



PIRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN BETON DURABILİTESİNE ETKİSİ

EFFECT OF RICE HUSK ASH ON CONCRETE DURABILITY

Betül İŞBİLİR^a, Serkan SUBAŞI^b, İsmail ERCAN^c

^a Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, Türkiye, betulisbilir@hotmail.com

^b Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, Türkiye, serkansubasi@düzce.edu.tr

^c Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, Türkiye, ismailercan@düzce.edu.tr

Özet

Dünyada endüstri üretimlerinin yan ürünü olan atıkların uzaklaştırılması ve depolanması zor bir durum olmakla beraber çevre kirliliğinde de büyük bir sorun oluşturduğu bilinmektedir. Bu atıklardan biri de pirinç üretiminden ortaya çıkan pirinç kabuğudur. Dünyada 100 milyon ton pirinç kabuğu atığı meydana gelmekte ve pirinç kabuğunun yakılmasından 20 milyon ton pirinç kabuğu külü elde edilmektedir. Pirinç üretiminin fazla olduğu bölgelerde atık olarak çok fazla miktarda pirinç kabuğu ortaya çıkmakta ve büyük alanları kaplayarak çevre kirlenmesine sebep olmaktadır. Çevresel kirlilik ve enerji kaynaklarının korunmasında yararı arttıracağı düşünüldükçe pirinç kabuğunun inşaat sektöründe kullanılması için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Pirinç kabuğu kontrollü olarak yakıldığında yüksek pozvolanik aktiviteli bir kül elde edilmektedir.

Bu çalışmada sürdürülebilir bir beton elde etmede önemli bir parametre olan beton dayanıklılığı üzerinde, pirinç kabuğu külünün etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılmış ve bulgular belirli bir sistematik içerisinde sunulmuştur. Araştırmalar sonucunda taze beton karışımlarında pirinç kabuğu külünün pozvolanik reaktivitesinin terleme ve segregasyonda azalma meydana getiren işlenebilirlikte önemli derecede iyileştirmeye sebep olduğu, pirinç kabuğu külünün çimento hamuru içerisinde bir çok C-S-H jeli oluşturarak gözenekli yapıda önemli derecede azalma meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla pirinç kabuğu külünün yüksek dolgu etkisi ile betonun geçirirliğinin azalmasına, beton bünyesindeki çeliğin korozyonunu engelleyerek ve donma-çözünmeye karşı iyi bir direnç sağlayarak beton durabilitesinde olumlu bir etki gösterdiği ve betonun yüksek dayanıma ulaşmasına yardımcı olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Pirinç kabuğu külünün beton özellikleri üzerindeki olumlu etkisi değerlendirildiğinde, pirinç kabuğu külünün kullanımı sadece çevre yönünden değil aynı zamanda beton durabilitesine dolayısı ile sürdürülebilir bir beton elde edilmesine de çok büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pirinç Kabuğu Külü, Pozolan, Durabilite, Beton, Sürdürülebilirlik
Abstract

It is known that remove and stockpile of waste byproducts of industrial production in the world is difficult situation, besides these wastes cause environmental pollution. One of these wastes is rice husk ash resulted from rice production. One hundred million ton rice husk is occurred and twenty million ton rice husk ash is obtained from burn of the rice husk. Too much rice husk is occurred in the regions where they are produced and these wastes are caused environmental pollution. For thinking the protection of energy resources and environmental pollution some of the researches have been made about the use of rice husk in construction sector. When rice husks controlled burn an ash having high pozzolanic activity is occurred.

In this study, the effects of rice husk ash on the concrete durability that is one of the most important parameter to obtain the sustainable concrete were investigated and the results were presented within a certain systematic. As a result of the research, it is observed that pozzolanic activity of the rise husk ash were caused improvement in workability of the concrete by decreasing the bleeding and segregation in the fresh concrete mixes. The rise husk ashes the cement paste have been decreased on the pore structure by causing increase the C-S-H gel. Consequently, it is determined that, because of the filling characteristics of the rice husk ash the concrete permeability have been decreased, besides by providing a good resistance against the freeze-thaw resistance and preventing the corrosion of the steel in the concrete were effected of the concrete durability and helps to obtain high strength concrete.

While determining the positive effects of the rice husk ash on the concrete properties, it is thought to be that use of the rice husk ash were enormous

contribute to achieve a sustainable concrete not only the environment but also in terms of concrete durability.

