



Alınış tarihi (Received): 09.02.2018
Kabul tarihi (Accepted): 01.08.2018

Baş editor/Editors-in-Chief: **Ebubekir ALTUNTAŞ**
Alan editörü/Area Editor: **Murat ÇAVUŞ /**
Bülent TURAN

Endüstriyel Atıkların Beton Dayanımına Etkisi Üzerine Bir Çalışma: Çay Fabrikası Kömür Külü Örneği

Cuma KARA^{a,*} İlknur BEKEM^a

^aArtvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 08400 Artvin-Türkiye
*Sorumlu yazar, e-posta: cumakara@artvin.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada Artvin-Borçka'da bulunan Muratlı çay fabrikasına ait yakma ünitesi kuru tip toz siklon filtre sisteminde tutulan kömür külünün endüstriyel bir atık olarak beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı oranlarda çimentoya ikame edilmiş kömür külü atığının betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, %0, %5, %10 ve %15 oranlarında kömür külü atık olarak çimento ikamesi ile C20/25 sınıfı 4 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Taze beton üzerinde slump deneyi, sertleşmiş beton örnekleri üzerinde ise Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Çalışma sonunda erken yaşta (7. Gün) %5 atık ikamesinin referans betona göre ultrases geçiş hızını (%3.40) ve basınç dayanımını (%19.70) arttırdığı; 28. günde ise atık malzemenin C20/25 tasarımında beton içerisinde çimento ikamesi ile % 15'e kadar kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, endüstriyel atık, çay fabrikası, kömür külü.

A Study on the Effect to Concrete Strenght of Industrial Wastes: Coal Ash Example of Tea Factory

ABSTRACT: In this study, the possibility of using coal ash which held in dry powder cyclone filter system in combustion unit of Muratli tea factory in Artvin-Borcka, in concrete production has been researched. It is aimed to determine fresh and hardened concrete properties of cement substituted waste coal ash added concrete at different ratios. For this goal, four different concrete mixes of C20/25 class substituted with 0%, 5%, 10% and 15% dust is prepared. Slump experiment on fresh concrete, on the hardened concrete specimens, Schmidt hammer, ultrasound transit speed and compressive strength tests were carried out. At an early age (on 7th day), 5% waste residues increase the ultrasonic pulse velocity (3.40%) and compressive strength (19.70%) compared to the reference concrete; On the 28th day, it is seen that waste material can be used up to 15% with cement substitution in concrete in C20 / 25 design.

Keywords: Concrete, industrial waste, tea factory, coal ash.

1. Giriş

Son yıllarda yapılan araştırmalarda, atık malzemelerin gün geçtikçe arttığı ve bu bağlamda meydana gelen çevresel kirliliğin önemli bir sorun teşkil ettiği görülmektedir. Bu nedenle çalışmalar geri kazanılabilir atıkların, hammadde yerine kullanılabilirliği üzerine yoğunlaşmıştır. Atık malzeme ve yan ürünlerinin değerlendirilmesi, kısıtlı olan doğal

kaynakların kullanımını azaltarak doğanın tahrip olmasını önlemekte, hem de malzemelerin depolanması sonucu çevrede oluşacak problemlerini en aza indirmektedir. Ancak her atık, hammadde ya da katkı olarak kullanılamamaktadır. Bu konuda daha detaylı çalışmalar yapılması gerekliliği yadsınamaz bir gerçektir (Atış ve ark., 2016), (Öntürk ve Vural, 2014).

Endüstriyel katı atıkların (kül, cüruf, metal parçaları, odun parçaları, tekstil parçaları, cam kırıkları, hurda lastikler) çevreye verdiği zararın önlenmesi amacıyla kaynağında yok edilmesi veya çevreye zarar verme olasılığının en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu atıkların neden olduğu sorunlar arasında, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgârla etrafa yayılma, tozlanma, toprakta süzülme dolayısıyla zehirli madde taşınması ve radyasyon sayılabilmektedir. Bu çevre sorunları nedeniyle, suyun ve havanın kalitesi, doğal hayat ve bölgenin ekonomik durumu bakımından olumsuz sonuçlar meydana gelmektedir (Pehlivan ve ark., 2014).

