

Sürdürülebilir Beton Üretimi için Geri Dönüşüm Suyunun Tamamen Kullanılması*

Mustafa Şen¹, M. Çağrı Şen², Ayla Şalap³, Ender Derin⁴

Özet

Beton üretimi sırasında gri su oluşumu kaçınılmaz bir sonuçtur ve oluşan bu karışımın beton üretiminde karma suyu olarak kullanılması gerektiği de bilinen bir gerçektir. Bu karışımın kullanımı için pek çok yol ve yöntem günümüzde kullanıcılara tarafından uygulanmaya çalışılmaktadır.

Ancak uygulanan yöntemlerin başarılı olabilmesi için gri suyun safsızlık içeriğinin kütlesini temsil ettiği kabul edilen yoğunluk ölçümünün doğru, hassas ve gerçek zamanlı olarak yapılması gerekmektedir. Fakat bilinen hiçbir uygulama bunu sağlayamamaktadır. Bu sebeple geri dönüşüm suyunun kullanımı istenen düzeyde olamamaktadır.

1. GİRİŞ

TS EN-1008 Ek-A, beton üretiminde gri su kullanımı ile ilgili oranlar ve şartlar hakkında bilgi içermektedir. Ne var ki, bilinen uygulamalar gerçek zamanlı yoğunluk ölçümüne imkân vermemekte ve ölçüm sonuçlarının yazılım aracılığıyla kullanımını sağlayamamaktadır. Bu nedenle, gri su içeriklerindeki değişimler sebebiyle beton nitelik denetim düzeyinin sağlanmasında sorunlar (kıvam, kıvam koruma, su ihtiyacı, kimyasal katkı kullanım miktarı, dayanım, vb.) yaşanabilmektedir.

Atık suyun askıda katı madde ve çözünmüş madde içeriğinin temsil ettiği kabul edilen yoğunluğu:

- Doğru ve gerçek zamanlı olarak ölçülebilir,
- Temiz su ile homojen olarak karıştırılarak istenen yoğunluk seviyesine getirilebilir ve

Sustainable Concrete Production by Complete Utilization of Waste Water

Grey water formation during concrete production is inevitable and it is a known fact that this water needs to be used as mixing water. Numerous processes and methods are being used by producers regarding utilisation of the grey water.

The most important factor for a method's success is its ability to measure the density of the grey water with sufficient correctness, sensitivity and in real time. However, no known method has achieved this yet and therefore the reuse of grey water is not at a desired level.

- Beton üretiminde kullanılabilir ise tesislerdeki atık su %100 oranında geri dönüştürülerek, beton üretiminde sürdürülebilirliğe büyük bir katkı sağlanabilir.

2. AMAÇ

Bu çalışmanın amacı gri suyun tamamının beton üretiminde kullanılmasına imkân veren CLR-S sistemi hakkında bilgi verilmesidir.

CLR-S sistemi; gri suyun yoğunluğunu yeterince doğru, hassas ve gerçek zamanlı olarak ölçebilmekte, gri ve temiz suyu karıştırarak istenen yoğunlukta bir karma suyu oluşturabilmekte ve bu karışımı beton santraline sevk edebilmektedir. Bu sayede gri su %100 oranında kullanılabilir. Sistem,

gerçek zamanlı ölçüm yaparak, beton geri dönüşümünde kullanılan suyun özelliklerini tarif eden TS EN-1008'de belirtilen yoğunluğa sahip gri su ve temiz su kullanarak istenen karışımını hazırlayabilmektedir.

3. GELENEKSEL YÖNTEMLER

3.1. Yoğunluk Ölçümü

TS EN-1008 gri suyun yoğunluğunun mümkün olduğunca sık ölçülmesini önermektedir. Uygulamada ise ölçümler vardiya başına 3 ila 10 kez gerçekleşmekte ve özellikle en yüksek yoğunluk değerlerine ulaşıldığı dönemlerde yapılmaktadır.

En yaygın kullanılmaya çalışılan yoğunluk ölçüm yöntemleri:

- Karışımın belirli bir hacminin tartılması ve
- Dansimetre kullanımıdır.

