atık Kodları Ve Tanımları.....	9
<b>Çizelge 2.2</b> Atık Beton Yönetim Stratejisi .....	15
<b>Çizelge 2.3</b> Türkiye’de Yıllara Göre Hazır Beton Üretim Miktarları .....	17
<b>Çizelge 2.4</b> 1998-2016 Yılları Arası Türkiye’de Faaliyet Gösteren Hazır Beton Tesisleri .....	18
<b>Çizelge 3.1</b> C25 Sınıfı 1 m <sup>3</sup> Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları .....	26
<b>Çizelge 3.2</b> C30 Sınıfı 1 m <sup>3</sup> Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları .....	28
<b>Çizelge 3.3</b> Deneyde Kullanılan Agregaya Boyutları .....	29
<b>Çizelge 4.1</b> İnce Agregaya (0-4 mm) Elek Analizi Sonuçları .....	37
<b>Çizelge 4.2</b> Orta Agregaya (4-11,2 mm) Elek Analizi Sonuçları .....	38
<b>Çizelge 4.3</b> Kaba Agregaya (11,2-22,4 mm) Elek Analizi Sonuçları .....	39
<b>Çizelge 4.4</b> Çok İnce Malzeme Muhtevası Analiz Sonuçları .....	40
<b>Çizelge 4.5</b> Doğal ve Geri Dönüşüm Agregası Özgül Kütle ve Su Emme Oranları...	42
<b>Çizelge 4.6</b> Los Angeles Deney Sonuçları.....	43
<b>Çizelge 4.7</b> Taze Beton Birim Kütle ve Çökme Değerleriaa .....	46
<b>Çizelge 4.8</b> Kıvam Sınıfları .....	47
<b>Çizelge 4.9</b> Birim Hacim Kütle Sonuçları .....	47
<b>Çizelge 4.10</b> Basınç Dayanım Sonuçları .....	48
<b>Çizelge 5.1</b> Çökeltme Havuzu Analiz Sonuçları.....	53
<b>Çizelge 5.2</b> Atık Beton Çamur Analizi Sonuçları .....	54
<b>Çizelge 5.3</b> Atıkların Potansiyel Kullanımı ve Karşılaşılan Kısıtlamalar .....	58

## ŞEKİLLER

### Sayfa

<b>Şekil 2.1</b> Çökme Havuzu.....	10
<b>Şekil 2.2</b> Üretimin Fazla Olmadığı Dönemde Çökme Havuzu.....	11
<b>Şekil 2.3</b> Çamur Kurutma Alanı.....	12
<b>Şekil 2.4</b> Standart Çökme Tankı .....	13
<b>Şekil 2.5</b> Atık Yönetim Stratejisi .....	16
<b>Şekil 3.1</b> 1 metreküp C25/30 Sınıfı Betonun Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları .....	27
<b>Şekil 3.2</b> 1 metreküp C25/30 Sınıfı Betonun Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları .....	29
<b>Şekil 3.3</b> Düzgün Çökme / Kayma Meydana Gelmiş Çökme.....	35
<b>Şekil 3.4</b> Çökmenin Ölçülmesi .....	35
<b>Şekil 4.1</b> 0-4 mm ince agreganın elekten geçen yüzde değerleri.....	38
<b>Şekil 4.2</b> 4-11,2 mm orta agreganın elekten geçen yüzde değerleri .....	39
<b>Şekil 4.3</b> 11,2-22,4 mm kaba agreganın elekten geçen yüzde değerleri .....	40
<b>Şekil 5.1</b> Çökme Havuzu Karıştırıcı Sistem.....	52

## KISALTMALAR

### Kısaltmalar

A.B.	Avrupa Birliği
A.S.T.M.	American Society for Testing and Materials
E.R.M.C.O.	Europe Ready Mixed Concrete Organization
G.D.A.	Geri Dönüşüm Agregası
L.A.	Los Angeles Katsayısı
T.H.B.B.	Türkiye Hazır Beton Birliği
T.S.E.	Türk Standartları Enstitüsü

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Geçmişten bugüne nüfus artışı sebebiyle insanoğlu yeni teknolojilere ihtiyaç duymuş ve buna bağlı olarak yeni endüstri dalları ortaya çıkmış, mevcut endüstriler kapasitelerini artırmışlardır. Artan nüfus şehirleşmenin artmasına ve yapılaşmanın hızlı bir şekilde genişlemesine neden olmuştur. Kentleşme ve gelişen endüstri akımıyla birlikte, başta su olmak üzere doğal kaynaklara olan ihtiyaç artmıştır. Bu durum kaynakların hızlı bir şekilde kullanılarak tüketilmesine ve kirlenmesine yol açmıştır. Taleplerin paralelinde doğal kaynakların korunması, atıkların minimize edilmesi, geri dönüştürülebilir atıkların tekrar kullanılması, atıksuların arıtılması gibi bir çok önlemlerde beraberinde değer kazanmıştır.

Kentleşme ve teknolojiye ki meydana gelen bu gelişmeler ile birlikte endüstriyel, tarımsal ve diğer atıksular en yakın alıcı ortama verilmektedir. Alıcı ortamlar deniz, ırmak, göl gibi alanlar olup, bu ortamlarda yaşayan canlılar ve organizmalar üzerinde atıksular olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Bu sebeple atıksuyun çevreye olumsuz etkilerinin kontrol edilmesi önem arz etmektedir.

Kentleşme ve endüstrileşme sürecinde; alt ve üst yapıların yapılması için gerekli olan hazır betona duyulan ihtiyaç, hazır beton sektörünün hızlı bir şekilde büyümesine sebep olmuştur. Hazır beton sektöründe bir çok gelişme yaşanırken çevresel sorunlarda beraberinde ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların önüne geçilmesi veya en aza indirgenmesi amacıyla bir takım yasal zorunluluklar getirilmiştir.

Atıksu yönetimi hazır beton üretim endüstrisi için büyüyen bir sorun haline gelmektedir. Deşarj suyu kalitesini düzenleyen yeni düzenlemeler, beton santrallerinin atık suyunun daha fazla tekrar kullanılmasını gerekli kılmakta ve birçok tesis sıfır atık hedefinde ilerlemektedir [1].

Sıfır Atık Kavramı, kentlerin sadece tüketiciler değil, aynı zamanda hammadde sağlayıcıları olması gerektiği fikrinde kentsel metabolizma düşüncesine



odaklanmaktadır. Metabolizma, canlılar içinde ortaya çıkan ve varlık için gerekli enerji ve besin maddelerini sağlayan bir dizi fizyolojik süreci ifade eder [2]. Beton santralleri hazır beton üretimi yanında çeşitli faaliyetler için suya ihtiyaç duyduklarından dolayı büyük miktarda su tüketicisidir [3].

Hazır beton santrallerinde; mikserlerin ve santral sahasının yıkanmasından kaynaklanan atıksuların toplandığı genelde üç kademedan oluşan çökeltme havuzları yer almaktadır. Bu havuza mikserlerin içerisinde kalan üretim fazlası betonlar ile mikser lastiklerinin taşıdığı katı maddelerde gelmektedir. Çökeltme havuzlarında toplanan atıksu ve çamur, hazır beton santrallerinin temel iki atığı olarak önem göstermektedir.

Oikonomou (2005), geri dönüşüm agregalarının pilot ölçekli çalışmalar yapılarak standart limit değerleri çerçevesinde hazır beton üretiminde tekrar kullanılmasının, hazır beton sektörünün daha ekonomik ve çevre dostu bir sektör haline geleceğini belirtmiştir [4].

## **1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Günümüzde Atık Yönetimi sürecinde en önemli problemlerden birisi, oluşan atık miktarının artması ve çevreye olumsuz etkiler göstermesidir. Oluşan atıkların bertarafının maliyet ve yer gerektirmesi, sürdürülebilir atık yönetimi ile ters düşmektedir. Bu sebeple bu atıkların geri dönüştürülerek üretimde kullanılması hem ekonomik hemde çevre açısından atık yönetimi politikasını başarıya ulaştıracaktır.

Bu tez çalışmasında, hazır beton santrallerinde bertarafı temel sorun haline gelen atıksu ve çamurun; üretimde tekrar kullanılabilirliğinin incelenerek oluşan çamur miktarının minimize edilmesi ve çökeltme havuzunda toplanan atıksuyun üretimde tekrar kullanımının sürekli hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Hazır Beton Sektörü Tarihi ve Uygulamaları

Türk Standartları Enstitüsü'ne göre Beton; "Çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup, zamanla çimentonun hidrasyonu nedeniyle katılaşarak sertleşen bir yapı malzemesi" olarak tanımlanmaktadır [5].

Beton malzemesi insanoğlunun eski yaşam tarzını ve o dönemlerdeki kültür ve medeniyet seviyesinin günümüze aktarılmasında önemli bir yer teşkil etmektedir. Eski antik yerleşim yerleri, kaleler, saraylar, piramitler, Çin Seddi gibi yapıların günümüze kadar ayakta kalabilmelerinin nedeni yapılarında hidrolik bağlayıcı malzemelerin kullanılmasıdır. Günümüzde kullanılan betonun reçetesi eskiye göre farklılık gösterse de hidrolik bağlayıcıların kullanılması, beton ürününün M.Ö. 3000 yıllarına dayanmakta olduğunu göstermektedir.

Günümüz hazır betonunun tarihi ise 1800'lü yılların başında ilk yapay hidrolik bağlayıcı olan çimentonun Louis Vicat tarafından üretilmesi ile başlamıştır. Modern portland çimentosu ise 1824 yılında üretilmiş olup portland çimentosunun kullanıldığı ilk betonarme yapı 1857 yılında inşa edilmiştir [6].

Çimentonun yapılaşmada kolaylık sağlaması nedeniyle hazır beton kullanımı yayılmaya başlanmıştır. 1900'lerin başında ilk "hazır beton" patenti alınmıştır. Betonun sektörde kullanılmasıyla birlikte üretim teknolojisinde birçok gelişme yaşanmış ve kullanım alanı genişlemiş beton, dünyada sudan sonra en çok tüketilen malzeme haline gelmiştir [7].

Hızla artan nüfus artışı ve beraberinde getirdiği iş, üretim, barınma gibi ihtiyaçların ortaya çıkması inşaat sektörünün de hızla ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Hazır beton sektörünün hızlı bir şekilde büyümesi ve endüstrileşmesi ekonomik açıdan olumlu bir gelişme olsa da beraberinde getirdiği çevresel sorunlar dikkate değer önem arz etmektedir.

### 2.1.1 Hazır Beton Üretimi

Hazır betonun temel bileşenlerini;

- Agregası,
- Çimento,
- Su,
- Mineral katkı,
- Kimyasal katkı olarak nitelendirebiliriz.

Agregası, doğal taş olarak da bilinen kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) temelli malzemedir. Agregası taş ocaklarında patlatma veya sökme işlemleriyle temin edilerek kırma-eleme tesislerinde kırılarak tane çapına göre eleme işlemine tabii tutulur. Tane çapı büyüklüğüne göre ince malzeme (kum, kırma kum, toz vb.) ve kaba malzeme (çakıl, kırmataş vb) olarak sektöre dağılımı yapılır.

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğinden alınan bilgiler doğrultusunda çimento üretimi proses özeti şu şekildedir: "Çimento, su ile birleşerek hidrotasyon tepkimesi gerçekleşir. Su ile tepkimeye giren çimento sertleşerek hidrolik bağlayıcı görevi üstlenir. Böylece karışımdaki agregayı bağlayarak en başta kıvamlı olan çimento su karışımı sertleşerek betonu oluşturur. Üretilmek istenen hazır betonun sınıfına göre değişken olmakla birlikte yaklaşık %20'sini çimento oluşturmaktadır. Üretimde kullanılacak çimentonun TS EN 197-1 standartlarına uygunluğu kontrol edilmektedir. Kalker, kil ve marn hammadde olarak ocak bölgesinde taşıyıcı araçlara yüklenir. Ocaktan getirilen hammaddelerin boyutları tozsuzlaştırma ünitesi ile donatılmış bir çeneli kırıcıda, 25x25 milimetreye düşürülür. Kırılan hammaddeler çeşitlerine göre stoklanır. Tozlar transfer noktalarındaki torbalı filtrelerle geri kazanılır. Alınan hammaddeler değirmende öğütülerek farin haline getirilir. Çimento hammaddelerinin dikkatle orantılanmış bir karışımı olan farinin ana bileşenleri kireç ve silistir. Kireç daha ziyade kalker ve marn gibi kalsiyum karbonat içeren kayalardan elde edilir. Silis için ise başlıca kaynak kildir. Bunları alüminyum ve demir oksit takip eder. Daha az miktarlarda magnezyum ve alkali oksitler gibi diğer maddeler de

bulunur. Farin silosunda tartılarak alınan farin, siklonlardan oluşan bir ön ısıtıcı kuleye beslenir. Farin 30°C'den 1000°C'ye kadar ısıtılarak %90 oranında kalsine olur. Tamamen kapalı bir sistem olup çevreyi etkileyici hiçbir madde yaymaz. Farin, fırında pişerken hammadde içerisindeki oksitler önce serbest hale gelirler ve sonra sıcaklık yükseldikçe aralarında bileşikler oluştururlar. Ön ısıtıcıdan gelen farin döner fırında 1500°C'de pişirilerek kalsine edilebilmesi için granüle hale getirilir ve bu işlem düşey değirmenlerde veya bilyalı değirmenlerde gerçekleştirilir. Çıkan ürüne ise klinker denir. 1300°C'de fırından çıkan klinker soğutularak sıcaklığı 100°C'ye düşürülür ve öğütme sırasında değirmen içine basınçlı su verilerek sıcaklığın artması önlenmiş olur. Daha sonra bu klinker, klinker stok holünde toplanır. Soğutucudan çıkan klinker çimento üretiminde bir ara ürün sayılır ve çimento klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile öğütülmesi sonucu elde edilir. Klinker ve alçının öğütülmesinde daha çok bilyalı değirmenler kullanılır. Yaklaşık 3 m çapında çelik silindir şeklindeki değirmenlerde hacimlerinin üçte birine kadar çelik ezici bilyalarla doldurulmuş bölmeler bulunur. Silindir dönerken bilyalar klinker tanelerine çarparak onları ufalar. Son bölmede istenilen incelik elde edilmiş olur. Klinkere öğütme sırasında kütlece %3-5 arası kalsiyum sülfat katılır. Bu işlem çimentonun su ile karıştırıldığında kimyasal reaksiyonların ve katılma sürecinin kontrolü bakımından zorunludur ve bu ürün silolara gönderilir" [8].

Hazır beton üretiminde katkı maddeleri, beton özelliklerini geliştirmek veya değiştirmek amacıyla, değişken dış faktörlere uyum sağlamak veya istenen koşullara getirmek amacıyla kullanılır. Sektörde kullanılan katkıları, kimyasal ve mineral olmak üzere iki çeşittir.

Kimyasal katkıları; üretilen betona göre değişiklik göstermekle birlikte proje amaçlı üretilen betonlarda çok daha farklı çeşit kimyasal katkı kullanılabilir. Sektörde kullanılan başlıca kimyasal katkıları aşağıdaki gibidir.

- Priz Geciktiriciler: Hazır betonun katılma süresini uzatarak betonun döküleceği alana ulaşana kadar transmikser içerisinde katılmasını engeller.

- Priz Hızlandırıcılar: Hazır betonun katılaşma süresini azaltarak betonun hızlı bir şekilde döküleceği kalıp içerisinde kontrollü bir şekilde donmasının sağlanması amacıyla kullanılır. Bir diğer kullanım amacı ise soğuk havalarda betonun donmasını engellemek için kullanılır.
- Antifirizler: Beton içerisindeki suyun soğuk hava koşullarında donmasını engeller. Böylece beton karışımındaki çimentonun olağan seyrinde katılaşması sağlanmış olur.
- Su Azaltıcılar: Üretilen betonun daha az su kullanılarak üretilmesi sağlanır ve betonun dayanımı artar. Ancak bu kimyasalın kullanımında dozaj çok önemlidir. Kimyasal kullanımı arttıkça betonun dayanıklılığının artmasına rağmen kırılganlığı da artar.
- Hava Sürükleyici Katkılar: Beton içerisinde hava kabarcıkları oluşturma mekanizmasıyla betonun geçirimsizliğini artırır ve donmaya karşı direncini yükseltir.

Mineral Katkılar; öğütülmüş ve ince taneli cüruf, uçucu kül, silis dumanı gibi maddelerdir. Mineral katkıların belirli oranda kullanılması beton dayanımını artırırken fazla kullanılması durumunda beton kalitesini düşürmektedir. Hazır beton santralleri mineral katkı ihtiyacını büyük bir oranda termik santrallerin yanma sonucu çıkan cüruflarından sağlamaktadır.

Karma suyu, sektörün en önemli ihtiyacıdır. Su ile kimyasal tepkimeye giren çimento sertleşerek agregaya ile hidrolik bağlayıcılık görevini gerçekleştirmiş olur. Suyun kimyasal özellikleri doğrudan beton kalitesine etki eder. Bu sebeple üretimde kullanılacak suyun analiz edilerek üretim için gerekli olan parametrelerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir.

Hazır beton agregaya, çimento, su, minarel ve kimyasal katkıların belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilir. Genel olarak hazır betonun %70'ini agregaya, %10'luk bölümünü çimento, %18'lik kısmını su ve %2 lik kısmını kimyasal ve

minarel katkıları oluşturmaktadır. Üretilen betonun sınıfına göre farklı reçeteler mevcut olmakla birlikte belirtilen bu oranlar reçeteye göre farklılık göstermektedir.

