

Gerİ Dönüşüm Suyu İkamesinin Beton Üretimine Etkileri*

İrfan Coşkun¹, Ergin Tandırcı², Sinan Kurt³

Özet

Yapılan bu çalışmada hazır beton tesislerinde biriken atık suların beton üretiminde kullanılabilirliği ve üretilen betona etkisi incelenmiştir. Hazır beton tesisinde bulunan kuyu suyu ve geri dönüşüm suyu ile üretilmiş betonların kıyaslanması amaçlanmıştır. Su ve kum dışında diğer girdiler sabit tutulmuştur. Geri dönüşüm suyunun yoğunluğu, askıda katı madde (akm) içeriği nedeniyle kuyu suyunun yoğunluğuna göre daha yüksektir. Kuyu suyunun yoğunluğu 1,00 kg/lit, dönüşüm sisteminden elde edilen geri dönüşüm suyunun yoğunluğu 1,02 kg/lit olarak ölçülmüştür. Geri dönüşüm suyu ile üretilen betona dönüşüm suyu içerisindeki katı madde hacmi kadar su ilave edilmiş, aynı hacimde kum azaltılmıştır. Taze beton deneyleri olarak; beton sıcaklığı, slump, birim ağırlık, hava miktarı; sertleşmiş beton deneyleri olarak 2, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı, klorür migrasyon katsayısı ve sülfata maruz kalan harçların potansiyel uzama tayini deneyleri hem geri dönüşüm suyu hem de kuyu suyu ile üretilmiş betonlarla yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

1. Giriş

Hazır beton; günümüzde vazgeçilmesi mümkün olmayan yapı elemanlarının başında gelmektedir.

The Effects of Recycling Water Replacement on Concrete Production

In this study, the availability of waste water accumulated in ready mixed concrete plants in concrete production and the effect of produced concrete are examined. We aim to compare concrete produced by recycled water and concrete produced by well water. Other substances except water and sand were kept constant. The density of recycled water is higher than well water due to the presence of suspended solids. The density of the well water was 1,00 kg/lit, and the density of the recycled water gained from the recycling system was measured as 1,02 kg/lit. The same amount of water as the volume of the solid substances in waste water was added to concrete which is produced with recycled water while the same volume of sand was reduced. As fresh concrete tests; concrete temperature, slump, unit weight, air quantity; the tests of compressive strength, chlorine migration coefficient and potential elongation of mortars exposed to sulphate were compared on 2nd, 7th and 28th days as hardened concrete tests were made and compared between two type of concrete which were produced with well water and recycled water.

Temel yapı taşlarını; agrega, çimento, su, mineral ve kimyasal katkıların oluşturduğu hazır betonun içerisinde bulunan su, doğal ve sınırlı olan kaynaklardan bir tanesidir. Birçok araştırma göstermektedir ki dünyamızdaki su kaynakları endişe duyacağımız kadar azalmakta, bu sebeple su tüketimine duyarlı olunması gerekmektedir. Özellikle hazır beton üretiminde kullanılan su vazgeçilmez bir ham maddedir ve olabildiğince verimli kullanılmalıdır.

Ülkemizde son yıllarda hızla artan yapılaşmaya bağlı olarak hazır beton tüketiminde de artış görülmektedir. Türkiye 2015 yılı itibarıyla 107 milyon metreküp hazır beton üretimi ile dünyanın en büyük 3. Avrupa'nın ise 1. üreticisi konumundadır.

2016 yılında ülkemizin üstlendiği Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) başkanlığı ile sürdürülebilir kaliteli beton üretimi ile alakalı tecrübelerimizi uluslararası birçok platformda sunma ve paylaşma imkânımız olacaktır.

Sürdürülebilir beton üretimi ancak sürdürülebilir çevreci yöntemler ile mümkün olabilecektir. Doğal kaynaklarımızın verimli ve tasarruflu kullanımı, hem

hazır beton üreticilerinin sosyal sorumluluğu hem de sürdürülebilir üretimin temelini oluşturacaktır.

