

Transmikser Yıkama Suyunun Hazır Beton Üretiminde Geri Dönüşümü*

M. Hulusi Özkul¹ ve U. Anıl Doğan²

Özet

Bu çalışmada, hazır beton tesislerinde ortaya çıkan transmikser yıkama suyunun beton üretiminde karışım suyu olarak değerlendirilmesi incelenmektedir. Askıda katı madde içermesi nedeniyle yıkama suyunun yoğunluğu şebeke suyundan daha yüksektir. Üretilen betonlarda karışım suyu yoğunlukları 1.00, 1.02, 1.04, 1.05 1.10, 1.15 ve 1.20 kg/l olarak seçilmiştir. Yıkama suyu içerisindeki katı maddenin kapladığı hacim kadar su ilave edilmiş ve aynı hacimde çimento veya kum azaltılmıştır. Basınç dayanım deneyleri 3, 7 ve 28. günlerde gerçekleştirilmiştir. Geçirimlilik özellikleri ise 28. günde yapılan kılcalık deneyleriyle belirlenmiştir. Deney sonuçları, yoğunlukları 1.05 kg/l değerinin altında olan yıkama suyu kullanılarak üretilen beton karışımlarının basınç dayanımı, işlenebilirlik ve kılcalıklarının yeterli seviyede kaldığını göstermiştir.

1. Giriş

Hazır betona talebin artmasıyla birlikte herhangi bir nedenle kullanılmadan geri dönen beton miktarı da artmaktadır. Diğer taraftan transmikserler iş bitiminde yıkanmaktadır. Yıkama suyu adı verilen ve transmikserlerin yıkanması için harcanan su yüksek alkalin özellik göstermesi nedeniyle tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Alkalinitesi (pH) 10, 11 ve 12 olan 1 l suyun nötralize edilebilmesi için sırasıyla 10,000, 100,000 and 1,000,000 l temiz su gerektiği düşünüldüğünde pH değeri 13'e yakın olan yıkama suyunun tekrar kullanımının önemi daha kolay anlaşılabilir.

Her bir transmikserin temizlenmesi için yaklaşık 500 litre su harcanmaktadır [1]. Bu miktar, üretilen her bir metreküp ha-

Recycling Rinsing Water of Truck Mixers in Ready-Mixed Concrete Production

The purpose of this paper is to analyze the possibility of reuse of waste wash water obtained from a ready-mixed concrete plant as mixing water in concrete production. The wash water contains suspended particles, for this reason, its density is higher than that of tap water. In the concrete production, several densities for mixing water, such as 1.00, 1.02, 1.04, 1.05 1.10, 1.15 and 1.20 kg/l were used. Since wash water contains solid particles, a reduction is made in concrete mixture either from the cement content (those named as cement-reduced mixtures) or from the sand content (sand-reduced mixtures) by equal volume. Compressive strength tests were performed at the ages of 3, 7 and 28 days. Permeability properties were obtained by using capillary water absorption at 28 days of age. Test results showed that concretes prepared with wash water were able to meet the performance criteria in terms of compressive strength, workability and sorptivity when the density of the mixing water was chosen as less than 1.05 kg/l.

zır beton başına yaklaşık 50-100 litre yıkama suyunun açığa çıktığı anlamına gelmektedir [2, 3]. Suyun alkalin özelliği nedeniyle yani doğaya salınması son derece sakıncalıdır. Bu nedenle hazır beton tesislerinde kurulan havuzlar içerisinde biriktirmektedir. Yıkama suyunun beton üretiminde yeniden kullanıma sokulması hem çevresel hem de ekonomik bakımdan ortaya çıkan soruna en avantajlı çözüm olarak görülmektedir. Sürdürülebilirlik için, ürün özelliklerinde dalgalanma veya olumsuz yönde etkileme görülmediği sürece, üretim aşamasında mümkün olabilen en fazla atığın kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle atık yıkama suyu içeriğinin çimento ve diğer bağlayıcılar başta olmak üzere tüm beton bileşenleriyle etkileşimi araştırılmalıdır.