Keywords: Rice husk ash, Pozzolan, Durability, Concrete, Sustainability

1. Giriş

Pirinç, dünyada 1.6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturmaktadır. Ekilebilen alanların %11'inde yani yaklaşık olarak 145 milyon hektar alanda pirinç ekimi yapılmaktadır. Pirinç üretimi sonucu, atık malzeme olarak aşırı miktarda pirinç kabuğu ortaya çıkmakta ve üretimin fazla olduğu bölgelerde çevrede büyük alanları kaplayarak çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır [1].

Pirinç kabuğu külünde, %80-90 oranında silis bulunmaktadır. Külün en önemli özelliği, amorf silisten ileri gelen pozvolanik yapısıdır. Pirinç kabuğu içerisindeki silis oranının fazlalığından dolayı, pozvolanik katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Pozvolanlar yalnız başlarına bağlayıcı özelliğe sahip olmayan fakat çimento veya kireçle karıştırıldıklarında su ile yaptıkları reaksiyon sonucu bağlayıcılık özelliği kazanan maddelerdir [2].

Pirinç kabuğu küllerinin pozvolanik özellik gösterebilmesi ve pozvolanik özellikli küllerin çimento ve beton yapımında kullanılmalarına dair araştırmalar, 1970'li yılların sonlarına kadar yapılmamıştır. ABD-Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesinin öğretim üyelerinden Mehta, pozvolanik özellikli pirinç kabuğu elde edilebilmesi için kontrollü yakma fırınının tasarlanmasında ve pirinç kabuğu katkı maddesi olarak kullanılabilmesinde öncü isim olmuştur [3].

Betonun yıllarca dış etkilerden ve betonun bileşenlerinden ileri gelen faktörlerden olumsuz olarak etkilenmeden dayanımını ve niteliklerini kaybetmemesine "durabilite" özelliği denilir. Başlangıçtaki özelliklerini ve tasarlandığı fonksiyonunu çevre ve hizmet koşulları altında koruyarak devam ettirebilmesi betonun dayanıklılığı olarak tanımlanabilir. Beton sözü edilen koşullar altında yıpranarak özelliklerini yitirir, daha fazla kullanılması ise ekonomik olmaz ve faydalı ömrünü tamamlamış olur. Betonun yıpratan fiziksel etkenler, beton yüzeyinde kütle kaybına neden olur ve betonda çatlamaya yol açar [4].

Bu çalışmada sürdürülebilir bir beton elde etmede önemli bir parametre olan beton dayanıklılığı üzerinde, pirinç kabuğu külünün etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılmış ve bulgular belirli bir sistematik içerisinde sunulmuştur.

2. Betonda Dayanıklılık

Bir yapıdan beklenen; dayanım, durabilite (dayanıklılık), ekonomi, fonksiyon ve estetiğin sağlanmasıdır. Bir yapı üretilirken şu aşamalardan geçmelidir;

Yapı tasarımı: 1) Yer seçimi, 2) Zemin etüdü, 3) Sistem seçimi, 4) Projelendirme, 5) Projenin detaylandırılması.

Malzeme seçimi ve malzemenin denetimi: 1) Kullanılan malzemelerin davranışı, 2) Seçilen malzemelerin amaca uygun olup olmadığı 3) Kullanılan malzemelerde kalite denetim süreci.

İnşaat süreci: 1) Tasarım ile uyumlu bir yapı üretim teknolojisi, 2) Montaj ve işçilik [5].

Sürdürülebilir bir beton elde etmede önemli bir parametre olan beton durabilitesi çevre şartları altında betonun servis yeteneğini belirli bir zaman boyunca sürdürülebilen yeteneği olarak düşünüldüğünde, beton tasarımı sadece beton dayanımına göre değil beton dayanıklılığı da dikkate alınarak yapılmalıdır.

Durabilite kapsamında betonda aranan dayanıklılık şu şekilde sıralanmıştır:

- Donma - çözülmeye karşı dayanıklılık,
- İslanma - kurumaya karşı dayanıklılık,
- İsinma - soğumaya karşı dayanıklılık,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Ateşe karşı dayanıklılık.

- Asit ve tuzlara karşı dayanıklılık
- Alkali-agrega reaksiyonuna karşı dayanıklılık[6].