¹mсен@ozb.com.tr ²mcsen@ozb.com.tr ³ayla.salap@ozb.com.tr, Özbekoğlu İth. İhr. İnş. Taah. ve Müh. Ltd. Şti., Ankara; ⁴ender.derin@denizlicimento.com.tr, Denizli Çimento San. Türk A.Ş., Denizli

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

Ancak her iki yöntemin de zayıflıkları bulunmaktadır. Tartım yöntemi numune alımı (örnekleme) ve ölçümün (kişinin ve aletin) hassasiyeti ile sınırlıdır. Dansimetre ise numunenin kaçınılmaz olarak yüzeydeki temiz kısmında ölçüm yapılabilmektedir. Çünkü parçacıklar kısa sürede dibe çökmektedir, numunede homojenlik sağlanamamaktadır.

En önemli sorun ise her iki yöntemin de gerçek zamanlı ölçüm yapamaması ve belirli bir beton harmanında kullanılan suyu doğru temsil eden numune alınımının çok zor olmasıdır. Ölçüm zaman aldığından, tam olarak karıştırıcısının içerisindeki belirli bir harmanda kullanılan su ile eş zamanlı olma ihtimali bulunmamaktadır.

Doğru ölçüm yöntemi belirli bir harmana katılan suyu tam temsil edecek şekilde alınmış numune içerisindeki parçacıkların, homojen dağılmış durumda ölçüm yapılabilmesidir.

3.2. Geleneksel Yöntemlerin Sonuçları

Ölçümler gerçek zamanlı olmadığı ve numuneler karışımı tam olarak temsil etmediği için:

- Gri su ancak %10 - %40 oranında taze suya eklenerek kullanılmaktadır. Yoğunluk yeterli doğrulukta ölçülemediği, askıda ve çözünmüş madde ile taze su miktarları yeterli güvenilirlikte belirlenemediği için daha fazla miktarda kullanılmak mümkün olamamaktadır.
- Gri su depolarında çökeltme, priz alma vb. nedenlerle taşlaşma oluşmakta ve temizlik için üretim kesintileri ve yüksek maliyetli temizlik işlemleri gerekmektedir.
- Gri suların yönetimi, karmaşık, uzun emek isteyen formalite ve evrak yükü getirmekte, kamu yönetimi bu gri suların bertarafı için yüksek bedeller talep etmektedir.
- Kaçınılmaz olarak biriken kekin (süzülmüş çamurun) nakli ve bertaraf edilmesi çok yüksek maliyetler gerektirmektedir.
- Bu işlemlerin yürütülmesi için gerekli safi işçilik bedelleri kabul edilemez düzeyde ödenmektedir.
- Gri su kullanımındaki belirsizlik, niteliksiz üretim tehlikesini artırmaktadır. Dolayısı ile bu konuda denetim ve düzeltici işlemler, iş yükünü artırmaktadır.
- En önemli sıkıntı ise gerçek zamanlı ölçüm yapılamaması nedeni ile alınan numunenin tam olarak o anda üretimde kullanılan gri su ile bire bir aynı olma ihtimalinin bulunmamasıdır.

Yukarıdakilerin tümü üretim maliyetinin artması ile sonuçlanmakta ve yine de sorunu çözememektedir. Bu nedenle numune ve ölçüm güvenilirliğindeki kaçınılmaz belirsizlik devam etmektedir.