Hazır beton sektöründe yıkama suyunun yeniden kullanılması üzerine yapılmış çalışmalar çok fazla değildir. Bir grup araştırmacı yıkama suyu ile ürettikleri betonlarda daha düşük işlenebilirlik ve daha erken priz süreleriyle karşılaşmışlardır [4]. Bir başka çalışmada, yıkama suyunun daha fazla kullanılması sonucunda karışım suyunda artan miktarda katı madde bulunmasının priz başlangıç süresini kısalttığı tespit edilmiştir. [5]. Sand-

rolini ve Franzoni [6] tarafından yıkama suyu içerisindeki katı tanelerin kılcal su emme ve boşluk oranı değerlerinde azalmaya yol açtığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Borger ve arkadaşları [7] yıkama suyu ile üretilen betonlarda 8 saatlik basınç dayanımının şebeke suyu ile üretilen betonlara eşit veya daha yüksek sonuçlar verdiğini göstermiştir. Başka araştırmacıların yıkama suyu içerisindeki çimento tanelerinin neden olduğu hızlı hidrasyonu geciktirici kullanarak uzattıkları bilinmektedir [2]. Bu çalışmada taze beton özelliklerinde farklılık görülsede mekanik özellikler, klorür geçirimsizliği ve korozyon oluşumu bakımından

¹ hokzul@itu.edu.tr, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi

² doganunal@itu.edu.tr, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi

* Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen 17. ERMCO Kongresi'nde sunulmuştur.

herhangi bir farklılık oluşmamıştır. Son yıllarda yapılan bir çalışmada iki farklı beton karışımının yıkama suyu ile üretilmesi durumunda 28 günlük basınç dayanımlarının önemli ölçüde olumlu yönde etkilendiği görülmüştür [8]. Tüm deney gruplarında yıkama suyu kullanılarak üretilen betonların şebeke suyu ile üretilen betonlara göre daha yüksek dayanım verdiği bir başka çalışmada, [9] eşit işlenebilirlik elde etmek için yıkama suyu ile üretilen betonlara su ilave edildiğinde basınç dayanımında bir miktar azalma ve klorür girişinde artış belirlenmiştir. Yıkama suyu içerisindeki katı tanelerin kısmen çimento veya kum ile ikame edilebileceği ve her iki durumda birbirinden farklı etkiler görüldüğü raporlanmıştır [11].

Literatürde bulunan çalışmaların sonuçlarına göre yıkama suyu içerisindeki ince malzeme miktarı beton bileşenlerinden çimento veya kum ile ikame edilebilmektedir. Ancak gerek yıkama suyu özelliklerindeki değişkenlik gerekse farklı beton bileşimlerine etkisi bakımından araştırılması gereken birçok nokta bulunmaktadır. Bu çalışmada hazır beton tesislerinde önemli miktarlarda açığa çıkan yıkama suyunun geri dönüşüm imkanlarını araştırmak amacıyla yıkama suyunun beton basınç dayanımı ve kılcal su emme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışma

2.1 Malzemeler

Bağlayıcı olarak CEM I / 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. İnce agregası 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 kırma taş kullanılmıştır. Kontrol karışımlarıyla aynı işlenebilirlik

elde etmek amacıyla katkı dozajının artırıldığı karışımlar dışında üretilen tüm karışımlarda sabit dozajda (çimento ağırlığına göre %1.3) yüksek oranda su kesici kimyasal katkıdan faydalanılmıştır.

Deneylerde kullanılan yıkama suyu bir hazır beton firmasında bulunan geri dönüşüm havuzundan alınmıştır. Su içerisinde katı madde miktarı kurutma işleminden sonra belirlenmiş ve kurutulmuş malzemenin özgül ağırlığı 2.12 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Yıkama suyunun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri EPA ve EN standartlarındaki limitlerle birlikte Tablo 1’de verilmiştir.

