

HAZIR BETON TESİSİNDE GERİ KAZANILAN SUYUN BETON BASINÇ DAYANIMI VE KILCALLIK ÜZERİNE ETKİSİ

Ü. Anıl Doğan¹, M. Hulusi Özkul²

Özet

Bu çalışmada, bir hazır beton tesisinden alınan geri kazanılmış yıkama suyunun betonda karışım suyu olarak kullanılması araştırılmıştır. Geri kazanılmış su içinde askı halinde katı maddeler bulunduğu için önce suyun yoğunluğu ile katı madde içeriği arasındaki ilişki incelenmiştir. Daha sonra atık sudaki katı malzemenin özgül ağırlığı belirlenmiştir. Her iki deney sonucunun TS EN 1008 ile iyi uyum gösterdiği anlaşılmıştır. Bu çalışmada 3 seri halinde toplam 20 karışım hazırlanmıştır. İlk seride şebeke suyu ile betonlar üretilmiş, diğer serilerde ise su yoğunluğu 1,02 ve 1,04'e çıkarılmıştır. Geri kazanılmış su içinden karışıma giren katı malzeme yerine aynı hacimde olmak üzere ya bağlayıcı maddeden ya da kumdan azaltma yapılmıştır. Ek olarak, kontrol karışımı yanında %25, %50 ve %75 yüksek fırın cürufu içeren (geri kalan miktar çimento) bağlayıcıya sahip betonlar da üretilmiştir. Bu nedenle ilk seri 4 karışımdan ve diğer iki seri 8'er karışımdan oluşmuştur.

1. GİRİŞ

Su günümüzde petrol kadar önemli bir kaynak hâline gelmiştir. İklim değişimi ile birlikte su kaynakları azalmış ya da endüstrileşme ile kirlenmeye başlamıştır. Bu nedenle suyun kullanılmasında tasarruf yapılması, kullanılmış suyun geri kazanılması sürdürülebilirlik açısından önem kazanmıştır. Hazır beton sektöründe beton üretimi için metreküp beton başına yaklaşık 150-200 kg arasında su tüketimi yanında transmikserlerin yıkanması için de önemli miktarda, ortalama her bir

Effect of Recycled Water of Ready-Mixed Concrete Plant on Compressive Strength and Soptivity of Concrete

In the present study, utilization of waste wash water, obtained from a ready-mixed concrete plant, as mixing water in concrete is investigated. The wash water contains suspended solid particles, for this reason, firstly the relation between density and solid content of the recycling water was found. Afterwards, specific weight of solid particles in wash water was measured. Both of the data were in good compliance with the standard TS EN 1008. A total of 20 batches of concrete were prepared in three series. Concretes were produced with tap water in the first series and mix water density was increased to 1.02 and 1.04 in the second and the third series.

araç yıkaması için 0,5 ton su harcandığı tahmin edilmektedir [1]. ERMCO tarafından hazırlanan raporda metreküp beton başına 50 litre suyun transmikser yıkaması için harcandığı belirtilmiştir [2]. Öte yandan transmikser yıkama suyu 11,5 ve üzeri pH değeri ile tehlikeli atık kapsamına girmekte ve doğaya boşaltılması durumunda yeraltı suları için risk oluşturmaktadır [3].

Hazır beton sektöründe transmikserlerin yıkanması sonucu ortaya çıkan atıkların ve atık suların azaltılması veya yeniden kullanılması için değişik yöntemler önerilmektedir. Türkiye'de de yaygın olarak kullanılan yöntemde transmikserlerin yıkanması sonucu oluşan yıkama suyu ve içindeki katı maddeler çökeltme havuzlarına boşaltılmakta ve birbirini izleyen çökeltme havuzlarının sonuncusundan

alınan su beton üretiminde ya da transmikser yıkamada kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda havuzlara yerleştirilen karıştırıcılar çalıştırılarak ince boyutlu katıların su içinde askı hâline gelmesi sağlanmakta ve bu katı madde içeren su betona ilave edilmektedir. Bu amaçla bulamaç halindeki suyun birim ağırlığı ölçülerek karışıma giren su ve katı madde miktarları belirlenmekte ve beton hesabında gerekli düzeltmeler yapılmaktadır. Bu işlemi otomatik olarak yapan sistemler de geliştirilmiştir. Diğer bir yöntem olarak gün sonunda iş bittiğinde transmikser içine su ve hidratasyon geciktirici kimyasal katkı ilave edilmekte ve ertesi gün transmikser içindeki malzemelerin üzerine yeni beton ilave edilerek üretime başlanmaktadır. Üçüncü yöntemde ise iş bitiminde transmikser 2 ton kırmataş ve 200 litre su konularak depo döndürülerek