4. YENİ SİSTEM (CLR-S)

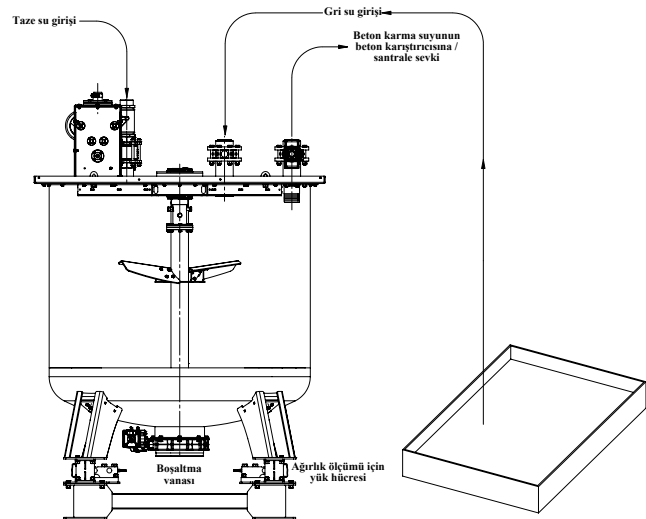
4.1. Yeni Sistemin Parçaları

CLR-S sistemi aşağıda verilen ana parçalardan oluşmaktadır:

- Temiz ve gri suyun durmaksızın karıştırıldığı bir tekne,
- Ölçümleri yapan, sıralı olarak ve üretim koşullarına paralel olarak çalışan yüksek teknoloji analizörler,
- Santral otomasyon sistemine tamamen bütünleştirilebilen edilebilir bir elektronik kumanda panosu,
- Pompalar, yük hücreleri, su bağlantıları ve sistemi tamamlayan diğer öğeler.

4.2. Sistem Çalışma Şekli

CLR-S, beton santrali otomasyon sistemi ile tümleşik çalışmaktadır. İşlemcileri vasıtasıyla gri ve temiz suları gereken oranlarda tekneye alarak homojenize etmekte ve hedeflenen yoğunlukta karışım suyunu hazırlamaktadır. Sistem; verileri toplamakta, beton santrali otomasyon sistemine bilgi vermekte, komut almakta, raporlamakta ve tesis tarafından belirlenen yoğunlukta suyu karıştırıcıdaki harmana yollamaktadır. Ölçüm değerini verilen sınırlar içinde kontrol etmekte, sınırların dışına çıkılması durumunda ikaz etmekte ve gerekirse sistemi durdurmaktadır. Şekil 1'de sistem parçaları ve çalışma şekli verilmiştir.



Şekil 1: Sistem parçaları ve çalışma şekli

4.4. Sistem Çıktıları

CLR-S Sistemi her karışım için aşağıdaki değerleri kullanıcıya sunar.

- Santral otomasyon sistemi tarafından talep edilen yoğunluk değeri
- Karışım ile birlikte sağlanan net taze su miktarı
- Karışım ile birlikte sağlanan askıdaki katı malzeme miktarı

4.5. Sonuçlar ve Sistemin Faydaları

Sonuç olarak CLR-S sistemi ölçüm konusundaki kayıp halkayı tamamlamaktadır. Ayrıca:

- Gri suyun gerçek zamanlı ölçümünü sağlamaktadır.
- Santral otomasyon sistemine veya kullanıcı ağına uyum imkânı mevcuttur.
- Sürdürülebilir beton üretimine katkı sağlamaktadır.
- Gri suyun tamamen beton karma suyunda kullanılması ve böylece sahada, tesiste ya da havuzda gri su birikmemesini sağlamaktadır.
- Gri suyun tüm üretime yansıtılması durumunda, ortalama yoğunluk 1,03 kg/L ila 1,05 kg/L aralığında kalmaktadır. Bu durumda gri su havuz yoğunluğu ise 1,06 kg/L değerini aşmamakta ve doğal sonuç olarak havuzlarda taşlaşma oluşumu, yani temizlik ihtiyacı azalmaktadır.
- Katıların kek olarak (suyu sızdırılarak) ayrıştırılması için gereken tesisin bakımı, işletme giderleri ve kalıntı katıların nakliye bedellerini ortadan kaldırmaktadır.
- Gri suya bağlı nedenlerle düşük, değişken nitelikli üretim ve yürütülen bazı işlemleri gereksiz hale getirmektedir.

5. YAPILAN DENEYLER VE ULAŞILAN SONUÇLAR

Sistemin irdelenmesi için aşağıda verilen deneyler yapılmıştır.