2.2 Yöntem

Şebeke suyu ile üretilen kontrol karışımları yanı sıra yıkama suyu içerisindeki katı maddenin çimento ve doğal kum ile kısmen ikame edildiği iki seri beton üretilmiştir. Diğer bir ifadeyle, çimento ile ikame edilen su içerisindeki katı madde bağlayıcı olarak, kum ile ikame edildiğinde ise ince agregası olarak kabul edilmiştir. Burada amaç su içerisindeki katı maddenin bağlayıcı özelliğinin tespit edilmesidir. Yoğunluğu 1.00 kg/l olan şebeke suyu kullanılarak üretilen kontrol karışımı yanında, 5 farklı yoğunlukta karışım suyu (1.02, 1.04, 1.10, 1.15 ve 1.20 kg/l) ile üretimler gerçekleştirilmiştir. Karışım suyu içerisindeki katı madde, 4 adet karışım da çimento ve diğer 4 adet karışım da doğal kum ile hacimce yer değiştirilmiştir. Diğer taraftan, her karışım da bulunan su miktarının aynı kalması için, aynı katı madde hacmi kadar su karışıma eklenmiştir. İlk altı karışım da akışkanlaştırıcı dozajı %1.3 oranında kullanılmış, son iki karışım da ise (1.15MC and 1.15MS) kontrol karışımı ile aynı işlenebilirliğe ulaşmak amacıyla katkı dozajı arttırılmıştır.

Tablo 1: Yıkama suyu analiz sonuçları

Bileşik adı	Result	Sınır değer	İlgili standart
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	31 ppm	2000 ppm	EPA 9038
Klorür (Cl ⁻)	29 ppm	Öngerilmeli beton 500 ppm Betonarme 1000 ppm Metal içermeyen beton 4500 ppm	EN 196-2
Sodyum oksit (Na ₂ O)	90 ppm	-	EN 196-2
Potasyum oksit (K ₂ O)	107 ppm	-	EN 196-2
Toplam alkali	160 ppm	1500 ppm	EN 196-2
pH	12.6	≥ 4	EN 1008
Koku	yok	Herhangi bir koku bulunmamalı	EN 1008
Renk	berrak	Açık sarı veya berrak olmalı	EN 1008
Askıda katı madde	0.115 kg/L d=1.056	Çökelti miktarı 4 ml’den az olmalı	EN 1008
Organik Madde	Açık sarı	NaOH ilavesi sonrası: Açık sarı veya berrak olmalı	EN 1008
Pb ²⁺	< 10 ppm	100 ppm	EN 1008
P ²⁺ O ⁵	< 10 ppm	100 ppm	EN 1008
Zn ²⁺	< 10 ppm	100 ppm	EN 1008
Nitrat (NO ₃ ⁻)	< 10 ppm	100 ppm	EPA 9038

Karışım kodlamasındaki rakamlar karışım suyu yoğunluğunu, ardından gelen harfler ise ikame edilem bileşeni (C: çimento, S: doğal kum) göstermektedir. Son iki karışımında bulunan M harfi ise akışkanlaştırıcı dozajı artırılarak işlenebilirliği kontrol karışımlarıyla eşit hale getirilmiş karışımları işaret etmektedir.

Özellikle çimento ile ikame yapılan karışımlarda çimento ile yıkama suyu içerisindeki askıda katı maddenin özgül ağırlıkları arasındaki farktan dolayı su/çimento oranında hafif düşme gerçekleşmiştir.

Tüm betonlar 0.04 m³ hacminde düşey eksenli bir karıştırıcıyla hazırlanmış ve her karışımdan 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri için 150 x 150 x 150 mm boyutlarında küp, 28 günlük kılcal su emme deneyleri için 70 x 70 x 280 mm boyutlarında prizma numuneler alınmıştır.