Hazır beton santrallerinde stok sahasında yer alan agrega yükleyici iş makineleri (loder) ile bunkere yüklenir. Bunkere yüklenen malzeme tane çapına göre otomatik tartı ile tartılarak konveyör bantlarla panmikserlere alınır. Çimento ve su silolarda stoklanır. Otomasyon sistemi reçeteye uygun olarak çimento ve suyu tartarak panmikser içerisine alır. Beton sınıfı, transfer mesafesi, hava sıcaklığı, donma süresi gibi durumlara göre kimyasal katkı tanklarından kimyasal alınarak panmikser içerisinde karışım sağlanır. Panmikser içerisinde yer alan bıçaklı karıştırıcılar ile homojen karışım sağlanır ve transmikserler doldurularak uygulama yapılacak alana sevkiyat yapılır.

## **2.2 Hazır Beton Santrallerinin Çevresel Etkileri**

Hazır beton santrallerinde gerekli önlemler alınmadığı takdirde havaya, suya, toprağa doğrudan veya dolaylı olarak bir çok olumsuz etki meydana gelmektedir. Bu sebeple kanun, yönetmelik ve taslaklarla sektöre kısıtlamalar ve zorunluluklar getirilmiştir. Santrallerin çalışma izni alabilmeleri için yönetmeliklerde belirtilen önlemleri almaları gerekmektedir. Yasal yaptırımların uygulanabilirliğinin sağlanması amacıyla, Zabıta Müdürlükleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve İl Müdürlükleri, İl Özel İdareleri, Belediye yönetimleri gibi bir çok kurum ve kuruluş ortaklaşa hareket etmektedir. Tesislere yapılan denetimler kurumlar arası entegre olarak yapılmaktadır.

Santrallerde üretimde kullanılan agreganın depolandığı stok alanları bulunmaktadır. Yükleyici makinelerin malzemeyi alıp bunkere yükleme yaparken toz emisyonu oluşmaktadır. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kapsamında bu alanlarda sulama sistemi bulunmak zorundadır. Üretimde kullanılan ince malzemenin yüzeyi nemli tutularak rüzgar sebebiyle veya makineler ile çalışma yapıldığında tozuma engellenmektedir.

Çimentonun depolandığı silolarda filtre sistemleri bulunmaktadır. Silobas ile çimento yüklemesi yapılırken silo içerisinde basınç oluşmaktadır. Bu filtreler içerideki havanın

dışarı çıkmasına izin verirken çimento tanelerinin silo dışına çıkmasını engeller. Filtre sistemleri ile silolardan kaynaklı olası hava kirliliği etkisi minimize edilmektedir.

Üretim için malzeme getiren araçlar veya ürünü sevk eden transmikseler hareket halindeyken tesis içerisinde tozuma sebep olmaktadır. Havaya kalkan toz tesis içerisinde çalışanlara ve tesis çevresine zarar vermektedir. Bu sebeple tesis içi yollar arazöz veya sulama sistemleri ile nemlendirilmektedir.

Yukarıda belirtilen hava kirliliği ile ilgili sorunların kontrolü için her iki yılda bir olmak üzere emisyon ölçümleri yapılmaktadır. Ölçümler, bakanlık tarafınca akreditasyonu olan laboratuvar tarafından ölçülmektedir. Tesislerde PM10 ve çöken toz ölçümleri yapılmaktadır. PM10 ölçümü, 10 mikron ve daha küçük partiküllerin ölçümünü içerir. Çöken toz ölçümü ise; tesiste emisyon kaynağı oluşturan noktalar yakınına ve saha köşelerine ölçüm aparatları yerleştirilerek yapılır. Ölçüm aparatları ayda bir kez değiştirilmek suretiyle iki ay süresince bulunduğu noktada çöken toz ölçümü yapar. Ölçüm süresi sonunda ilgili laboratuvar sonuçları değerlendirilerek Emisyon Ölçüm Raporunu yazar ve bakanlığa bildirilir. Bakanlık ölçüm sonuçlarını kontrol eder ve iyileştirilme yapılması gereken durumlarda işletmeler çalışmalarını yürütür ve gerekli önlemleri alır.

Beton santrallerinde üretimden ziyade daha çok makine, araç ve teçhizat bakımlarından kaynaklanan bir diğer çevresel etki ise tehlikeli atıklardır. Atık Yönetimi Yönetmeliği kapsamında tesislerde oluşan atıklar, Bakanlıkça fiziki şartları belirlenmiş atık alanlarında geçici depolanmakta ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığından lisans almış bertaraf firmaları ile atıkların bertarafı sağlanmaktadır.

Beton santrallerinde oluşan başlıca atık kodları Çizelge 2.1'de yer almaktadır [9].

**Çizelge 2.1** Hazır Beton Tesislerinde Oluşan Başlıca Atık Kodları Ve Tanımları

<b>Atık Kodu</b>	<b>Atık Açıklaması</b>
13 02 08	Diğer Motor, Şanzıman ve Yağlama Yağları
15 01 10	Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar
15 02 02	Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri (başka şekilde tanımlanmamış ise yağ filtreleri), temizleme bezleri, koruyucu giysiler
16 01 07	Yağ Filtreleri
20 01 21	Floresan lambalar ve diğer cıva içeren atıklar
08 03 17	Tehlikeli Maddeler İçeren Atık Baskı Tonerleri
16 06 02	Nikel Kadmiyum Piller
18 01 03	Enfeksiyonu Önlemek Amacı ile Toplanmaları ve Bertarafı Özel İşleme Tabi Olan Atıklar
20 01 40	Metaller
20 01 01	Kağıt-Karton
10 13 14	Atık Beton ve Beton Çamurları
16 01 03	Ömrünü Tamamlamış Lastik

Santrallerde üretim, bakım ve onarım gibi işlemlerden kaynaklanan atıklar; üstübü, eldiven, bez, hava filtreleri, yağ filtreleri, kimyasal madde kutuları, atık motor yağı, atık hidrolik yağ, mazot tankı bakımından çıkan çamur, ömrünü tamamlamış lastik, kullanım ömrü sona ermiş akümülatörler, tehlikeli maddelerle kontamine olmuş metaller başlıcalarıdır. Bu tür atıkların toprak üzerine atılması durumunda toprak ve yeraltı suyu kirliliğine sebep olmaktadır. Bu sebeple bu tür atıklar üzeri ve yanları kapalı, zemini geçirimsiz malzemeyle kaplanmış, içerisinde kanallar ve kör kuyu bulunan atık alanlarında depolanmaktadır. Atık Yönetimi Yönetmeliği kapsamında atık üreticileri Endüstriyel Atık Yönetim Planı hazırlayarak bakanlığa başvuruda bulunur. Bu plan içerisinde gönderilen ve gönderilecek atıklara ilişkin bilgiler ve belgeler yer alır. Başvurya istinaden bakanlık tesisi denetler ve atık yönetim plan onayını verir.



Tehlikeli atıkların bertarafı yapıldıktan sonra bu işlemin bakanlığa bildirim yapılması gerekir. Böylece firmaların yıllık tehlikeli atık üretim miktarları takip edilir.

Beton santrallerinde oluşan ve çözümü konusunda sonuca varılamayan en büyük çevresel sorun atıksu ve atık beton ve beton çamurlarıdır. Beton santrallerinde saha yıkamaları, mikser yıkamalarından gelen suyun toplandığı 3 kademeli çökeltme havuzu bulunmaktadır. Bu havuzlarda bertaraf/gerikazanım yöntemine tabi olması gereken atık beton ve beton çamuru ile atık su oluşmaktadır. Şekil 2.1’de beton santrallerinde atıksuyun toplandığı çökeltme havuzu görüntüsü yer almaktadır.



**Şekil 2.1** Çökeltme Havuzu

Beton santrallerinde üretimin fazla olmadığı ya da yağışın fazla olduğu dönemlerde havuzda toplanan suyun yeterli miktarlarda kullanılamaması durumunda, havuzlarda yüksek miktarlarda suyun toplanması sonucu kontrolsüz atıksu deşarjı problemiyle karşılaşılmaktadır. Suyun yeterli miktarda kullanılamaması sonucu havuzda oluşan taşma Şekil 2.2’de görülmektedir.



**Şekil 2.2** Üretimin Fazla Olmadığı Dönemde Çökeltme Havuzu

Çökeltme havuzu tabanında toplanan çamur, transmikser içerisinde tesise getirilen üretim fazlası beton ve laboratuvar testlerinde kullanılan atık beton numunelerinin toplandığı çamur kurutma alanı görüntüsü Şekil 2.3'te yer almaktadır.

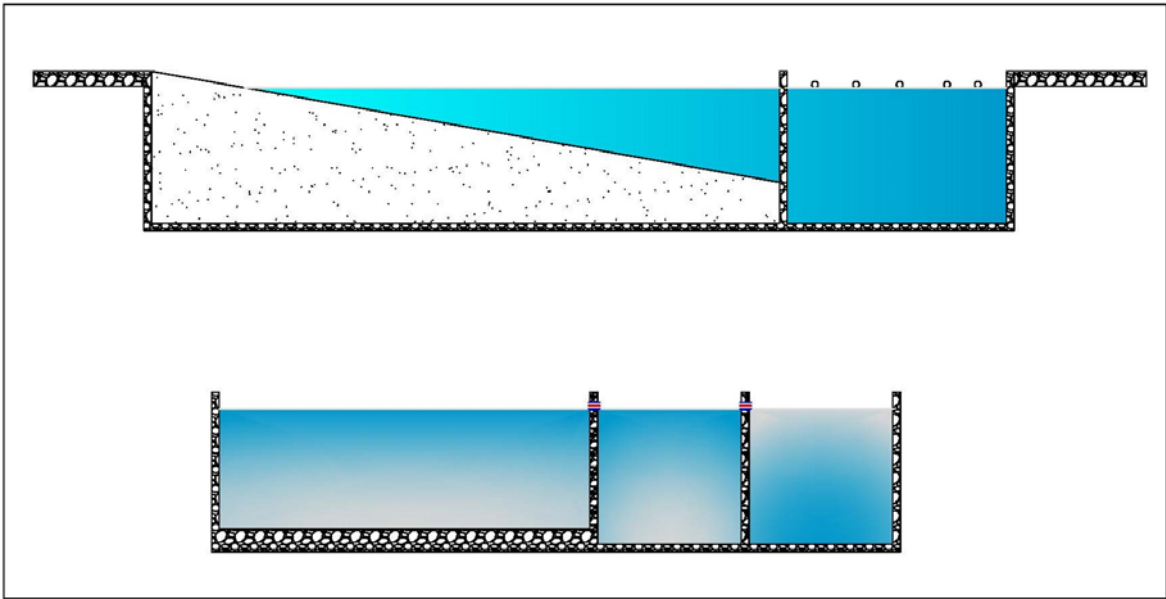


**Şekil 2.3** Çamur Kurutma Alanı

### **2.2.1 Hazır Beton Santrallerinde (H.B.T.) Atık Su Ve Beton Çamurunun Tekrar Kullanımı**

Beton santrallerinde bir kamyonun yıkama başına yaklaşık 500 litre su kullandığı tahmin edilmektedir. Tipik olarak, bir beton mikseri yıkaması günlük ortalama iki kez yapmakta olup tesiste 15 mikser çalışması durumunda, günde 15 000 litre yıkama suyunun oluşması beklenebilir. Ayrıca bu miktar yağmursuyu akışı ile gelen yüzeysel akış suyu, saha yıkama ve ünite yıkama işlemlerinden gelen su ile birleştirildiğinde, belirli bir iş günü içinde tipik bir hazır beton santrallerinde önemli miktarda atık su üretildiği görülür. Tipik bir hazır beton tesisi günde 500 m<sup>3</sup> beton üretirken 200 litre/m<sup>3</sup> beton bazında tesis, günde 10 000 litre su tüketmektedir. Kullanılan su miktarlarına bakıldığında hazır beton santrallerinde atıksuyun geri dönüşümlü olarak kullanılması önem arz etmektedir.

Beton santrallerinde önem arz eden bir diğer atık olan çamur, Şekil 2.4'te gösterilen çökeltme havuzlarında dipte biriken agrega, kullanım fazlası beton, saha yıkamasından ve araç lastikleri ile tesis içine taşınan toprak gibi malzemeleri içerir. Yapılan analizlere göre tehlikesiz atık olarak belirlenmiş olsa da içeriğinde ağır metal bulunması sebebiyle oluşan bu çamurun II. sınıf depolama tesislerinde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Ancak, beton santrallerinde oluşan atıksu ve çamurun bertarafı hem atık üreticisi hem de bertaraf tesisi için sorun teşkil etmektedir. Bertaraf yönteminin geniş arazi gerektirmesi, bertaraf maliyetini artırmakta ve yatırımcıları teşvik etmemektedir. Bu sebeple bu tür lisanslı bertaraf tesislerinin sadece birkaç şehirde faaliyet göstermesi Türkiye hazır beton sektörü için yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple çamurun da atık su gibi geri dönüşümlü olarak kullanılmasının zorunlu olacağı öngörülmektedir.



**Şekil 2.4** Standart Çökeltme Tankı

Ayrıca inşaat sektörünün gelişmesi ile büyük yerleşim yerlerinde doğal kaynakların tükenmesi, var olan doğal kaynakların yerleşim yerlerine uzak olması sebebiyle

taşıma maliyetlerinin artması, hazır beton üretiminin geri kazanılabilir kaynaklar ile yapılmasını zorunlu hale getirmiştir.

1985'lerin sonundan itibaren dünyada katılmış çimentonun inşaat ve yıkım alanlarından geri kazanımına yönelik çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Bunun yanında hazır beton santrallerinde taze (henüz katılmamış) ya da yeni katılmaya başlamış betonun geri kazanımı önem arz etmektedir. Bu atıkların yeniden beton üretiminde kullanımında bir düzenleme bulunmamakla birlikte, yeniden kullanımını etkileyen başlıca faktörler;

1. Yeni üretilen betonun içeriğindeki atık beton çamuru miktarı,
2. Atık beton çamurunun (ABÇ) yaşı,
3. Aktivatör ya da katkı dozajı,
4. ABÇ'nin depolama periyodudur.

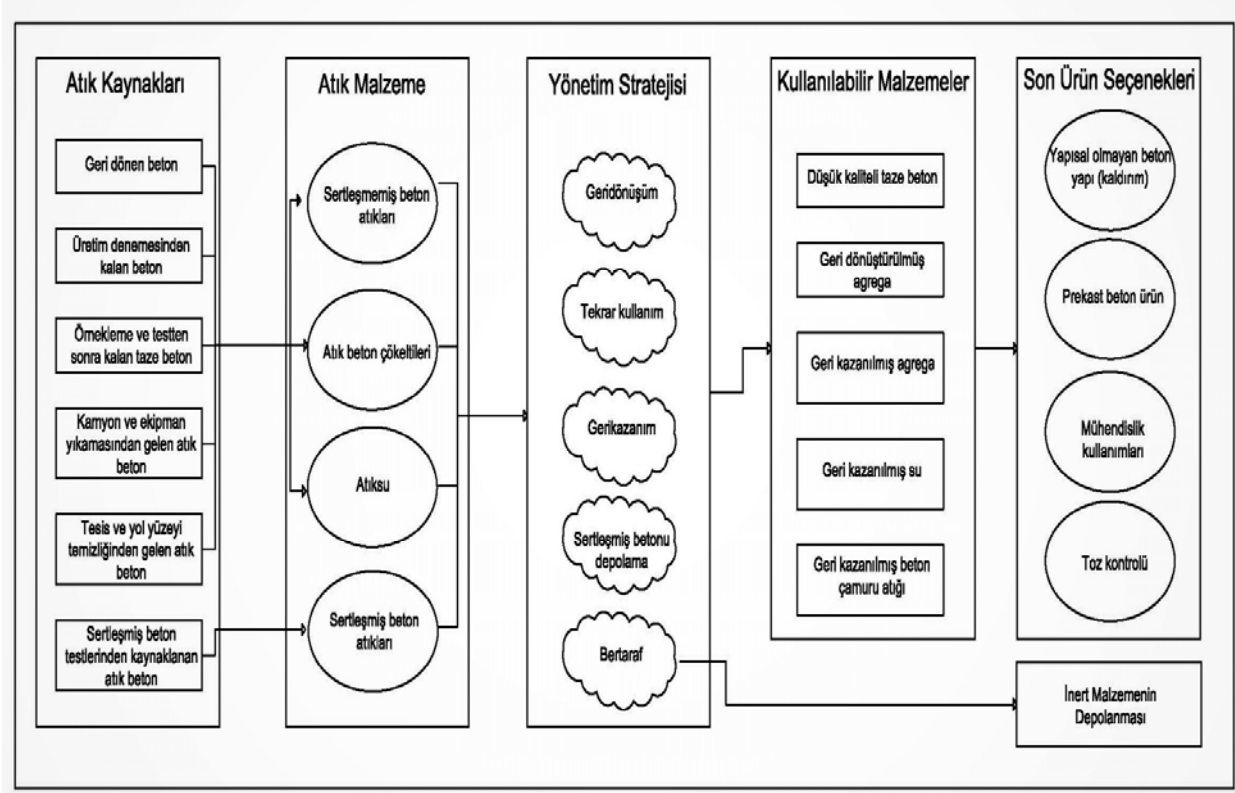
Kentsel perspektifte yılda 125 milyon ton taze betonun hazır beton üretim tesislerine geri geldiği bildirilmektedir [10]. Yüksek pH ve ağır metal içeren atıksular bir çok ülkede tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Bu atıksuların pH'si 11-13 aralığında değişmektedir. İngiltere'de pH değeri 11,5'in üzerinde olan atıklar tehlikeli atık sınıfına dahil edilmektedir. Bu atıkların düzenli depolama alanlarında bertaraf maliyeti yüksektir. Örneğin Japonya'da çökeltme havuzlarında bekletilen beton çamurunun depolanması için depolama alanına ton başına 60 \$ bedel ödenmektedir [11]. Bu nedenle sürdürülebilir olarak proses sularının ve atıklarının yönetimi günümüzde önem kazanmaktadır.

Xuan vd. (2018)'nin, taze atık beton atıklarının arıtılması için yaptıkları çalışmada atık yönetim stratejisi Çizelge 2.2'de ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir [12].