Beton dayanıklılığı, iç ve dış etkilere belli bir süre içinde en az şekilde etkilenmesi olarak düşünülebilir:

- 1- **İç Etkiler:** Betonun içindeki agrega ve suyun; çimentonun hidratasyonu sırasında ve/veya sonunda oluşan ürünlerle yaptığı hasar iç etkilere oluşur. Bu tür hasar, çimento, agrega, su özelliklerine göre şiddetli veya zayıf olur. Çimentonun hidratasyonunun ürünlerinin çözünürlüğü, çimentonun yapısı, bileşenleri, korozyona neden olabilir. Bu nedenle çimentodaki bileşikler (C_3S , C_2S v.s.), alkali, serbest CaO , MgO , SO_3 , kızdırma kaybı çimentonun cinsine göre standartlarda sınırlandırılmıştır[2].
- 2- **Dış Etkiler:** Sertleşmiş beton, dış ortam nedeniyle fiziksel, kimyasal etkenlerle hasar görebilir. Betonun ömrünü azaltan bu dış faktörleri şöyle sıralayabiliriz:
 - a- İklim koşulları ve su ile temas betonun ömrünü azaltır. Özellikle nem oranı, donma-çözünme ve sıcak soğuk suyla temas betonun direncini azaltır.
 - b- Kimyasallarla temas eden betonlar çabuk yıpranır. Kimyasalın tipi, konsantrasyonu, temas süresi, sıcaklığı yıpranmada oldukça etkindir. Konsantrasyonu ve ısı yüksek, kuvvetli kimyasalların beton yüzeyi dökülmesi, özellikle de bunlarla uzun süreli temas betonun mukavim olmadığı faktörlerdir ve beton üzerinde son derece yıpratıcı etki yaparlar.
 - c- Yeterince ve doğru şekilde yapılmayan bakımlarda betonun ömrünü azaltan faktörlerden biridir. Endüstriyel zeminlerin en fazla darbeye aşınmaya maruz kalan kısmı üst yüzeyidir. Dolayısı ile bu bölgenin korunması, günümüzde büyük önem taşımaktadır[2].

3. Pirinç Kabuğu Külünün Betonun Dayanım Dayanıklılığına Olan Etkileri

3.1. Permeabilite (Geçirimsizlik)

Zararlı çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığı ve dayanımı geçirgen yapısı ile ilgilidir ve çimento hamurundaki en zayıf bölge olan agrega-çimento arasındaki ara yüzey bölgesi geçirgenlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Özellikle genç yaşlardaki betonlarda iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki ara yüzey bölgesi hamurun diğer bölgelerinden daha zayıftır. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Taze betonun terlemesi sırasında iri agrega taneleri altında toplanan su ara yüzey bölgesinde s/ç oranını yükseltir ve boşluk yüzdesi artar.

- Gene aynı nedenle çimento ana bileşenlerinden kalsiyum silikatların (C_2S, C_3S) hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksit (CH) kristalleri bu bölgede daha büyüktür ve miktarca daha fazladır. Hidratasyonun başlıca ürünü ve hamurdaki esas bağlayıcı madde olan kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerine oranla CH in bağlayıcılık değeri çok daha azdır. Ayrıca kristallerin boyu büyüdükçe toplam yüzey alanı küçülür.
- İri agrega yüzeyi boyunca katı taneler çeper etkisi nedeni ile daha gevşek bir düzen içinde yer alırlar. Burada hamur boşluk oranı daha da artar[7].

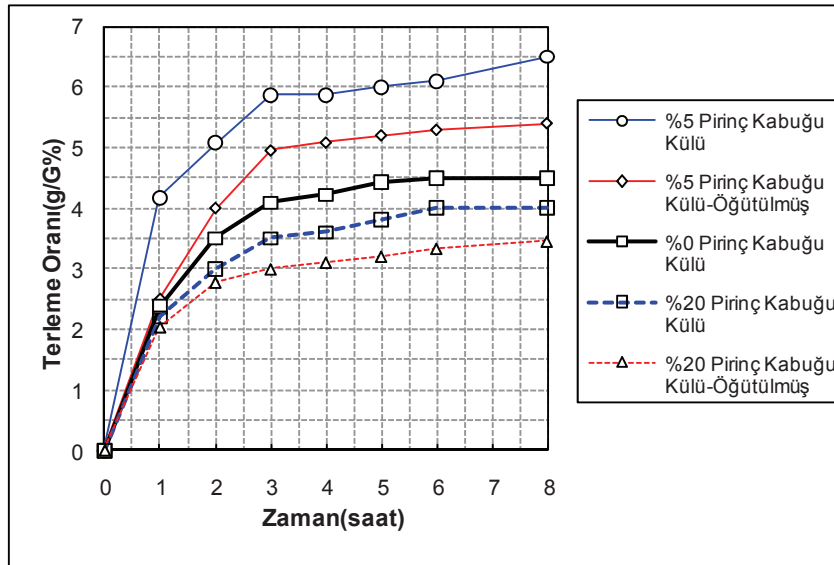
Betonun geçirgenliği, yalnızca beton gözenekliliğinin bir fonksiyonu olmayıp, gözeneklerin boyutlarına, dağılımına ve şekillerine bağlıdır. Betonda gözenekliliğin artması kesin olarak geçirgenliğin de artması anlamına gelmez[8].