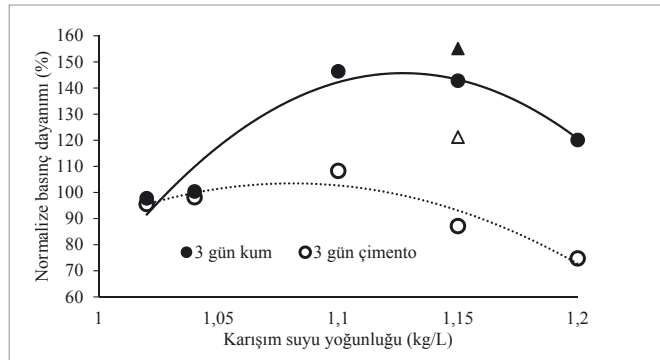
Tablo 2: Beton karışım oranları

Üretilen Betonlar	Malzemeler (kg/m ³)				Çökme (cm)
	Çimento	Su	Yıkama suyundan gelen katı madde	Doğal kum	
Kontrol	330	190	-	274	16
1.02C	320		7.58	274	13
1.02S	330		7.58	265	15
1.04C	310		13.6	274	15
1.04S	330		13.6	257	16
1.10C	276		33.9	274	15
1.10S	330		33.9	231	16
1.15C	249		51.7	274	6
1.15S	330		51.7	208	5
1.20C	223		69.4	274	4
1.20S	330		69.4	185	3
1.15MC	249		51.7	274	15
1.15MS	330		51.7	208	15

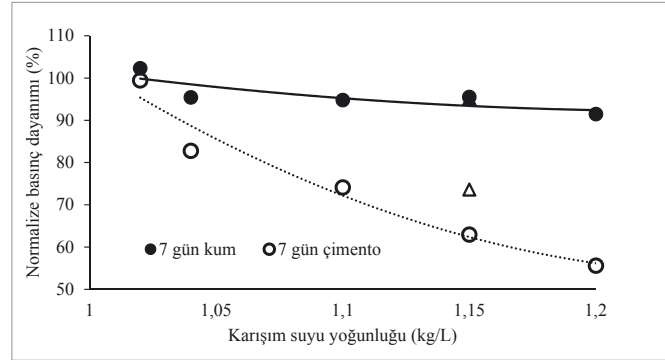
3. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

3.1 Basınç dayanımı

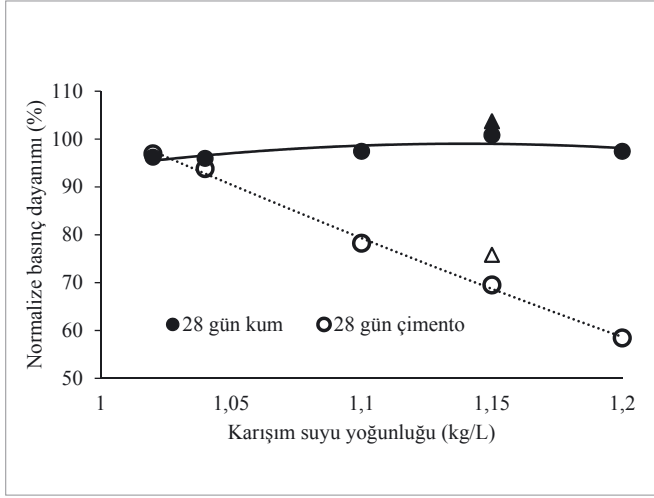
Beton küp numuneler üzerinde gerçekleştirilen 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyinin normalize edilmiş sonuçları sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'te gösterilmiştir. Grafiklerde içi dolu gösterilen noktalar kum ile ikame edilen karışımları, içi boş olanlar çimento ile ikame edilenleri temsil etmektedir.



Şekil 1: Karışım suyu yoğunluğu ile 3 günlük basınç dayanımı ilişkisi (Üçgen noktalar katkı ilave edilmiş karışımları göstermektedir)



Şekil 2: Karışım suyu yoğunluğu ile 7 günlük basınç dayanımı ilişkisi (Üçgen noktalar katkı ilave edilmiş karışımları göstermektedir)



Şekil 3: Karışım suyu yoğunluğu ile 28 günlük basınç dayanımı ilişkisi (Üçgen noktalar katkı ilave edilmiş karışımları göstermektedir)