Çimento ve beton üretiminde endüstriyel atık kullanımı hem atıkların oluşturduğu çevre kirliliğinin hem de çimento üretim maliyetinin azaltılması açısından önemli bir husustur. Elektrometalürji işletmesinden elde edilen silis dumani, demir-çelik fabrikalarından elde edilen yüksek fırın cürufu ve termik santrallerden elde edilen uçucu kül atıklarının çimento ve betonda kullanımı üzerine literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Yaygın olarak bilinen bu puzolanların dışında endüstriyel atıkların değerlendirilmesine ilişkin yapı malzemeleri çalışmaları devam etmektedir.

Yapılan bir çalışmada, endüstriyel demir talaşı atığı kullanılarak üretilen farklı sınıflardaki betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri araştırılmıştır. Atık ilaveli C25 sınıfı taze beton yoğunluklarının 7. ve 28. günlerde 2542.22 kg/m³ ve 2497.78 kg/m³, atık ilaveli C30 sınıfı taze beton yoğunluklarının ise 7. ve 28. günlerde 2601.48 kg/m³ ve 2583.7 kg/m³ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, atık malzemenin beton basınç dayanım değerlerini C25 sınıfı beton için 7. ve 28. günlerde %8.07 ve %11.55, C30 sınıfı beton için 7. ve 28. günlerde %2.79 ve %11.62 oranında arttırdığı elde edilen sonuçlar arasındadır (Taş ve ark., 2013).

Bir başka çalışmada atık demir tozu ile üretilen beton ve harçlarda, referans betona göre daha üstün teknolojik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Demir tozu atıklarının harca katılmasıyla daha az girdi kullanıldığı için ekonomik beton elde edilebildiği, ayrıca bu durumun ekolojik çevrenin korunmasına katkı sağlayacağı vurgulanmıştır (Binici ve ark., 2016).

Samsun Eti Bakır işletmelerinde blister (Ham bakır) üretimi sırasında çevresel sorunlara sebep olan flotasyon atığı ortaya çıkmaktadır. Yapılan bir çalışmada, bu atığın çimentolu sistemlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sonuç olarak, bakır atığı katkılı beton karışımlarının basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, %7.5 bakır atığı + %92.5 CEM I karışımıyla yapılmış olan betonun diğer karışımlara göre daha olumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, farklı oranlarda atık katkılı çimentoların 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerlerinin kontrol numunesiyle karşılaştırıldığında atık ilavesinin artmasıyla basınç dayanımlarının düştüğü belirlenmiştir (Mesçi ve ark., 2007).

Bir başka çalışmada, seramik üretimi esnasında meydana gelen seramik tozu atığının çimento yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, atık malzemenin boşluklu bir yapıya sahip olması nedeniyle harçların standart kıvam suyu miktarının artmasına ve priz süresinin uzamasına yol açtığı, taze harç özelliklerini olumlu yönde etkilediği

belirlenmiştir. Ayrıca, atık oranı arttıkça yayılma çaplarında da artışlar elde edilmiş, %10 atık katkısının 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı ve asitlere dayanıklılığını arttırdığı belirlenmiştir. %15 oranında atık katkısının kullanılması durumunda ise harç özelliklerinin olumsuz etkilendiği gözlenmiştir (Kalınçimen ve ark., 2017).

Yüksek sıcaklık etkisinin, basınç dayanımına etkilerinin incelendiği bir araştırmada, cam tozu atığının %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında, çimento ikamesi yapılmıştır. Beton örnekleri 100°C, 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklarda bırakılmış ve basınç dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre, ileriki yaşlarda katkılı betonun basınç dayanımı referans numuneye göre 600°C ve 900°C sıcaklıklarda daha yüksektir. Öğütülmüş cam tozunun en uygun kullanım oranının %10 olduğu ve ileriki yaşlarda referans örneğe göre katkılı örneklerde daha az dayanım kaybı meydana geldiği belirlenmiştir (Orhan ve Şahin, 2016).

Farklı oranlarda mermer tozu atığı içeren beton örneklerinde karbonatlaşma deneyi yapılmış ve sonuç olarak; mermer tozu kullanımı ile ultrases geçiş hızının arttığı, aşınma ile kapilarite katsayılarının düştüğü, eğilme ve basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür. Ayrıca, çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla mermer tozunun beton üretiminde en uygun ikame oranının %5 olduğu, optimum mermer tozu kullanımının betonun sürdürülebilirliğini olumlu etkilediği kanaatine varılmıştır (Yazıcıoğlu ve Kara, 2017).