¹⁾ edoganunal@itu.edu.tr 2) hozkul@itu.edu.tr / İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul

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

kariştirilmektedir. Bu işlem sonunda ya agregası tekrar beton üretiminde kullanılmak üzere boşaltılmakta ya da transmikserde tutularak ertesi günkü ilk betonun bir parçası olarak kullanılmaktadır. Diğer bir yöntemde ise transmikser yıkama suyu bir elekten geçirilerek katı maddeler agregası olarak sıvı ise karışım suyu olarak kullanılmaktadır [2].

Çimento hamuruna (%0,5, 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, ve 15) oranlarında katı madde içeren transmikser yıkama suyu katılarak hazırlanan karışımlarda basınç dayanımının artan katı madde miktarı ile birlikte azaldığı ancak %5-6 oranına kadar düşüşün %10 sınırını aşmadığı belirtilmiştir. Diğer taraftan artan katı madde miktarının priz sürelerini kısalttığı gözlenmiştir. Geri kazanılmış su (transmikser yıkama suyu) içeren karışımlarda dayanımın %4-8 arasında azaldığı, ancak uçucu kül veya süperakışkanlaştırıcı katılarak bu azalmanın artışa dönüştürülebildiği açıklanmıştır [4]. Yapılan bir çalışmada birbirini izleyen çökelme havuzlarının 2. ve 3.sünden alınan geri kazanılmış su ile yapılan betonlarda kıvam ve dayanım kaybı oluşmadığı belirtilmiştir [5].

Değişik oranlarda geri kazanılmış su içeren betonlarda basınç dayanımının normal su ile yapılan betonların dayanımının %85-94 değerlerine düştüğü, ayrıca elastisite modülü ve eğilme dayanımında da azalmalar gözlemlendiği belirtilmiştir; bu durum geri kazanılmış su içindeki katı maddelerin etrenjit içermesine ve bunların suda çözünerek boşluk oluşmasına bağlanmıştır [6].

Çökelme havuzunun değişik derinliklerinden alınan su ile yapılan harçların basınç dayanımları şebeke suyu ile yapılanların %90-103'ü arasında değişirken betonlarda bir farklılık gözlenmemiştir [7]. İncelenen 7 hazır beton tesisindeki çökelme havuzu sularının hepsinin ASTM C94 [8] Standardı sınırlarını sağladığı kaydedilmiştir. Priz başlama süreleri açısından en çok 30 dk. gecikme olurken priz bitiş sürelerinin değişmediği belirtilmiştir. Değişik oranlarda transmikser yıkama suyu içeren betonlarda, basınç dayanımında ya artış (%8'e kadar) elde edilmiş [9] ya da değişim oluşmamıştır [10]. Diğer bir çalışmada yıkama suyundaki katı madde kumdaki kalker tozu ile yer değiştirilmiş ve kum özelliklerine bağlı olarak %30 düşüş ile %17 artış arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir [11]. Öte yandan betonun geçirimsizliği açısından ele alındığında, geri kazanılmış sudaki ince maddelerin betonda boşlukları doldurduğu ve bu nedenle porozitesinde ve su emmesinde azalma meydana geldiği belirtilmiştir [12].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada kullanılan sıvı hâldeki geri dönüşüm malzemesi bir hazır beton tesisi bünyesinde bulunan geri dönüşüm havuzundan temin edilmiştir.

Geri dönüşüm suyu içerisindeki katı madde konsantrasyonunda zamana bağlı olarak görülen değişimler nedeniyle beton karışım suyu yoğunluğu (temiz su ile seyreltme ya da ilave katı madde ekleme suretiyle) sabitlenmiştir. Seçilen karışım suyu yoğunluklarından 1,00 kg/dm³ değeri şebeke suyu ile üretilen karışımları, 1,02 ve 1,04 kg/dm³ değerleri ise katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak yoğunluğu ayarlanmış karışım suyu kullanılarak üretilenleri göstermektedir. İlk aşamada üretimler iki grup halinde gerçekleştirilmiştir. Geri dönüştürülen su ile birlikte karışıma giren katı madde miktarı birinci grupta bağlayıcı yerine sayılarak karışımdaki bağlayıcı miktarı azaltılmış, ikinci

grupta ise bu malzemenin reaktif olmadığı kabul edilip kum ile yer değiştirme uygulanmıştır.