Şekil 1’de görülen 3 günlük basınç dayanımının hem kum hem de çimento ikame edilen grupta karışım suyu yoğunluğu 1.10 kg/l seviyesine kadar olumlu yönde etkilendiği, karışım suyunda daha fazla katı madde bulunması durumunda (1.1 den daha yüksek yoğunluk durumunda) basınç dayanımı değerlerinde azalma başladığı anlaşılmaktadır. Bu durumun, artan su içerisindeki katı madde miktarından kaynaklanan kıvam kaybı nedeniyle betonun kalıplara yeterli seviyede yerleştirilememesi sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Yıkama suyundaki yarı hidrate çimento tanelerinin hidratasyonu hızlandırması erken yaş dayanımlarında (3 gün) etkisini göstermiştir. Daha ileri yaşlarda (7 ve 28 gün) karışım suyunun basınç dayanımı üzerindeki olumlu etkisi ortadan kalkmıştır. Bu yaşlarda kum ile ikame edilen betonların dayanımları kontrol karışımı ile aynı seviyede kalmış ancak çimento ile ikame edildiğinde basınç dayanımı değerlerinde belirgin miktarda azalma gözlemlenmiştir. Şekil 1-3’te üçgen ile gösterilen noktalar kontrol karışımıyla aynı kıvama sahip olması amacıyla akışkanlaştırıcı katkı dozajı arttırılan karışımları (1.15MC ve 1.15MS) temsil etmektedir. Bu karışımlarda, akıcılığın artmasıyla birlikte yerleştirilmeden kaynaklanan dayanım kaybının ortadan kalktığı, ancak yine de kontrol karışımlarının altında kaldığı görülmektedir.

Yukarıda anlatıldığı üzere, yıkama suyu içerisindeki katı maddenin çimento ile hacimce yer değiştirmesi sonucunda S/Ç oranında bir miktar artış meydana gelmektedir. Ancak, 3 günlük basınç dayanım değerleri hidratasyonun hızlanması nedeniyle söz konusu S/Ç artışından etkilenmemiştir. Şekil

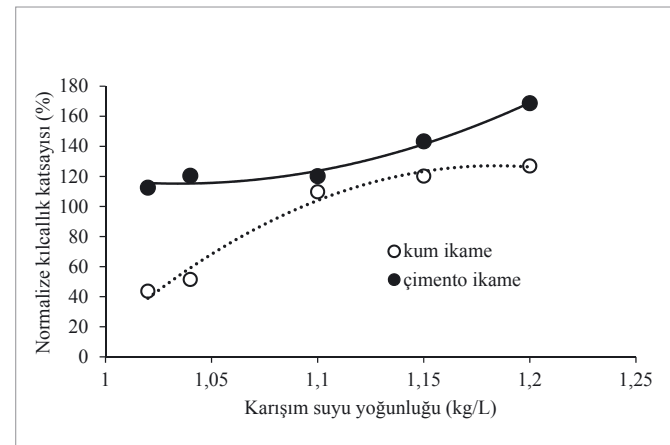
1’de görülen içi boş üçgen, yerleştirme sorunu ortadan kaldırıldığında su içerisindeki artan katı madde miktarının, S/Ç oranındaki artışa rağmen, basınç dayanımı üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir.

Su/çimento oranındaki yükselmenin olumsuz etkisi 7 ve 28 günlük dayanımlarda (Şekil 2 ve 3) görülmektedir. Bu karışımların akışkanlaştırıcı ilavesiyle kıvamlarının iyileştirilmesi de dayanım kaybını engelleyememiştir. Katı maddenin kum ile yer değiştirdiği karışımlarda basınç dayanımları fazla etkilenmemiş, hemen hemen aynı seviyede kalmıştır.

3.2 Kılcallık katsayısı

Çalışma kapsamında hazırlanan betonlar üzerinde ölçülen kılcallık katsayılarının tamamı Şekil 4’te sunulmuştur. Sürekli eğri çimento ile, kesikli çizgiyle gösterilen eğri kum ile yer değiştirilen betonların kılcallık katsayılarındaki değişimi temsil etmektedir. Çimento ile yer değiştirme uygulanan betonlarda tüm karışım suyu yoğunluklarında, kontrol karışımına göre daha yüksek kılcallık katsayıları elde edilmiştir. Bu sonuç söz konusu serideki S/Ç artışına dayandırılabilir.