## Çizelge 2.2 Atık Beton Yönetim Stratejisi [12]

Stratejiler	Süreç
I.Üretim fazlası atık taze betonun geri dönüşümü	Prefabrik beton elemanları (kaldırım blokları ve duvar blokları gibi) üretildiği veya dolgu işlemleri gibi inşaat amaçlı kullanımların yapıldığı belirli fabrikalara taze beton atıklarının iletimi,
II.Yeni beton karışımında yeniden kullanım	Bir sonraki yeni beton karışımında kimyasal katkı maddeleri içeren veya içermeyen taze beton atıklarını yeniden kullanmak,
III.Taze beton atıklarının sertleşmesinden sonra geri dönüşüm	Sertleştirici katkı maddeleri ile karıştırarak veya karıştırmadan taze atık betonun sertleşmesine izin vererek, ardından kırma-eleme işlemi ile geri dönüşüm agregası haline getirmek
IV.Yıkama işlemi ile geri kazanım	Çökeltme tankında dinlenen gri su ve çökeltme ile dipten toplanan çamurun mekanik agrega geri kazanım sistemi ile üretimde kullanılması

Strateji I'de belirtilen yöntem ile atık betonların düşük kaliteli beton veya betondan yapılan malzeme üretiminde kullanılması oldukça kolay görünse de atık taze betonun diğer tesislere nakliye masrafı oluşturması ve taze betonun işlenebilirlik süresi içinde yakın fabrikalara nakliye gerektirmesi dezavantaj olarak görünmektedir. Strateji II'de belirtilen yöntemde atık taze betonun yeni beton üretimi esnasında harç içerisine eklenmesinden bahsedilmektedir. Ancak hidrasyon reaksiyonunu tamamlanmak üzere olan betonun yeni beton içerisine katılması beton kalitesi üzerinde olumsuz etki yaratacaktır. Bu sebeple kimyasal katkı malzemelerine olan ihtiyacın artacağı ve ekonomik olmayacağı belirtilmektedir[12].

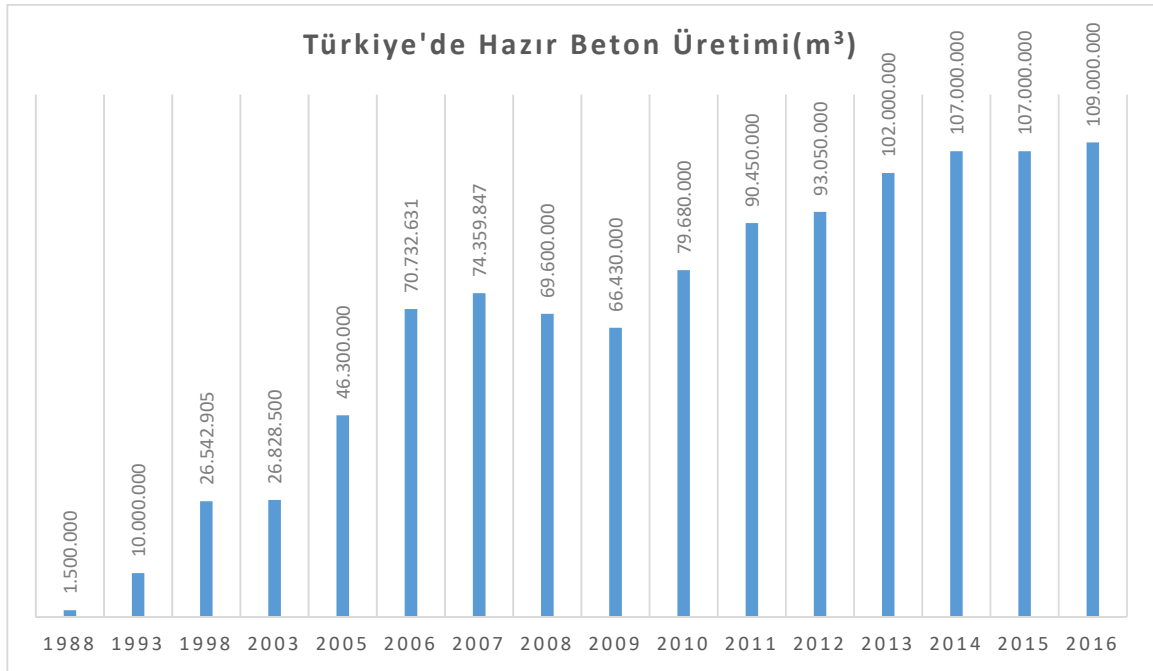


Şekil 2.5 Atık Yönetim Stratejisi [12]

## 2.2.2 Mevcut Durumda H.B.T.'lerde Beton Çamuru ve Atık Suyun Tekrar Kullanımı

Türkiye ekonomisinin dinamosu haline gelen inşaat sektöründeki hızlı büyüme, hazır beton talebinin artmasına sebep olmuş ve 109 milyon m<sup>3</sup> beton üretimiyle 2009 yılından beri Avrupa'da en çok beton üreten ülke olarak sıralamada birincilik statüsünü taşımaktadır. Dünya sıralamasında ise Türkiye; Çin ve ABD'den sonra üçüncü konumda bulunmaktadır [13]. Türkiye'de beton üretim miktarının yıllara göre artışı Çizelge 2.3'te görülmektedir.

**Çizelge 2.3 Türkiye'de Yıllara Göre Hazır Beton Üretim Miktarları**



Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) 2016 yılı verilerine göre; tüm Avrupa Birliği üye ülkelerinin toplam beton üretimi 226,2 milyon metreküp olup Türkiye'de yapılan üretim 109 milyon metreküptür. Bu üretim miktarı ile Avrupa'da Türkiye birinci sırada olup 49,5 milyon metreküp ile Almanya ikinci, 36,1 milyon metreküp ile Fransa üçüncü sırada yer almaktadır. Türkiye Hazır Beton Birliği'nin 2016 yılında yapmış olduğu istatistiklere göre Türkiye sadece beton üretim miktarı ile değil aynı zamanda kullanılan betonun dayanım sınıflarında da AB'de birinci durumdadır [13].

Kentsel ölçekte inşaat sektöründe kullanılan beton miktarı 3.8 ton/kişi/yıl olarak verilmektedir [14]. Çizelge 2.3'te gösterilen Türkiyedeki beton üretiminin artışı ile, Çizelge 2.4'te gösterilen tesis sayısının artışına paralel olduğu gözlenmektedir.



**Çizelge 2.4** 1998-2016 Yılları Arası Türkiye'de Faaliyet Gösteren Hazır Beton Tesisleri

Yıllar	Hazır Beton Firma Sayısı	Tesis Sayısı	HBT-Şirket Oranı
1988	25	30	1,20
1993	70	110	1,57
1998	166	341	2,05
2003	238	429	1,80
2005	277	568	2,05
2006	409	718	1,76
2007	477	845	1,77
2008	462	825	1,79
2009	467	845	1,81
2010	500	900	1,80
2011	520	945	1,82
2012	540	980	1,81
2013	580	1040	1,79
2014	580	1040	1,79
2015	621	1098	1,77
2016	570	1120	1,96

Hazır beton santrallerinden kaynaklanan atıksu pH değeri (<11.5) yüksek olması sebebi ile alıcı ortama verilememektedir [15]. Ayrıca yüksek pH değerleri beton üretiminde kullanılmasına olumsuz etkide bulunmaktadır. Bazı santrallerde nötralizasyon işlemi yapılarak veya seyreltme yöntemi ile sistemde tekrar kullanılmaktadır.

Beton yıkama suyu, çimentolardaki hidroksitler ve sülfatlar, üretimde kalsiyum klorür kullanılmasıyla ortaya çıkan kloritler, teçhizattan gelen yağ ve gres ve Portland

çimentosu ve kimyasalların türevlerinin hidratasyonu ile ilişkili maddeler ile az miktarda diğer kimyasalları içeren çözünmüş katıları içerir [16].

Hali hazırda faaliyet gösteren beton santrallerinde üç kademeli çökelme havuzu bulunmakta olup fiziksel çökelme ile askıda katı maddelerin çökeltilmesi sağlanmaktadır. Birinci ve ikinci havuz gözünden savaklanarak geçen su üçüncü havuzda toplanmaktadır. Üçüncü havuzun içerisinde yer alan pompa sistemi ile çökeltim havuzu suyu temiz su ile seyreltilerek üretimde kullanılmaktadır. Firmalardan alınan bilgilere göre; bu mekanizma çoğu santralde otomasyon sistemine entegre edilmiş olup %10 atıksu - %90 temiz su karışımı ile hazırlanan karma suyunun üretimde kullanıldığı belirtilmiştir. Ancak çalışma kapsamında yapılan araştırmalara göre; otomasyon sistemlerinde atıksu girişi %10 olarak görünse de yıllık su kullanım miktarlarına bakıldığında atıksu kullanım oranının %3 dolaylarında olduğu görülmüştür. Bu durum, beton üretiminde geri dönüşüm suyunun beton kalitesine olumsuz etki gösterdiği ve bu sebeple yüksek oranlarda kullanılmadığını göstermektedir.

Üretim fazlası betonun havuza dökülmesi ile saha yıkaması ve mikser yıkamalarından dolayı suyun getirdiği katı malzemeler (toprak, agrega, kum vb.) çökelme havuzunda katı muhtevasına sebep olmaktadır. Havuzda bulunan bu çamur Atık Yönetimi Yönetmeliğinde 10 13 14 kodu ile belirlenmiş olup lisanslı firmalarca bertaraf edilmesi/geri kazanılması gereken bir atık olarak nitelendirilmektedir. Önceki yıllarda beton çamurları belediyenin belirlemiş olduğu hafriyat alanlarına dökülmekte iken son dönemlerde yürürlükte olan uygulamalar ile bu atıkların lisanslı bertaraf tesislerine gönderilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Oluşan çamurun analizi yapıldığında hemen hemen bütün beton santralleri çamur analizi sonuçları ortak benzerlik göstermekte olup tehlikesiz atık sınıfına girmektedir. Yapılan analizler ile bu çamurların 2. Sınıf depolama tesislerinde bertaraf edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Ancak bu uygulamanın yürütülebilirliği illere göre farklılık göstermektedir.

Lisanslı 2. sınıf düzenli depolama tesislerinin ülkedeki yetersizliği bu sorunun çözüme ulaşmasını engellemektedir. Lisanslı 2. sınıf düzenli depolama tesislerinin bulunduğu illerde ise; rekabet ortamının bulunmaması nedeniyle bertaraf ücretlerinin yüksek olması; atık beton ve beton çamurlarının yasal olmayan yollar ile gelişgüzel çevreye atılmasına ortam yaratmaktadır.

Lisanslı firmaların sayısının az olması ve beton sektörünün ihtiyacını karşılayamaması büyük bir çevre kirliliğine sebep olmaktadır. 2017 yılı itibariyle ülke genelinde 1000'in üzerinde beton santralinin faaliyet gösterdiği bilinmektedir. Çalışma boyunca takip edilen tesislerden ortalama 50 ton/ay beton çamuru oluştuğu görülmüştür. Ülke genelinde ayda 50000 ton, yılda ise 600000 ton atık oluşmaktadır. Beton çamurlarının lisanslı depolama tesislerinde depolanamaması veya geri kazanılamaması; 600 milyon kg'lık beton çamurunun doğaya atılması ve doğal kaynakları kirletmesi anlamına gelmektedir. Bu durum toprak kirliliği, yeraltı suyu kirliliği, yüzey suyu kirliliği, bitki-hayvan habitatını yok etme gibi çevresel sorunlara doğrudan etki etmektedir. Bu sebeple beton santrallerinde oluşan beton çamurunun üretimde tekrar kullanılarak oluşan atığın minimize edilmesi, ortaya çıkabilecek çevresel sorunları önlemek için büyük bir adım olacaktır.

### 2.3 Literatür Taraması

Bu bölümde, hazır beton tesislerinde çökeltme havuzlarında toplanan atıksu ve çamur ile beton hafriyatlarının tekrar kullanılabilirliği, uluslararası makaleler ve tez çalışmaları taranarak özetlenmiştir.

Rakshvir ve Barai (2006) farklı yaştaki binaların yıkıntılarında beton numuneleri alarak beton üretimi yapmışlardır. 1. numune yaşı 1 yılı geçmemiş bir binadan, 2. numune yaşı yaklaşık 1 yıl ve 3. numune ise 30 yıllık bir binadan alınmıştır. Alınan numuneler laboratuvar ortamında kırma ve eleme yapılarak hazır beton üretiminde kullanılmış ve üretilen betonun basınç dayanımları incelenmiştir. Yapılan çalışmada; beton üretiminde geri dönüşüm agregası miktarı arttıkça basınç mukavemetinin %5 - 15 aralığında düştüğü tespit edilmiştir. Geri dönüşüm agregası miktarının kullanımı arttıkça beton içindeki boşluk miktarının arttığı ve bu durumun basınç mukavemetinin düşmesine sebep olduğu belirtilmiştir [17].

Paula ve arkadaşları (2014); çökeltme tanklarından oluşan standart bir arıtma sistemine sahip olan bir beton santralinden çıkan atıksu için tamamlayıcı bir arıtma önermektedir. Önerilen proses, koagülant olarak  $Al_2(SO_4)_3$  ve Moringa oleifera (MO) kullanmaktadır. MO ve  $Al_2(SO_4)_3$  için 20:80 oranında pıhtılaştırıcı kombinasyonu ile bulanıklığın % 90'dan fazlası kaldırılmıştır. Arıtmadan sonra, atık su araç yıkama veya tuvalet yıkama işlemlerinde yeniden kullanım için uygun olduğu belirtilmiştir [18].

Belen ve diğerleri (2011) 0.50 ve 0.65 olmak üzere iki farklı su/çimento oranına sahip %0, %20, %50, %100 oranlarında geri dönüşüm agregası içeren beton üretmişlerdir. Yapılan çalışmada 0.65 ve 0.50 su/çimento oranına sahip beton numunelerinde geri dönüşüm agrega miktarı arttıkça su emme miktarının arttığı tespit edilmiştir [19].

Chatveera ve diğerleri (2006); çökeltme havuzu atık suyunun, beton üretimi için karma suyu olarak kullanılması ve geri dönüşümü araştırılmıştır. Atık suyunun temel özellikleri ASTM standartlarına göre elde edilmiştir. Kuru çamur tozunun kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri gibi özellikleri araştırılmıştır. Çalışılan taze betonun birim kütle, çökme ve sıcaklık artışı gibi özellikleri ile basınç dayanımı ve elastikiyet

modülü gibi betonun mekanik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca betonun aside bağlı kütle kaybı ve büzülmesi gibi dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Parametrik çalışmalar için, kütlece %0 ila %100 arasında değişen musluk suyu yerine geri dönüşüm suyu kullanılmıştır. Su-çimento oranları sırasıyla 0,5, 0,6 ve 0,7 olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda geri dönüşüm suyu oranı artırıldıkça aside bağlı büzülme ve kütle kaybı artmakta olup çökme verimi ve dayanıklılık azalmıştır. Ancak üretilen betonun sıcaklık ve birim kütlesinde çamur suyu kullanımına bağlı bir değişim gözlemlenmemiştir [20].

Ekolu ve Dawneerangen (2010); hazır beton santrali çökeltim havuzundan laboratuvar çalışmaları için 200 lt'lik bir numune alınmıştır. Laboratuvar ortamında üretilen beton için kullanılacak numune suyu elle çalkalanarak, beton tesisi çökeltme havuzunda yer alan mekanik karıştırıcının gösterdiği benzer işlev yerine getirilmiştir. Böylece çökeltme havuzu son haznesindeki katıların çökmesi engellenmiştir. %0, %30, %50 ve % 100 oranlarında musluk suyu yerine çökeltme havuzu suyu kullanılarak harç ve beton üretimi yapılmıştır. Beton üretiminde kısmen veya tamamen geri dönüşüm suyu kullanıldığında 10 mm'ye kadar işlenebilirlikte kayıp ve birim küttele artış gözlemlenmiştir. Bu etkiler ihmal edilebilir nitelikte olmasına rağmen üretimde dikkate alınması gerekmektedir. Çalışmada bu durumun sebebi, geri dönüşümlü suda ince toz ve çimento parçacıklarının muhteviyatına bağlanmıştır [21].

Debieb ve diğerleri (2010), %100 geri dönüşüm agregası kullanarak ürettikleri beton ile doğal agrega kullanılarak üretilen betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucu; doğal ince agrega (0-2mm) su emme değeri % 0,28, doğal kaba agrega (2-7, 7-14, 14-20 mm) su emme değerleri sırası ile %1.20, %0.37, %0.36 olarak tespit edilmiştir. Geri dönüşüm ince agregası (0-4 mm) su emme değeri %9.20 ve geri dönüşüm kaba agregası (4-14, 14-20 mm) su emme değeri sırası ile %4.92 ve %6.00 olarak tespit edilmiştir. Geri dönüşüm agregalarının su emme değerlerinin doğal agregalara göre daha yüksek olmasının sebebi; geri

dönüşüm agregalarının etrafındaki harç muhteviyatına ve doğal agregalara göre geri dönüşüm agregalarının çatlaklı yüzeye sahip olması olarak tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak geri dönüştürülmüş betonun ilk su emiliminin normal betona göre 10 kat fazla olduğu vurgulanmıştır [22].

Grdic vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada beton üretiminde geri dönüşüm agregası miktarının artması beton karışımı içindeki gözeneklilik yapısının artmasına ve su emme oranlarının artmasına sebep olduğu vurgulanmıştır. Kaba geri dönüşüm agregasının %50-100 arasında kullanımı su absorpsiyonunu %0,15 - 0,37 oranında artırdığı tespit edilmiştir [23].