Bor atık suyunun çevreye ve canlılara verebileceği zararı minimum seviyeye indirmek için inşaat sektöründe kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, bor içeriğine ait suların Portland çimentosu harcı üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir. Bor atık suyu kullanımı ile üretilen harçların dayanım, donma-çözülme ve yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı olumlu yönde artmıştır (Yılmaz, 2016).

Türkiye dünya çay üretiminde ilk sıralarda yer almakta olup, üretim alanı hemen hemen aynı kalmasına rağmen üretim miktarı artış göstermektedir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2016). Türkiye'nin çay ihtiyacının tamamı Doğu Karadeniz bölgesinden sağlanmaktadır. Özel sektör çay fabrikaları genel çevresel değerlendirme raporuna göre çay fabrikalarında;

- Personelden kaynaklı evsel katı atıklar,
- Fabrikanın yakma ünitesinden kaynaklanan atıklar,
- Proses ünitelerinden kaynaklanan atık çay lifleri ve
- Çeşitli faaliyetler sonucu kullanım amacını yitirmiş ve atık olma özelliği kazanmış katı atıklar bulunmaktadır (Rize Ticaret Odası, 2013).

Bu atıklar değerlendirilmediği ve uygun şartlarda depolanmadığı takdirde çevresel koşullar üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir. Atık kaynaklarından biri de fabrikada çay işleme sırasında kullanılan buharın elde edilmesini sağlayan yakma üniteleridir. Bu üniteden kaynaklı olarak, kuru tip toz siklon filtre sisteminde tutulan kömür tozları meydana gelmektedir. Bir fabrikanın yakma ünitesinde yıllık ortalama 17-18 bin ton kömür kullanıldığı, kömür miktarının 1/5'i kadar kömür tozu atığı ortaya çıktığı bilgisi yapılan araştırmalarda elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı çay fabrikası atıklarından biri olan kömür külünün çimentoya ikame edilerek endüstriyel bir atık olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaca yönelik olarak Artvin-Borçka'da bulunan Muratlı çay fabrikası örneklem seçilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyaller

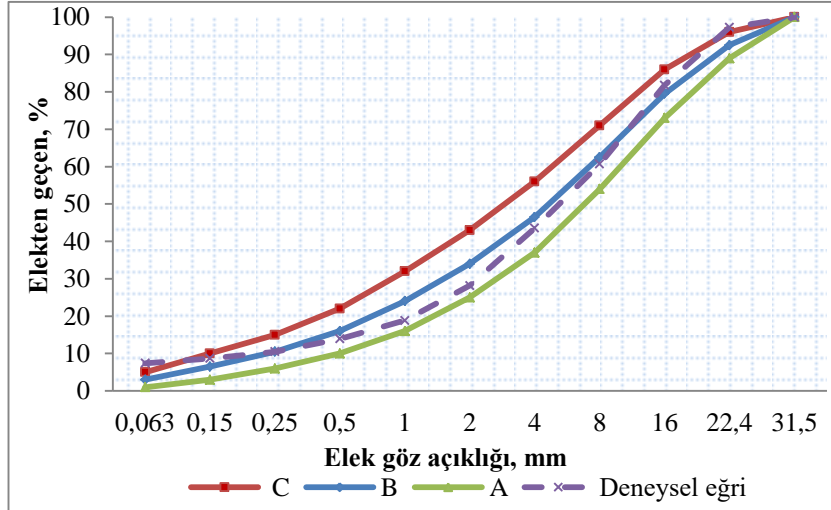
Yapılan çalışmada; Akçansa üretimi olan CEM I 42.5 R çimentosu, Artvin-Borçka'da bulunan taş ocağına ait kırmataş agrega, şehir şebeke suyu, çay fabrikası kömür külü atığı ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Cem I 42.5 R çimentosuna ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. CEM I 42.5 R çimentosuna ait özellikler