5.1. CLR-S Sistemi Tarafından Belirlenen Yoğunluk Ölçümü ile Laboratuvarda Yapılan Yoğunluk Ölçümü Kıyaslaması

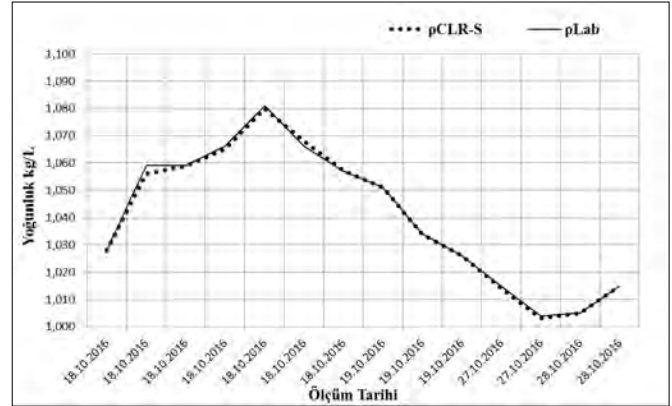
CLR-S kullanılan bir beton santralinde, düzensiz aralıklarla numuneler alındı. Numuneler santral laboratuvarında ölçülerek yoğunluklar tespit edildi ve CLR-S ekranında okunan yoğunluk değerleri ile karşılaştırıldı. Yoğunluk ölçüm sonuçları aşağıda Çizelge 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Standart sapma her iki yöntemde de aynı değeri vermiştir.

Çizelge 1: Yoğunluk ölçüm sonuçları

Tarih	Yoğunluk, kg/L	
	CLR-S ekranında okunan değer ρ_{CLR-S}	Beton Santrali Laboratuvar ölçüm sonucu bulunan değer ρ_{Lab}
18.10.2016	1,028	1,028
18.10.2016	1,056	1,059
18.10.2016	1,059	1,059
18.10.2016	1,065	1,066
18.10.2016	1,080	1,081

Tarih	Yoğunluk, kg/L	
	CLR-S ekranında okunan değer ρ_{CLR-S}	Beton Santrali Laboratuvar ölçüm sonucu bulunan değer ρ_{Lab}
18.10.2016	1,068	1,066
18.10.2016	1,057	1,057
19.10.2016	1,051	1,051
19.10.2016	1,034	1,034
19.10.2016	1,026	1,026
27.10.2016	1,014	1,015
27.10.2016	1,003	1,004
28.10.2016	1,005	1,005
28.10.2016	1,015	1,015
Ortalama	1,040	1,040
Min.	1,003	1,004
Mak.	1,080	1,081
Std. Sapma	0,02528	0,02528

Şekil 2: Yoğunluk ölçüm sonuçları grafiksel ifadesi



5.2. Mevcut Yöntemlerle Gri Su Kullanılarak Üretilen Betonun Mukavemet Değerlerinin Tespiti ve İrdelenmesi

Mevcut yöntemlerle gri su kullanılarak üretilen betonlardan alınan numunelerin mukavemet değerleri ölçüldü.

Bu ölçümlerde gri suyun yoğunluğu ve gri su katılmış karma suyunun yoğunluğu tespit edilemedi.

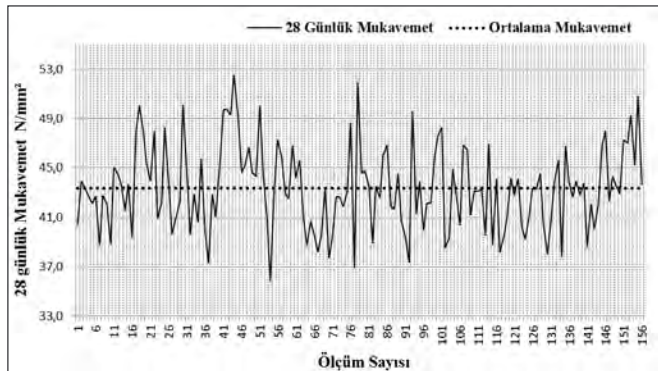
Yapılan üretimlerden düzensiz aralıklarla üç aylık süre boyunca numuneler alındı ve santral laboratuvarında mukavemet ölçümleri yapıldı. Her ölçümde 2 adet numune alındı ve 156 adet ölçüm yapıldı. Toplam 312 adet numunenin mukavemet sonuçları değerlendirildi.