¹ icoskun@cimko.com.tr ² etandirci@cimko.com.tr ³ snkurt@cimko.com.tr, Çimko Çimento ve Beton San. Tic. AŞ
(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

1.1. Dünya Hazır Beton Sektörü Ne kadar Suyu Geri Kazanabilir?

Normal şartlarda üretilen beton değerleri göz önüne alındığında aşağıdaki rakamlar suyun geri kazanımının önemini açıkça gözler önüne sermektedir.

ERMCO istatistiklerine göre Avrupa Hazır Beton Birliğine üye ülkelerde yılda yaklaşık olarak 349 milyon m³ beton üretimi yapılmaktadır [1]. Üretilen her bir metreküp betonun belirli bir kısmı kullanılmamakta, bunun dışında da yaklaşık her bir metreküp için 50 lt su; yıkama, temizleme, bertaraf gibi çeşitli sebeplerden israf edilmektedir.

$349.000.000 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 50 \text{ m}^3/\text{lt} = 17.450.000.000 \text{ lt}/\text{yıl}$

O halde yaklaşık 17,5 milyar litre suyun büyük kısmını geri kazanmak mümkündür.

1.2. Beton Geri Dönüşüm Suyunu Nasıl Geri Kazanabiliriz?

Hızla artan üretici maliyetleri, hazır beton üreticilerini maliyet optimizasyonu yapmaya yönlendirmiştir. Geri dönüşüm suyu hem faydalı parçacıklar hem de su kazanılmaktadır. Günümüz şartlarında anlık ölçümün yapılamaması nedeniyle geri dönüşüm suyunun beton üretiminde %100 olarak kullanılması genellikle mümkün olmayabilir.

Anlık yoğunluk tayininin mümkün olması durumunda çimento, taş tozu ve katkı gibi faydalı malzemelerin içinde bulunduğu gri suyu %100 kullanmak mümkün olacak hem ince malzemelerden hem de taze su kullanımından ciddi anlamda tasarruf elde edilecektir.

Suyun ve kaynakların geri kazanılmaları ve çevreci üretim teknikleri yüzyılımızın en önemli üretici disiplinleri arasına girmiştir. Bunda azalan kaynakların etkileri, rekabetçi pazar şartlarının üretim maliyetlerini aşağıya çekmek zorunda bırakması en önemli faktörlerdir.

Ayrıca katı atıkların bertarafı kadar kolay olmayan, gri suyun çevreye olan zararı, deşarjını çok daha kritik kılmaktadır. Çeşitli yöntemler ile filtre edilmeye çalışılması, filtre edilen parçacıkların israfını doğurmakta, tam kurutulamayan posanın bertarafını imkânsız kılmaktadır.

Bu nedenle anlık ölçüm alan ve herhangi bir filtre kullanmadan içindeki faydalı parçacıklar ile tamamen gri suyu endüstriyel olarak harman suyu haline getirebilen bir sistem gereklidir.

1.3. Beton Geri Dönüşüm Suyunun Kullanılması için Mevcut Yaklaşımlar:

1.3.1. Kademeli Çökeltme Havuzları

Havuzdan alınan suyun havuzun neresinden alındığı sonuçları etkileyebilmektedir. Ayrıca, tartım metodlarının hata oran-

ları oldukça yüksek olması sebebiyle anlık olarak değişkenlik gösteren beton santrallerindeki gri suyun beton üretiminde %100 kullanımı mümkün değildir.

Aynı zamanda var olan havuzların kaldırılması ile alandan tasarruf elde edilerek, havuzların kullanımından doğan çeşitli iş gücü kayıpları oluşmaktadır.

Çökeltme havuzlarından kaynaklanan iş gücü kayıpları:

- Havuzların zorlu temizlik süreçleri,
- Taşmalar ve yetersiz kalmaları durumunda santral sahasına su sızması,
- Alan kaybı,
- Atık bertaraf maliyetleri,
- Ham madde israfı ve çimento, kum, katkı gibi maddi değerleri kullanamama.