Table 1. Properties of CEM I 42,5 R cement

Analiz	Oksit	Değer	Analiz	Deneçler	Değer
Kimyasal (%)	CaO	62.64	Fiziksel	Özgöl yüzey, cm ² /g	3269
	Al ₂ O ₃	4.56		Hacim Genleşmesi, mm	2.0
	Fe ₂ O ₃	3.36		Yoğunluk, g/cm ³	3.12
	SiO ₂	19.05		Priz baş. sür.,dak	150
	SO ₃	2.88		Priz bit. sür.,dak.	210
	MgO	2.98	Basınç Dayanımı	Gün	MPa
	Na ₂ O	0.15		2. gün	32.5
	Kızd. kaybı	3.02		7. gün	43.4
	Çöz. kalıntı	0.30		28. gün	53.6

Kırmataş agregalara ait tane dağılımı TS 706 EN 12620+A1 ve TS 706 EN 933-1 standardında belirtilen esaslara uygun gerçekleştirilmiştir (TS 706 EN 12660+A1,2009), (TS 3530 EN 933-1, 2007). Deneysel granülometri eğrisi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Deneysel granülometri eğrisi

Figure 1. Experimental granulometry curve

İnce ve iri agregaların fiziksel özellikleri TS EN 1097-6 standardında belirtilen şartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN 1097-6, 2002). Agregaların tane yoğunlukları ve su emme oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. *Agrega örneklerine ait fiziksel özellikler.***Table 2.** *Physical properties of aggregate samples.*

Fiziksel özellik	Agrega gurubu	Deney sonucu
Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	0-5 (yıkandı)	2.625
	0-5	2.601
	5-12	2.704
	12-25	2.723
Su Emme Oranı (%)	0-5 (yıkandı)	2.30
	0-5	3.00
	5-12	1.65
	12-25	1.20

Karışımında kullanılan atık Artvin ili Borçka ilçesinden bulunan Muratlı çay fabrikası yakma ünitesinden çıkıp, depolama yapılan alandan temin edilmiştir (Şekil 2). Atık 100+5°C’de etüvde kurutulmuştur. 0,99 g/cm³ tane yoğunluğu olan atık malzeme 0.125 mm’lik elekten elenerek çimento ile ikame edilmiştir. Atık malzemeye ait kimyasal analiz Tablo 3’de verilmiştir.

**Şekil 2.** *Muratlı çay fabrikası yakıt ünitesi ve katı atık depolama alanı.***Figure 1.** *Muratlı tea factory fuel unit and solid waste storage area.***Çizelge 3.** *Kömür külü atığına ait özellikler***Table 3.** *Properties of coal ash*

Kimyasal Analiz (%)	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	MgO	Kızd. kaybı
Değer	2.45	11.88	11.39	49.65	5.99	1.88	16.71

2.2. Yöntem

2.2.1. Beton Karışımlarının Hazırlanması

Beton karışımları TS 802 ve TS EN 206-1 standartları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir (TS 802, 1985), (TS EN 206-1, 2002). Farklı oranlarda atık çimento ile ikame edilmiştir. Referans (0A), %5 atık (5A), %10 atık (10A) ve %15 atık (15A) ikameli olmak üzere C20/25 sınıfı toplam 4 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Her tür için beton karışımına giren malzeme miktarları ağırlık olarak Tablo 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. $1m^3$ beton karışımına giren malzeme miktarları.

Table 4. Quantities of material entering $1m^3$ concrete mixture.

Kodlama	0A	5A	10A	15A
	Miktarlar			
Malzeme				
Atık, kg	0	15	30	45
Su, litre	180	180	180	180
Çimento, kg	300	285	270	255
Katkı maddesi, litre	3	3	3	3
0-5 kırma kum, kg	344	344	344	344
0-5 kırma kum(yıkanmış), kg	694	694	694	694
5-12 kırmataş, kg	417	417	417	417
12-25 kırmataş, kg	500	500	500	500

Karışım için gerekli malzemelerin hepsi laboratuvar tipi beton mikserinde sabit hızla karıştırılmıştır (TS 1247, 1984). TS EN 12350-2 standardına göre taze betonun çökme miktarı belirlenmiştir (TS EN 12350-2, 2002). Taze beton karışımı 150x150x150 mm boyutlarında standart küp kalıplara dökülmüştür. Kür havuzunda 7 ve 28 gün bekleyen beton örnekleri üzerinde sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Muratlı çay fabrikasının yakma ünitesinden kaynaklanan kuru tip toz siklon filtre sisteminde tutulan kömür külü endüstriyel bir atık olarak değerlendirilmiş ve atık malzeme kullanılarak %0, %5, %10 ve %15 oranlarında çimento ikamesi ile hazırlanan beton örnekleri üzerinde 7. ve 28. günlerde geri sıçrama değeri tayini (schmidt çekici), ultrases geçiş hızı tayini ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır.

