



Makale / Research Paper

Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

İzzet ÖZDEMİR¹, Yılmaz KOÇAK^{2,*}

¹Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 81620 Düzce/TÜRKİYE
izzet_8774@hotmail.com

²Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81620 Düzce/TÜRKİYE
yilmazkocak@duzce.edu.tr

Received/Geliş: 04.08.2019

Accepted/Kabul: 10.10.2019

Öz: Ülkemizde ve dünyada mineral katkıların kullanımının, çimento ve beton harçlarının mekanik özelliklerine olumlu etkisi nedeniyle giderek yaygınlaştığı izlenmektedir. Bunun yanı sıra, atıkların değerlendirilmesi sayesinde enerji kaynaklarının korunduğu ve çevresel kirliliğin azaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, pirinç kabuğu külünün, katkılı çimentoda su ihtiyacı, hacim genleşmesi, priz süresi ve basınç dayanımı değerlerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla pirinç kabuğu külünün, ağırlıkça %0, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında Portland çimento (CEM I 42.5 R) yerine ikame edilmiştir. Daha sonra çimento hamur ve harç örneklerinin standart çimento deneyleriyle mekanik, kimyasal ve fiziksel belirlenmiştir. Elde edilen veriler, kullanılan hammaddelerin fiziksel ve kimyasal yapısına göre su ihtiyacında ve priz sürelerinde farklılıklar meydana geldiğini göstermiştir. Sonuç olarak pirinç kabuğu külünün çimento sektöründe kullanılmasıyla ekonomik ve ekolojik yarar sağlanabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Portland çimento; pirinç kabuğu külü; priz süresi; genleşme; basınç dayanımı.

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Rice Husk Ash Replaced Cements

Abstract: It is observed that the use of mineral additives in our country and the world are becoming increasingly widespread due to the positive effect of cement and concrete mortars on mechanical properties. In addition, it has been determined that energy resources are protected and environmental pollution is reduced thanks to the utilization of waste. In this study, the effects of rice husk ash to water demand and volume expansion, setting time, compressive strength of the blended cement were investigated. For this purpose, rice husk ash was added as a replacement for Portland cement (CEM I 42.5 R) in amounts of 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% by weight. Afterwards, mechanical, chemical and physical determinations of cement paste and mortar samples were determined by standard cement tests. The obtained data showed differences in setting time and volume expansion value that are depended on physical and chemical structure of the raw materials. Consequently, it is thought that the use of rice husk ash in the cement sector can provide economic and ecological benefits.

Keywords: Portland cement; rice husk ash; setting time; volume expansion; compressive strength.

1. Giriş

Beton dünyada en fazla kullanılan yapı malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalar beton ve çimento sektöründe ve üniversiteler bünyesinde hızla devam etmektedir. Yapılan bu çalışmalarda betonun

Bu makaleye atıf yapmak için

Özdemir İ., Koçak Y., "Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimentoların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(1); 160-168.

How to cite this article

Özdemir İ., Koçak Y., "Investigation of Physical and Mechanical Properties of Rice Husk Ash Replaced Cements" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(1); 160-168.

özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için silis dumanı [1,2], yüksek fırın cürufu [3,4], uçucu kül [5,6] gibi yapay ile tras [7], zeolit [8], pomza [9] metakaolin [10-12] diatomit [13-15] gibi doğal mineral katkıları yoğun olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda bu katkılara ilave olarak pirinç kabuğu külü de dikkat çeken bir malzeme olarak çimento ve beton sektöründe kullanılmaya başlanmıştır [16-21].

Pirinç üretimi ekilebilen alanların da % 11'inde ve yaklaşık olarak 145 milyon hektar arazi üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu üretim sonucu, aşırı miktarda atık pirinç kabuğu ortaya çıkmaktadır. Birçok ülkede pirinç kabukları yakıt olarak kullanılmakta ve kabuk miktarının %20'si kadar kül ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, Bir yılda 500 milyon ton pirinç üretimi sonucunda, 100 milyon ton pirinç kabuğu ortaya çıkmakta, bu kabuğun yakılması ile de 20 milyon ton civarında kül ortaya çıkmaktadır [22]. Bu küller çevrede büyük alanları kaplayarak kirlenmeye sebep olmaktadır.

