



**Derleme
(Compilation)**

Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Pirinç Kabuğu Külünün Etkisi

Gökhan GÖRHAN*, **Osman ŞİMŞEK****

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl., 03200 Afyonkarahisar/TÜRKİYE

** Gazi Üniversitesi, Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl., 06500 Ankara/TÜRKİYE

ggorhan@aku.edu.tr

Özet

Yapılan bu literatür çalışmasında, mineral katkılardan biri olan ve puzolanik bir malzeme özelliği taşıyan pirinç kabuğu külünün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Pirinç kabuğu organik bir atık olmakla beraber çeltiğin öğütme prosesi süresince çeltik tanelerinin kapçıklarının alınması sonucu ortaya çıkan bir atık üründür. Pirinç kabuğu külü, pirinç kabuğunun yakılması ile elde edilmektedir. Beton üretiminde puzolanik bir katkı olarak kullanılan pirinç kabuğu külü, beton için mineral bir katkıdır ve pirinç kabuğunun kaynağına göre çimentolu ürünlerin davranışlarını etkilemektedir. Yapılmış çalışmalardan elde edilen bulgulara göre, pirinç kabuğu külünün yüksek dayanımlı ve hafif beton üretiminde kullanılabilmesi belirtilmiştir. Bununla birlikte pirinç kabuğu külü, betonların dayanımını artırırken; slump değerini, klor difüzyonunu, su emme katsayısını ve sorptivitesini azaltmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pirinç kabuğu külü, puzolan, çimento, beton

Effect of Rice Husk Ash on Physical and Mechanical Properties of Concrete

Abstract

In this literature study, effect of rice husk ash that one of the mineral additives and it has a pozzolanic material characteristic was investigated on physical and mechanical properties of concrete. Rice husk, what an organic material, is a waste and it is a waste product caused by paddy. Rice husk ash is obtained by incinerating rice husk. Rice husk ash is a mineral admixture for concrete and the behavior of cementitious products was affected by the source of the rice husk. According to the studies, rice husk ash can be used in lightweight concrete and high-strength concrete. In addition to, rice husk ash increased strength of concrete. However, it decreased slump value, chloride diffusion, water absorption coefficient and sorptivity of concrete.

Keywords : Rice husk ash, pozzolan, cement, concrete

1. GİRİŞ

Beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılan birçok malzeme türü bulunmaktadır. Mineral katkı maddeleri elde edildikleri kaynaklara göre üç grupta toplanmaktadır. Bunlar volkanik kül, tras ve taşunu gibi doğal malzemeler, beton üretimi ile doğrudan ilgili olmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak elde edilen uçucu kül, silis dumanı gibi yapay malzemeler ve pişirilmiş kil, pişirilmiş şeyl ve pirinç

Bu makaleye atf yapmak için

Görhan G., Şimşek O., "Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Pirinç Kabuğu Külünün Etkisi" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2011, 7(1) 107-117

How to cite this article

Görhan G., Şimşek O., "Effect of Rice Husk Ash on Physical and Mechanical Properties of Concrete" Electronic Journal of Construction Technologies, 2011, 7(1) 107-117

kabuğu külü gibi ısıı işlem görmüş malzemelerdir. Taş unu dışında betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılan malzemelerin hemen hemen tümü puzolanik özellik gösteren malzemelerdir [1].

Betonda ve çimentoda, mineral katkı olarak kullanılan puzolanik malzemelerin puzolanik aktiviteleri temelde puzolandaki reaktif silis içeriğine bağlıdır. Bu yüzden puzolanlarda silisli ve alüminli minerallerin türü ve miktarı puzolanik aktivite üzerinde çok önemlidir [2]. Puzolanik aktivite, çimentolu üretimlerde kalsiyum hidroksit ve puzolandaki alüminosilikatlar arasındaki reaksiyonun hızı ve kapasitesi olarak tanımlanır. Puzolanlar için aktivite kısa dönemde yüzey alanlarına, uzun dönemde ise puzolanların kimyasal ve mineralojik bileşimine bağlıdır [3]. Aynı zamanda mineraller, aynı kompozisyonla farklı aktivite gösterebildikleri için puzolanik aktivite sadece kimyasal bileşim ile ilgili değildir [4]. Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda “silis+alümin+demir oksit” içermesi gerekmektedir [1].

Genel bir tanım olarak puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve normal çevre sıcaklığında sulu ortamda çözülmüş kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliklerine sahip olan silisli veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan malzemeler olarak tanımlanmaktadır [1, 5]. Betonda puzolanik katkı olarak kullanılan katılardan biri olan pirinç kabuğu külü de bu tanımlamaya uymakta ve puzolanik katkı olarak kullanılmaktadır.