2.1. Malzemeler

Bağlayıcı olarak CEM I / 42,5 Portland çimentosu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanılmıştır. İnce agregası olarak, sırasıyla 2,65 kg/dm³ ve 2,72 kg/dm³ özgül ağırlıklara sahip doğal ve kırma kum ile birlikte iri agregası olarak 22 mm. maksimum boyutlu ve 2,74 kg/dm³ özgül ağırlığında kırmataş kullanılmıştır.

Geri dönüşüm suyunun yoğunluğu ile içerisindeki katı madde miktarı arasındaki ilişki kurutma işlemi yapılarak belirlenmiş, ayrıca kurutulmuş malzemenin özgül ağırlığı 2,12 g/cm³ olarak ölçülmüştür.

2.2. Karışımlar

Toplam 20 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımlarda bağlayıcı kompozisyonu %100, %75, %50 ve %25 çimento, kalanı yüksek fırın cürufu olacak şekilde belirlenmiştir. Her bir bağlayıcı kompozisyonu için yukarıda belirtilen yoğunluklarda karışım suyu kullanılarak betonlar üretilmiştir. Her karışımda su miktarı hacimce karıştırılmış, geri dönüşüm suyu ile üretilen karışımlarda şebeke suyu ile üretilenlere göre eksik kalan su (su içerisindeki katı madde hacmi kadar) ilave edilmiştir. Tablo 1 ve 2'de oranları verilen karışımların notasyonunda harften önceki rakamlar çimento yüzdesini, harften sonra gelen rakamlar ise karışım suyu yoğunluğunun ondalık ve yüzdelik basamaklarını göstermektedir. Ortada bulunan harf su içindeki katı madde ile yer değiştirilen beton bileşeni- ni belirtmektedir (B: bağlayıcı S: doğal kum).

Tablo 1: Bağlayıcısı azaltılan beton karışımları

Beton Karışımları	Malzemeler (kg/m ³)						
	Çimento	YFC	Su	Katı madde miktarı	Doğal kum	Kırma kum	Kırma taş
100B00	330	-	190	-	272	561	1028
100B02	320	-		7,58	272	561	1028
100B04	310	-		13,6	272	561	1028
75B00	248	82		-	271	558	1022
75B02	239	80		7,58	271	558	1022
75B04	232	78		13,6	271	558	1022
50B00	165	165		-	270	555	1018
50B02	159	160		7,58	270	555	1018
50B04	155	156		13,6	270	555	1018
25B00	82	248		-	269	553	1013
25B02	80	240		7,58	269	553	1013
25B04	77	234		13,6	269	553	1013

Tablo 2: Doğal kumu azaltılan beton karışımları

Beton Karışımları	Malzemeler (kg/m ³)						
	Çimento	YFC	Su	Katı madde miktarı	Doğal kum	Kırma kum	Kırma taş
100S00	330	-	190	-	272	561	1028
100S02	330	-		7,58	263	561	1028
100S04	330	-		13,6	255	561	1028
75S00	248	82		-	271	558	1022
75S02	248	82		7,58	262	558	1022
75S04	248	82		13,6	254	558	1022
50S00	165	165		-	270	555	1018
50S02	165	165		7,58	261	555	1018
50S04	165	165		13,6	253	555	1018
25S00	82	248		-	269	553	1013
25S02	82	248		7,58	260	553	1013
25S04	82	248		13,6	252	553	1013

Bağlayıcı azaltılan karışımlarda, yer değiştirmenin hacimce gerçekleştirilmesi ve geri dönüşüm suyu içerisindeki katı maddenin özgül ağırlığının bağlayıcı malzemelerin her ikisinden de daha düşük olması nedeniyle kütlece belirlenen su/bağlayıcı oranı, karışım suyu özgül ağırlığı artışına bağlı olarak, az da olsa artmaktadır.