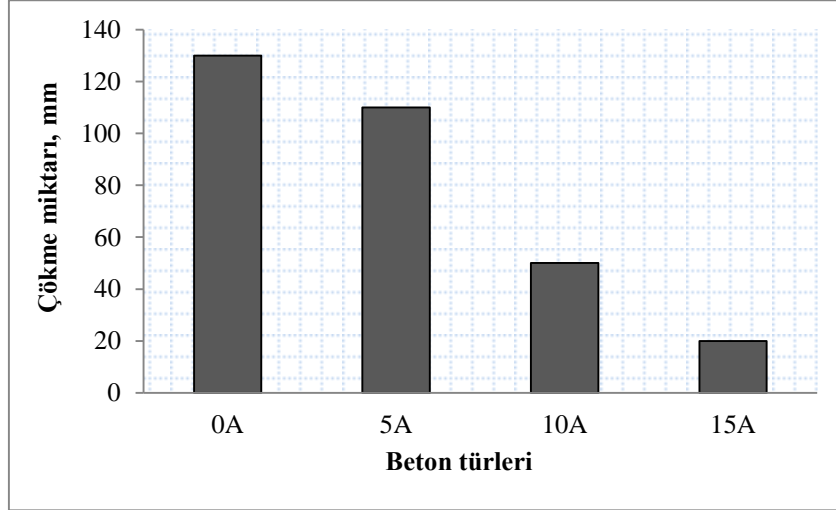
Geri sıçrama değeri tayininde 0.225 kgm darbe enerjisi olan N tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Schmidt çekici ile küp numuneler üzerinde 9'ar adet okuma gerçekleştirilmiştir. Schmidt çekici değerleri okuması, TS EN 12504-2 standardında belirtilen esaslara uygun olarak $\alpha = -90^\circ$ açı ile kuru beton yüzeyinde yapılmıştır (TS EN 12504-2, 2004). Elde edilen R değerleri, çekiç üzerinde bulunan Basınç dayanımı-geri tepme katsayısı ilişkisi grafiği yardımıyla yaklaşık basınç dayanımı değerlerine çevrilmiş ve ortalamaları alınmıştır.

Ultrases geçiş hızı deneyi cihazın alıcı ve gönderici uçları karşılıklı olacak şekilde yerleştirilmiş ve ses geçiş süresi saniye cinsinden ASTM C 597 standardına uygun olarak ölçülmüştür (ASTM C 597-83, 2009).

Üretilen beton örneklerin basınç dayanımı deneyleri Utest (UTC-4231) cihazında 2.4 kN/s yükleme hızı alınarak, TS EN 12390-3 standardına göre küp örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (TS EN 12390-3, 2003).

3. Bulgular ve Tartışma

Atık ikamesi ile üretilen dört farklı beton karışımına ait çökme değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Kömür külü atığı ikamesi oranı arttıkça taze beton slump deneyi sonuçlarında azalma meydana gelmiştir.