Puzolanik katılardan biri olan pirinç kabuğu külü, pirinç kabuğunun yakılması ile elde edilmektedir. Pirinç kabuğu organik bir atık olmakla beraber çeltiğın öğütme prosesi süresince çeltik tanelerinin kapçıklarının alınması sonucu ortaya çıkan bir atık üründür. Pirinç üretimi yapan tüm ülkelerde bol miktarda ortaya çıkan pirinç kabuğu; % 40 selüloz, % 30 lignin grubu ve % 20 oranında hidrat amorf silis içermektedir [6-9]. Pirinç kabuğunun yakılması sırasında yüksek oranda (% 60-65) uçucu madde oluştuğu ve % 20-25 oranında ortaya çıkan pirinç kabuğu külünde, % 95-97 oranında SiO_2 bulunduğu belirtilmiştir [10]. Termal uygulamalarla pirinç kabuğunda bulunan silis, silisin kristal hali olan kristabolite dönüşmektedir. Bununla birlikte kontrollü yakma şartları sağlandığı takdirde pirinç kabuklarından yüksek yüzey alanı, çok ince tanelere sahip ve yüksek reaktiflikte amorf silis elde edilmektedir [7]. Böylelikle zengin bir silika içeriğine sahip olan pirinç kabuğu külü yüksek reaktiflik özelliği kazanmakta ve beton üretiminde kullanılabilir [11,12].

Amorf silis, pirinç kabuğunun 700 °C'den daha düşük sıcaklıklarda yakılmasıyla elde edilmektedir. Pirinç kabuğunun yakılması sonucunda ortaya çıkan kül, yüksek oranda reaktif puzolan bir malzemedir. Pirinç kabuğu külü yüksek miktarda SiO_2 içerir ve kireçle reaktifliği temelde iki faktöre bağlıdır. Bunlar, amorf silis içeriği ve özgül yüzeydir. Pirinç kabuğu külündeki amorf faz öncelikle erime sırasında opalin ve hidro silisin sinterleşmesi ve ayrışmasıyla oluşan Si-O'nin 600 °C altındaki sıcaklıkta karışmasıyla elde edilir. Külün kontrolsüz biçimde ortaya çıkartılması durumunda zayıf puzolanik özelliklere sahip olacağı belirtilmektedir. Bununla birlikte kontrollü bir biçimde pirinç kabuğunun yakılması sonucunda yüksek reaktifliğe sahip pirinç kabuğu külü elde edilebilmektedir. Bu nedenle, puzolanik bir malzeme olan pirinç kabuğu külünün reaktivitesi bünyesindeki kristal/amorf oranına bağlıdır. Böylelikle pirinç kabuğu külünün karakterizasyonu için, bulundurduğu amorf silis oranının belirlenmesi çok önemlidir. Bu kül çok ince tane boyutuna gelinceye kadar öğütölmek suretiyle çimentolu malzemelerde iyi bir puzolan olarak kullanılabilir. Bu tip puzolanların, puzolanik indeksleri öğütölmek derecelerine ve yanma sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Reaktif pirinç kabuğu külü kaliteli beton yapımında kullanılabilir durumda olmakla birlikte betonun porozitesini ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oranını da azaltmaktadır [7-9, 13-15].

Pirinç kabuğu külünün reaktifliği, içeriğinin yüksek oranda amorf silis içermesi ve partiköllerin gözenekli yapısı nedeniyle çok büyük yüzey alanına sahip olmalarıyla ilgilidir. Genellikle reaktiflik, puzolanik malzemelerin inceliğinin artmasıyla sağlanmaktadır [15].

Pirinç kabuğu külü gibi puzolanik malzemeler içerdikleri reaktif silis ile çimento hidratasyonu sonucu ortaya çıkan serbest kireç arasında sulu ortamda, formül (1)'deki kimyasal reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidratları oluştururlar [16].



Bu reaksiyon temel puzolanik reaksiyon olarak bilinir. Oldukça yavaş gelişen bu reaksiyon sonucu, portland çimentosunun silikatlı bileşenlerine benzer hidrate ürünler oluşur. Ancak, bu reaksiyon hem serbest kireç oluşumunu beklemesi hem de oldukça yavaş seyreden bir reaksiyon olması sebebiyle mukavemet kazanma olayını uzun sürede gerçekleştirir [16]. Bu sebeple betonda kullanılan puzolanların uzun sürede iyi bir reaksiyon göstererek daha iyi bir iç yapı ve dayanım kazandırmaları beklenmektedir [17].

Yapılan bu literatür çalışmasıyla, mineral katkılardan biri olan ve puzolanik bir malzeme özelliği taşıyan pirinç kabuğu külünün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği etkiler araştırılmıştır.

2. PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Beton üretiminde pirinç kabuğu külünün kullanımı ve gelişmesi yeni değildir. Pirinç kabuğu külü, beton için mineral bir katkıdır ve kabuğun kaynağına göre çimentolu ürünlerin davranışlarını etkilemektedir [18-19]. Beton üretiminde pirinç kabuğu külünün kullanımı ile ilgili birçok çalışmada yapılmıştır [20-26]. Literatürde bulunan pirinç kabuğu külüne ait kimyasal analiz değerlerinin ortalama aralık değerleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Pirinç kabuğu külünün ortalama (%) oksit değerleri [6,9,14,15,18,19,27,28].

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Kız.Kay.
86.98-96.51	0.15-0.84	0.16-0.90	0.48-1.40	0.30-0.77	0.00-0.32	1.23-3.60	0.00-0.12	0.00-6.55

Tablo 1'deki değerler incelendiğinde betona katkı maddesi olarak kullanılacak puzolanlarda TS 25'e [29] göre aranan en az % 70'lik "silis+alümin+demir oksit" oranının pirinç kabuğu külünde oldukça yüksek bir oranda bulunduğu görülmektedir. Yine aynı standartta maksimum SO₃ oranı % 5, kızdırma kaybı % 10, MgO oranı ise % 5 olarak sınırlandırılmış ve pirinç kabuğu külünün bu şartları sağladığı görülmüştür.