1.3.2. CLR-S (Contaminated Liquids Recycling System) Sistemi

Gri suyu kullanarak beton üretimi yapmak sürdürülebilir beton üretiminin en önemli unsurlardan bir tanesidir. Havuz ve santral arasında üretim suyunu hazırlayan CLR-S sistemi %100 olarak gri su havuzundan kullandığı parçacıklı suyu, kullanıcının istediği yoğunlukta hazır tutarak, santrale karışım suyunu iletmektedir. Gri su tamamen beton karışım suyu kullanılmakta ve böylece sahada, tesiste ya da havuzda kirli su birikmemektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca yetkilendirilmiş kurumlarca atık suların yönetimi ile ilgili mevzuat hükümlerinden muafiyet sağlanmakta ve böylece;

- Ofis işlemleri, formalite ve beyanlar, düzenli ve aralıklı kamu kontrolleri, atık su bertaraf maliyeti ortadan kalkmaktadır.
- Katıların kek olarak ayrıştırılması için gereken tesisin bakımı, işletme giderleri ve katıların kek olarak nakliye bedelleri ortadan kalkmaktadır.
- Kirli su havuz bakımı, atık maliyeti ve bunlar için gereken işçilikler artık gerekmemektedir.
- Gri suya bağlı nedenlerle kalitesiz üretim ve fazladan yürütülen işlemler gereksiz hale gelmektedir.

1.3.3. CLR-S ve Yönetmeliklere Uyumu

Beton üretimi sırasında ortaya çıkan gri suların beton harman suyu olarak kullanımı, TS EN1008 Standardı ile belirlenmiştir. Gerçek zamanlı yoğunluk ölçümünü sağlayan sistemler gri suyun tamamen kullanılmasını mümkün kılar.

Gri suların beton harman suyu olarak kullanımı endüstriyel olarak beton üretimi ile gündeme gelmiş ve devam eden bir uygulamadır. Ancak, pratikte gerçek zamanlı olarak yoğun-

luk ölçümü mümkün olamamaktadır. Bu nedenle gri su tamamen kullanılamamakta, birikmekte ve büyük maliyetlerle atık olarak ele alınmaktadır.

Gri su yoğunlukları ve nasıl kullanılabilirleri TS EN 1008

Standardı EK-A'da belirtilmiştir. Standartta 1,01 kg/lt'den düşük olan sulardaki partiküllerin ihmal edilebileceği vurgulanmıştır. Yoğunluğu 1,15 kg/lt'ye kadar olan suların beton karışım suyu olarak kullanılmasına da izin verilmiştir [2].

Tablo 1: Geri kazanılmış su içerisinde bulunan katı madde kütlesi

Ger Kazanılmış Su Yoğunluğu (kg/L)	Katı Madde Kütlesi (kg/L)	Karışım Suyunun Net Hacmi (Litre/Litre)
1,02	0,038	0,982
1,03	0,057	0,973
1,04	0,076	0,964
1,05	0,095	0,955
1,06	0,115	0,945
1,07	0,134	0,936
1,08	0,153	0,927
1,09	0,172	0,918
1,10	0,191	0,909
1,11	0,210	0,900
1,12	0,229	0,891
1,13	0,248	0,882
1,14	0,267	0,873
1,15	0,286	0,864

Yeni bir uygulama olan CLR-S sistemi, her harman için ayrı ayrı olarak, beton harman suyu yoğunluğunu kullanıcı tarafından tespit edilen değerde hazırlayarak sunan bir yapıya sahiptir. Sistem, kullanıcı tercih ve taleplerine göre yoğunluğu gerçek zamanlı olarak belirleyebilmekte ve raporlayabilmektedir. Bu sayede gri suyun tamamen geri dönüştürülerek üretimde kullanılmasına imkân sağlamaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1.Malzemeler

Beton üretiminde 0-5 mm, 5-12 mm ve 12-22,4 mm boyutlarında üç tip kırma taş agrega kullanılmıştır. Agregaların özgül ağırlıkları 0-5 mm agrega 2,62 kg/dm³, 5-12 mm agrega 2,68 kg/dm³, 12-22,4 mm agrega 2,69 kg/dm³ tür. Agrega

tane dağılımını elde etmek için kuru eleme yapılmıştır. Elek analizine göre agrega olarak 0-5 mm %58, 5-12 mm %11, 12-22,4 mm %31 oranlarında alınarak en uygun granülometri belirlenmiştir.