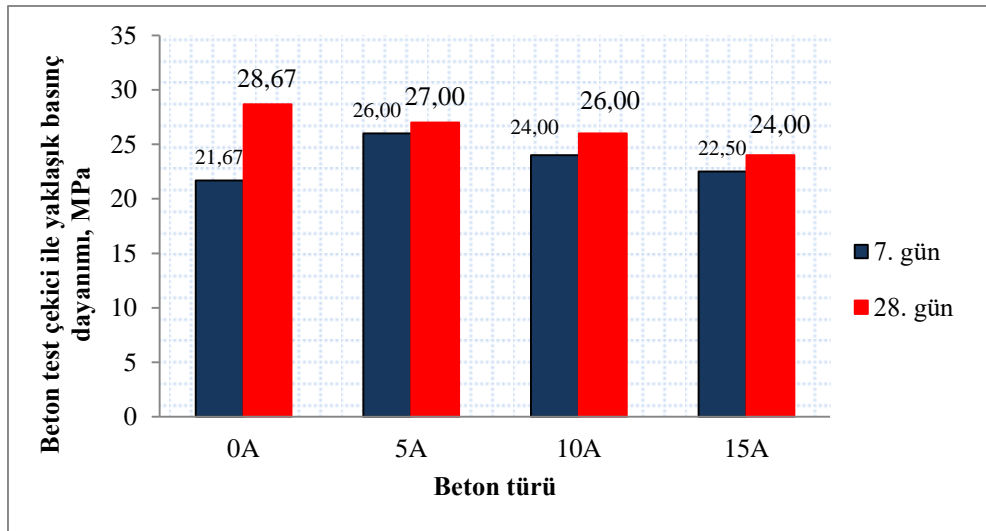


Şekil 3. Beton türlerine ait slump-çökme miktarları.

Figure 3. Slump amounts of concrete types.

Çimentoya farklı oranlarda (%0, %5, %10, %15) atık ikame edilerek üretilen beton örneklerine ait schmidt çekici okumaları ile elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerleri Şekil 4'te görülmektedir.

- Schmidt çekici ile yaklaşık basınç dayanımı değerleri 7. gün için incelendiğinde atık ikameli tüm beton türleri referans karışımdan daha yüksek değer göstermiştir.
- İkame oranı %5'ten %15'e doğru arttıkça yaklaşık basınç dayanımı değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.
- 7. günde en yüksek yaklaşık basınç dayanımı değeri %5 atık ikameli beton türüne aittir. Referans betona göre yaklaşık basınç dayanımı %20 artış göstermiştir.
- 28. günde ise en yüksek yaklaşık basınç dayanımı değeri referans beton türüne aittir. İkame oranı arttıkça yaklaşık basınç dayanımı değerinde azalma meydana geldiği görülmektedir.

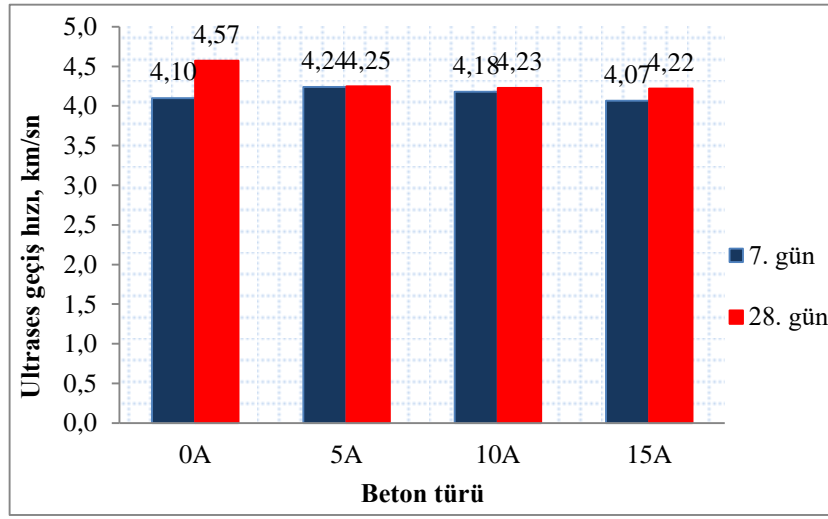


Şekil 4. Beton karışımlarına ait schmidt çekicinden elde edilen basınç dayanımı değerleri

Figure 4. Approximate compressive strength values obtained by schmidt attractive readings of concrete mixtures

Farklı oranlarda atık ikameli beton türlerine ait ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 5’de görülmektedir.

- Tüm beton türlerinin kalitesi 7 günlük ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde 3.5 km/s-4.5 km/s aralığında yer aldığı için “iyi” olarak nitelendirilmektedir (Zebari vd. 2016).
- 7. günde en yüksek ultrases geçiş hızı %5 atık ikameli beton türüne aittir. %5 atık ikamesi referans betona göre ultrases geçiş hızını %3.40 arttırmıştır.
- 28. günde ise en yüksek değer referans beton türüne aittir. Atık ikame oranı arttıkça ultrases geçiş hızı değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Referans betonun ultrases geçiş hızı 4.5 km/s’den yüksek olduğu için beton kalitesi “mükemmel” olarak değerlendirilmektedir (Zebari vd. 2016).