Yıldız vd. (2007), pirinç kabuğu külünün puzolanik özelliğini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada şahit harç ve pirinç kabuğu ikameli örneklerin eğilme ve basınç dayanım değerlerini saptamış ve bu değerler Tablo 2'de verilmiştir [30].

Tablo 2. TS 639'a göre pirinç kabuğu külünün ve şahit harcın puzolanik aktivite deney sonuçları [30].

Karışım	Eğilme Day. (MPa)	Basınç Day. (MPa)
Pirinç kabuğu külü ikameli harç	5.9	31.18
Şahit harç	6.3	34.56

Mineral malzemelerin puzolanik aktivite gösterebilmeleri için TS 639'a göre puzolan katkılı harcın dayanımı, kontrol harcı dayanımının % 70'ini sağlaması gerektiği belirtilmektedir. Tablo 2'deki değerler incelendiğinde pirinç kabuğu külünün bu şartı sağladığı ve pirinç kabuğu külünün yeterli puzolanik aktiviteyi gösterdiği görülmektedir.

Puzolanik katkılar taze ve sertleşmiş betonda önemli değişimlere sebep olmaktadır. Puzolanik katkılar malzemenin en zayıf bölgelerinde agrega ve çimento pastası arasındaki ara yüzeyde betonun porozitesini azaltmaktadır. Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve pirinç kabuğu külü gibi puzolanik özellikli farklı malzemeler yüksek dayanımlı beton üretiminde önemli bir rol oynamaktadır [18]. Yüksek dayanımlı betonlarda, çimento pastası ve agrega arasındaki ara yüzey geçiş bölgesinin mikro yapısı, malzemenin durabilitesi ve dayanımı açısından çok önemlidir. Ara yüzey geçiş bölgesinde çimento pastasının mikro yapısı; uçucu kül, silis dumanı, metakaolin ve pirinç kabuğu külü gibi ince malzemelerin eklenmesiyle önemli oranda geliştirilebilir [15,27].

Yüksek dayanımlı beton ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, maksimum dayanım için pirinç kabuğu küllü betonlarda optimum ikame ve katkı seviyesinin sırasıyla % 5 ve % 10 olduğu belirtilmiştir. Normal portland çimentosu, pirinç kabuğu külü ve metakaolin karışımından elde edilen betonlarda ise pirinç kabuğu külü miktarının artması betonun basınç dayanımını arttırmaktadır. Pirinç kabuğu küllü betonlarda 180 günlük dayanım değerlerinin 28 günlük betonlardan % 10-16 oranında daha yüksek oldukları tespit edilmiştir. Yüksek dayanımlı betonların uzun dönemde dayanım gelişimlerine pirinç kabuğu külü katkısının yararlı olduğu belirtilmiştir [31].

C 40 sınıfı beton üretiminde, farklı inceliklerdeki pirinç kabuğu külü çimentoya % 20 oranında ikame edilerek beton örnekleri üretilmiştir. Pirinç kabuğu külü, Los Angeles aşınma cihazında üç farklı sürede (180, 270 ve 360 dakika) öğütülmüş ve 31.3, 18.3 ve 11.5 µm tane boyutlarında pirinç kabuğu külü elde edilmiştir. Betonların, su/çimento oranı 0.53 olarak alınmıştır. İkame edilen pirinç kabuğu külünün inceliği arttıkça karışımlara eklenen süperakışlanlaştırıcı katkının oranı artmıştır. Normal betonda % 0.63 olan bu oran, pirinç kabuğu külü ikameli betonlarda külün inceliği azaldıkça artmıştır. Slump değerleri ise külün inceliği arttıkça azalmıştır. Elde edilen mekanik sonuçlara göre, daha ince pirinç kabuğu külü ikameli betonlarda 28, 90 ve 180 günlük basınç ve eğilme mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu bununla birlikte normal betonlara göre pirinç kabuğu külü ikameli betonların daha yüksek dayanım değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir [32].

Taş ocaklarında granitin parçalanması sonucu yan ürün olarak çıkan taş tozu, beton üretiminde kuma ikame edilerek C 60 ve C 70 sınıfında ve pirinç kabuğu külü katkılı ve katkısız yüksek dayanımlı betonlar üretilmiştir. Taş tozu, pirinç kabuğu külü bulunan betonlarda kuma % 10 – 40 arasında değişen oranlarda ikame edilerek beton örnekleri üretilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, taş tozu bulunan betonların basınç ve diğer mekanik özelliklerinde bazı olumsuz etkiler görülmesine rağmen, iyi bir karışım dizaynı ve pirinç kabuğu külü eklenmesi durumunda bu sonuçların kolaylıkla telafi edilebileceği belirtilmiştir [33].

C 60 sınıfında beton üretmek amacıyla, normal ve suyu azaltılmış yüksek dayanımlı betonun zamana bağlı olarak durabilite karakteristiklerinin yanı sıra betonun dayanım özellikleri üzerine pirinç kabuğu külünün etkisini konu alan bir araştırmada, pirinç kabuğu külü çimentoya ikame yoluyla ve ilave edilmek suretiyle % 5'den % 20 oranına kadar kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, pirinç kabuğu külünün ikame edilmesi veya eklenmesine bakılmaksızın, bağlayıcı içeriğinin % 1.1'inden daha az oranda süperakışkanlaştırıcı kullanıldığında, betonun slump değerinin 150-200 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Pirinç kabuğu külünün katılmasıyla beton örneklerinden 60 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Optimum ikame yada katkı oranının % 10 olduğu, katkı metoduna bakılmaksızın aynı su/çimento oranına sahip betonlarda ise normal betonlarla kıyaslandığında su emme karakteristiklerinin azaltılmasıyla betonun durabilitesinin sağlanabileceği belirtilmiştir [34].