2.3. Deney Yöntemleri

Beton numuneler 1 gün kalıpta tutulduktan sonra deney gününe kadar 20 ± 1 °C sıcaklıktaki su içinde saklanmıştır. Basınç deneyleri 3, 7 ve 28. günde yapılmıştır. Kılcallık deneyleri ise 28. günde 7x7x28 cm boyutlarındaki prizmalardan kesilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler önce 70 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş, sonra yan yüzeyleri parafin kaplanarak alt yüzeylerinden emilen su miktarları 100 dakika süre ile ölçülmüştür.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Basınç Dayanımı

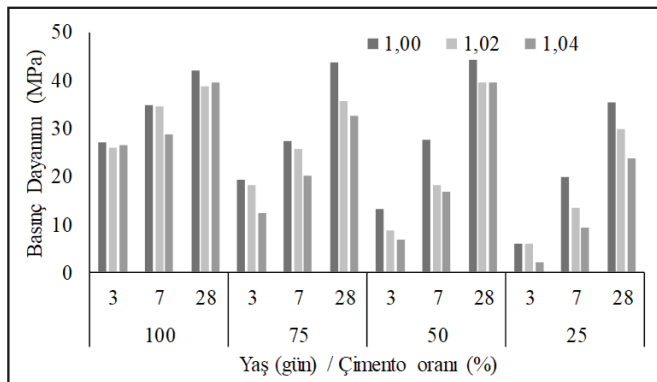
Üretilen betonlar üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı

deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca karışım suyu yoğunluğu ve bağlayıcı kompozisyonunun, bağlayıcısı azaltılan karışımların basınç dayanımına etkisi Şekil 1'de, doğal kumu azaltılan karışımlara etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir.

Bağlayıcı azaltılmış karışımlarda, geri dönüşüm suyu içerisinde askıdaki katı madde bağlayıcı ile hacimce yer değiştirdiği için su/bağlayıcı oranı artmaktadır. Bu artışın etkisi tüm bağlayıcı kompozisyonlarında ve yaşlarda gözlenmektedir (Şekil 1). Karışım suyu yoğunluğu artışıyla birlikte basınç dayanımında görülen azalma, artan YFC miktarı ile daha da şiddetlenmiştir. Bu durum geri dönüşüm suyunun çimento hidrasyonu üzerindeki hızlandırıcı etkisinin YFC üzerinde görülmemesine bağlanabilir.

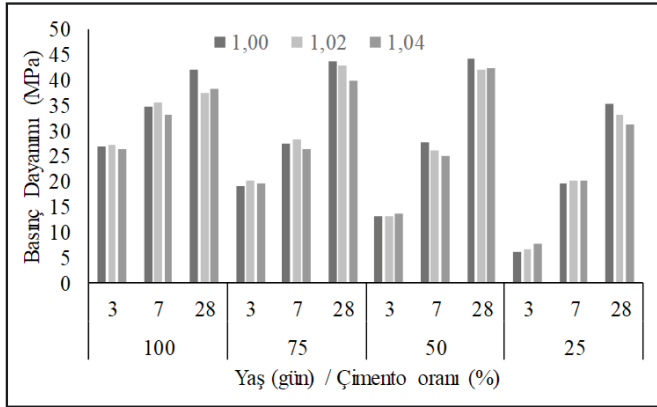
Tablo 3: Basınç dayanımı deney sonuçları

		Kontrol (Şebeke su)	Bağlayıcı azaltılmış (Geri dönüşüm suyu)		Kum azaltılmış (Geri dönüşüm suyu)	
		1,00	1,02	1,04	1,02	1,04
%100 çimento	3-g	27,0	25,8	26,5	27,1	26,4
	7-g	34,8	35,6	28,8	34,6	33,2
	28-g	42,1	38,8	39,5	37,5	38,4
%75 çimento	3-g	19,1	18,0	12,2	20,2	19,7
	7-g	27,4	25,7	20,1	28,3	26,4
	28-g	43,7	35,5	32,6	43,0	40,0
%50 çimento	3-g	13,0	8,7	6,7	13,1	13,5
	7-g	27,6	18,1	16,8	26,1	24,9
	28-g	44,3	39,6	39,5	42,1	42,4
%25 çimento	3-g	6,0	5,9	2,1	6,5	7,6
	7-g	19,7	13,4	9,2	20,2	20,0
	28-g	35,2	29,7	23,7	33,1	31,3



Şekil 1: Bağlayıcısı azaltılmış betonların basınç dayanım sonuçları

Bağlayıcı azaltılan karışımlarda görülen geri dönüşüm suyu yoğunluğunun basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkisi doğal kum azaltılan karışımlarda ihmal edilebilir seviyeye düşmüştür (Şekil 2). Doğal kum ile yer değiştirme gerçekleştirilen bu karışımlarda su/bağlayıcı oranı ve bağlayıcı dozajı değişmediği için basınç dayanım değerleri bağlayıcı azaltılan betonlarda görülen seviyede düşmemiştir. Üstelik, geri dönüşüm suyu içerisindeki kısmen hidrate olmuş çimento tanecikleri sayesinde, özellikle erken yaşlarda artışlar bile gözlenmiştir.