Asadollahfardi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2015) %100 musluk suyu,%70 musluk suyu-%30 beton yıkama suyu, %50 musluk suyu-%50 beton yıkama suyu, %30 musluk suyu-%70 beton yıkama suyu ve %100 beton yıkama suyu karışımları hazırlanarak beton üretimi yapılmış olup beton kalitesindeki değişimler incelenmiştir. Hidrolik çimento harçlarının 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testlerinde, %50 musluk suyu ve %50 beton yıkama suyu ile yapılan numunelerin maksimum basınç dayanımına sahip oldukları, tüm numunelerin işlenebilirliği (çökme testi) 12 cm ile 15 cm arasında değişkenlik gösterdiği, beton yıkama suyunun gerilme mukavemetini büyük ölçüde değiştirmedeği, beton numuneleri bükülme mukavemetinin maksimum farkı 0.58 MPa olarak ölçüldüğü ve beton yıkama suyunun eğilme mukavemetini büyük ölçüde değiştirmedeği tespit edilmiştir [16].

Limbachiya vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, %30 oranına kadar geri dönüşüm agregası ile hazırlanan beton numunelerinde basınç dayanım değerlerinde olumsuz etki görülmediği, geri dönüşüm agregası miktarı karışım içinde arttıkça basınç dayanım değerlerinin düştüğü belirtilmiştir [24].

Belen vd. (2011), 0.65 su/çimento oranına sahip %0, %20, %50, %100 oranlarında geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun silindirik basınç dayanımları sırası ile 31.92 MPa, 31.71 MPa, 32.35 MPa, 30.13 MPa ve küp basınç dayanımları sırası ile 41.49 MPa, 37.04 MPa, 37.60 MPa ve 37.08 MPa olarak tespit edilmiştir.

0.50 su/çimento oranına sahip betonun ise silindirik basınç dayanımları sırası ile 44.81 MPa, 43.74 MPa, 37.45 MPa, 40.54 MPa ve küp basınç dayanımları sırası ile 58.52 MPa, 50.81 MPa, 43.35 MPa ve 46.57 MPa olarak tespit edilmiştir. Geri dönüşüm agregası miktarının artması basınç dayanımlarında düşüşe sebep olduğu belirtilmiştir [19].

Köken ve arkadaşları (2008), atık betonlardan elde edilen agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek farklı karışım oranlarında beton üretmişlerdir. Çalışmada 3 farklı karışım hazırlanmış olup 1. Karışımın tamamı geri dönüşüm agregası, 2. Karışımın iri agregası geri dönüşüm agregası, ince agregası kırma taş kumu olarak, 3. Agregası karışımının tamamı ise kırmataş agregadan hazırlanmıştır. 3 karışım da aynı sınıf beton üretiminde kullanılmış olup birbirleriyle kıyaslanarak; geri dönüşüm agregası kullanımına bağlı olarak geri dönüşüm agregası oranı arttıkça beton basınç mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir [25].

Japon Yapı Mühendisleri Derneği (1978) tarafından yapılan bir çalışmada, su emme oranının geri dönüşüm agregası iri taneli kısmında %3,6-8 aralığında, ince taneli kısmının ise %8,3-12,1 aralığında olduğu tespit edilmiştir [26].

Coquillati (1982), eski betondan iri ve ince taneli geri dönüşüm agregası elde ederek beton üretmiş ve normal betona göre büzülme artışını %73 olarak tespit etmiştir [27].

Coşkun v.d (2017) tamamı kuyu suyunda üretilen beton numuneleri ile tamamı geri dönüşüm suyu kullanılarak üretilen sertleşmiş beton numuneleri testlerinde 2, 7, 28 günlük basınç dayanım değerlerinde ve klorür migrasyon deney sonuçları ile sülfata karşı dayanıklılık değerlerinde önemli büyüklükte farklılık olmadığı belirtilmiştir [28].

### 3. MATERYAL ve YÖNTEMLER

Bu çalışmada, hazır beton santralleri geri dönüşüm suyu ve geri dönüşüm agregasını kullanarak farklı 2 ilde faaliyet gösteren beton santrallerinde atık depolama/çöktürme havuzlarında biriken çamur kullanılarak C25/30 ve C30/37 sınıflarında beton üretilmesi araştırılmıştır. Çalışma yapılan tesisler "T1 ve T2" olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde agrega deneyleri, taze beton deneyleri ile sertleşmiş beton deneylerinin yapıldığı ilgili standartlar belirtilmiştir.

#### 3.1 Atık Çamurun ve Atıksuyun yeniden Kullanılması

Çalışmanın bu bölümünde hazır beton santrallerine gelen mixerlerin yıkama suyunun depolandığı, çöktürme havuzlarında çökelen beton çamurunun ve atıksuyun hazır beton üretimde tekrar kullanılabilirliği araştırılmıştır.

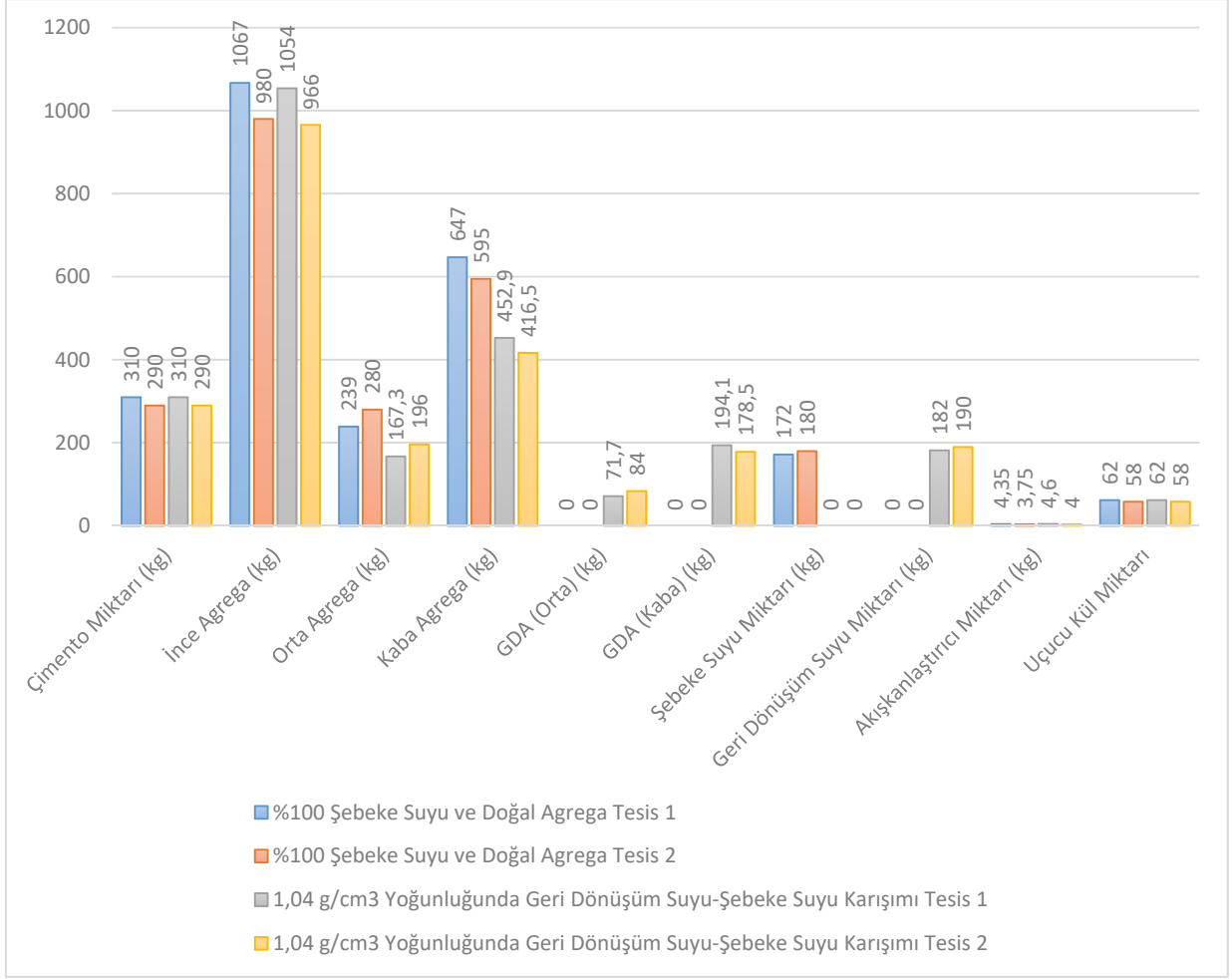
Çalışmada, Tesis 1 ve Tesis 2 de çökeltme havuzundan alınan atık beton çamurları kurutma alanında kurutulduktan sonra kamyon ile alınarak kırma-eleme tesisine götürülmüştür. Kırma-eleme tesisinde farklı tane çaplarında kırılan atık malzeme, tesiste yıkama işleminden geçirilerek stok sahasında kurutulmuştur. Yıkama işleminden kaynaklanan atıksu-ince agrega (0-4 mm) karışımı ayrı bir tankta depolanmıştır. Orta ve kaba agrega üretilecek betonda kullanılmak üzere laboratuvara götürülmüştür. Tankta toplanan agrega yıkama suyu şebeke suyu ile seyreltilerek  $1,04 \text{ g/cm}^3$  yoğunluk değerine ayarlanarak deneylerde kullanılmıştır. Deneylerde beton numunelerinin hazırlandığı miktarlar, Çizelge 3.1 ve 3.2'de tablo olarak, Şekil 3.1 ve 3.2'de grafik olarak yer almaktadır. Şebeke suyu-geri dönüşüm suyu karışımının yoğunluğu  $1,04 \text{ g/cm}^3$  olarak ayarlanan su ile %30 oranında geri dönüşüm orta ve kaba agregası kullanılarak beton numunesi hazırlanmıştır. Çalışmada; tamamı doğal agrega ve şebeke suyu ile üretilen şahit beton numunesi hazırlanarak karşılaştırılmaları yapılmıştır. Oikonomou (2005), yaptığı çalışmada %30 oranında orta ve kaba geri dönüşüm agregası kullanarak ürettiği beton numunelerinde basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli bir etki göstermediğini belirtmiştir [4]. Yapılan benzer bir çalışmada Durmuş vd. (2009), geri



dönüşüm agregası miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığını ve araştırmada geri dönüşüm agregasının %30'a kadar taşıyıcı beton üretiminde, taşıyıcı olmayan betonlarda ise %50'ye kadar kullanılabilmesi belirtilmiştir [29]. Bu sebeple geri dönüşüm agregası malzemesi, çalışmada %30 oranında kullanılmıştır. Hazırlanan tüm numuneler; hazır beton reçetesine göre ihtiyaç duyulan orta ve kaba agreganın %30'u geri dönüşüm agregası, %70'i doğal agregası olarak ayarlanmıştır.

**Çizelge 3.1** C25 Sınıfı 1 m<sup>3</sup> Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları

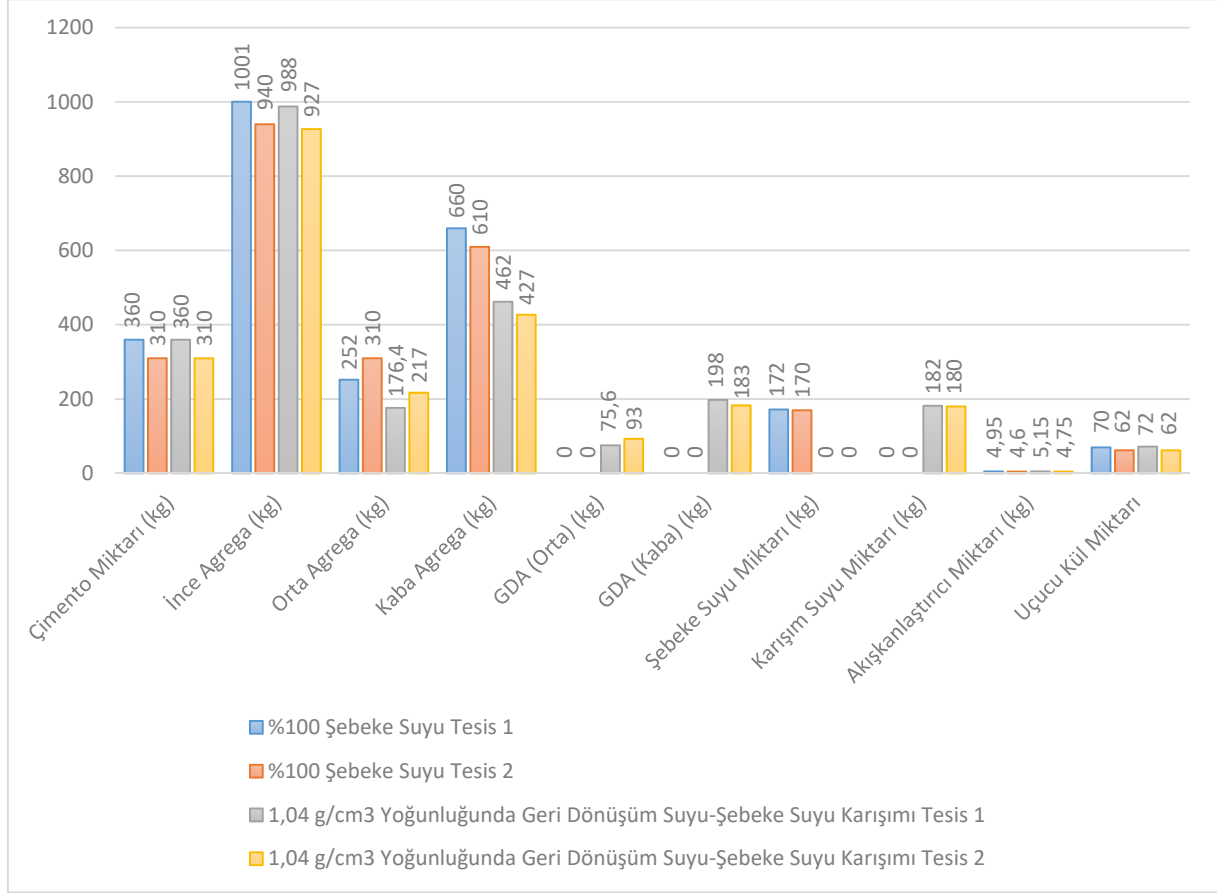
C25/30 Beton Sınıfı Kullanılan Malzemeler	%100 Şebeke Suyu ve Doğal Agrega		1,04 g/cm <sup>3</sup> Yoğunluğunda Geri Dönüşüm Suyu-Şebeke Suyu Karışımı	
	Tesis 1	Tesis 2	Tesis 1	Tesis 2
Tesisler				
Çimento Miktarı (kg)	310	290	310	290
İnce Agregası (kg)	1067	980	1054	966
Orta Agregası (kg)	239	280	167,3	196
Kaba Agregası (kg)	647	595	452,9	416,5
GDA (Orta) (kg)	-	-	71,7	84
GDA (Kaba) (kg)	-	-	194,1	178,5
Şebeke Suyu Miktarı (kg)	172	180	-	-
Geri Dönüşüm Suyu Miktarı (kg)	-	-	182	190
Akışkanlaştırıcı Miktarı (kg)	4,35	3,75	4,60	4,00
Uçucu Kül Miktarı	62	58	62	58



**Şekil 3.1** 1 metreküp C25/30 Sınıfı Betonun Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları

**Çizelge 3.2** C30 Sınıfı 1 m<sup>3</sup> Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları

C30/37 Beton Sınıfı Kullanılan Malzemeler	%100 Şebeke Suyu		1,04 g/cm <sup>3</sup> Yoğunluğunda Geri Dönüşüm Suyu-Şebeke Suyu Karışımı	
	Tesis 1	Tesis 2	Tesis 1	Tesis 2
Tesisler	Tesis 1	Tesis 2	Tesis 1	Tesis 2
Çimento Miktarı (kg)	360	310	360	310
İnce Agregası (kg)	1001	940	988	927
Orta Agregası (kg)	252	310	176,4	217
Kaba Agregası (kg)	660	610	462	427
GDA (Orta) (kg)	-	-	75,6	93
GDA (Kaba) (kg)	-	-	198	183
Şebeke Suyu Miktarı (kg)	172	170	-	-
Karışım Suyu Miktarı (kg)	-	-	182	180
Akışkanlaştırıcı Miktarı (kg)	4,95	4,6	5,15	4,75
Uçucu Kül Miktarı	70	62	72	62



**Şekil 3.2** 1 metreküp C25/30 Sınıfı Betonun Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları

Tesis 1 ve Tesis 2 de kullanılan doğal agrega boyutları ile kurutma yatağından alınan eski beton atıkları kaba, orta ve ince olmak üzere 3 tip olmak üzere Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

**Çizelge 3.3** Deneyde Kullanılan Agregat Boyutları

Tesis/Agregat Boyutu	İnce Agregat (mm)	Orta Agregat (mm)	Kaba Agregat (mm)
Tesis 1	0-5	5-13	13-22,4
Tesis 2	0-4	4-11,2	11,2-22,4

## 3.2 Analiz Metodları

### 3.2.1 Agrega Deneyleri

Çalışmada kullanılan doğal agregaların elek analizi deneyleri, malzemenin temin edildiği taş ocakları tarafından yetkili laboratuvara yaptırılmıştır. Atık beton ve beton çamurlarından elde edilen geri dönüşüm orta ve kaba agregaları, istenilen boyutlarda kırma-eleme işlemlerine tabi tutulduğu için elek analizi deneyi yapılmamıştır.

#### 3.2.1.1 Elek Analizi Deneyi

Elek analizinin amacı, zemini oluşturan tanelerin zemin içindeki dağılımını belirlemektir. Elek analizi ile malzeme içindeki çakıl, kum ve kil ile silt miktarları belirlenerek kaba ve ince tane oranları hesaplanır. Elek analizi yöntemi yıkama ve eleme olmak üzere 2 aşamadan oluşmaktadır. Numune bir kaba konularak üzerini örtecek miktarda su ilavesi yapılır. Malzeme su içerisinde 24 saat bekletilir. Su içerisinde bekletilen numune koruma eleği üzerine dökülür ve 63 µm olan göz açıklıklı elekten geçen suyun tamamı berraklaşana kadar yıkama işlemine devam edilir. 63 µm göz açıklıklı elek üzerindeki kalan malzeme, 1'er saatlik periyotta peşpeşe alınan iki tartım arasındaki kütle farkı  $\pm\%0,1$  toleransla sabit oluncaya kadar ( $110\pm5^{\circ}\text{C}$ ) kurutulur, daha sonra soğutulur, tartılır ve kütlesi  $M_2$  olarak kaydedilir. Daha sonra elek takımları üst üste konularak malzeme kaybı oluşmayacak şekilde el veya makine ile sarsılır. Elek üzerinde kalan malzemedeki bir dakika süre içinde kütlece %1'den fazla değişiklik olmaması durumunda eleme işlemi tamamlandı olarak kabul edilir.