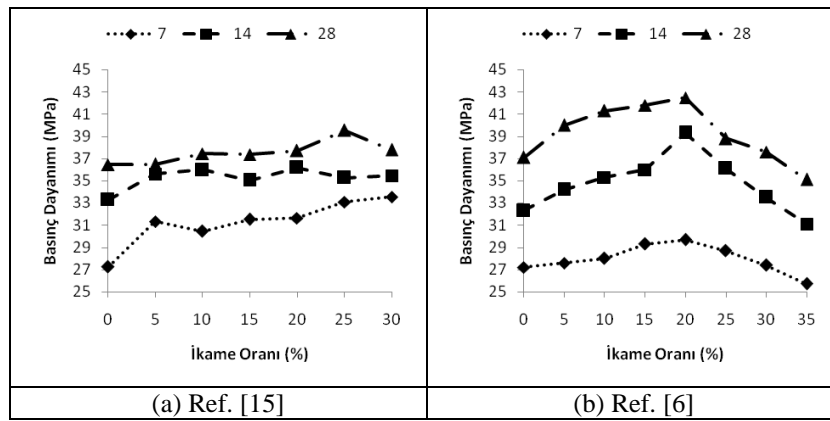
Salas vd. (2009), yüksek dayanımlı betonda; normal şartlarda yakılmış pirinç kabuğu külü ve kimyasal işleme maruz bırakıldıktan sonra yakılmış pirinç kabuğu külünü kullanmıştır. Kimyasal işleme maruz kalan pirinç kabuğu külü daha amorf, beyaz, daha fazla özgül yüzey ve daha fazla puzolanik aktivite göstermiştir. Çalışmada pirinç kabuğu öncelikle 10 °C/dak. pişirme hızında 600 °C'ye kadar pişirilerek yakılmıştır. Diğerinde ise pirinç kabuğu önce 24 süreyle 1 N konsantrasyonunda hidroklorik asit ile muamele edilmiştir. Ardından bu pirinç kabuğu, kurutulmuş ve yakma prosesi aynen bu malzemeye de

uygulanmıştır. Bu malzemeler, puzolanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla 90 dakika süresince öğütülmüştür. Kimyasal işleme maruz bırakılan pirinç kabuğu külü ikameli betonlarda basınç dayanımı önemli oranda artmıştır. Bu betonların basınç ve eğilme mukavemetlerinin, normal pirinç kabuğu külü ikameli betonlardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir [35].

Betonlarda kullanılan puzolanik katkıları betonun erken yaşlardaki dayanımına pek fazla katkı yapmazlar. Bununla birlikte pirinç kabuğu külü katkısının betonların erken yaşlarda ki dayanım gelişimine katkı kaptıkları belirtilmiş ve bu örneklerin kimyasal analiz değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Basınç dayanım değerleri ise Şekil 1’de gösterilmiştir [6,15].

Tablo 3. Çalışmalarda kullanılan malzemelere ait kimyasal analiz değerleri (%) [6,15].

Referans	Malzeme	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LOI
[15]	Çimento	22.00	5.60	4.00	63.90	1.70	2.30	-	-	0.20
	Pirinç kabuğu külü	92.95	0.31	0.26	0.53	0.55	-	2.06	0.08	1.97
[6]	Çimento	20.25	5.04	3.16	63.61	4.56	-	0.51	0.08	3.12
	Pirinç kabuğu külü	87.32	0.22	0.28	0.48	0.28	-	3.14	1.02	2.10



Şekil 1. Pirinç kabuğu külü ikameli çimento ile üretilen betonların basınç dayanım değerleri.

Pirinç kabuğu külü ikameli çimento ile üretilen betonların basınç dayanım değerleri % 20 katkı oranından sonra düşüş göstermektedir (Şekil 1 (b)). Örnek betonda kullanılan çimentonun 1., 3., 7. ve 28 günlük basınç dayanım değerleri, % 30 ikame bulunduran çimentolara kadar kontrol çimentolarıyla benzer ve daha yüksek değerleri vermiş fakat % 35 kül ikameli betonun dayanımı kontrol betonuna göre biraz daha azalmıştır [6]. Bunun yanında % 30 pirinç kabuğu külü ikameli betonların (su/çimento oranı 0.53) basınç dayanımlarında, kontrol betonlarına göre tüm yaşlarda daha yüksek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir [6,15].

Chindaprasirt vd. (2007) çalışmalarında çimentoya % 20 ve % 40 oranında pirinç kabuğu külü ikame etmiş ve sırasıyla su/bağlayıcı oranı 0.68; 0.80 olacak şekilde beton örneklerini üretmiştir. 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanım değerlerinde % 20 pirinç kabuğu külü ikameli betonların basınç dayanımlarının kontrol betonuna kıyasla daha fazla dayanım kazandığını, % 40 pirinç kabuğu külü ikameli örneklerin ise tüm yaşlarda kontrol betonundan daha zayıf basınç dayanımına sahip olduğunu belirtmiştir [9].