Pirinç kabuğunun yakıt olarak kullanılması durumunda yakılma koşullarını sabit olmasına gerek yoktur. Ancak bu kül çimento ve beton sektöründe kullanılacaksa hem yakılması hem de elde edilen külün soğutulması belli koşullarda gerçekleştirilmelidir [23]. Pirinç kabuğunu yakma işlemi 400°C - 600°C sıcaklık aralığında kontrollü olarak yapıldığında ve elde edilen külün soğutulması hızlı olduğunda küldeki silika, amorf yapıya dönüşmektedir. Daha fazla amorf silika içeren pirinç kabuğu külü, yüksek yüzey alanına ve çok ince tanelere sahip yüksek reaktiflikte puzolanik özellikli bir malzeme olarak elde edilmektedir. Düşük sıcaklık derecelerine kıyasla 800°C ve üstündeki sıcaklıklarda pirinç kabuğunun yakılması ile elde edilen külün yüksek SiO içeriğine sahip olduğu, yüksek puzolanik reaktiviteli olduğu ve daha büyük özgül yüzey alanına sahip olduğu ortaya konmuştur. Puzolanik bir malzeme olan pirinç kabuğu külünün çimento ve betonda kullanımı ile betonun geçirimsizliğinin azaltılması, kimyasal etkilere karşı direnç, alkali-silika reaksiyonuna karşı direnç, işlenebilirlik özelliklerinde iyileşme ve dolayısı ile betonun dayanım ve dayanıklılığında iyileşme gibi avantajlar sağlanmaktadır [22-27].

Beton teknolojisindeki bu yararlı özellikleri nedeniyle yapılan bu çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külü, literatür taraması sonrası elde edilen bulgular neticesinde 800 °C sıcaklıktaki fırında yakılmış, enerji maliyetinin artmaması için herhangi bir öğütme işlemine tabi tutulmadan deneylerde kullanılmıştır. Bu bağlamda, %0 (referans), %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarındaki referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların özellikleri standart çimento deneyleri ile tespit edilerek, CEM I tip Portland çimentosunun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

2.1. Malzeme

Çalışmada, Baştaş Ankara Çimento fabrikasında TS EN 197-1 standardına göre üretilen CEM I 42.5 R tipi Portland çimento kullanılmıştır [28]. Pirinç kabuğu, Akçakoca Pirinç Değirmeninden temin edilmiş ve Bartın Işıklar Tuğla Fabrikası'nın fırınında 3 saat 800 °C'de kül haline getirilmiştir. Elde edilen kül, enerji maliyeti artışının olmaması için herhangi bir öğütme işlemine tabi tutulmamıştır. Harç örneklerinin hazırlanmasında TS EN 196-1'e uygun standart kum ve Ankara ili Elmadağ ilçesi şebeke suyu kullanılmıştır [29].

2.2. Metot

Deney örneklerinin hazırlanması için %0 (Referans), %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında pirinç kabuğu külü ikameli 5 farklı çimento kullanılmıştır. Bu çimentolar Referans çimento için (R) ve

ikame oranı dikkate alınarak sırası ile K1, K2, K3 ve K4 olarak kodlanmıştır. Kullanılan çimento harç örnekleriyle ilgili özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Karışımdaki harç örneklerinin miktarları ve kodları

Kod	Çimento miktarı, g	Çimento miktarı, %	Pirinç kabuğu külü miktarı, g	Pirinç kabuğu külü miktarı, %	Su miktarı, g	Standart kum miktarı, g	Su/Çimento
R	450	100	0	0	225	1350	0.5
K1	438.75	97.5	11.25	2.5			
K2	427.5	95	22.5	5			
K3	416.25	92.5	33.75	7.55			
K4	405	95	45	10			