Bağlayıcı olarak CEM II 52,5 N Portland çimentosu kullanılmıştır. Katkı olarak yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Beton üretiminde, çökeltme havuzlarından elde edilen geri dönüşüm suyu ve temiz su olarak da kuyu suyu kullanılmıştır. Geri dönüşüm suyu içerisindeki katı malzemenin özgül ağırlığı 2,11 kg/dm³ olarak ölçülmüştür. Kullanılan bu suların kimyasal ve fiziksel analizleri akredite laboratuvar tarafından yapılmış olup Tablo 2 ve Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 2: Kuyu suyu analiz sonuçları

Numune Cinsi	Kuyu Suyu			
	Bileşik Adı	Test Sonuçları	Sınır Değer	Standart
	pH	7,57	≥4	EN 1008
	Renk	Berrak	Açık sarı veya berrak olmalı	EN 1008
	Koku	Yok	Herhangi bir koku bulunmamalı	EN 1008
	Organik Madde	Yok	Yok	EN 1008
	Sıvı ve Katı Yağlar	Yok	Yok	EN 1008
	Deterjanlar	Yok	Yok	EN 1008
	Öngermeli Beton veya Şerbette Azami Klor Muhtevası (mg/L)	119	Maks. 500	EN 196-2
	İçerisinde Donatı veya Diğer Metal Bulunan Betonda Azami Klor Muhtevası (mg/L)	119	Maks. 1.000	EN 196-2
	İçerisinde Donatı veya Diğer Metal Bulunmayan Betonda Azami Klor Muhtevası (mg/L)	119	Maks. 4.500	EN 196-2
	Askıda Katı Madde	<4	Maks. 4 ml	EN 1008
	Sülfat (SO ₄ ⁻²) mg/L	24	Maks. 2.000	EN 1008
	Sodyum Oksit (Na ₂ O) mg/L	19	-	EN 196-2
	Potasyum Oksit (K ₂ O) mg/L	2,9	-	EN 196-2
	Toplam Alkali mg/L	20,9	Maks. 1.500	EN 196-2
	P ₂ O ₅ mg/L	0,421	Maks. 100	EN 1008
	Nitrat (NO ₃ ⁻) mg/L	2,3	Maks. 500	EN 1008
	Pb ²⁺ mg/L	-	Maks. 100	EN 1008
	Zn ²⁺ mg/L	0,148	Maks. 100	EN 1008

Tablo 3: Geri dönüşüm suyu analiz sonuçları

Numune Cinsi	Geri Dönüşüm Suyu			
	Bileşik Adı	Test Sonuçları	Sınır Değer	Standart
	pH	11,75	≥4	EN 1008
	Renk	Berrak	Açık sarı veya berrak olmalı	EN 1008
	Koku	Yok	Herhangi bir koku bulunmamalı	EN 1008
	Organik Madde	Yok	Yok	EN 1008
	Sıvı ve Katı Yağlar	Yok	Yok	EN 1008
	Deterjanlar	Yok	Yok	EN 1008
	Öngermeli Beton veya Şerbette Azami Klor Muhtevası (mg/L)	76,7	Maks. 500	EN 196-2
	İçerisinde Donatı veya Diğer Metal Bulunan Betonda Azami Klor Muhtevası (mg/L)	76,7	Maks. 1.000	EN 196-2
	İçerisinde Donatı veya Diğer Metal Bulunmayan Betonda Azami Klor Muhtevası (mg/L)	76,7	Maks. 4.500	EN 196-2