Sensale (2006) ise yaptığı çalışmada pirinç kabuğu külü ikameli çimento ile ürettiği beton örneklerini 0.32-0.40 ve 0.50 su/çimento oranlarıyla hazırlamış ve çimentoya % 10 ile % 20 oranında ikame ettiği pirinç kabuğu küllerini de iki farklı bölgeden temin etmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, sadece 90 günlük katkılı betonların genelde kontrol betonlarından daha yüksek basınç dayanım değerlerini verdiğini belirtmiştir [19].

Betonların kırılma mekanizmasının incelenmesi amacıyla [18], farklı su/bağlayıcı oranına sahip ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento ile üretilen betonlara tek eksenli basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Örnek betonlar dört farklı su/bağlayıcı; 0.5, 0.4, 0.32, 0.28 oranında olacak şekilde hazırlanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Örneklerin basınç dayanım, elastisite modülü ve poisson oranları [18].

Beton	Su/(çimento+ pirinç kabuğu külü)	Pirinç Kabuğu Külü (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı
Kontrol	0.28	0	63.1	40.9	0.199
Pirinç kabuklu		10	63.6	41.0	0.208
Kontrol	0.32	0	54.6	38.0	0.179
Pirinç kabuklu		10	56.6	38.7	0.179
Kontrol	0.40	0	46.2	35.2	0.169
Pirinç kabuklu		10	49.7	35.2	0.187
Kontrol	0.50	0	36.4	33.3	0.160
Pirinç kabuklu		10	38.4	34.1	0.167

Betonlar, incelik modülü 2.43 ve özgül ağırlığı 2.63 gr/cm^3 olan ince agrega olarak doğal silisli nehir kumu, iri agrega olarak maksimum 20 mm tane boyutunda ve $2,65 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlığa sahip kırılmış granit, portland çimentosu ve kuru öğütülme işlemiyle $8 \mu\text{m}$ incelikteki pirinç kabuğu külü kullanılarak hazırlanmıştır. Üretim sırasında literatür değerleri de dikkate alınarak bir seride % 10 oranında pirinç kabuğu külü çimentoya ikame edilerek hazırlanmış, diğer seri ise kontrol karışımı olarak üretilmiştir. Test sonuçlarına göre pirinç kabuğu külünün yüksek oranda puzolanik özelliklere sahip olduğu ve yüksek dayanımlı beton üretiminde ek çimento malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Çimentoya % 10 oranında pirinç kabuğu külü ikamesiyle elde edilen betonların elastisite modülü biraz daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bununla birlikte bu betonların poisson oranları da kontrol betonuna göre yüksek değerler vermiştir (Tablo 4) [18].

Givi vd. (2010), betonun permeabilitesi, dayanımı ve işlenebilirliği üzerine pirinç kabuğu külü partikül boyutunun etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 5 ve $95 \mu\text{m}$ tane boyutuna sahip pirinç kabuğu külü çimentoya % 5 - % 20 oranında ikame edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre optimum pirinç kabuğu külü ikame oranı her iki tip kül için % 10'dur. Test sonuçlarına göre, $5 \mu\text{m}$ tane boyutunda pirinç kabuğu külü içeren betonların su emme katsayısı, su emme hızı ve su emme oranı önemli oranda azalmıştır [36].

Sensale vd. (2008), portland çimento pastasının rötresine pirinç kabuğu külü ikamesinin etkisini araştırmıştır. Çimento pastalarının su/bağlayıcı oranı 0.30; ikame oranında, % 5 ve % 10 oranında yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre uygun bir metotla pirinç kabuğu külü kullanıldığında rötrenin azaldığı belirtilmiştir [37].

Normal portland çimentosu, öğütülmüş pirinç kabuğu külü ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan harçlarda, atık ürünlerin düşük miktarlarda kullanılması durumunda ileri yaşlarda referans harçlarından daha yüksek dayanım değerlerine ulaştıkları gözlenmiştir [38]. Bununla birlikte pirinç kabuğu külünün uçucu külden daha fazla puzolanik özellik gösterdiği de belirtilmektedir [39].

Pirinç kabuğu külü ikameli betonların yarmada çekme dayanımının incelendiği bir çalışmada su/çimento oranı 0.53 olan beton örneklerinde % 30'a kadar pirinç kabuğu külü ikamesi yapılmış ve % 15'e kadar yapılan pirinç kabuğu külü ikamesinin değerleri geliştirdiği belirtilmiştir [15].

Uruguay ve ABD bölgesinden elde edilen pirinç kabuğu külü, su/çimento oranı 0.5 olacak şekilde beton üretiminde çimentoya ikame malzemesi olarak kullanılmış ve Uruguay bölgesinden alınan pirinç kabuğu külünün betonda yarmada çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü bununla birlikte ABD bölgesinden

alınan pirinç kabuğu külü ikameli betonlarda ise yarmada çekme dayanımı değerlerinin kontrol betonları ile kıyaslandığında artış gösterdikleri belirlenmiştir [19].