Çimento hamur ve harçlarının karışımları, TS EN 196-1’de belirlenen esaslar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir [29]. Çimento hamur örneklerinin genleşme, kıvam suyu ve priz süreleri TS EN 196-3’e göre belirlenmiştir [30]. Çalışmada kullanılan çimento hamuru örneklerinin kıvam suyu ve priz başlangıç ve priz sonu süreleri için yapılan deneyler, bağıl nemin %65 ve sıcaklığın 20 °C olduğu bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Basınç dayanım sonuçları için TS EN 196-1’e uygun harç hazırlanmış, bu harçlar 40x40x160 mm boyutlarında üç gözlü kalıplara dökülmüş ve harcın kalıplara yerleşmesi için sarsma cihazında bir dakika süre ile sarsılmıştır [29]. Daha sonra 24 saat laboratuvar ortamında bekletilen bu örnekler kalıplardan çıkarılarak, basınç dayanımı deneyleri için kür amacıyla 20 °C’lik sıcaklıktaki bir odadaki su havuzlarında bekletilmiştir. Daha sonra 1, 2, 7 ve 28. hidrasyon gününde havuzlardan alınıp kurulan örneklerin basınç dayanımları, TS EN 196-1’de belirlenen esaslar çerçevesinde belirlenmiştir [29].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fiziksel analizler

Hammaddelerin fiziksel özelliklerini belirlemek için elek analizi, özgül yüzey ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Referans çimento ve pirinç kabuğu külünün elek üstü oranları ve yine aynı malzemeler ile çalışmada kullanılan çimentoların özgül yüzey alan (Blaine) ve özgül ağırlık değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Hammadde fiziksel özellikleri

Malzemeler	Boyut aralığı (elek üstü), %		Özgül ağırlık, g/cm ³	Özgül yüzey (Blaine), cm ² /g
	>40 µm	>90 µm		
Çimento	15.5	8.6	3.07	3427
Pirinç Kabuğu Külü	86.1	61.1	2.01	6710

Tane boyut aralığı ve yüzey değerlerine bakıldığında Pirinç kabuğu külünün referans çimentoya göre daha büyük tane yapısına ve özgül yüzey alanına sahip olduğu belirlenmiştir. Referans çimentonun özgül ağırlığı 3.07 g/cm³ iken, Pirinç kabuğu külünün 2.01 g/cm³’dür. Bu verilere göre

düşük özgül ağırlığa sahip olan pirinç kabuğu külünün, referans çimentoya ikame edildiğinde elde edilen pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların da özgül ağırlığı düşmektedir (Tablo 2).

3.2. Kimyasal analizler

Referans çimento ve pirinç kabuğu külünün kimyasal analiz sonucunda belirlenen kimyasal kompozisyonları Tablo 3’de verilmiştir.

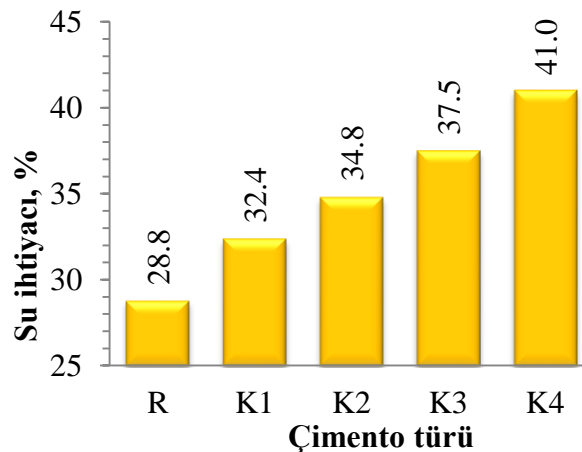
Tablo 3. Referans çimento ve pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri

Materyaller	Çimento	Pirinç kabuğu külü
SiO ₂	21.16	89.16
Al ₂ O ₃	6.01	2.96
Fe ₂ O ₃	3.15	1.15
CaO	62.16	0.75
MgO	2.3	0.63
SO ₃	2.75	0.55
Na ₂ O	0.36	0.44
K ₂ O	1.10	3.12
Cl ⁻	0.0071	-
Kızdırma kaybı	2.80	7.16
Serbest CaO	0.59	-

Deneylerde kullanılan referans çimentonun kimyasal kompozisyonlarına göre Al₂O₃, Fe₂O₃ ve SO₃ bileşiklerinin düşük, CaO oranının ise yüksek olduğunu göstermektedir. Pirinç kabuğu külünün ana bileşimini ise SiO₂ olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Pirinç kabuğu külündeki potasyum oksit oranının (K₂O) sodyum oksit oranına göre (Na₂O) daha yüksek olması, K⁺ iyonlarınca daha zengin olduğunu belirtmektedir.

3.3. Su ihtiyacı

Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurlarının su ihtiyacı değerleri TS EN 196-3’e göre belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 1’de verilmiştir [30].



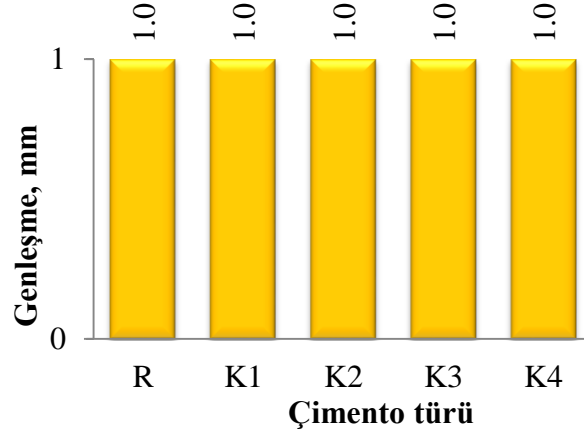
Şekil 1. Su ihtiyacı Değerleri

Pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurları, referans çimento hamuruna göre tane boyutuna ve Blaine değerine bağlı olarak daha fazla oranda suya ihtiyaç gösterdiği ve elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir (Şekil 1) [24-27]. Elde edilen verilere göre su ihtiyacı K1,

K2, K3 ve K4 kodlu çimento hamurlarında sırasıyla %12.5, %20.8, %30.2 ve %42.3 oranında artmıştır.

3.4. Genleşme değerleri

Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurlarının genleşme değerleri TS EN 196-3'e göre belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir [30].