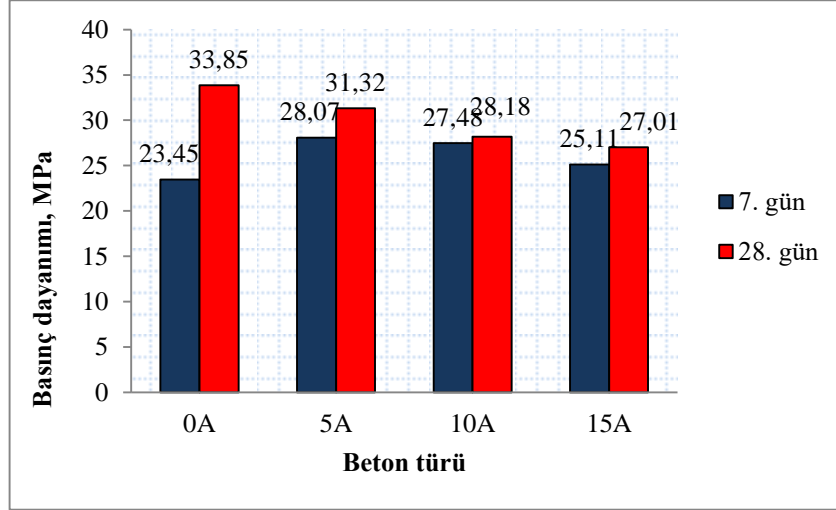


Şekil 5. Beton karışımlarına ait ultrases geçiş hızı değerleri

Figure 5. Ultrasonic transit velocity values for concrete mixtures

Her bir beton karışımının ortalama basınç dayanımı değerleri Şekil 6’da görülmektedir.

- Erken yaşta (7. gün) atık ikame edilen tüm beton türlerinin basınç dayanımı değerleri referans betondan daha yüksek çıkmıştır.
- Referans beton ile karşılaştırıldığında %5 atık ikamesi %19.70; %10 atık ikamesi %17.19; %15 atık ikamesi ise %7.08 oranında basınç dayanımını arttırmıştır.
- 28. günde ise en yüksek basınç dayanımı değeri referans beton türüne aittir.
- Çimentoda %5’ten %15’e kül atığı ikame oranı arttıkça basınç dayanımında azalmanın olduğu görülmüştür.
- Beton tasarımı C20/25’e göre yapılmıştır. Küp numunelerde 28. gün betonun basınç dayanımının en az % 95’ini (23,75 MPa) kazanmış olması gerekmektedir. Atık ikamesi yapılarak elde edilen çimentoyla üretilmiş tüm beton türlerinde sınır değer olan 23,75 MPa basınç dayanımını geçtiği tespit edilmiştir.



Şekil 6. Beton karışımlarına ait ortalama basınç dayanımları
Figure 6. Average compressive strengths of concrete mixtures

4. Sonuç

Çay fabrikası yakma ünitesinden çıkan ve kuru tip siklon filtre sisteminde biriken kömür külünün endüstriyel bir atık olarak beton karışımında kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada, farklı oranlarda (%0, %5, %10, %15) atık ile üretilmiş beton türleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Atık ikamesi taze betonun işlenebilirliğini azaltmıştır.
- Erken dayanım değerlerinde (7. gün) ultrases geçiş hızı en yüksek olan beton türü 4.24 km/s ile %5 atık ikameli beton türüne aittir. 28. günde ise referans beton türünün ultrases geçiş hızı 4.57 km/s ile en yüksek değerde olup beton kalitesi mükemmeldir.
- Schmidt çekici ile yapılan yaklaşık basınç dayanımı tayininde ikame yapılan tüm beton türlerinin 7. gün basınç dayanımı değerleri referans betonun üzerinde çıkmıştır.
- Tahribatsız deneylerden biri olan Schmidt çekici yöntemiyle elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerlerinin, tahribatlı basınç dayanımı değerleri ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- En yüksek basınç dayanımı değeri 7. günde %5 atık ikameli beton türüne aittir. İkame yapılan tüm beton türlerinin basınç dayanımı değeri referans betondan daha yüksektir.
- 28. günde ise ikame miktarı arttıkça basınç dayanımında referans betona göre azalma meydana gelmiştir.
- Ancak C20/25'e göre yapılan beton tasarımına göre, atık ikamesi yapılan tüm betonlar en az dayanım (23,75 MPa) şartını sağlamıştır. İlgili beton sınıfında atık ikamesinin en iyi % 5'te sonuç verdiği görülmektedir.