Numune Cinsi	Geri Dönüşüm Suyu		
Bileşik Adı	Test Sonuçları	Sınır Değer	Standart
Askıda Katı Madde	0.038 kg/L d=1,02	Maks. 4 ml	EN 1008
Sülfat (SO ₄ ²⁻) mg/L	2	Maks. 2.000	EN 1008
Sodyum Oksit (Na ₂ O) mg/L	57,4	-	EN 196-2
Potasyum Oksit (K ₂ O) mg/L	50,3	-	EN 196-2
Toplam Alkali mg/L	90,5	Maks. 1.500	EN 196-2
P ₂ O ₅ mg/L	0,381	Maks. 100	EN 1008
Nitrat (NO ₃ ⁻) mg/L	2	Maks. 500	EN 1008
Pb ²⁺ mg/L	0,16	Maks. 100	EN 1008
Zn ²⁺ mg/L	0,263	Maks. 100	EN 1008

2.2.Yöntem

Kuyu suyu ile üretilen kontrol karışımının yanı sıra geri dönüşüm suyu içerisindeki katı maddenin kırma kum ile kısmen ikame edildiği bir beton üretilmiştir. Diğer bir ifadeyle, kırma kum ile ikame edilen su içerisindeki katı madde ince agrega olarak kabul edilmiştir. Yoğunluğu 1,00 kg/l olan kuyu suyu kullanılarak üretilen kontrol karışımı yanında, 1,02 kg/l yoğunluğa sahip geri dönüşüm suyu kullanılarak üretilen karışım gerçekleştirilmiştir. Karışım C30 beton reçetesi dikkate alınarak yapılmıştır. Beton karışım hesabı, TS 802 "Beton Karışım Hesap Esasları" Standardı'na göre yapılmıştır [3].

Karışımlarda çimento dozajı, mineral katkı miktarı ve kimyasal katkı dozajı sabit tutulmuştur. Karışımlarda, karma suyu olarak kuyu suyu ve geri dönüşüm suyu olmak üzere iki farklı su kullanılmıştır. Karışım suyu olarak geri dönüşüm suyu kullanıldığında, kullanılan miktar ve geri dönüşüm suyu yoğunluğuna bağlı olarak, su içerisinde bulunan bir miktar çok ince malzeme beton

içerisine girmektedir. Karışımında dikkate alınan su, geri dönüşüm suyu içerisindeki katı madde miktarı kadar eksilmektedir. Eksik olan bu su kıvam yetersizliğine yol açmakta ve tasarımda dikkate alınan su/bağlayıcı oranını bozmaktadır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için eksik olan su ilave edilip, fazladan katı madde olarak beton içerisine giren malzeme ise 0-5 mm agrega miktarından düşürülmüştür. Düzeltme işlemi sonrasında 1 m³ hacim içerisindeki 0-5 mm malzemenin tane dağılımı değişimi ihmal edilmiştir. Karışım reçetesindeki mevcut 0-5 mm agreganın ve geri dönüşüm suyu içerisinde bulunan katı maddenin yoğunlukları dikkate alınarak, 1m³'lük sabit hacmin korunması göz önünde bulundurularak su içerisindeki katı madde ile bir miktar 0-5 mm agrega ikame edilmiştir. TS 802 Standardı'na göre yapılan beton karışım hesabı oranları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Beton karışım oranları

Karışım	PÇ 52,5 (Kg)	Mineral Katkı (Kg)	Kimyasal Katkı %	Su (Kg)	0-5 (Kg)	5-15 (Kg)	15-22,4 (Kg)
%100 Kuyu Suyu	275	60	1	170	1.054	205	578
%100 Geri Dönüşüm Suyu	275	60	1	170+6,33	1.046	205	578

Beton üretiminde 50 dm³ hacimli panmikser kullanılmıştır. Üretilen beton için çökme, beton sıcaklığı, birim ağırlık ve hava miktarı deneyleri yapılmıştır. Üretilen betonlardan 150×150×150 mm boyutlarında küp numuneler alınıp, 2, 7 ve 28 olmak üzere toplam 12 adet numune deney gününe kadar (20±2°C) kür havuzunda bekletilmiştir. Numuneler TS EN 12390-3 Standardı'na göre basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur [4]. Basınç dayanım deneyi için 200 tonluk beton presi kullanılmıştır.