Aziz vd. (2004), yaptıkları çalışmada ağırlıkça % 4, 8, 12 ve % 16 oranında pirinç kabuğu külünü, normal portland çimentosuna ikame etmiştir. Pirinç kabuğu ikamesiyle kıvam suyu artarken, yüksek pirinç kabuğu külü ikamesi (% 8 üzerinde) yapılması durumunda, betonun mekanik özelliklerini azalttığı tespit edilmiştir. Puzolanik çimento pastasının serbest kireç içeriği kür süresi ve pirinç kabuğu külü miktarıyla azalmıştır. Çimento pastası, % 8 pirinç kabuğu külü ve % 1.5-2 süper akışkanlaştırıcı karışımın iyi mekanik özellikler veren uygun bir karışım olduğu belirtilmiştir [40].

Jauberthie vd. (2003), CEM I 52,5 tipi çimento kullanarak % 40 kuru pirinç kabuğu külü ikameli örnekler hazırlamıştır. Örnekleri % 100 relatif nemde (RN), 7 gün boyunca bekletmiş ardından örnekler bir yıl süreyle % 50 ve % 95 RN'li çevre koşullarında bekletilmiştir. Ardından elde edilen bulgular Tablo 5'de verilmiştir [41]. Elde edilen bulgulara göre, relatif nem oranının artması örneklerin basınç dayanım değerlerinde artışa sebep olmuştur.

Tablo 5. 360 günlük çimento örneklerin özellikleri.

Ortam	Yoğunluk (kg/m ³)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Eğilme Modülü (GPa)
% 50 RN	1110	7.2	20.6	1.0	0.8
% 95 RN	1145	6.5	23.8	2.6	1.4

Ganesan vd. (2007), çimentoya pirinç kabuğu külü ikamesiyle üretilen betonlarda, 28 günlük su emmenin ikame oranıyla birlikte arttığını, 90 günlük değerlerde ise % 30' a kadar yapılan ikamenin bu değeri referans örneğe göre düşürdüğünü saptamıştır. 28 ve 90 günlük örneklerin % 25 ikame oranına kadar; klor difüzyonu, su emme katsayısı ve sorptivitesinin ise katkı oranı artışıyla azaldığını belirtmiştir [6].

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde farklı su/bağlayıcı oranlarında ve pirinç kabuğu külü içeren beton karışımları hazırlanmış ve elde edilen bulgulara göre su/çimento oranı, pirinç kabuğu külü miktarı ve yüksek oranda akışkanlaştırıcı katkının bağlayıcı pasta, harç ve betonun akma yeteneğinin önemli oranda etkilendiği ortaya çıkmıştır. Buna ilaveten kendiliğinden yerleşen betonun akma kabiliyeti, kendi bağlayıcı pastası ve harç bileşenlerinin akma yetenekleriyle, pirinç kabuğu külü içeren harçlar hariç olmak üzere, doğru orantılı olduğu belirtilmiştir [42].

% 5 sülfat çözeltilisi ile genleşme deneyi yapılmış ve 360 günlük ölçümler sonucunda % 40 pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların normal çimentoya göre çok daha düşük genleşme yaptığı belirtilmiştir. Sodyum sülfat çözeltilisiyle yapılan pH ölçümlerinde ise 90 ve 180 günlük ölçümlere göre katkı oranı arttıkça pH değerlerinin düştüğü belirtilmiştir [9].

Pirinç kabuğu ikameli portland çimentosuyla hazırlanan harcın, % 5 CO₂ bulunan bir ortamda hızlandırılmış kısa dönem teknikleriyle karbonatlaşma direnci ve dayanımı araştırılmıştır. Çalışmada pirinç kabuğu külü üç farklı incelikte kullanılmıştır. Bunlardan biri normal pirinç kabuğu külü (RAO); 325 No'lu elekte ağırlıkça % 15 – 20 oranında kalan küller RA1, yine aynı elekte ağırlıkça % 1-3 oranında kalan küller ise RA2 olarak gruplandırılmıştır. Örneklerin basınç dayanımı, porozitesi ve karbonatlaşma derinliği belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre RA2, su ihtiyacını RAO ve RA1 ile karşılaştırıldığında bir miktar azalmıştır. RA2'nin kullanımıyla, düşük poroziteli ve iyi dayanımlı harçlar üretilmiştir. Karbonasyon derinliği tüm pirinç kabuğu külü değişim seviyelerindeki artışla birlikte artmıştır. RA2'nin karbonasyon derinliği RA1 ve RAO'dan daha azdır. Karbonasyon derinliği su ihtiyacınındaki artışla birlikte ve basınç dayanımındaki azalmayla artmıştır [43].

Gastaldini vd. (2007), erken dayanım kazanan portland çimentosu ve % 20 oranında pirinç kabuğu külü kullanarak yaptıkları çalışmada, kimyasal aktivatör olarak; potasyum sülfat (K_2SO_4), sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) kimyasallarını ayrı ayrı olmak üzere çimento ağırlığının % 1'i oranında kullanmıştır. Kimyasal aktivatör bulunan örneklerin basınç dayanımları kontrol örneklerine oranla daha yüksek değerler vermiş ve özellikle potasyum sülfat katkılı örneklerin tüm yaşlarda daha yüksek basınç dayanım değerleri verdiği gözlenmiştir. Ayrıca tüm su/bağlayıcı (0.35,0.5,0.65) oranlarında en düşük karbonatlaşma katsayısı, % 1 K_2SO_4 ve pirinç kabuğu külü bulunan örneklerde elde edildiği de belirtilmiştir [44].