Eleklerin aşırı yüklenmesini engellemek için eleme işlemi sonunda elek üzerinde kalan malzeme (gram cinsinden); Eşitlik 3.1 formülü ile bulunacak değerden daha büyük olmamalıdır.

$$\frac{A \cdot \sqrt{d}}{200} \quad (\text{Eşitlik 3.1})$$

Burada;

A: Eleğin alanı (mm<sup>2</sup>)

d: Elek göz açıklığı (mm)'dir.

En büyük göz açıklığına sahip elekten başlanarak elek üzerinde kalan fraksiyonlar tartılır, kütlesi %1 hassasiyette R<sub>1</sub> olarak kaydedilir. Altındaki elekte kalan fraksiyonlarda aynı şekilde tartılarak R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>....R<sub>i</sub> olarak kaydedilir. Tavada elenmiş fraksiyon varsa tartılır ve kütlesi P olarak kaydedilir.

Her bir elek fraksiyonunun kütlesi(R<sub>i</sub>), orijinal kuru kütlenin(M<sub>1</sub>) yüzdesi olarak hesaplanır. 63 µm'ye kadar herbir elekten geçen kuru kütlenin kümülatif yüzdesi hesaplanır. Eşitlik 3.2 ile, 63 µm göz açıklıklı elekten geçen ince tanelerin yüzdesi hesaplanır [30].

$$f = [ ( M_1 - M_2 ) + P / M_1 ] \times 100 \quad (\text{Eşitlik 3.2})$$

Burada;

M<sub>1</sub>: Deney kısmının kuru kütlesi (kg)

M<sub>2</sub>: 63 µm göz açıklıklı elek üzerinde kalan malzemenin kuru kütlesi (kg)

P: Tavadaki malzeme kütlesi (kg)'dir.

### 3.2.1.2 Özgül Kütle ve Su Emme Deneyleri

Özgül kütle ve su emme deneyleri TS EN 1097-6 kapsamında yapılmıştır. Piknometre metodu ile 0,063 mm ile 31,5 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregaların özgül kütle ve su emme oranları belirlenir.

Hazırlanan deney numunesi, piknometre içerisine daldırılarak 22±3 °C sıcaklıkta 24±0,5 saat süreyle tutulur. Süre sonunda, piknometre su banyosundan çıkarılır. Daha sonra piknometre su ilave edilerek taşacak şekilde doldurulur ve tepe kısmına kapak yerleştirilerek tartılır (M<sub>2</sub>). Agregataneleri sudan çıkarılır ve kurumaya bırakılır. Piknometre tekrar su ile doldurulur aynı işlemler tekrar edilerek tartılır (M<sub>3</sub>). Her

tartım işleminde su sıcaklığı ölçülür.  $M_2$  ve  $M_3$  tartımları esnasında, piknometredeki su sıcaklıkları farkı  $2^\circ\text{C}$ 'yi geçmemelidir.

Numunelerin suyu süzülerek kuru bir bez üzerinde kuruma işlemine bırakılır. Agregatanelerinin üzerinde su filmi kalmayacak kadar kurulama işlemi yapıldıktan sonra bir tepsi üzerine alınarak tartılır ( $M_1$ ). Daha sonra agregataneleri etüvde  $110\pm 5^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sabit kütleyle ( $M_4$ ) kadar kurutulur [31].

Görünür tane yoğunluğu, bir agregatanesinin etüvde kurutulmuş kütlelerinin, taneler içindeki kapalı boşluklar dahil, suyun girebildiği boşluklar hariç olmak şartıyla, suda yer kapladığı hacme oranı olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 3.3 ile hesaplanmaktadır.

Görünür tane yoğunluğu;

$$\rho_a = M_4 / (M_4 - (M_2 - M_3)) \quad (\text{Eşitlik 3.3})$$

Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, bir agregatanesinin etüvde kurutulmuş kütlelerinin, taneler içindeki kapalı ve suyun girebildiği boşluklar da dahil, suda yer kapladığı hacme oranı olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 3.4 ile hesaplanmaktadır.

Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu;

$$\rho_{rd} = M_4 / (M_1 - (M_2 - M_3)) \quad (\text{Eşitlik 3.4})$$

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu, suyun girebildiği boşluklardaki su ile agregatanesinin toplam kütlelerinin, taneler içindeki kapalı ve suyun girebildiği boşluklar da dahil, suda kapladığı hacme oranı olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 3.5 ile hesaplanmaktadır.

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu;

$$\rho_{ssd} = M_1 / (M_1 - (M_2 - M_3)) \quad (\text{Eşitlik 3.5})$$

Su emme oranı ( $WA_{24}$ ), 24 saatlik su banyosundan sonra, kuru kütlelerin yüzdesi olarak Eşitlik 3.6 yardımıyla hesaplanır.

$$WA_{24} = (100 \times (M_1 - M_4)) / M_4 \quad (\text{Eşitlik 3.6})$$

M<sub>1</sub>: Doymun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi,(g),

M<sub>2</sub>: Doymun agrega örneğini ihtiva eden piknometrenin kütlesi,(g),

M<sub>3</sub>: Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi,(g),

M<sub>4</sub>: Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi,(g)

### 3.2.1.3 Los Angeles (Aşınma Dayanımı) Deneyi

Aşınma dayanımı deneyi TS EN 1097-2 kapsamında yapılmıştır.

10 mm ile 14 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agrega numuneleri hazırlanarak 5000±5 g olacak şekilde ayarlanır. Tambura önce bilyalar (11 adet) sonra da deney numunesi konulur. Kapak kapatılır ve makine 31 devir/dakika ila 33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir döndürülür. İşlem tamamlandıktan sonra numune kısmı tepsiye dökülür ve bilyalar tepside alınır. Tepsideki malzeme 1,6 mm göz açıklıklı elekte yıkama eleme işlemleri yapılarak elek üzeri malzeme etüvde 110±5°C'de sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur [32]. Los Angelesi katsayısı (LA) Eşitlik 3.7 ile hesaplanmıştır.

$$LA = (5000 - m) / 50 (\%) \quad (\text{Eşitlik 3.7})$$

m(gr): 1,6 mm açıklı elekte kalan malzeme miktarı.

### 3.2.2 Taze Beton Deneyleri

Hazırlanan taze beton birim hacim kütle ve kıvam deneyleri yapılmıştır.

#### 3.2.2.1 Taze Beton Yoğunluk Deneyi

Taze beton yoğunluk deneyi TS EN 12350-6'ya göre yapılmıştır.

Üretilen betonun döküleceği kap tartılarak kütlesi m<sub>1</sub> olarak kaydedilir. Daha sonra üretilen beton kaba yerleştirilir. Beton en az iki tabaka olacak şekilde yerleştirilerek sıkıştırma işlemi yapılır. Kaba yerleştirilen beton, aşırı şerbet çıkmayacak ve beton ayrışması olmayacak şekilde tam sıkışması sağlanmalıdır. Mekanik vibrasyonla tam



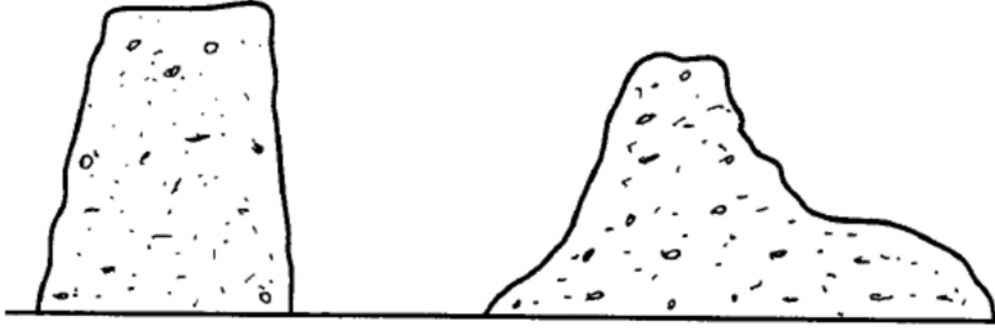
sıkışma; beton yüzeyinde büyük hava kabarcıklarının oluşumunun sona ermesi ve beton yüzeyinin parlak ve düz bir şekil almasıyla sağlanmış olur. Tam sıkışma sağlandıktan sonra kap tartılarak kütle  $m_2$  olarak kaydedilir. Taze beton yoğunluğu Eşitlik 3.8 ile hesaplanır [33].

$$D=(m_2-m_1)/V \quad (\text{Eşitlik 3.8})$$

### 3.2.2.2 Çökme (Slump) Değerinin Belirlenmesi

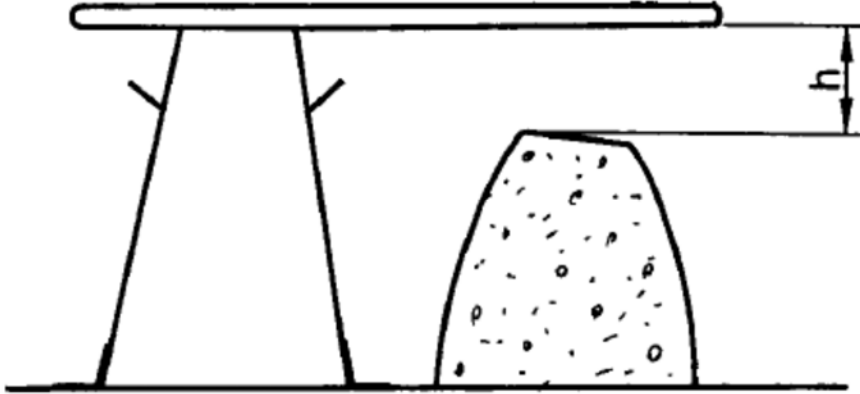
Taze beton kıvam deneyi TS EN 12350-2'ye göre yapılan deneyde çökme hunisi metodu kullanılmıştır. Taze beton, kesik huni şeklindeki kaba sıkıştırılarak doldurulur. Kalıp yukarı yönde çekilerek taze beton kütleindeki çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılır. Kalıp içine beton 3 eş tabaka olacak şekilde sırası ile sıkıştırılarak doldurulur. En üst tabaka da sıkıştırıldıktan sonra yüzey masterlanarak çökme hunisi üzeri silme olarak düzeltilir. Kalıbın çekme işlemi 5-10 saniye içerisinde tamamlanmalı, kalıp sabit hızda çekilmelidir. Tüm deney işlemi kalıbın doldurulması, sıkıştırılması ve çekilerek alınması işlemleri aralıksız devam etmeli ve 150 saniyede tamamlanmalıdır.

Deney, ancak taze beton çökmesinin düzgün şekilde gerçekleşmesi halinde geçerli olur. Numunenin kayması durumunda, yeni numune kullanılarak deney tekrarlanmalıdır (Şekil 3.3). Peşpeşe yapılmış olan iki testte de beton kütlelerinden parça ayrılması durumunda; çökme deneyi yapılabilmesi için betonun gerekli plastiklik ve kohezyona sahip olmadığını gösterir [34].



**Şekil 3.3** Düzgün Çökme / Kayma Meydana Gelmiş Çökme

Düzgün çökmenin gerçekleştiği deneyde, çökme değeri ( $h$ ) çökmenin gerçekleştiği beton kütle tepe noktası ile çökme hunisi tepe noktası arasındaki yükseklik farkı ile hesaplanır. Çökmenin ölçülmesi Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



**Şekil 3.4** Çökmenin Ölçülmesi

### 3.2.3 Sertleşmiş Beton Basınç Dayanım Deneyi

Üretilen beton TS EN 12390-1 kapsamında belirtilen anma boyutlarına göre 150 mm su sızdırmaz ve su emmez küp kalıplara yerleştirilmiştir [35].

Beton kalıp içerisine yerleştirilmeden önce kalıp iç yüzeyi çimento ile etkileşmeyen kalıp ayırıcı bir malzeme ile ince bir tabaka halinde kaplanır. Deney numuneleri, her tabaka 100 mm'den kalın olmayacak şekilde en az iki tabaka olacak biçimde sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırma işlemi yapılırken, betonun dağılmamasına ve yüksek miktarda şerbet oluşmamasına özen gösterilmelidir. Kalıba yerleştirilen taze beton numuneleri, 16 saatten az ve 3 günü geçmeyecek sürede sertlik yeterli seviyeye ulaşmaya kadar, dış etkilerden korunarak  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  veya  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ki ortamda bekletilir. Yeterli sertliğe ulaşan beton kalıptan çıkarılarak  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki kür havuzunda kırma işlemi yapılacağı zamana kadar bekletilir [36].

Kür havuzundan alınan numune kırma makinesine konulmadan önce yüzeyindeki su kurulanır. Daha sonra kırma makinesi merkezine yerleştirilen numunede kırma işlemi gerçekleştirilir. Makine göstergesinde okunan en büyük yük kaydedilir. Basınç dayanımı Eşitlik 3.9'da verilen formül ile hesaplanır [37].

$$f_c = F/A_c \quad (\text{Eşitlik 3.9})$$

Burada;

$f_c$  : Basınç dayanımı, (MPa)

F : Kırılma esnasında ulaşılan en büyük yük, (N)

$A_c$  : Numune, üzerine uygulanan basınç yükünün en kesit alanı, ( $\text{mm}^2$ ).

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1 Agregada Deneyleri

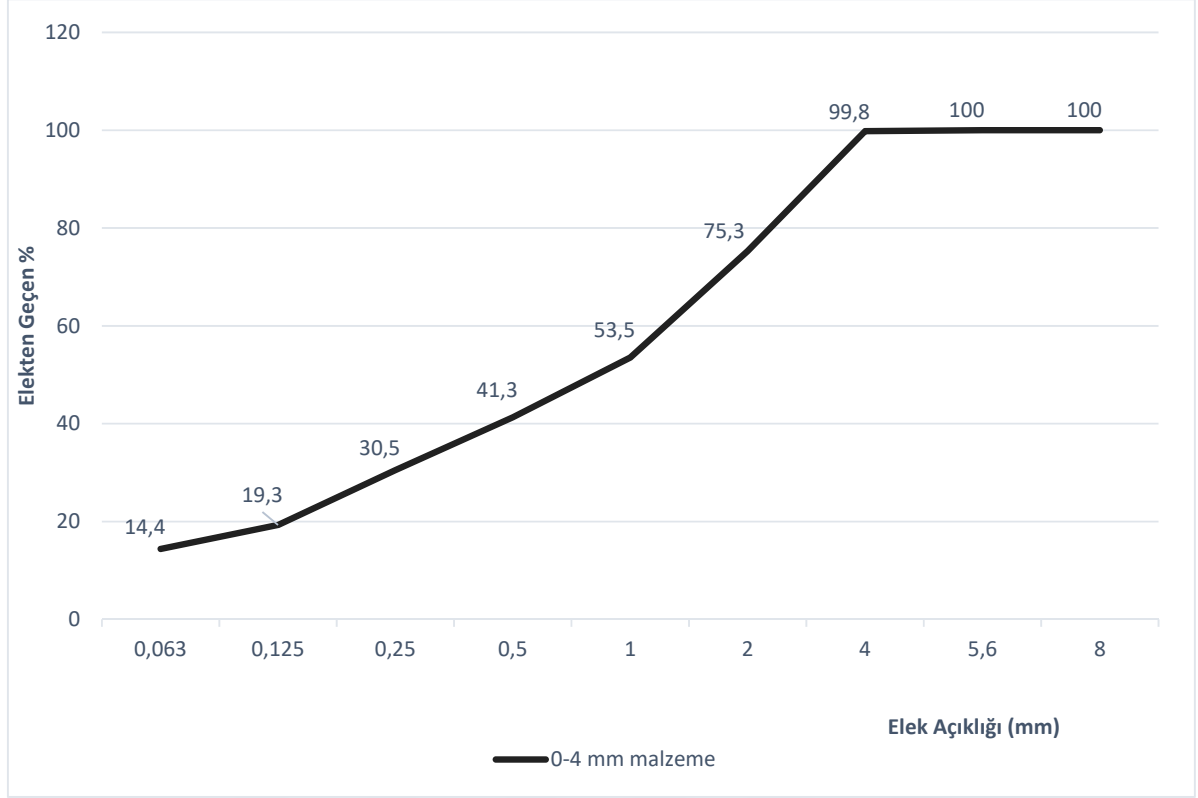
Çalışmada kullanılan doğal agregaların elek analizi deneyleri, malzemenin temin edildiği taş ocakları tarafından yetkili laboratuvara yaptırılmıştır. Atık beton ve beton çamurlarından elde edilen geri dönüşüm orta ve kaba agregaları, istenilen boyutlarda kırma-eleme işlemlerine tabi tutulduğu için elek analizi deneyi yapılmamıştır.

#### 4.1.1 Elek Analizi Sonuçları

Doğal agregaların temin edildiği işletmelerce yaptırılan Tesis 2 tarafından temin edilen elek analizi deney sonuçları ince agregada (0-4 mm) için Çizelge 4.1'de, orta agregada (4-11,2 mm) için Çizelge 4.2'de ve kaba agregada (11,2-22,4) için Çizelge 4.3'te yer almaktadır. Beton üretiminde kullanılan doğal ince agregalardan alınan numunelerin %99,8'i 0-4 mm aralığında olduğu Şekil 4.1'de, orta agregalardan alınan numunelerin %94,6'sı 4-11,2 mm aralığında olduğu Şekil 4.2'de, kaba agregalardan alınan numunelerin %81,5'i 11,2-22,4 mm aralığında olduğu Şekil 4.3'te görülmektedir.