Elde edilen değerler aşağıda Çizelge 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Çizelge 2'de gösterim kolaylığı için tüm ölçüm sonuçları verilmiş, birkaç ölçüm sonucu rastgele seçilerek belirtilmiştir.

Çizelge 2: Mevcut yöntemlerle (gri suyun oransal olarak kullanımı ile) C30/37 beton dayanımı (mukavemet) ölçüm sonuçları

Ölçüm Sayısı	28 Günlük Mukavemet, N/mm ²		
	1. Numune	2. Numune	Ortalama
1	40,6	40,2	40,4
11	43,1	46,9	45,0
21	44,3	43,6	44,0
31	43,7	45,4	44,6
41	49,6	49,8	49,7
51	49,8	50,2	50,0
61	43,1	45,4	44,3
71	33,9	44,7	39,3
81	43,2	44,0	43,6
91	39,1	39,8	39,5
101	48,1	48,4	48,3
111	43,3	42,9	43,1
121	43,8	41,8	42,8
131	39,9	41,1	40,5
141	39,2	38,2	38,7
151	48,2	46,4	47,3
Ortalama			43,33
Min.			35,85
Mak.			52,50
Std. Sapma			3,3797

Ortalama dayanım 43,33 N/mm², standart sapma 3,3797 olarak hesaplandı.



Şekil 3: Mevcut yöntemlerle (gri suyun oransal olarak kullanımı ile) C30/37 beton dayanımı (mukavemeti) ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

5.2. CLR-S Sistemi ile Gri Su Kullanılarak Üretilen Betonun Mukavemet Değerlerinin Tespiti ve İrdelenmesi

Aynı beton santralinde CLR-S sistemi kullanımı sonrası yapılan üretimlerden düzensiz aralıklarla üç aylık süre boyunca beton numuneleri alındı ve santral laboratuvarında mukavemet ölçümleri yapıldı. Her ölçümde 2 adet numune alındı ve 156 adet ölçüm yapıldı. Toplam 312 adet numunenin mukavemet sonuçları değerlendirildi.