Akredite bir laboratuvarda iki tip dayanıklılık testi yapılmıştır. NT BUILD 492 Standardı kapsamında klorür migrasyon katsayısı deneyi Tablo 4'te belirtilen karışım oranları ile yapıp 100-200 mm boyutlarında üçer adet silindir numune alınmıştır [5]. ASTM C 452-15 Standardı kapsamında olan sülfata maruz kalan harçların potansiyel uzama tayini (Sülfata karşı direnç deneyi) ise standartta belirtilen karışım oranları ile 25x25x285mm boyutlarında harç prizma oluşturulup teste tabi tutulmuştur [6].

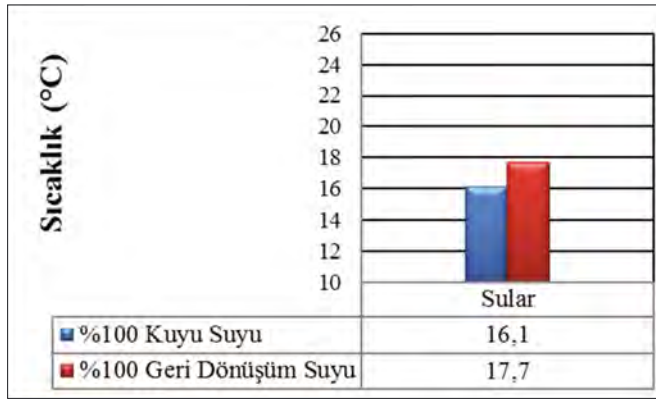
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1 Taze Beton DeneY Sonuçları

Hazır beton santralinde geri dönüşüm sistemi yardımıyla kazanılan geri dönüşüm suyunun tekrar beton karışımında kullanılması amacıyla yapılan bu çalışmada; üretilen taze beton üzerinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

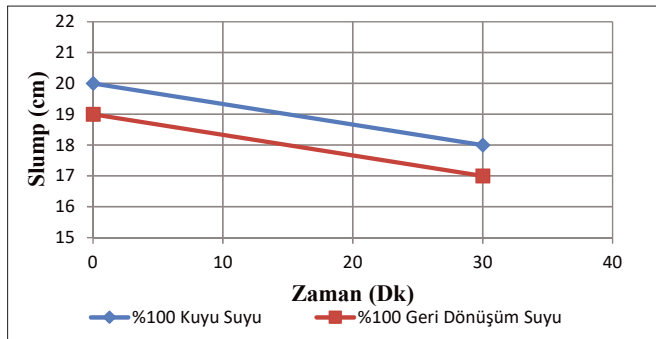
Tablo 5: Taze beton deney sonuçları

Karışım	Sıcaklık (°C)	Slump (cm)	30 Dk Sonra Slump (cm)	Birim Ağırlık (Kg/m ³)	Hava Miktarı (%)
%100 Kuyu Suyu	16,1	20	18	2.346	1,8
%100 Geri Dönüşüm Suyu	17,7	19	17	2.344	2,1



Şekil 1: Sıcaklık değeri-geri dönüşüm suyu ilişkisi

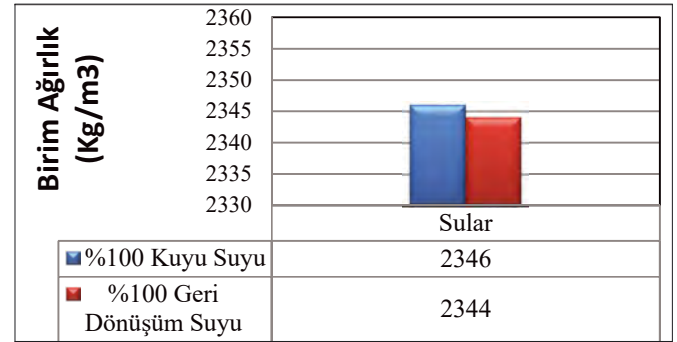
Şekil 1'de geri dönüşüm suyu kullanılan beton sıcaklığı, kuyu suyu kullanılan beton sıcaklığına göre fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 2: Slump-geri dönüşüm suyu ilişkisi