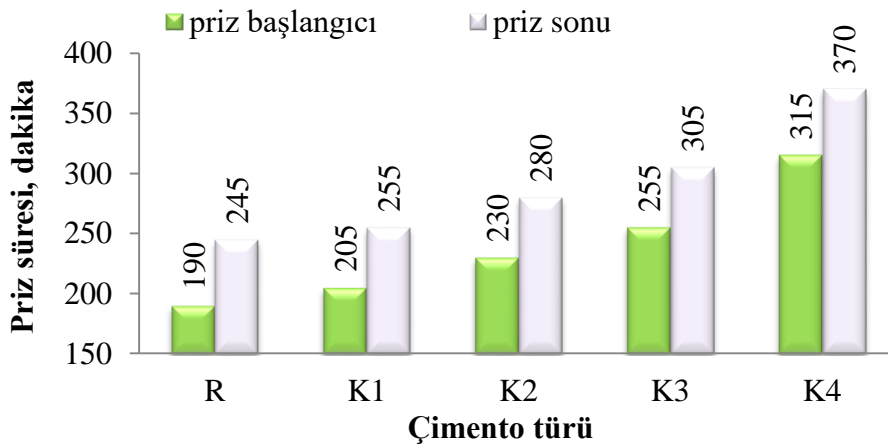


Şekil 2. Genleşme değerleri

Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurlarının hacim genleşme değerlerini belirlemek için Le Chatelier deneyi yapılmıştır. Çimento bünyesinde bulunan MgO ve CaO fazla miktarda olduğu zaman genleşmeye neden olmaktadır. Oluşan bu genleşmeler betonda hasarlara neden olabilmektedir. Yapılan Le Chatelier deneyi sonucundaki verilere göre genleşme değerleri tüm çimento hamurlarında 1 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu değerlere göre hacim genleşme değerlerinin TS EN 197-1'de belirtilen 10 mm sınır değerinden düşük olması, genleşme açısından herhangi bir sorun oluşturmayacağını göstermektedir [28].

3.5. Priz süreleri

Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurlarının priz başlama ve priz sonu süreleri TS EN 196-3'e göre belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir [30].



Şekil 3. Priz sürelerinin değerleri

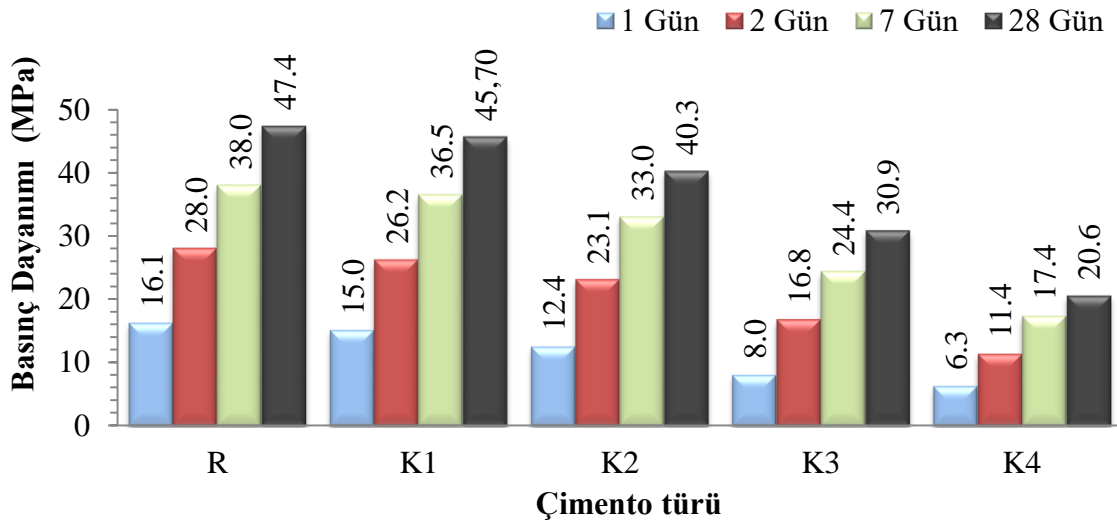
Priz başlama süreleri birbirleriyle kıyaslandığında en az sürenin 190 dakikayla referans çimento hamurunda, en fazla sürenin ise 315 dakikayla K4 kodlu çimento hamurunda olduğu izlenmektedir.

Pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurlarında, referans çimento hamuruyla kıyaslandığında K1, K2, K3 ve K4 kodlu çimento hamurlarında sırasıyla %7.9, %21.1, %34.2 ve %65.8 oranında artmıştır. Priz sonu sürelerinde en az sürenin 245 dakikayla referans çimento hamurunda, en fazla sürenin ise 370 dakika ile K4 kodlu çimento hamurunda olduğu izlenmektedir. Pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurlarında, referans çimento hamuruyla kıyaslandığında K1, K2, K3 ve K4 kodlu çimento hamurlarında sırasıyla %4.1, %14.3, %24.5 ve %51.0 oranında gerçekleşmiştir (Şekil 3). Genel olarak priz süreleri değerlendirildiğinde, standartlarda 60 dakika olarak belirtilen minimum priz başlama süresinin üzerinde ve 600 dakika olarak belirtilen maksimum priz sonu süresinin altında olduğu belirlenmiştir [28].