Pirinç kabuğu külü ikameli betonların slump değerleri kontrol örneklerine nazaran katkı oranının artmasıyla birlikte azalmaktadır [6,18]. Bununla birlikte çimentoya % 15 oranına kadar ikame edilen pirinç kabuğu kül miktarı çimentonun piriz başlama süresini arttırmakta ve yine çimentoya ikame edilen kül miktarının artırılması ile birlikte piriz sona erme süresi azalmaktadır [6]. Yapılan başka bir çalışmada, kontrol harcı 150 dakikada prizini tamamlarken, % 24,5 pirinç kabuğu külü ikameli çimento harcının ise 140 dakikada prizini tamamladığı belirtilmiştir [45].

3. SONUÇ

Çimento ve beton üretiminde puzolanik katkı olarak kullanılan pirinç kabuğu külü hafif betonların ve yüksek dayanımlı betonların yapımında kullanılabilir. Pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların dayanımları, % 20 ikame oranına kadar artış göstermektedir.

% 10 pirinç kabuğu külü ikameli beton örneklerinin elastisite modülü değerleri katkısız örneklerle benzer sonuçları vermekte fakat poisson oranları daha yüksek çıkmaktadır.

Pirinç kabuğu külü ikame oranı slump değerini azaltmakta ve % 15 oranına kadar ikame edilmesi durumunda çimentonun piriz başlama süresi uzamakta, piriz bitiş süresi ise kısalmaktadır.

Çimentoya pirinç kabuğu külü ikame oranı % 25'e kadar yapılan betonlarda; klor difüzyonu, su emme katsayısı ve sorptivite katkı oranının artmasıyla düşmekte ve % 40 pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların 90 günden sonraki pH değerlerinde kontrol çimentolarına göre düşüş gerçekleşmektedir.

Çimentoya pirinç kabuğu külü ikamesi yapılarak üretilen betonlar, daha az geçirimli olmakta ve böylelikle asidik ve iyon bulunduran sulara ve sülfat ataklarına karşı daha dirençli olmaktadır. Pirinç kabuğu külünün çimentoya ikame edilmesiyle hem ekonomiklik elde edilmekte hemde çimento ve betonun işlenebilirliği de arttırılabilmektedir.

4. KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T. Y., 2007, "Beton", *Metu Press*, 2. Baskı, Ankara
2. Türkmenoğlu, A. G., Tankut, A., 2002, "Use of Tuffs From Central Turkey as Admixture in Pozzolanic Cements", *Cement and Concrete Research*, **32** (4), 629-637
3. Meral, Ç., 2004, "Use of Perlite as A Pozzolanic Addition in Blended Cement Production", M.E.T.U., *Thesis Of Master Of Science*
4. Mary, S. J. G., 1997, "*Cement and Concrete*", ISBN: 0412790505, Spon Press UK
5. Aydın, A. C., 2006, "Yapı Malzemeleri ve İleri Beton Teknolojisi", *Ders Notu*, (<http://muhendislik/atauni/insaat/dersler/acaydin/yapimalz.pdf>), 18.01.2006

6. Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K., 2008, "Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete", *Construction and Building Materials*, **22** (8), 1675-1683
7. Chandrasekhar, S., Satyanarayana K. G., Pramada, P. N., Raghavan, P., Gupta, T. N., 2003, "Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk- An overview", *Journal of Materials Science*, **38** (15), 3159-3168
8. Nair, D., Fraaij, A., Klaassen, A. A. K., Kentgens, A. P. M., 2008, "A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes", *Cement and Concrete Research*, **38** (6), 861-869
9. Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., 2007, "Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash", *Construction and Building Materials*, **21** (6), 1356-1361
10. Mansaray, K. G., Ghaly, A. E., 1997, "Physical and thermochemical properties of rice husk", *Energy Sources, PartA: Recovery Utilization, and Environmental Effects*, **19** (9), 989-1004
11. Zain, M. F. M., Islam, M. N., Mahmud, F., Jamil, M., 2011, "Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material", *Construction and Building Materials*, **25** (2) 798-805
12. Lung, H. C., Tuan, B. L. A., Tsun, C. C., 2011, "Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete", *Construction and Building Materials*, **25** (9) 3768-3772
13. Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M. V., Mellado, A., Ordonez, L. M., 2001, "Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method", *Cement and Concrete Research*, **31** (2), 227-231
14. Feng, Q., Yamamichi, H., Shoya, M., Sugita, S., 2004, "Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment", *Cement and Concrete Research*, **34** (3), 521-526
15. Saraswathy, V., Song, H. W., 2007, "Corrosion performance of rice husk ash blended concrete", *Construction and Building Materials*, **21** (8), 1779-1784
16. Yalçın, H., Gürü, M., 2006, "*Çimento ve Beton*", ISBN: 9944-341-16-9, S:45, Palme Yay., Ankara
17. Karlhans, W., 1990, "*Fly Ash in Concrete*", ISBN: 0419157905, Spon Pres., 18-19
18. Giaccio, G., Sensale, G. R., Zerbino, R., 2007, "Failure mechanism of normal and high-strength concrete with rice-husk ash", *Cement & Concrete Composites*, **29** (7), 566-574
19. Sensale, G. R., 2006, "Strength development of concrete with rice-husk ash", *Cement & Concrete Composites*, **28** (2), 158-160
20. Gowda, M. R., Narasimhan, M. C., Karisiddappa, 2011, "Development and study of the strength of self-compacting mortar mixes using local materials", *Journal of Materials in Civil Engineering*, **23** (5), 526-532
21. Tuan, N. V., Ye, G., van Bruegel, K., Hanh, P. H., 2010, "Synergic effect of rice husk ash and silica fume on compressive strength of ultra-high performance concrete", *International Rilem Conference on Material Science (MATSCI)*, VOL III, **77**, 255-263