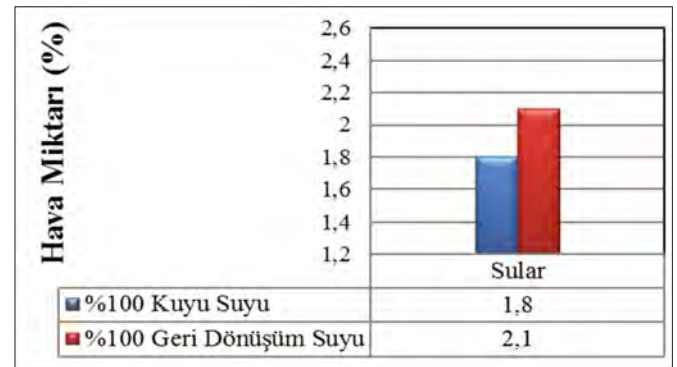
TS EN 12350-2 Standardı'na uygun yapılan slump deneyine göre kuyu suyu ve geri dönüşüm suyu için yapılan bu çalışmada karışımın taze beton kıvamında belirgin bir değişme olmadığı Şekil 2'de görülmüştür [7]. Yapılan tasarımlarda görüldüğü gibi geri dönüşüm suyu içerisindeki katı madde miktarı arttıkça toplam su miktarı geri dönüşüm suyunun yoğunluğuna bağlı olarak artmıştır. Yani sudaki katı madde

miktarı 0-5 mm agregadan düşülmüş, su miktarı artırılmıştır. Bu da betonun slump değerini değiştirmemiş, S4 kıvamını sağlamıştır.



Şekil 3: Birim ağırlık-geri dönüşüm suyu ilişkisi

TS EN 12350-6 Standardı'na göre yapılan Şekil 3'te görüldüğü gibi taze betonların birim ağırlıklarında belirgin bir değişim görülmemiştir [8].



Şekil 4: Hava miktarı-geri dönüşüm suyu ilişkisi

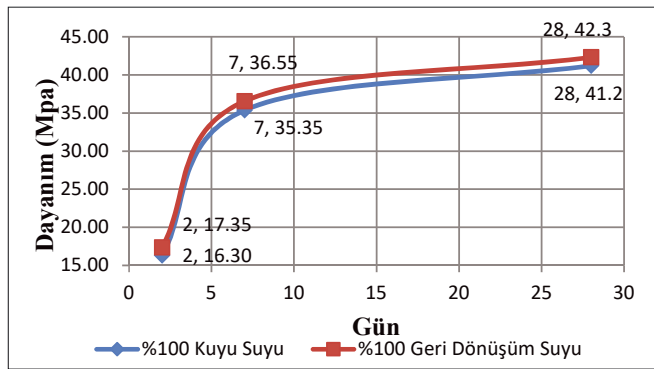
Teorik olarak başlangıçta kabul edilen taze betonda ölçülen hava miktarları kuyu suyu ve geri dönüşüm suyu için Şekil 4'te de görüldüğü gibi %2 oranına yakın sonuçlar elde edilmiştir.

3.2 Basınç Dayanımı

Geri dönüşüm sisteminden elde edilen suyun beton üretiminde karışım suyu olarak değerlendirilmesi için yapılan deneysel çalışmada kuyu suyu ve geri dönüşüm suyu ile üretilen numunelerin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6: Basınç dayanımı sonuçları

Karışım	Dayanım (MPa)								
	2 Gün		Ort.	7 Gün		Ort.	28 Gün		Ort.
%100 Kuyu Suyu	16,3	16,3	16,30	34,9	35,8	35,35	41,9	40,5	41,2
%100 Geri Dönüşüm Suyu	17,4	17,3	17,35	36,5	36,6	36,55	42,8	41,8	42,3



Şekil 5'de görülen; geri dönüşüm sisteminden alınan geri dönüşüm suyu içerisindeki katı maddenin 0-5 mm agrega ile ikame edilerek %100 geri dönüşüm suyu kullanılan reçete ile yapılan beton karışımının 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, %100 kuyu suyu kullanılan reçete ile yapılan beton karışımının 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına göre az da olsa daha yüksek vermesine rağmen dayanım sonuçlarında önemli bir değişim görülmemiştir. Ayrıca her iki su ile yapılan beton karışımlarının 2-7 ve 7-28 günlük mukavemet geçişlerinde büyük farkların olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5: Kuyu suyu ve geri dönüşüm suyu ile yapılan betonun basınç dayanımı