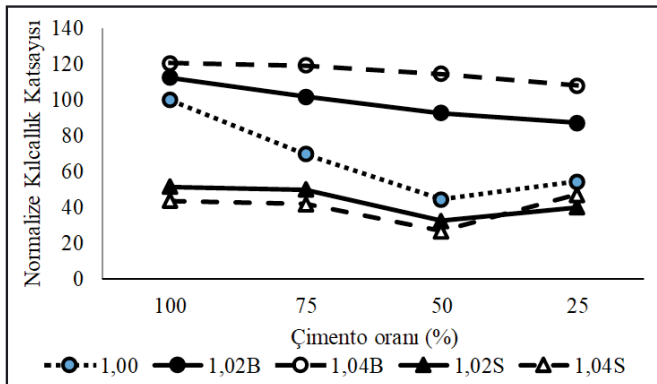


Şekil 2: Doğal kumu azaltılmış betonların basınç dayanım sonuçları

3.2. Kılcal su emme

Bu çalışma kapsamında hazırlanan betonların kılcal su emme katsayıları, şebeke suyu ve Portland çimentosu ile üretilen betonların kılcallık katsayılarına göre normalize edilerek Şekil 3'te sunulmuştur. Diğer tüm karışımların kılcallık katsayıları bu karışıma göre belirlenmiştir.

Bağlayıcı azaltılmış betonların kılcallık katsayıları basınç dayanımlarına benzer şekilde, artan su/bağlayıcı oranı nedeniyle, daha yüksek ölçülmüştür. Diğer taraftan, geri dönüşüm suyu içerisindeki katı taneler beton karışımı içerisindeki doğal kum ile kısmi olarak yer değiştirildiğinde kılcal su emme katsayılarının kontrol karışımına göre azaldığı görülmüştür. Bu durumun doğal kuma nazaran daha ince yapıdaki tanelerin artışıyla boşlukları doldurma etkisi yaratmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna ek olarak, şebeke suyu ile üretilen karışımlarda görülen YFC'nin kılcallık üzerindeki olumlu etkisi geri dönüşüm suyu kullanıldığında oldukça azalmış ancak tüm bağlayıcı kompozisyonlarında, YFC oranı artışı ile kılcallık katsayıları sadece çimento içeren karışımlara göre daha düşük seviyelerde kalmıştır.



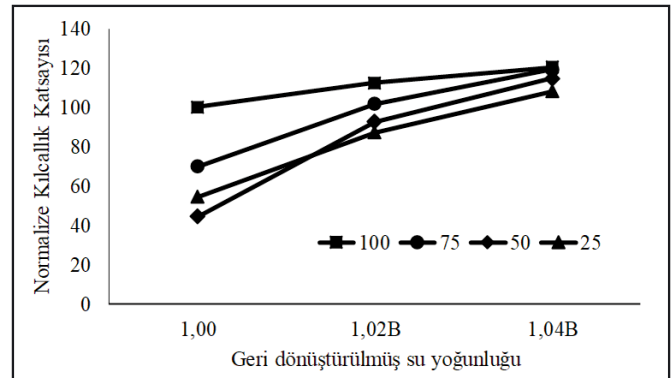
Şekil 3: Tüm betonlar için normalize edilmiş kılcallık değerleri (B: Bağlayıcı azaltılmış, S: Doğal kum azaltılmış karışımlar).

Geri dönüştürülen su kullanılarak ayarlanan karışım suyu yoğunluğunun bağlayıcı ve doğal kum azaltılmış betonların kılcallık katsayıları üzerine etkisi, sırasıyla Şekil 4 ve 5'te sunulmuştur. Bağlayıcı azaltılmış betonlarda artan su yoğunluğunun kılcallık katsayısı değerlerini artırması, geri dönüştürülmüş su içerisindeki kısmen hidrate olmuş katı parçacıkların bağlayıcı yerine geçmesinin mümkün olmadığını göstermektedir. Diğer taraftan, doğal kum yerine kısmen kullanılabileceği, kılcal su emme katsayısındaki artış eğiliminin, doğal kum azaltılan betonlarda tersine dönerek azalmasından anlaşılmaktadır (Şekil 5).