22. Tuan, N. V., Ye, G., van Breugel, K., 2010, "Internal curing of ultra-high performance concrete by using rice husk ash", *International Rilem Conference on Material Science (MATSCI)*, VOL III, **77**, 265-274
23. Memon, S, A, Shaikh, M, A, Akbar, H., 2011, "Utilization of rice husk ash as viscosity modifying agent in self-compacting concrete", *Construction and Building Materials*, **25** (2), 1044-1048
24. Nguyen, V. T., Ye, G., van Bruegel, K., Fraaij, A. L. A., Bui, D. D., 2011, "The study of using rice husk ash to produce ultra high performance concrete", *Construction and Building Materials*, **25** (4), 2030-2035
25. Zerbino, R., Giaccio, G., Isaia, G. C., 2011, "Concrete incorporating rice-husk ash without processing", *Construction and Building Materials*, **25** (1), 371-378
26. Safiuddin, M., West, J. S., Soudki, K. A., 2010, "Hardened properties of self-consolidating high performance concrete including rice husk ash", *Cement & Concrete Composites*, **32** (9), 708-717
27. Bui, D. D., Hu, J., Stroeven, P., 2005, "Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded portland cement concrete", *Cement & Concrete Composites* **27**, 357-366
28. Thuadaj, N., Nuntiya, A., "Preparation of nanosilica powder from rice husk ash", (http://www.grad.psu.ac.th/grad_research/apply_file/full3440601108656.pdf), 19.03.2008
29. TS 25, 1975, "Tras", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
30. Yıldız, S., Balaydın, İ., Ulucan, A. Ç., 2007, "Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi", *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, **19** (1), 85-91
31. Mahmud, H. B., Majuar, E., Zain, M. F. M., Hamid, N. B. A. A., Kaoy, Y. C., 2003, "Influence of rice husk ash, superplasticizer and metakaolin on high strength concrete", *International Conference on Advances in Concrete and Structures, Rilem Proceedings*, **32**, 774-784
32. Habeeb, G. A., Fayyadh, M. M., 2009, "Rice husk ash concrete: the effect of RHA average particle size on mechanical properties and drying shrinkage", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, **3** (3), 1616-1622
33. Raman, S.N., Ngo, T., Mendis, P. And Mahmud, H. B., 2011, "High-strength rice husk ash concrete incorporating quarry dust as a partial substitute for sand", *Construction and Building Materials*, **25** (7), 3123-3130
34. Mahmud, H. B. Malik, M. F. A., Kahar, R. A., Zain, M. F. M. and Raman, S. N., 2009, "Mechanical properties and durability of normal and water reduced high strength grade 60 concrete containing rice husk ash", *J Adv Concr Technol*, **7** (1), 21-30
35. Salas, A., Delvasto, Gutierrez, R. M., Lange, D., 2009, "Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete", *Cement and Concrete Research*, **39** (9), 773-778.
36. Givi, A. N., Rashid, S. A., Aziz, F. N. A., Salleh, M. A. S., 2010, "Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete", *Construction and Building Materials*, **24** (11), 2145-2150

37. Sensale, G. R., Riberio, A. B., Gonçalves, A., 2008, “Effects of RHA on autogenous shrinkage of Portland cement pastes”, *Cement & Concrete Composites*, **30** (10), 892–897
38. Chindapasirt, P., Rukzon, S., 2008, “Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar”, *Construction and Building Materials*, **22** (8), 1601-1606
39. Chindapasirt, P., Rukzon, S., Sirivivatnanon, V., 2008, “Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash”, *Construction and Building Materials*, **22** (5), 932-938
40. Abd El Aziz, M., Abd El Aleem, S., Heikal, M., Didamony, H. E., 2004, “Effect of polycarboxylate on rice husk ash pozzolanic cement”, *Silicates Industriels*, **69** (9-10), 73-84
41. Jaubertie, R., Rendell, F., Tamba, S., Cisse, I. K., 2003, “Properties of cement-rice husk mixture”, *Construction and Building Materials*, **17** (4), 239-243
42. Safiuddin, M., West, J. S., Soudki, K. A., 2010, “Flowing ability of self-consolidating concrete and its binder paste and mortar components incorporating rice husk ash”, *Canadian Journal of Civil Engineering* **37** (3), 401-412
43. Rukzon, S., Chindapasirt, P., 2010, “Strength and Carbonation Model of Rice Husk Ash Cement Mortar with Different Fineness”, *Journal of Materials in Civil Engineering* **22** (3), 253-259
44. Gastaldini, A. L. G., Isaia, G. C., Gomes, N. S., Sperb, J. E. K., 2007, “Chloride penetration and carbonation in concrete with rice husk ash and chemical activators”, *Cement & Concrete Composites* **29** (3), 176-180
45. Ajiwe, V. I. E., Okeke, C. A., Akigwe, F. C., 2000, “A preliminary study of manufacture of cement from rice husk ash”, *Bioresource Technology* **73** (1), 37-39