3.3. Dayanıklılık

Tablo 7: Sülfata karşı direnç deneyi sonuçları

Numune Tanımı: Geri Dönüşüm Suyu ile Hazırlanan Harç Numune		Numune Tanımı: Kuyu Suyu ile Hazırlanan Harç Numune	
Zaman (Gün)	Ortalama Uzama Oranı (%)	Zaman (Gün)	Ortalama Uzama Oranı (%)
3	0,007	3	0,007
7	0,015	7	0,011
14	0,021	14	0,020

Tablo 7'de geri dönüşüm suyu ve kuyu suyu ile hazırlanan harç numunelerinin 3, 7 ve 14 günlük uzama oranları verilmiştir. Her iki su ile hazırlanan numunelerin uzama oranlarında önemli bir farklılık görülmemiştir.

Tablo 8: Her iki su ile hazırlanan beton karışımları için yapılan klorür migrasyon katsayısı deneyi sonuçları

Migrasyon Katsayısı	KS1	KS2	KS3	D_{nssm} (ortalama)
D_{nssm} (non-steady-state migration coeff. $\times 10^{-12}$ m ² /s)	20,09	20,78	19,88	20,3
Migrasyon Katsayısı	GDS1	GDS2	GDS3	D_{nssm} (ortalama)
D_{nssm} (non-steady-state migration coeff. $\times 10^{-12}$ m ² /s)	18,06	20,29	23,89	20,7

Tablo 4'te belirtilen karışım oranlarına göre hazırlanan betonlardan alınan silindir numuneler klorür migrasyon katsayısı deneyine tabi tutulmuştur [5]. Tablo 8'de belirtilen sonuçlara göre her iki su ile hazırlanan beton karışımları için yapılan klorür migrasyon katsayısı deneyi sonuçlarında önemli bir farklılık görülmemiştir.

4.SONUÇLAR

Geri dönüşüm suyu ve kuyu suyu ile hazırlanan beton karışımlarında taze betonun sıcaklık, birim ağırlık, slump ve hava miktarlarında önemli bir farklılık görülmemiştir.

Her iki su ile hazırlanan beton karışımlarında sertleşmiş betonun 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Her iki su ile hazırlanan beton karışımlarında sertleşmiş betona yapılan klorür migrasyon deney sonuçları ve her iki su ile hazırlanan harç numunelerine yapılan sülfata karşı direnç deneyi sonuçları kıyaslamasında afakî bir değere rastlanmamıştır.

Hazır beton santrallerinde kurulması mümkün olan geri dönüşüm sisteminin mali açıdan tesise belirli oranda avantaj sağlamaktadır.

Geri dönüşüm suyu içerisindeki 0-5 mm agrega göz önünde bulundurularak belirli hesaba göre reçeteden kum miktarı düşürülerek hem reçete maliyeti azalmakta hem de israf edilen kum miktarının azalmasıyla sürdürülebilirliğe pozitif katkı sağlanmaktadır. Diğer yandan atık yani pasa miktarı azalmaktadır. Bu şekilde hem pasa nakliyesinin maliyeti büyük oranda azalmakta hem de çevreye duyarlı bir tesis durumuna gelinmektedir.

Kaynaklar

1. <http://www.thbb.org/media/74449/2013-2014-haz%C4%B1r-beton-sektoru-verileri22062015.pdf>
(2013-2014 yılı sektör verileri)
2. TS EN 1008 Beton Karma Suyu, Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları (24.04.2003)
3. TS 802 Beton Karışımı Hesap Esasları (24.03.2016)
4. TS EN 12390-3 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini (18.04.2003)
5. NT BUILD 492 Klorür Migrasyon Katsayısı Deneyi
6. ASTM C 452-15 Standart Test Method for Potential Expansion Of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate
7. TS EN 12350-2 Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi (13.07.2010)
8. TS EN 12350-6 Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk (13.07.2010)