Priz süresi değerlerinin standartlardaki değerler arasında olması, dayanımın uygun zaman aralıklarında sağlanacağı, taze betonun taşınmasında, yerleştirilmesinde ve sıkıştırılmasında zorluklarla karşılaşmayacağı, kalıp sökme işlemlerinin sorunsuz olarak yapılabileceği ve betonun dış iklim koşullarından olumsuz olarak etkilenmeyeceği düşünülmektedir.

3.6. Basınç dayanımları

Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento harç örneklerinin 1, 2, 7 ve 28. hidratasyon günlerinde 6 örneğin ortalaması alınarak belirlenen basınç dayanımı sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Basınç dayanım değerleri

Çimento harçlarının basınç dayanımlarının 1. hidratasyon gününde K4 kodlu çimento harç örneğinde 6.3 MPa ile en düşük, referans çimento harç örneğinin ise 16.1 MPa ile en büyük olduğu tespit edilmiştir. Referans çimento harç örneklerine göre, K1, K2, K3 ve K4 kodlu çimento harç örneklerinde sırasıyla %7, %23, %50.3 ve %60.9 oranında 1. hidratasyon gününde bir dayanım düşüklüğü sergilenmektedir. 2. hidratasyon gününde K4 kodlu örnekte 11.4 MPa ile en düşük, referans çimento örneğinde ise 28.0 MPa ile en büyük basınç dayanımı değeri belirlenmiştir. Referans çimento harç örneklerine göre, K1, K2, K3 ve K4 kodlu çimento harç örneklerinde sırasıyla %6.4, %17.5, %40.0 ve %59.3 oranında 2. hidratasyon gününde bir dayanım düşüklüğü olduğu görülmektedir. 7. hidratasyon gününde K4 kodlu çimento harç örneğinin 17.4 MPa ile en düşük, referans çimento harç örneğinin ise 38.0 MPa ile en büyük basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Referans çimento harç örneklerine göre, K1, K2, K3 ve K4 kodlu çimento harç örneklerinde sırasıyla %4, %13.2, %35.8 ve %54.2 oranında 7. hidratasyon gününde bir dayanım düşüklüğü olduğu görülmektedir. 28. hidratasyon gününde ise K4 kodlu çimento harç örneğinin 20.6 MPa ile en düşük, referans çimento harç örneğinin ise 47.4 MPa ile en büyük basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Referans çimento harç örneklerine göre, K1, K2, K3 ve K4

kodlu çimento harç örneklerinde sırasıyla %3.6, %15.0, %34.8 ve %56.5 oranında 28. hidrasyon gününde bir dayanım düşüklüğü olduğu görülmektedir (Şekil 4). Sonuçlar incelendiğinde 28 gün sonundaki pirinç kabuğu külü ikameli çimento harç örneklerinin basınç dayanımı değerlerinin gelişme hızlarının, 1, 2 ve 7. hidrasyon günündeki çimento harç örneklerine göre nispeten tüm ikame oranlarında arttığı görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Gerçekleştirilen deney ve analizlerden elde edilen bulgular:

- Kimyasal analiz bulgularına göre pirinç kabuğu külünün silisçe zengin olduğu (%89.16) ve puzolanik özellik taşıması açısından olumlu özellik gösterebileceği belirlenmiştir.
- Elek üstü tane boyut aralıkları (45 µm, 90 µm) ile özgül yüzey alanı değerlerine bakıldığında; pirinç kabuğu külünün CEM I tip çimentoya göre daha büyük tane boyut yapısına ve daha yüksek özgül yüzey alanına sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca pirinç kabuğu külünün referans çimentoya göre fiziksel olarak özgül ağırlığının düşük olması, elde edilen pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların da özgül ağırlığını düşürecek, bu sayede de özgül ağırlığı düşük çimentolar elde edilebilecektir.
- Referans çimentoya göre pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların ihtiyaç duyulan su miktarlarında, tane boyut ve özgül yüzey gibi fiziksel özelliklerine bağlı olarak nispeten bir artış olmuştur.
- Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurlarının genleşme değerlerinin TS EN 196-3'te 10 mm olarak verilen maksimum değerden düşük olduğu ve hacim genleşmesi açısından herhangi bir problem olmayacağı belirlenmiştir.
- Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento harçlarının basınç dayanımı değerlerinin kullanılan çimento ve pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine, katkı oranlarına ve hidrasyon sürelerine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca pirinç kabuğu külü ikameli çimento harç örneklerinin dayanımlarının, referans çimento harcına göre daha yavaş ancak artarak geliştiği belirlenmiştir.

Genel olarak elde edilen bulgular sonucunda, Türkiye'de atık olarak dikkat çeken pirinç kabuğundan elde edilen külün, çimentoya ikamesi ile hem atıkların değerlendirilmesi hem de daha az klinker üretileceği için ekolojik bir fayda sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma ile pirinç kabuğu külü ikameli çimentolar, kimyasal ve fiziksel özellikleri ile standart çimento deneyleri açısından değerlendirmiştir. Pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların, standart çimento deneylerinin 56 ve 90 gün yaşlarında basınç dayanımlarının ve yapısal değişikliklerin izlenebildiği DTA-TG, FT-IR, XRD, SEM gibi modern tekniklerle ayrıntılı olarak incelenmesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca tane boyut değeri büyük olan pirinç kabuğu külünün öğütülmesi ile de erken yaşlarda da daha yüksek dayanım değerlerinin elde edilebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmayı destekleyen ve katkı sağlayan Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığına (Proje kod numarası: 2019.07.05.939) ve Ankara Baştaş Çimento Fabrikası'na teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Kocak Y., “A Study On The Effect Of Fly Ash And Silica Fume Substituted Cement Paste And Mortars”, *Scientific Research And Essays*, 2010, 5 (9): 990–998.
- [2] Okoye F.N., Durgaprasad J., Singh N.B., “Effect Of Silica Fume On The Mechanical Properties Of Fly Ash Based–Geopolymer Concrete”, *Ceramics International*, 2016, 42: 3000–3006.
- [3] Dorum A., Koçak Y., Yılmaz B., Uçar A., “Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine Ve Hidratasyona Etkileri”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2009, 19: 47–58.
- [4] Zhao H., Sun W., Wu X., Gao Bo., “The Properties Of The Self–Compacting Concrete With Fly Ash And Ground Granulated Blast Furnace Slag Mineral Admixtures”, *Journal Of Cleaner Production*, 2015, 95: 66–74.
- [5] Zhengqi L., “Drying Shrinkage Prediction Of Paste Containing Meta–Kaolin And Ultrafine Fly Ash For Developing Ultra–High Performance Concrete”, *Materials Today Communications*, 2016, 6: 74–80.
- [6] Kocak Y., Nas S., “The Effect Of Using Fly Ash On The Strength And Hydration Characteristics Of Blended Cements”, *Construction And Building Materials*, 2014, 73: 25–32.
- [7] Koçak Y., Dorum A., Yılmaz B., Uçar A., “Trasın Çimento Yüzey Özelliğine, Hidratasyona Ve Basınç Dayanımına Etkisi”, *E–Journal Of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 2010, 5 (1): 1–14.
- [8] Kocak Y., Tascı E., Kaya, U., “The Effect Of Using Natural Zeolite On The Properties And Hydration Characteristics Of Blended Cements”, *Construction And Building Materials*, 2013, 47: 720–727.
- [9] Yıldız K., Dorum A., Koçak Y., “Pomza Zeolit Ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik Ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması”, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 2010, 25 (4): 867–879.
- [10] Subaşı A., Emiroğlu M., “Effect Of Metakaolin Substitution On Physical, Mechanical And Hydration Process Of White Portland Cement”, *Construction And Building Materials*, 2015, 95: 257–268.
- [11] Keleştemur O., Demirel B., “Effect Of Metakaolin On The Corrosion Resistance Of Structural Lightweight Concrete”, *Construction And Building Materials*, 2015, 81: 172–178.
- [12] Siddique R., Kadri E-H., “Effect Of Metakaolin And Foundry Sand On The Near Surface Characteristics Of Concrete”, *Construction And Building Materials*, 2011, 25: 3257–3266.
- [13] Yılmaz B., Ediz N., “The Use Of Raw And Calcined Diatomite In Cement Production”, *Cement & Concrete Composites*, 2008, 30: 202–211.
- [14] Gerengi H., Kocak Y., Jażdżewska A., Kurtay M., Durgun H., “Electrochemical Investigations On The Corrosion Behaviour Of Reinforcing Steel In Diatomite– And Zeolite–Containing Concrete Exposed To Sulphuric Acid”, *Construction And Building Materials*, 2013, 49: 471–477.
- [15] Yılmaz B., Ediz N., Bentli İ., “Kütahya-Alayunt Bölgesi Killi Diatomitlerin Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2006, 12: 313-317.
- [16] Zhu H., Liang G., Zhang Z., Wu Q., Du J., "Partial replacement of metakaolin with thermally treated rice husk ash in metakaolin-based geopolymer" *Construction and Building Materials*, 2019, 221: 527-538.
- [17] Zhu H., Liang G., Xu J., Wu Q., Zhai M., "Influence of rice husk ash on the waterproof properties of ultrafine fly ash based geopolymer" *Construction and Building Materials*, 2019, 208: 394-401.