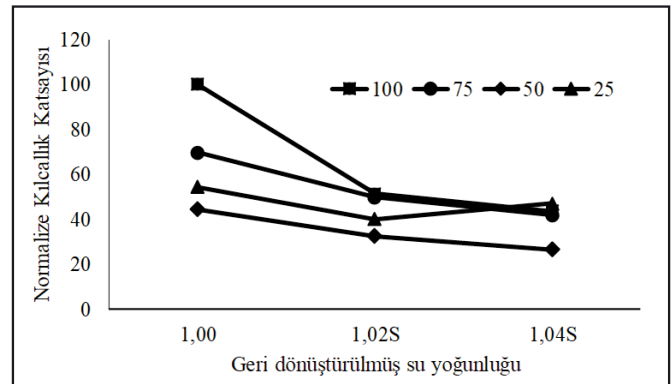
4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Geri dönüştürülmüş su içerisindeki katı tanelerin kısmen bağlayıcı olarak değerlendirilmesi, tüm bağlayıcı kompozisyonlarında ve tüm yaşlarda basınç dayanımının azalmasına neden olmuştur.
- Beton karışımlarında artan YFC oranı geri dönüştürülmüş suyun basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkisini artırmıştır.
- Geri dönüştürülmüş su içerisindeki katı tanelerin kısmen doğal kum olarak değerlendirilmesi basınç dayanımında azalma yaratmamıştır.



Şekil 4: Bağlayıcısı azaltılmış betonların normalize edilmiş kılcallık değerleri



Şekil 5: Doğal kumu azaltılmış betonların normalize edilmiş kılcallık değerleri

YFC'nin kılcallık üzerindeki olumlu etkisi geri dönüştürülmüş su kullanıldığında cüruf miktarından bağımsız hâle gelmiştir.

Geri dönüştürülmüş su içerisinde bulunan kısmen hidrate olmuş tanelerin bağlayıcı yerine geçemediği ancak kolaylıkla doğal kum ile yer değiştirilebileceği görülmüştür.

Doğal kum azaltılan betonlardan elde edilen kılcal su emme katsayılarının kontrol karışımlarından daha düşük seviyede bulunması karışıma giren ince malzemenin olumlu etkisini göstermektedir.

Kaynaklar

1. Paolini, M. and Khurana, R. (1998), "Admixtures for Recycling of Waste Concrete", Cem. Concr. Comp., Vol. 20, pp. 221-9.
2. ERMCO, "Guidance on Concrete Wash Water in the European Ready Mixed Concrete Industry", Brussels, 2006.
3. Hazardous waste, Technical Guidance WM2, Environment Agency, SEPA and the Northern Ireland Environment Agency, 2011.
4. B. Chatveera, B., Lertwattanakul, P., "Use of Ready-mixed Concrete Plant Sludge Water in Concrete Containing an Additive or Admixture", J. Environ. Management, 90 (2009) 1901-1908.
5. Tsimas, S., Zervaki, M., (2011), "Reuse of Waste Water from Ready-mixed Concrete Plants", Management of Environmental Quality: An Inter. J., Vol. 22 Iss 1 pp. 7 - 17.
6. B. Chatveera, B., Lertwattanakul, P., Makul, N., "Effect of Sludge Water from Ready-mixed Concrete Plant on Properties and Durability of Concrete", Cem. Concr. Comp. 28 (2006) 441-450.
7. Su, N., Miao, B., Liu, F.S., "Effect of Wash Water and Underground Water on Properties of Concrete", Cem. Concr. Res. 32 (2002) 777-782.
8. ASTM C94, 2004. Standard Specification for Ready-mixed Concrete. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
9. Ekolu, S. O., Dawneerangen, A., "Evaluation of Recycled Water Recovered from a Ready-mix Concrete Plant for Reuse in Concrete", Vol 52 No 2, Journal of the South African Institution of Civil Engineering, October 2010, Pages 77-82.
10. Asadollahfardi, G., Asadi, M., Jafari, H., Moradi, A., Asadollahfardi, R., "Experimental and Statistical Studies of Using Wash Water from Ready-mix Concrete Trucks and a Batching Plant in the Production of Fresh Concrete", Constr. Build. Mater. 98 (2015) 305-314.
11. Audo, M., Mahieux, P., Turcry, P., "Utilization of Sludge from Ready-mixed Concrete Plants as a Substitute for Limestone Fillers", Constr. Build. Mater. 112 (2016) 790-799.
12. Sandrolini, F. and Franzoni, E. "Waste Wash Water Recycling in Ready-Mixed Concrete Plants", Cement and Concrete Research, 31, (2001), 485-489.