Yıkama suyunun seyreltilmesiyle 1.02 and 1.04 kg/L yoğunluğunda karışım suyu kullanılarak üretilen ve katı maddenin kum ile yer değiştirildiği betonların kılcallık değerlerinde büyük miktarda (yaklaşık %50 oranında) azalma tespit edilmiştir. Bu sonucun ince tanelerin boşlukları doldurmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Artan karışım suyu yoğunluğu ile birlikte bu eğilim ortadan kalkmış, 1.10 kg/l değeri ve üzerindeki karışım suyu yoğunluklarıyla üretilen betonlarda kontrol betonlarına eşit ya da daha yüksek kılcallık katsayıları belirlenmiştir.



Şekil 4: Karışım suyu yoğunluğu ile 28 günlük beton normalize kılcallık katsayısı ilişkisi

4. Sonuçlar

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Yıkama suyu içerisindeki katı maddenin çimentonun bir kısmı ile yer değiştirmesi durumunda artan su/çimento oranı nedeniyle her yaşta dayanım kaybı meydana gelmiştir.
- Katı maddenin doğal kum ile yer değiştirmesi durumunda erken basınç dayanımı (3 günlük) artış göstermiş, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında önemli bir azalma oluşmuştur. Yıkama suyunun betonda kullanımı, atık malzemenin geri dönüşümü yanında yüksek erken basınç dayanımı ihtiyacının karşılanmasını da sağlamaktadır.
- Kum ile yer değiştirme uygulanan betonlarda, karışım suyu yoğunluğu 1.10 kg/l altında olduğu müddetçe, kontrol karışımlarına göre daha düşük kılcal su emme katsayıları bulunmuştur.
- Basınç dayanımı ve kılcal su emme katsayısı gibi beton özellikleri açısından, yıkama suyu içerisindeki kısmen hidrate olmuş çimento tanelerinin beton içerisindeki bağlayıcının yerini alamamakta ancak doğal kum yerini aldığı anda üstün özellikler göstermektedir.
- Yıkama suyunun geri dönüşümü, gün geçtikçe azalan doğal kum stoğunun beton sektörü ihtiyaçlarını karşılayabilmesi bakımından da sürdürülebilirliğe katkıda bulunacaktır.

Referanslar

- Ekolu S.O. and Dawneerangen, A., 'Evaluation of recycled water recovered from a ready-mix concrete plant for reuse in concrete', Journal of The South African Institution of Civil Engineering. 52, (2010) 77-82.
- Muszynski, L. and Chini, A., 'Re-using wash water in ready-mixed concrete operations', Concrete. 36, (2002), 16-18.
- Guidance on Concrete Wash Water in the European Ready Mixed Concrete Industry, European Ready Mixed Concrete Organization ERMCO, October 2006.
- Su, N., Miao, B. and Liu, F. 'Effect of wash water and underground water on properties of concrete', Cement and Concrete Research. 32 (2002), 777-782.
- Neuwald, A. D. 'Treating and Recycling Concrete Process Water', National Precast Concrete Association Archive - 2004-2008, (2010).
- Sandrolini, F. and Franzoni, E. 'Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants', Cement and Concrete Research, 31, (2001), 485-489.
- Borger, J., Carrasquillo, R. L. and Fowler D. W., 'Use of Recycled Wash Water and Returned Plastic Concrete in the Production of Fresh Concrete', Advn. Cem. Bas. Mat., 1, (1994) 267-274.
- Wasserman, B., 'Wash Water in the Mix: Effects on the Compressive Strength of Concrete', International Journal of Construction Education and Research, 8 (4) (2012) 301-316.
- Chatveera, B. and Lertwattanakur, P. 'Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture', Journal of Environmental Management. 90, (2009) 1901-1908.
- Lobo, C., and Mullings, G.M., 'Recycled Water in Ready Mixed Concrete Operations', Concrete InFocus, National Ready Mixed Concrete Association, Spring (2003) 17-26, <http://www.nrmca.org/research/33%20CIF%2003-1%20wash%20water.pdf>
- Ferriz-Papi, J. A., 'Recycling of fresh concrete exceeding and wash water in concrete mixing plants', Materiales de Construcción, 64 (313) (2014) e004