- [18] Torres-Carrasco M., Reinoso J. J., de la Rubia M. A., Reyes E., Peralta F. A., Fernández J. F., "Critical aspects in the handling of reactive silica in cementitious materials: Effectiveness of rice husk ash vs nano-silica in mortar dosage" *Construction and Building Materials*, 2019, 223: 360-367.
- [19] Wen N., Zhao Y., Yu Z., Liu M., "A sludge and modified rice husk ash-based geopolymer: synthesis and characterization analysis" *Journal of Cleaner Production*, 2019, 226: 805-814.
- [20] Kang S. H., Hong S. G., & Moon J., "The use of rice husk ash as reactive filler in ultra-high performance concrete" *Cement and Concrete Research*, 2019, 115: 389-400.
- [21] Darsanasiri A. G. N. D., Matalakah F., Ramli S., Al-Jalode K., Balachandra A., Soroushian P., "Ternary alkali aluminosilicate cement based on rice husk ash, slag and coal fly ash" *Journal of Building Engineering*, 2018, 19: 36-41.
- [22] Yıldız S., Balaydın İ., Ulucan Ç., "Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi", *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2007, 19 (1): 85-91.
- [23] Givi A.N., Rashid S.A., Aziz F.N.A., Salleh M.A.M., "Contribution of Rice Husk Ash to the Properties of Mortar and Concrete: A Review", *Journal of American Science*, 2010, 6 (3): 157-165.
- [24] Erdoğan S., Erdoğan T., "Puzolanik Mineral Katkılar Ve Tarihi Geçmişleri", 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 264-329, 2007.
- [25] İşbilir B., "Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 2012.
- [26] Hwang C. L., Chandra S., "Waste Materials Used in Concrete Manufacturing", Noyes Publications, New Jersey, U.S.A., (1996).
- [27] Hwang C. L., Wu D. S., "Properties of Cement Paste Containing Rice Husk Ash", *American Concrete Institute*, 1989, 114: 733-762.
- [28] TS EN-197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [29] TS EN-196-1, Çimento deney metodları-Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [30] TS EN-196-3, Çimento deney metodları-Bölüm 3: Priz süresi ve genleşme tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.