**Çizelge 4.1** İnce Agregada (0-4 mm) Elek Analizi Sonuçları

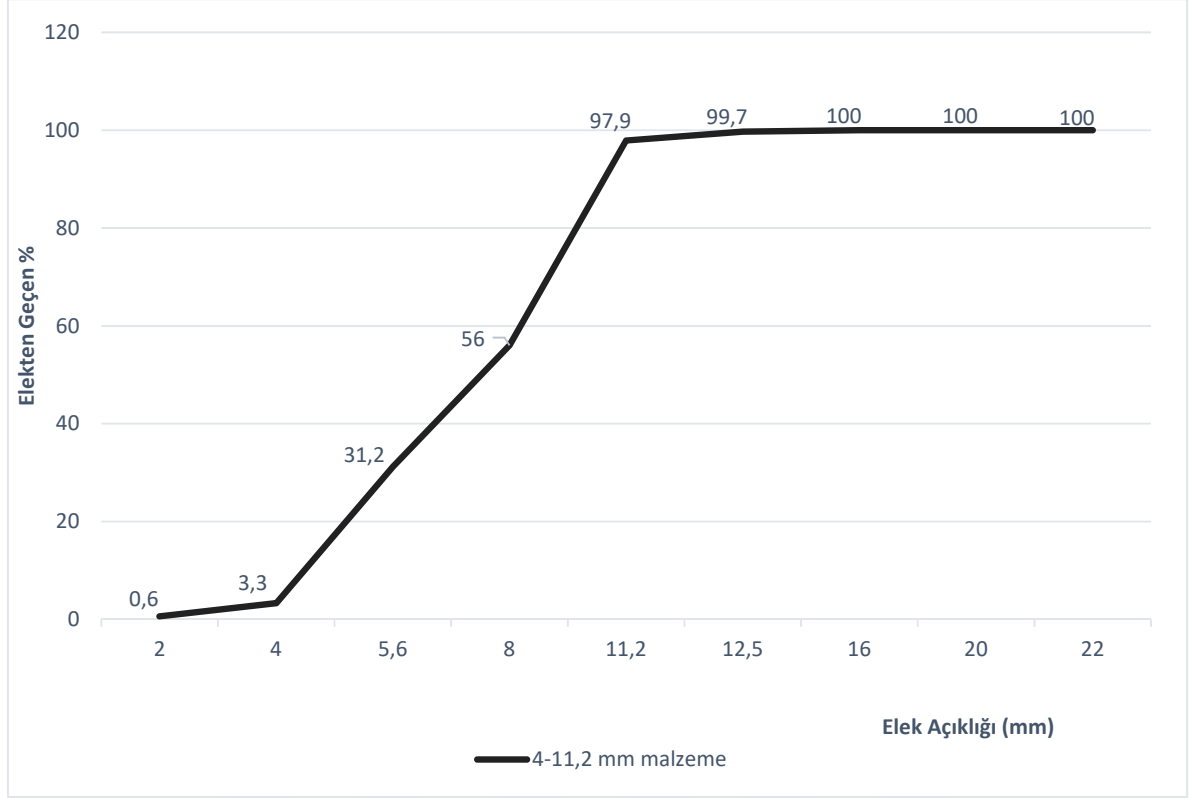
Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Küm. Elekten Geçen (%)	Küm. Elekte Kalan (%)
8	0	0,0	100,0	0,0
5,6	0	0,0	100,0	0,0
4	2,4	0,2	99,8	0,2
2	244,3	24,4	75,3	24,7
1	217,8	21,8	53,5	46,5
0,5	122,3	12,2	41,3	58,7
0,25	108	10,8	30,5	69,5
0,125	112,4	11,2	19,3	80,7
0,063	48,1	4,8	14,4	85,6
PAN	144,4	14,4	0,0	100,0
TOPLAM	999,7	100		
			İncelik Modülü	2,8



**Şekil 4.1** 0-4 mm ince agreganın elekten geçen yüzde değerleri

**Çizelge 4.2** Orta Agregada (4-11,2 mm) Elek Analizi Sonuçları

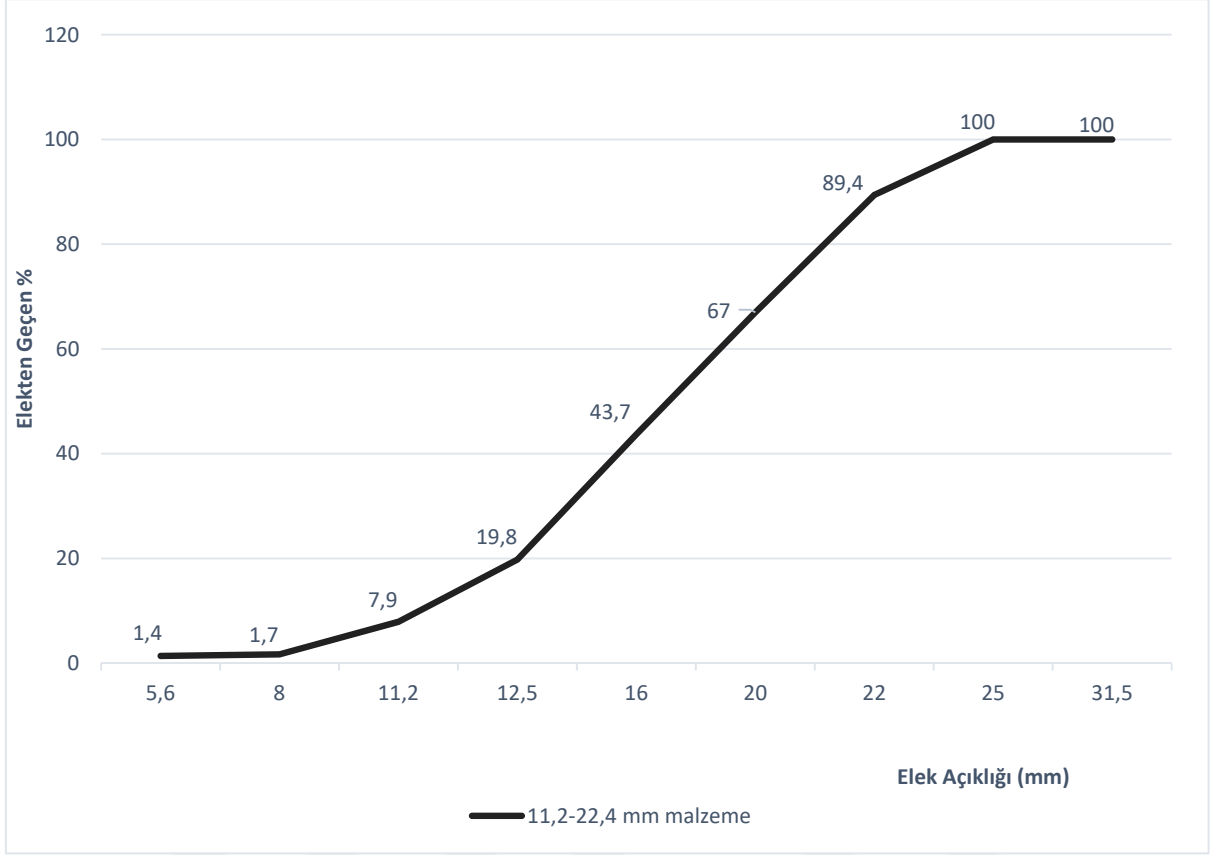
Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Küm. Elekten Geçen (%)	Küm. Elekte Kalan (%)
22	0	0,0	100,0	0,0
20	0	0,0	100,0	0,0
16	0	0,0	100,0	0,0
12,5	4,7	0,3	99,7	0,3
11,2	28	1,8	97,9	2,1
8	647,2	41,9	56,0	44,0
5,6	383,8	24,8	31,2	68,8
4	430,7	27,9	3,3	96,7
2	41,7	2,7	0,6	99,4
PAN	9,5	0,6	0,0	100
TOPLAM	1545,6	100		
			İncelik Modülü	4,1



**Şekil 4.2** 4-11,2 mm orta agreganın elekten geçen yüzde değerleri

**Çizelge 4.3** Kaba Agregata (11,2-22,4 mm) Elek Analizi Sonuçları

Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Küm. Elekten Geçen (%)	Küm. Elekte Kalan (%)
31,5	0	0,0	100,0	0,0
25	0	0,0	100,0	0,0
22	539,6	10,6	89,4	10,6
20	1143	22,4	67,0	33,0
16	1187,2	23,3	43,7	56,3
12,5	1216,1	23,9	19,8	80,2
11,2	605,2	11,9	7,9	92,1
8	315,1	6,2	1,7	98,3
5,6	14,9	0,3	1,4	98,6
PAN	72,8	1,4	0,0	100,0
TOPLAM	5093,9	100		
			İncelik Modülü	4,7



**Şekil 4.3** 11,2-22,4 mm kaba agreganın elekten geçen yüzde değerleri

TS EN 933-1 kapsamında yapılan çok ince malzeme muhtevası analiz sonuçları Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

**Çizelge 4.4** Çok İnce Malzeme Muhtevası Analiz Sonuçları

Deney Numunesi Boyutu (mm)	Kuru Kütle (Deney Öncesi)	Kuru Kütle (Deney Sonrası)	Elekten Geçen Miktar (0,063 mm)	Elekten Geçen Malzeme Oranı (% 0,063 mm)	Sınır Değer %
0-4	1000,6	845,1	155,5	15,54	16
4-11,2	1561,4	1543,7	17,7	1,13	1,5
11,2-22,4	3011,7	2992,4	19,3	0,64	1,5

İnce, orta ve kaba agregaya ince malzeme içeriğinin tespiti amacıyla yapılan analiz sonuçları, numunelerin sınır değerleri sağladığını göstermektedir. İçerisinde kil, silt, mika, fazla miktarda ince ve yumuşak malzeme içeren agregaların beton basınç dayanımını düşürdüğü belirtilmektedir [38].

#### **4.1.2 Özgül Kütle ve Su Emme Sonuçları**

Agregalar özgül kütlelerine göre; hafif agregaya, normal agregaya ve ağır agregaya olmak üzere 3'e ayrılırlar. Normal agregaya özgül kütlesi genellikle 2,4-2,8 kg/dm<sup>3</sup> aralığındadır. Özgül kütlesi 2,4 kg/dm<sup>3</sup> değerinden düşük olan agregalara hafif kütleli agregaya, 2,8 kg/dm<sup>3</sup> değerinden yüksek olan agregalara ağır agregaya olarak adlandırılmaktadır. Beton karışımının hazırlanmasında agregaya özgül kütlesi önemli bir yer tutmaktadır. Beton karışımının özgül kütlelerini etkileyen en önemli parametredir. C25 ve C30 sınıfında üretilecek beton karışımlarında normal agregalar kullanılmaktadır. Beton üretiminde kullanılacak agregaya doymun kuru yüzey nitelikte olmalıdır. Doymun kuru yüzey nitelikte olmayan agregalar beton karışımında kullanılırsa, beton karışımı içindeki suyun bir miktarı agregalar tarafından absorbe edilecek ve karışım içerisindeki su miktarı azalacaktır. Karışım içinde su miktarının azalması ile betonun işlenebilirliği ve akıcılığı azalacak, su/çimento oranının bozulmasına sebep olarak basınç dayanım değerinin düşmesine sebep olacaktır. Bu sebeple beton karışımında kullanılan agregaların su emme oranına dikkat edilerek karışım hesabı yapılması gerekmektedir.

Hammadde olarak kullanılan agregaya özgül kütlesi ve su emme deneyleri TS EN 1097-6'ya göre yapılmış olup doğal agregaya üç, geri dönüşüm agregası iki farklı aralıkta incelenmiş olup sonuçlar Çizelge 4.5'de yer almaktadır. Doğal agregaların su emme oranları ve özgül kütleleri agregaya üreticilerinden temin edilmiş olup geri dönüşüm agregalarına ait sonuçlar Tesis 1 ve Tesis 2 laboratuvarında tespit edilmiştir.



**Çizelge 4.5** Doğal ve Geri Dönüşüm Agregası Özgül Kütle ve Su Emme Oranları

<b>Agrega Türü</b>	<b>Görünen Özgül Kütle (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Su Emme Oranı (%)</b>
Tesis 1 (0-5 mm)	2,59	2,53
Tesis 1 (5-13 mm)	2,66	0,69
Tesis 1 (13-22,4)	2,75	0,58
Tesis 1 GDA (5-13 mm)	2,30	7,62
Tesis 1 GDA (13-22,4)	2,41	4,58
Tesis 2 (0-4 mm)	2,70	1,61
Tesis 2 (4-11,2 mm)	2,72	0,35
Tesis 2 (11,2 – 22,4 mm)	2,71	0,21
Tesis 2 GDA (4-11,2)	2,28	10
Tesis 2 GDA (11,2-22,4)	2,38	5

Yapılan çalışmada geri dönüşüm agregalarının özgül kütlelerinin doğal agregalara göre daha düşük, su emme kapasitelerinin ise daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Doğal agreganın su emme oranları %0,21-2,50 aralığında iken geri dönüşüm agregasının su emme oranı %5-10 aralığında yüksek oranlara sahip olduğu, geri dönüşüm agregalarının özgül kütlelerinin doğal agregalara oranla %15 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi geri dönüşüm agregalarında çimento harcının malzeme

yüzeyini kaplayarak boşluklu yapı oluşturmasından ve buna bağlı olarak su emme oranının fazla olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir [39].

#### 4.1.3 Los Angeles (Aşınma Dayanımı) Deneyi Sonucu

İri agrega tanelerinin aşınmaya karşı direnci tayini TS EN 1097-2'ye göre Los Angeles deneyi ile belirlenmiştir. 1500,7 g 10-11,2 mm malzeme ve 3500,1 g 11,2-14 mm çapında agrega ile toplamda 5000,8 g malzeme 500 devirde aşındırma deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.6'da yer almaktadır. L.A. katsayısı değerinin düşük olması malzemenin parçalanmaya karşı direncinin fazla olduğunun göstergesidir.

**Çizelge 4.6** Los Angeles Deney Sonuçları

Agrega Türü	L.A. (%)
Tesis 1 İri Agregası	21
Tesis 1 GDA	28
Tesis 2 İri Agregası	25
Tesis 2 GDA	32

Yapılan çalışmada geri dönüşüm iri agregalarının aşınma dayanım testlerinde Los Angeles katsayısı oranları doğal agregalara göre %30 daha fazla ve geri dönüşüm agregalarının aşınmaya karşı dirençlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçların, literatür çalışmalarında tespit edilen bulgular ile benzer özelliklerde olduğu gözlemlenmiştir. Durmuş vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada doğal agregaların LA kat sayısı %23,95 , geri dönüşüm agregaları aşınma kaybı ortalama %35,63 olarak tespit edilmiştir [29]. Demirel ve Şimşek (2014), yaptıkları çalışma sonucunda kırmataş agregaların aşınma kaybının %24, geri dönüşüm agregalarının aşınma kaybını ise %38 olarak belirtmişlerdir [40].

## 4.2 Geri Dönüşüm Suyu Özellikleri

Hazır beton üretiminde geri dönüşüm suyunun kullanılması TS EN 1008 kapsamında belirtilen kısıtlamalar dahilinde yapılabilmektedir. Karma suyunun kullanımında dikkat edilecek hususların başında; geri kazanılan su içerisindeki ilave katı miktarının, beton karışımındaki toplam agrega miktarının %1'inden daha az olması gelmektedir. Geri kazanılan su miktarı olabildiğince günlük üretime yayılarak kullanılmalıdır. Ayrıca yoğunluğu 1,01 g/cm<sup>3</sup>'den daha fazla olan geri kazanılmış su içindeki katı madde muhtevasının düzgün bir şekilde dağılımını yapacak donanımın olması gerekmektedir. Yoğunluğu 1,01 g/cm<sup>3</sup>'den küçük veya eşit olan karma sularında ise içerdiği katı madde muhtevası ihmal edilebilir [41].

Su içerisindeki katı madde miktarının belirlenmesi Eşitlik 4.1'de verilen formül ile hesaplanır.

$$W_{fi} = \left( \frac{1 - \rho_{ww}}{1 - \rho_f} \right) \times \rho_f \quad (\text{Eşitlik 4.1})$$

Burada;

$W_{fi}$  : Su içerisinde bulunan katı maddenin kütlesi, (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_{ww}$  : Su yoğunluğu, (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_f$  : Katı madde yoğunluğu, (g/cm<sup>3</sup>) (2,1 g/cm<sup>3</sup> alınmıştır)

Yukardaki eşitliğe göre yapılan hesaplamada 1,04 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip karma suyunda birim hacimde 0,076 kg katı madde kütlesi bulunmaktadır. Beton karışımı hesabında kullanılan ince agrega miktarından, kullanılan geri dönüşüm suyu içerisindeki katı madde kütlesi çıkartılmıştır.

Coşkun vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada %100 geri dönüşüm suyu kullanılarak üretilen beton numuneleri ile %100 kuyu suyu kullanılarak hazırlanan beton numuneleri 2, 7, 28 günlük basınç dayanım testlerinde belirgin farklılıklar olmadığı tespit edilmiştir [28].

Yapılan bir diğer çalışmada yapılan gözlemler ve test sonuçları, geri dönüştürülmüş suyun, betonun özellikleri üzerinde belirgin olumsuz etkileri olmaksızın karışık su olarak kullanılabilceğini göstermektedir [21].

#### **4.3 Üretilen Betonun zelliklerinin Belirlenmesi**

Geri dönüşüm agregası ve doğal agrega kullanılarak CEM I 42,5 R imento ve imento kütlesinin %20'si oranında uçucu kül kullanılarak beton üretilmiştir. Tüm numunelerde geri dönüşüm agregası % 30 oranında kullanılmış olup geri dönüşüm suyu 1,04 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda olacak şekilde şebeke suyuyla karıştırılarak iki farklı tesiste C25 ve C30 sınıflarında beton üretilmiştir.