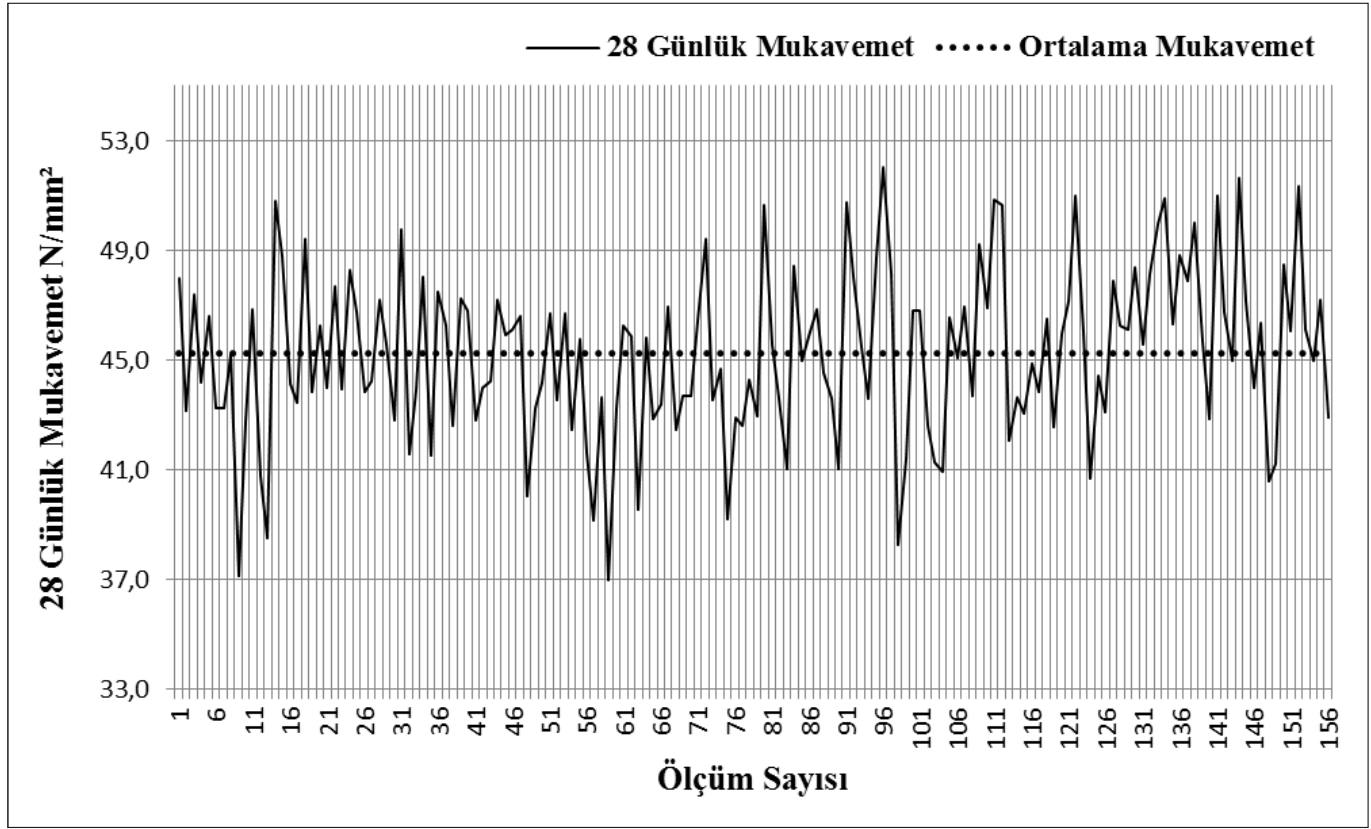
Elde edilen değerler aşağıda Çizelge 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Çizelge 2'de gösterim kolaylığı için tüm ölçüm sonuçları verilmemiş, birkaç ölçüm sonucu rastgele seçilerek belirtilmiştir.

Karışım suyu yoğunluğu 1,02 kg/L - 1,03kg/L aralığında çalışıldı.

Çizelge 3: CLR-S kullanımı ile C30/37 beton dayanımı (mukavemet) ölçüm sonuçları

Ölçüm Sayısı	28 Günlük Mukavemet N/mm ²		
	1. Numune	2. Numune	Ortalama
1	45,7	50,3	48,0
11	47,2	46,5	46,9
21	45,7	42,3	44,0
31	49,6	49,9	49,8
41	42,6	43,0	42,8
51	42,6	50,8	46,7
61	47,2	45,3	46,3
71	47,1	45,8	46,5
81	46,3	44,8	45,6
91	51,7	49,8	50,8
101	45,5	48,1	46,8
111	49,6	52,1	50,9
121	46,5	47,8	47,2
131	46,3	44,8	45,6
141	52,7	49,3	51,0
151	46,3	45,8	46,1
Ortalama			45,23
Min.			37,00
Mak.			52,05
Std. Sapma			3,0684

Ortalama dayanım 45,23 N/mm², standart sapma 3,0684 olarak hesaplandı.



Şekil 4: CLR-S kullanımı ile C30/37 beton dayanımı (mukavemeti) ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

Verilen tablo ve grafikler bilgi mahiyetindedir. Mukavemete etki eden tüm parametrelerin sabitlenmesi bu deneylerde mümkün olamamıştır.

Beton nitelik düzeyi tek başına gri su ile tayin edilemez. Çökme ve beton mukavemetinin değişkenliği; bağlayıcı/su oranı, agrega özellikleri ve hava koşulları, ham madde özelliklerindeki değişkenlik gibi çeşitli etmenlere bağlıdır. Bu nedenle gri su yoğunluğunun ölçülmesi ve tanımlanması tek başına çökme ve mukavemetin değişkenliğini (varyanslarını) azaltmak, üretimin nitelik düzeyini iyileştirmek için yeterli olmaz.

Kaynaklar

1. "Beton - Karma Suyu - Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları", TS EN 1008, Nisan 2003