Atık malzemenin C20/25 tasarımında beton içerisinde çimento ikamesi ile % 15'e kadar kullanılabilirliği görülmüştür. Ancak, ikame oranı arttıkça dayanımın düştüğü de ihmal edilmemelidir.

Çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla çay fabrikaları yakma ünitelerinden kaynaklanan kömür külünün inşaat sektöründe endüstriyel bir atık olarak farklı alanlarda değerlendirilebilirliğinin araştırılmasına devam edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, çimento harçlarında yakma ünitesi kaynaklı atıkların kullanımına ilişkin puzolanik aktivite deneyinin yapılması, beton üretiminde atığın ince agrega ile ikame edilerek kullanılmasını kapsayacak çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Yapılan çalışma, 2016.F94.02.01 numaralı proje ile Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- ASTM C 597-83, 2009. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- Atış, CD., Karahan, O., Bilim, C., Özcan, F., Sevim, UK., 2016. Sodyum Sülfat İle Aktifleştirilen Uçucu Kül Katkılı Harçların Özellikleri, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 117-123.
- Binici, H., Sevinç, AH., Geçkil, H., 2015. Atık Demir Tozu Katkılı Harç ve Betonların Durabilite Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 1-16.
- Kalınçimen, G., Öztürk, AU., Kaplan, G., Yıldız, SA., 2017. Seramik Atıklarının Çimento İkame Malzemesi Olarak Kullanılması ve Asit Dayanıklılığının İncelenmesi, Kastamonu University Journal Engineering and Science, 1(1), 9-16.
- Mesçi, B., Ergun, ON., Çakıroğlu, M., 2007. Bakır Endüstrisi Atıklarının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 13-15 Nisan, Ankara, Türkiye.
- Orhan, E., Şahin, M., 2016. Öğütülmüş Atık Cam Tozu Katkılı Betonun Basınç Dayanımına Yüksek Sıcaklığın Etkisi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5(1), 61-70.
- Öntürk, K., Vural, İ., 2014. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 2. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2014), 18-20 June, Karabük, Türkiye.
- Pehlivan, E., Yazıcı, M., Güner, G., 2014. Endüstriyel Katı Atıklar ve Geri Kazanım, 2. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2014), 18-20 June, Karabük, Türkiye.
- Rize Ticaret Borsası, 2013. Özel Sektör Çay Fabrikaları Genel Çevresel Değerlendirme Raporu, Rize, Türkiye, 2013.
- Taş, HH., Çoban, Ö., Topbaşı, B., 2013. Endüstriyel Demir Talaşı Atığının Betonun Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, SDU International Technologic Science, 5(1), 1-11.
- TS 1247, 1984. Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 3530 EN 933-1, 2007. Agrega tane büyüklüğü dağılımı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 802, 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12350-2, 2002. Beton, Taze Beton Deneyleri, Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12390-3, 2003. Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12504-2, 2004. Yapılarda Beton Deneyleri, Bölüm 2: Tahribatsız deneyler-Geri sıçrama değerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 206-1, 2002. Beton, Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2016. Bitkisel Üretim İstatistikleri, Tarım ve Orman Alanları, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 (23.05.2016).
- Yazıcıoğlu, S., Kara, C., 2017. Betonda Atık Mermer Tozu Kullanımının Karbonatlaşmaya Etkisi, Politeknik Dergisi, 20(2), 369-376.

- Yılmaz, A., 2016. Bor İçeren Atık Suların Portland Çimentosu Harcı Üretiminde Kullanılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi,18(54), 481-490.
- Zebari, Z., Bedirhanoğlu, İ., Aydın, E., 2016. Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 8(1),43-52.