C25/30 beton karakteristik silindir basınç dayanımı 25 MPa, eşdeğer kp basınç dayanımı 30 MPa olan taşıyıcı beton sınıfıdır. C30/37 beton karakteristik silindir basınç dayanımı 30 MPa, eşdeğer kp basınç dayanımı 37 MPa olan taşıyıcı beton sınıfıdır. C25 beton santimetrekaresi 250 kg yük taşıma özelliğine sahipken, C30 beton santimetrekaresi 300 kg yük taşıma özelliğine sahiptir. C30 beton sınıfı deprem bölgelerinde kullanılacak en düşük beton sınıfıdır.

Geri dönüşüm agreaları yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğundan dolayı sertleşme hızlı bir sürede gerçekleşmektedir. Bu durumu önlemek için beton içerisine polikarboksilat kökenli süper ve hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemeleri eklenmiştir. C25/30 sınıf beton için süper akışkanlaştırıcı, C30/37 sınıf beton için hiper akışkanlaştırıcı katkı eklemesi yapılmıştır.

#### 4.3.1 Taze Beton Yoğunluk ve Çökme Deneyi Sonuçları

Tesis 1 ve Tesis 2'de üretilen taze beton çökme değerleri ve birim kütleleri Çizelge 4.7'de yer almaktadır.

**Çizelge 4.7** Taze Beton Birim Kütle ve Çökme Değerleri

	Birim Kütle (kg/dm <sup>3</sup> )		Çökme (cm)	
	C25/30	C30/37	C25/30	C30/37
Tesis 1 Şahit Beton	2,419	2,421	21,5	22,0
Tesis 1 GDA Beton	2,350	2,353	18,0	18,5
Tesis 2 Şahit Beton	2,382	2,384	19,5	20,0
Tesis 2 GDA Beton	2,315	2,318	18,3	18,6

Yapılan çalışmada deney gruplarının tamamında taze beton birim kütleleri 2,350 kg/dm<sup>3</sup> ile 2,421 kg/dm<sup>3</sup> aralığında değişmekte olup normal kütleli beton sınıfındadır. Çökme (slump) değeri 18-22 cm aralığında olup şahit numunelere göre geri dönüşüm agregalı betonlarda daha düşük olduğu görülmüştür. Taze beton testlerinde, geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen beton numuneleri birim kütleleri şahit beton numunelerine göre 0,65-0,70 kg/dm<sup>3</sup> daha düşük olduğu çökme değerlerinin ise şahit beton numunesine oranla %7-16 düşük olduğu tespit edilmiştir. Beton kıvamı, betonun taşınması, kullanım yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, işçilik ve masterlanması gibi özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Kıvam sınıfı çökme değeri ile ölçülebilmekte olup çalışmada istenilen ideal kıvam sınıfı S4'tür. Üretilen betonun slump değerleri ile betonun kıvam sınıfı arasındaki ilişki Çizelge 4.8'e göre belirlenmektedir [42].

#### Çizelge 4.8 Kıvam Sınıfları

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≥220

Belen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2011), 0.65 su/çimento oranına sahip %0, %20, %50, %100 geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonlarda çökme değerleri sırası ile 12 cm, 11 cm, 11 cm, 11 cm olarak tespit edilmiştir. 0.50 su/çimento oranına sahip %0, %20, %50, %100 geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonlarda çökme değerleri ise 21 cm, 19 cm, 20 cm, 19 cm olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında geri dönüşüm agregası miktarının artması betonun çökme değerlerinde önemli bir farklılık yaratmadığı gözlemlenmiştir [19].

#### 4.3.2 Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları

15x15x15 ebatlarında küp kalıp içinde kür havuzunda bekletilen beton numuneleri birim hacim kütleleri Çizelge 4.9'da, basınç dayanımları Çizelge 4.10'da yer almaktadır.

#### Çizelge 4.9 Birim Hacim Kütle Sonuçları

	Birim Hacim Kütle (kg/dm <sup>3</sup> )	
	C25/30	C30/37
Tesis 1 Şahit Beton	2,410	2,413
Tesis 1 GDA Beton	2,339	2,344
Tesis 2 Şahit Beton	2,362	2,373
Tesis 2 GDA Beton	2,251	2,246

Sertleşmiş beton sonuçlarına göre; GDA kullanılan beton numunelerinin birim hacim kütlelerinin şahit beton numunelerine kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Tesis 1 GDA kullanılan C25 sınıfı beton 28 günlük karakteristik küp basınç dayanımı 30,2 MPa olup en düşük karakteristik küp basınç dayanım değeri 30 MPa'yı sağlamaktadır. Tesis 1 GDA kullanılan C30 sınıfı beton 28 günlük karakteristik küp basınç dayanımı 37 MPa olup en düşük karakteristik küp basınç dayanım değeri 37 MPa'yı sağlamaktadır. Tesis 2 GDA kullanılan C25 sınıfı beton 28 günlük karakteristik küp basınç dayanımı 26,5 MPa olup en düşük karakteristik küp basınç dayanım değeri 30 MPa'yı sağlamamaktadır. Tesis 2 GDA kullanılan C30 sınıfı beton 28 günlük karakteristik küp basınç dayanımı 33,5 MPa olup en düşük karakteristik küp basınç dayanım değeri 37 MPa'yı sağlamamaktadır. Tesis 2 GDA kullanılan beton basınç dayanımları, en düşük karakteristik basınç dayanımlarına yakın değerlerde olup karışıma uçucu kül ilavesi gibi yöntemlerle basınç dayanım değerlerinin istenilen seviyelere gelebileceği öngörülmektedir.

**Çizelge 4.10** Basınç Dayanım Sonuçları

	Basınç Dayanımı (MPa)					
	C25/30			C30/37		
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
Tesis 1 Şahit Beton	22,3	30,5	35,5	28,0	37,5	43,5
Tesis 1 GDA Beton	17,5	24,3	30,2	22,5	30,6	37,0
Tesis 2 Şahit Beton	18,0	25,0	34,0	25,0	33,0	40,0
Tesis 2 GDA Beton	13,5	19,3	26,5	19,3	25,5	33,5

Basınç dayanımlarında en düşük karakteristik küp dayanım değerleri Tesis 1 GDA beton numunelerinde sağlanmıştır. C25 sınıfında Tesis 2 GDA beton numunelerinde basınç dayanımları sınır değerinin altında kalmış olup C30 sınıfı için üretilen beton numunesi bir alt sınıf olan C25 sınıf değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. Tesis 2 GDA beton numuneleri basınç dayanım testleri amaç dayanım değerlerine yaklaşmış olup iki tesis arasındaki farkın çimento kullanım miktarlarına bağlı olduğu öngörülmektedir. Diğer yandan geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen beton basınç dayanım değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun durumun sebebini ise Debieb vd. (2010) geri dönüştürülmüş agrega betonunun dayanıklılığı, gözeneklilikten ve geri dönüştürülmüş agregaların yüksek su emiliminden büyük ölçüde etkilendiği vurgulanmıştır [22].



## 5. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Yapılan çalışma sonucunda aşağıda belirtilen açıklamalar geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen beton da dikkate alınması gereken hususlar olarak ön plana çıkmaktadır.

### 5.1 Geri Dönüşüm Agregası ve Geri Dönüşüm Suyuna Yönelik Değerlendirme

Çökeltme havuzu çöktetisinden elde edilen geri dönüşüm agregası yoğunluğunun doğal agrega yoğunluğundan daha düşük olduğu, su tutma kapasitesinin ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada geri dönüşüm agregalarının yüksek miktarda su emme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Agregası yoğunluğunun ve su emme oranının beton üretiminde önemli olduğu ve bu sebeple bu parametreler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalıdır.

Çökeltme havuzundan alınan çamurlar beton santrallerinde kurutma alanlarında kurutulmaktadır. Güneşli havalarda bu malzeme oldukça kurudur ve su tutması 15 – 20 dakika içerisinde başlamaktadır. Bu sebeple güneşli havalarda geri dönüştürülmüş agreganın nemlendirilmesi üretilen beton kalitesindeki farklılıkların önüne geçeceği öngörülmektedir.

G.D.A.'da boşluklu yapının normal agregaya göre fazla olması su emme hızını etkilemekte ve sertleşme hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu sebeple sertleşmenin hızlı bir şekilde gerçekleşmemesi için akışkanlaştırıcı katkı malzemelerinin kullanılması çözüm olarak önerilebilmektedir.

Beton santrallerinde çökeltme havuzunda oluşan atıksu ve beton çamurlarının üretimde efektif olarak tekrar kullanılabilmesi için sabit karakteristik özellik (yoğunluk, pH, alkalinite vb.) göstermesi gerekmektedir. Beton üretiminin yoğun olduğu dönemlerde havuzda biriken ince taneli malzeme miktarı çoğalırken üretimin az olduğu dönemlerde bu değerler daha düşük seviyede olmaktadır. Geri dönüşüm suyunun yüzde oranlar ile üretimde tekrar kullanılması üretilen betonun farklı karakteristik özellikler göstermesine sebep olacaktır. (Çalışmada şebeke suyu-geri dönüşüm suyu karışımı olan karma suyu yoğunluğu 1,04 g/cm<sup>3</sup> olarak ayarlanmıştır.)

Bu sebeple geri dönüşüm suyunun yoğunluğu sabitlenerek sisteme sürekli sabit özellikte su eklenmesi gerekmektedir. Bunun sonucu olarak; standart beton santrali çökeltme havuz sistemlerine suyun yoğunluğunun ayarlamasında yardımcı bir cihazın eklenmesi gerektiği öngörülmektedir. Ayrıca havuzda oluşan çökeltilerin tane büyüklüklerine göre ayrılmasını sağlayacak yıkama ve eleme görevini yürütecek ayrı bir sistemin entegre edilmesi, beton santrallerinde oluşan atıkların geri dönüşüm verimini artıracak şekilde katkıda bulunacaktır.

## **5.2 Beton Kalitesine Yönelik Değerlendirme**

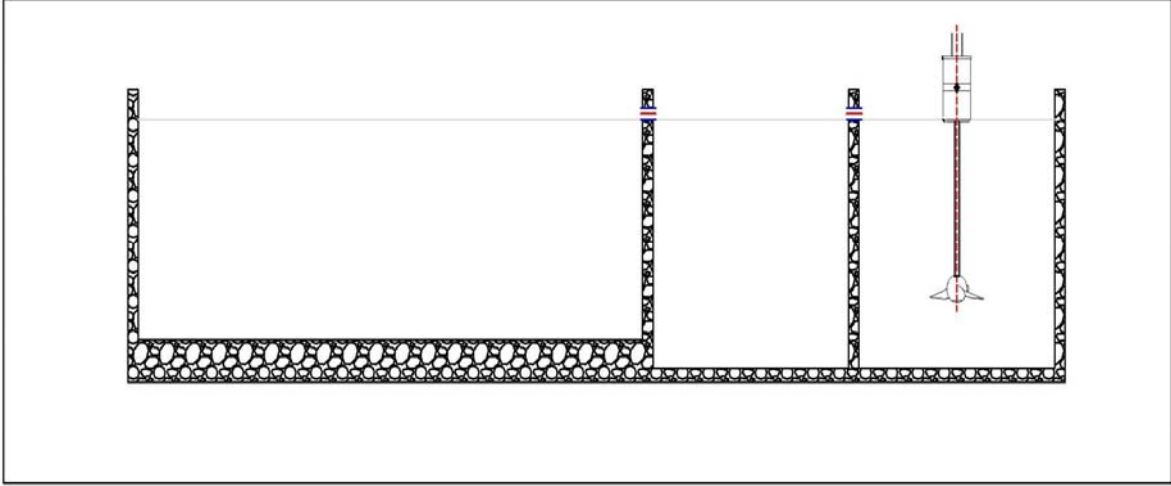
Süper ve hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemelerinin kullanımı her ne kadar akıcılık ve betonun kolay yerleşmesini sağlasa da fazla kullanılması durumunda betonun geç sürede priz almasına sebep olmakta ve beton kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple akışkanlaştırıcı katkı malzemelerinin ideal kullanım miktarı, üretilecek beton sınıfına göre laboratuvar çalışmaları ile belirlenmesi gerektiği öngörülmektedir.

G.D.A. kullanılarak üretilen beton S4 kıvam sınıfında yer almakta olup yerleşimi kolay beton olarak nitelendirilmektedir. Çökme değerlerinin yükselmesi betonun mukavemetine olumsuz etki gösterdiğinden dolayı beton üretiminde kullanılan su miktarının ayarlanması dikkatli yapılmalı ve üretilecek her beton sınıfı için ayrı geri dönüşüm suyunu ve agregasını içeren reçete hazırlanmalıdır.

## **5.3 Geri Kazanım Sistemine Yönelik Değerlendirme**

Çökeltme havuzlarında toplanan çamurun büyük bölümünü mikser içerisinde kalan fazla beton oluşturmaktadır. Bu sebeple çamur miktarının kaynağında azaltılması için öncelikli olarak üretim fazlası betonları yıkama sisteminin tesislere kurulması gerekmektedir. Kurulacak yıkama sisteminin orta ve iri agregayı ayırabilecek aralıklarda elek çapına sahip olması ve titreşimli konveyör bantlarla yıkanan malzemeyi ayrı ayrı stoklayacak özellikte olması gerekmektedir. Eleklerden geçen ince malzeme ve yıkama suları çökeltim havuzu üçüncü kademesinde toplanarak üretimde geri dönüşüm suyu olarak kullanılmalıdır. Üçüncü kademe su içerisinde yer alan malzemelerin çökmemesi için havuz içerisine Şekil 5.1'de gösterildiği gibi

karıştırıcı motorun kurulmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Hazır beton tesislerinde bulunan havuzların büyük bir bölümü dikdörtgen veya kare prizma şekillerinde olduğu için havuzlara karıştırıcı konulması durumunda kör noktalar oluşacaktır. Kör nokta oluşumunu engellemek için havuz zeminine yanlardan difüzör ile hava verilmesi çözüm olarak önerilmektedir.



**Şekil 5.1** Çökeltme Havuzu Karıştırıcı Sistem

Çökeltme havuzuna üretim fazlası betondan başka farklı malzemelerin gelmemesi için uygun saha tasarımı yapılması gerekme olup çökeltme havuzunun sahadaki yeri iyi seçilmelidir. Çökeltme havuzuna gelen toprak, kil, kimyasal madde ve türevlerinin beton kalitesine olumsuz yönde etki edeceği literatürde yer alan çalışmalarda belirtilmektedir [38].

#### **5.4 Çevresel Kazanımlar**

Ortalama saatte 90 m<sup>3</sup> beton üretimi yapan bir santralin günde 8 saat çalıştığı varsayımı ile günde 720 m<sup>3</sup> hazır beton imal ettiği öngörülmektedir. Üretilen betonu taşıyan transmikserler 8 m<sup>3</sup> taşıma kapasitesi ile günde 90 sefer yapmaktadır. Şantiye sahasına hazır beton taşıyan mikserler her seferde hazır beton santralinden çıkmadan önce yıkanmakta olup ortalama mikser başına 400 litre su kullanılmaktadır. Mikser yıkamalarından kaynaklı atıksu oluşumu 36,000 litre dolaylarındadır. Bu

miktara beton pompaları da eklendiği zaman 40,000 litre/gün dolaylarında atıksu olduğu öngörülmektedir. Tesis 1 ve Tesis 2'nin üretimin yoğun olduğu dönemlerde çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerin analizi Çizelge 5.1.' de yer almaktadır. Geri dönüşüm suyunun beton santrallerinde %10 oranında kullanıldığı beyan edilse de tamamının kullanılmadığı ancak %3'ünün kullanılabildiği "Kısım 2.2.2" de belirtilmiştir. Beton santrallerinde atıksuyun alıcı ortama deşarjının olması durumunda çökeltme havuzu suyunda bulunan krom elementinin çevreye olumsuz etki göstereceği öngörülmektedir.

**Çizelge 5.1** Çökeltme Havuzu Analiz Sonuçları

Yapılan Analizler	Tesis 1 Analiz Sonucu	Tesis 2 Analiz Sonucu	Sınır Değerler
Askıda Katı Madde (mg/l)	110	188	100
Krom VI (mg/l)	0.42	0.96	0.3
Yağ ve Gres (mg/l)	<10	<10	10
Renk (Pt-Co)	17	28.8	280
pH	11.25	10.23	6-9

Çalışma kapsamında yapılan incelemeler sonucu, günde 500 m<sup>3</sup> beton üretimi yapan bir santralde aylık 50 ton atık beton çamuru olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 5.2'de Tesis 2'ye ait çamur analizi sonuçları incelendiğinde ağır metal içeriğinin sınır değerleri sağladığı görülse de, şehir ve ülke bazında yaklaşım yapıldığında ağır metal miktarlarının büyük boyutlara ulaşacağı ve çevreye olumsuz etkiler göstereceği öngörülmektedir. Ayrıca, beton çamuru ve atıksu analizi incelendiğinde, atıksuyun içerdiği krom içeriği çamurun içerdiği krom miktarına oranla daha yüksektir. Bu durum kromun atıksuda çözündüğünü göstermekte olup atıksuyun deşarjı ile yüksek miktarlarda kromun alıcı ortama ulaşacağını göstermektedir. Kentsel ve ülkesel ölçekte bakıldığında yüksek miktarlarda ağır metalin doğal kaynaklara karışacağı ve bu kaynakları kullanılamaz hale getireceği görülmektedir. Bu atıkların üretimde tekrar kullanımı ile çevresel risklerin büyük oranda indirgenmesi mümkün olacaktır.

**Çizelge 5.2** Atık Beton Çamur Analizi Sonuçları

Yapılan Analizler	Birim	Tehlikesiz Atıkların Düzenli Depolanabilme Kriterleri	Analiz Sonucu (Tesis 2)
As (Arsenik)	mg / lt	0,2	<0,005
Ba (Baryum)	mg / lt	10	3,33
Cd (Kadmiyum)	mg / lt	0,1	<0,001
Cr (Krom)	mg / lt	1	0,114
Cu (Bakır)	mg / lt	5	<0,002
Hg (Civa)	mg / lt	0,02	<0,0005
Mo (Molibden)	mg / lt	1	<0,01
Ni (Nikel)	mg / lt	1	<0,005
Pb(Kurşun)	mg / lt	1	<0,005
Sb (Antimon)	mg / lt	0,07	<0,005
Se(Selenyum)	mg / lt	0,05	<0,005
Zn (Çinko)	mg / lt	5	<0,001
Klorür	mg / lt	1500	320
Florür	mg / lt	15	0,34
Sülfat	mg / lt	2000	13,3
ÇOK(Çözünmüşorganik karbon)	mg / lt	80	27,6
TÇK (Toplam çözünen katı)	mg / lt	6000	3410
pH		-	12,94

1 m<sup>3</sup> beton için 180 litre temiz su kullanıldığı düşünülürken, günlük su tüketimi 129,600 litre, aylık ise 3,888.000 litre su kullanılmaktadır. Beton santrallerinde geri dönüşüm suyunun aktif olarak kullanılması durumunda; ortalama günde 25,000 (seyreltme yapıldığı için 25 m<sup>3</sup> hesaplanmıştır) litre temiz sudan kar sağlanmaktadır. Yılda 300 gün çalışan bir santralde 7,500 m<sup>3</sup> temiz su tasarrufu sağlanmaktadır. Türkiye’de tüm beton santrallerinde geri dönüşüm sisteminin kurularak aktif olarak kullanılması durumunda ise; 1000 adet santral üzerinde düşünülürken 7,500.000 m<sup>3</sup> temiz su tasarrufu sağlanacağı öngörülmektedir. Bu değer Çubuk II Barajı depolama hacminin %30’una, Kurt Boğazı Barajının %7’sine, Akyar Barajının ise % 14’üne denk gelmektedir.

1 m<sup>3</sup> geri dönüşüm suyu (1,04 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip) ortalama 76 kg ince malzeme içermektedir. Bir hazır beton santralinde günlük 25 m<sup>3</sup> su geri dönüşüm suyu kullanıldığı durumda 1900 kg ince malzeme de üretime katılacaktır. Ayda 57 ton, yılda ise 684 ton ince malzeme sadece bir tesisten tasarruf altına alınacaktır.

Atıksu ve atık beton ve beton çamurlarının geri dönüştürülmesi, hazır beton sektörünün düzenli depolama için ödediği ücretlerden tasarruf etmesine, hammaddeye olan ihtiyacın bir kısmını geri kazanım ile sağlayarak ekonomik faydalar kazanacağı, düzenli depolama için gerekli alanların farklı amaçlar için kullanılmasının önünü açacağı kaçınılmaz bir gerçek olarak görülmektedir.

## 5.5 Sonuçlar

Karışımında %30 oranında geri dönüşüm agregası ve 1,04 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta geri dönüşüm suyu kullanılarak hazırlanan beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda,

- Geri dönüşüm agregası görünen özgül kütlelerinin normal agregaya göre daha düşük olduğu,
- Geri dönüşüm agregası su emme oranının doğal agregaya göre daha yüksek olduğu, beton karışım hesaplamalarında geri dönüşüm agregası su emme oranına dikkat edilmesi gerektiği,

- Geri dönüşüm agregası üzerinde yapılan aşınmaya karşı direnç tayininde Los Angeles katsayısının normal agregaya göre daha yüksek çıktığı,
- Doğal agrega kullanılarak hazırlanan beton numuneleri basınç dayanım değerleri, geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betona göre daha yüksektir. Literatür taramasında yapılan çalışmalarda geri dönüşüm agregasının beton karışımında %30 oranında kullanıldığı durumlarda basınç dayanım değerlerinin sağlandığı belirtilmektedir.
- Geri dönüşüm suyunun 1,04 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta ayarlanarak üretimde kullanılması, havuzda toplanan suyun kullanımına süreklilik kazandıracığı öngörülmektedir.
- Tesis 2'de geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen C25 ve C30 sınıf beton kalitelerinin belirtilen sınır değerleri sağladığı tespit edilmiştir.
- Çalışmada elde edilen sonuçlar çerçevesinde; su yoğunluğunu ayarlayarak beton üretim prosesine sürekli su temini yapabilecek, üretim fazlası betonu yıkama eleme işlemine tabi tutarak tane sınıfına göre farklı alanlara stoklama yapabilecek ya da beton kalitesine olumsuz etki göstermeyecek miktarda geri dönüşüm agregasını istenilen oranlarda beton üretimine taşıyabilecek bir cihaz tasarımı yapılması, hazır beton sektörünün hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük kazanımlar elde etmesini sağlayacaktır.

## **5.6 Gelecek Çalışmalar İçin Öneri**

Geri dönüşüm suyu ve agregalarının hazır beton üretiminde tekrar kullanılması, bir çok literatür çalışmasına konu edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, belirli oranlarda geri dönüşüm suyu ve geri dönüşüm agregası kullanmak şartıyla, geri dönüşüm malzemelerinin beton kalitesini bozmadığı görülmektedir. Ancak, mevcut beton santrallerinde bahse konu geri dönüştürülebilir atıkların tekrar kullanımı personel ihtiyacı, zaman gereksinimi, laboratuvar çalışması, kırma-eleme-yıkama işlemleri için makine-ekipman ihtiyaçlarının olması vb. sebeplerinden dolayı mümkün görünmemektedir. Geri dönüştürülebilir malzemelerin beton üretiminde kullanımının sürekliliğini sağlamak amacıyla beton kalitesine olumsuz etki göstermeyecek ve laboratuvar çalışmaları ile desteklenmiş geri dönüşüm sistemi tasarımının yapılarak sektörde aktif olarak kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, G.D.A. kullanılarak üretilen beton karışımının içerdiği ince taneli malzemelerin mevcudiyeti sebebiyle beton numunelerinin büzülme ve sünme davranışları incelenmelidir.

Beton atıklarının tekrar kazanılması kapsamında atıkların potansiyel kullanımı ve uygulamalardaki kısıtlamalar Çizelge 5.3'te belirtilmiş olup gelecek çalışmalarda yarar sağlayacağı düşünülmektedir.



**Çizelge 5.3** Atıkların Potansiyel Kullanımı ve Karşılaşılan Kısıtlamalar [12]

<b>Atık Tipi/Geri Dönüştürülebilir Tip</b>	<b>Teknik Husular</b>	<b>Sınırlamalar ve Pratikteki Etkiler</b>
Üretim fazlası beton atıkları	Taze betonda yeniden kullanımı	Set-geciktiriciler ve aktivatörler gibi kimyasallara ihtiyaç vardır; Profesyonel kadro ve maliyet analizi gereklidir.
	Farklı ürünlerin üretiminde kullanmak	Ekstra alan ve geri dönüşüm istasyonları gereklidir. Ekonomik kazanımları değerlendirilmelidir. Geri kazanımda kullanan fabrikalar ile entegrasyonu sağlanmalıdır. Nakliye mesafesi değerlendirilmelidir.
	Atık betonun sertleştikten sonra kırma işlemine tabi tutmak	Zaman alıcı ve depolama alanı gerekli; Kırma ekipmanı ve ilgili süreç gerekli. Süreç ve depolama için alan gereklidir;
Çökeltme havuzundan geri kazanılmış agregalar	Yeni ürünlerde doğal agregalar yerine kullanımı	Doğrudan beton üretiminde kullanımı uygun değildir.
Mekanik sistemden geri kazanılmış agregalar	Yeni ürünlerde doğal agregalar yerine kullanımı	Belirli oranlarda kullanılmasında olumsuz etki görülmemiştir, Mekanik sistem gereklidir, Üretilecek beton sınıfına göre tekrar kullanım oranları belirlenmelidir, Laboratuvar çalışması gerektirir,
Çökeltme havuzunda toplanan gri su	Beton üretiminde yeniden kullanım	Beton karma suyu olarak kullanılacak suyun sabit karakterler göstermesi sağlanmalı, Sürekli pH kontrolü gerektirir, Sürekli su yoğunluğu kontrolü gerektirir, İçerdiği askıda katı madde miktarı belirlenerek üretilecek beton sınıfına göre kullanım miktarı belirlenmelidir, Laboratuvar çalışması gerektirir.

Tasarlanacak geri dönüşüm sisteminin taşınması gereken özellikler özetlenecek olursa;

- Atık beton ve beton çamurlarını orta ve kaba agrega aralıklarında eleme ve yıkama işlemine tabi tutacak titreşimli elek ve yıkama sisteminin bulunması,
- Yıkanan malzemeleri orta ve kaba agrega olarak farklı iki tane sınıfta stoklama yapacak özellikte konveyör bant veya kolların olması,
- Geri dönüştürülmüş orta ve kaba agrega stok alanına alınan malzemenin periyodik olarak nemlendirilmesini sağlayacak sulama sisteminin bulunması (geri dönüşüm agregalarının su emme oranlarının yüksek olması sebebiyle, bu işlemdeki amaç geri dönüşüm agregalarının doymuş kuru yüzeye sahip olmasını sağlayarak su emme oranlarının düşürülmesi amaçlanmaktadır),
- Orta ve kaba agrega yıkama sisteminin çalışmasında personel kontrol ihtiyacının minimize edilmesi amacıyla sensör sistemleri ve periyodik aralıklarla cihazın kendini temizleme özelliklerinin entegre edilmiş olması,
- Yıkama sularının çökeltme havuzlarına ulaşmasını sağlayacak ve yıkama sularının etrafa sızmasını engelleyecek tasarıma sahip olması,
- Çökeltme tankı tasarımında; havuzlarda toplanan su içindeki ince partiküllerin ve ince agreganın homojen dağılımını sağlayacak karıştırıcı sistemin entegre edilmesi,
- Havuzda toplanan atıksu ile temiz su karışımını sağlayacak ve üretilmek istenilen beton sınıfına göre su yoğunluğunu otomasyon sistemine bağlı olarak ayarlayacak elektronik karışım tankının entegrasyonu sağlanmalıdır.

Özelliklerinden bahsedilen geri dönüşüm cihazı tasarımı ile hazır beton sektöründe; atık beton ve beton çamuru kullanım oranının artacağı, çamur bertaraf ücretlerinin minimize edilmesi ve geri dönüşüm suyu ve agregaların tekrar üretimde kullanılması ile ekonomik kazanç sağlayacağı, üretimde kullanılan temiz sudan tasarruf edilerek ve çamurun bertarafı için gerekli deponi alanlarının tasarrufu ile çevresel kazançlar sağlayacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Lobo, C., Mullings, G. M., Recycled water in ready mixed concrete operations, *Concrete InFOCUS*, 2 (1), 17-26, **2003**.
- [2] Agudelo-Vera, C. M., Leduc, W.R W.A., Mels, A. R., Rijnaarts, H. H.M., Harvesting urban resources towards more resilient cities., *Resources. Conservation Recycling*, 64, 3-12, **2012**.
- [3] Tsimas, S., Zervaki, M., Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22 (1), 7-17, **2011**.
- [4] Oikonomou, N. D., Recycled concrete aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 27, 315-318, **2005**.
- [5] TSE, *TS-1247*, Ankara, **1984**.
- [6] Demiryürek, B. E., *Türkiye' de Hazır Beton Sektörü ve Sektördeki Büyüme*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2007**.
- [7] Karakule, F., Akakın, T., Hazır beton sektörünün gelişimi ve özel beton uygulamalarında Türkiye'deki durum, *6. ulusal beton kongresi*, İstanbul, **2005**.
- [8] Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento Nasıl Üretilir?, <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=54>.(Mart **2018**).
- [9] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Atık Yönetimi Yönetmeliği*, Resmi Gazete Sayı:29314, **2015**.
- [10] Kazaz, A., Ulubey, S., Er, B., Arslan, V., Arslan, A., Atıcı, M., Fresh ready-mixed concrete waste in construction projects: a planning approach, *Procedia Engineering*, 123, 268-275, **2015**.
- [11] Iizuka, A., Sakai, Y., Yamasaki, A., Honma, M., Hayakawa, Y., Yanagisawa, Y., Masoto, H., Bench-Scale Operation of a Concrete Sludge Recycling Plant, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (17), 6099-6104, **2012**.
- [12] Xuan, D., Poon, C. S., Zheng, W., Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: A review, *Resources, Conservation & Recycling*, 136, 238-247, **2018**.
- [13] Türkiye Hazır Beton Birliği, Türkiye Hazır Beton Birliği, [www.thbb.org](http://www.thbb.org). (Nisan **2018**).
- [14] Gürsel, A. P., Masanet, E., Horvath, A., Stadel, A., Life-cycle inventory

- analysis of concrete production: A critical review, *Cement&Concrete Composites*, 51, 38-48, **2014**.
- [15] Parker, C. L., Slimak, M. W., Waste treatment and disposal costs for ready-mixed concrete industry, *American Concrete Institute Journal Proceedings*, 74 (7), 281-287, **1977**.
- [16] Asadollahfardi, G., Asadi, M., Jafari, H., Moradi, A., Asadollahfardi, R., Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and batching plant in the production of fresh concrete, *Construction and Building Materials*, 98, 305-314, **2015**.
- [17] Rakshvir, M., Barai, S. V., Studies on Recycled Aggregates-based Concrete, *Waste Management & Research*, 24 (3), 225-233, **2006**.
- [18] Paula, H. M., Andrade, L. S., Ilha, M. S. O., Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and Morigana oleifera powder, *Journal of Cleaner Production* 76, 76, 125-130, **2014**.
- [19] Belen, G. F., Fernando, M. A., Diego, C. L., Sindy, S. P., Stress-strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate, *Construction and Building Materials*, 25 (5), 2335-2342, **2011**.
- [20] Chatveera, B., Lertwattanakul, P., Makul, N., Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete, *Cement & Concrete Composites Elsevier*, 28 (5), 441-450, **2006**.
- [21] Ekolu, S. O., Dawneerangen, A., Evaluation of recycled water recovered from a ready mixed concrete plant for reuse in concrete, *Journal of South African Institution of Civil Engineering* 52, 24 (2), 77-82, **2010**.
- [22] Debieb, F., Courard, L., Kenai, S., Degeimbre, R., Mechanical and Durability Properties of Concrete Using Contaminated Recycled Aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 32, (6), 421-426, **2010**.
- [23] Grdic, Z. J., Toplicic-Curcic, G. A., Despotovic, I. M., Ristic, N. S., Properties of Self-Compacting Concrete Prepared with Coarse Recycled Concrete Aggregate, *Construction and Building Materials*, 24 (7), 1129-1133, **2010**.
- [24] Limbachiya, M. C., Leelawat, T., Dhir, R. K., Use of Recycled Concrete Aggregate in High-Strength Concrete, *Materials and Structures*, 33 (9), 574-580, **2000**.
- [25] Köken, A., Köroğlu, M. A., Yonar, F., Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 7 (1), 86-97, **2008**.
- [26] Building Contractors Society of Japan, Study on Recycled Aggregate and

- Recycled Concrete Aggregate, *Concrete Journal*, 16 (7), 18-31, **1978**.
- [27] Coquillat, G., Recyclage des Materiaux de Demolition dans la Confection du Beton, *CEEBTP-service D'etude des Materiaux Unite: Technologie des Beton*, 80-61-248, **1982**.
- [28] Coşkun, İ., Tandırıcı, E., Kurt, S., Geri Dönüşüm Suyu İkamesinin Beton Üretimine Etkileri, *Beton İstanbul*, İstanbul, **2017**.
- [29] Durmuş, G., Şimşek, O., Dayı, M., Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (1), 183-189, **2009**.
- [30] TSE, TS EN 933-1, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA, **1999**.
- [31] TSE, TS EN 1097-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, **2002**.
- [32] TSE, TS EN 1097-2, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA, **2000**.
- [33] TSE, TS EN 12350-6, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA, **2002**.
- [34] TSE, TS EN 12350-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, **2002**.
- [35] TSE, TS EN 12390-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, **2002**.
- [36] TSE, TS EN 12390-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, **2002**.
- [37] TSE, TS EN 12390-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, **2003**.
- [38] İstanbüllüoğlu, S., Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma, *Madencilik*, 17 (3), 20-31, Eylül **1988**.
- [39] Rao, A., Jha, K. N., Misra, S., Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete, *Resources Conservation & Recycling*, 50 (1), 71-81, **2007**.
- [40] Demirel, C., Şimşek, O., C30 Sınıfı Atık Betonun Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 2 (2), 45-54, **2014**.
- [41] TSE, TS EN 1008, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, **2003**.
- [42] TSE, *Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk*, Ankara, **2014**.
- [43] TSE, TS 3530 EN 933-1, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA, **1999**.
- [44] TSE, TS EN 1097-1, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA, **2002**.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Ali GÜNER  
Doğum Yeri : Elazığ  
Medeni Hali : Bekar  
E-posta : ali.guner@outlook.com  
Adresi : Şehit Daniş Tunalıgil Sokak No:11/17 Çankaya ANKARA

### Eğitim

Lisans: : Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği  
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği

**Yabancı Dil ve Düzeyi:** İngilizce / İyi

**İş Deneyimi:** 6 yıl

**Deneyim Alanları:** Atıksu Arıtma Tesisi Proje Çalışmaları, Çevre Danışmanlık

**Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi:**

**Tezden Üretilmiş Yayınlar:**

**Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar:**



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih:26/06/2018

Tez Başlığı: Hazır Beton Santrallerinde Oluşan Çamur ve Atıksuyun Tekrar Kullanımı

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 63 sayfalık kısmına ilişkin, 26/06/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

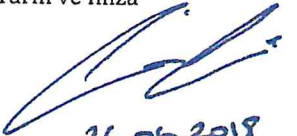
- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: ALİ GÜNER  
Öğrenci No: N14324431  
Anabilim Dalı: ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ  
Programı: YÜKSEK LİSANS  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

  
26.06.2018

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.



Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