RHA karışımli betonlarda, çimento hidratasyonu hızlandırılır. Diğer taraftan, küçük RHA parçacıkları, özellikle ara yüzey bölgesinde karışımli çimentonun parçacık tampon yoğunluğunu, büyük gözeneklerin önemli derecede azaltılmış hacmini ve çimento hamurunun homojen mikro yapısını iyileştirir[9].

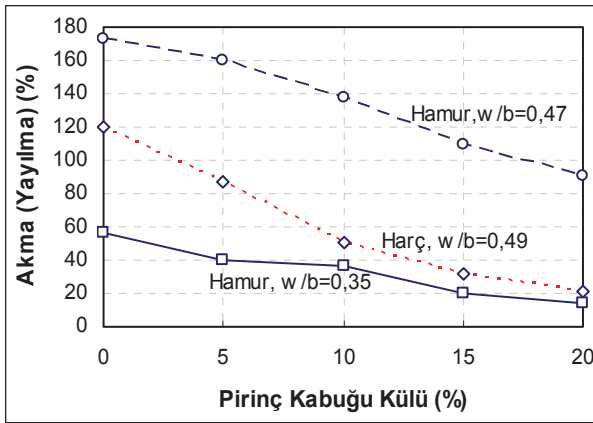
Belli bir tutarlılık için, su gereksiniminin azalması mühendislik özelliklerinde genel iyileşmeye öncülük edebilir (iri taneli agregaların granülemetrik karakteristikleri, ince agregalar ve beton karışımının su gereksinimi, boşluk hacmine çimento parçacıklarının etkisi). Eklenen mineral katkının ince tanecikleri, beton karışımı içindeki boşluk hacminin azaltılmasında çimento tanelerine tamamlayıcı olur. Bu nedenle, bu daha az su ile belli bir tutarlılıkta beton üretimi gerektirecektir[10].

Hwang ve Wu tarafından pirinç kabuğu külünün çimento hamuru üzerindeki işlenebilirlik, terleme ve basınç dayanımı etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada şu sonuçlar ortaya konmuştur:

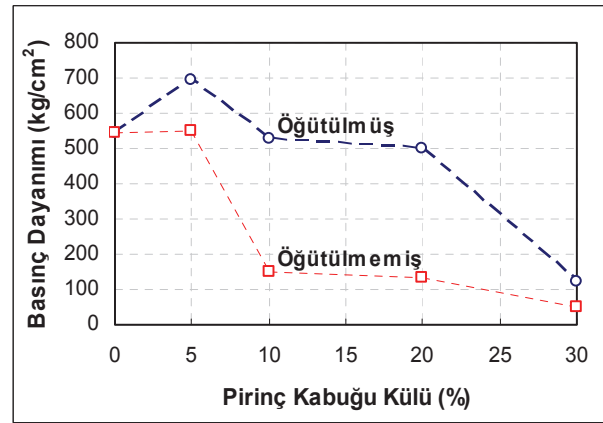
- CH ile pirinç kabuğu külünün bünyesindeki Si^+ i bağlayan puzolanik reaksiyonun, oluşturduğu C-S-H jel formunun çimento hamurunun ince gözeneklerini doldurarak agrega altındaki zayıf bölgeyi iyileştirdiği dolayısıyla permeabilitenin azaldığı.
- Pirinç kabuğu külünün eklenen miktarlarının artışı ve öğütülmüş kül kullanımı ile terlemenin azaldığı ve en az terlemenin % 20 oranında öğütülmüş pirinç kabuğu külü kullanımı ile gerçekleştiği(Şekil 1).
- Yüksek su-çimento oranında özellikle kumun eklenmesi ile işlenebilirliğin iyileşmeye yöneldiği ancak süper akışkanlaştırıcı gibi işlenebilirlik için kullanılan katkıların karışıma ilave edilmemesi veya suyu azaltılmış karışımlar kullanılmaması durumunda pirinç kabuğu külünün yüksek su emme gücü etkisiyle kuru karışımların ortaya çıktığı ve dolayısıyla işlenebilirliğin olumsuz yönde etkilendiği(Şekil 2).
- Pirinç kabuğu külünün kullanılan büyük miktarlarının dayanımı düşürdüğü, en iyi dayanımın % 5 oranında öğütülmüş pirinç kabuğu külü kullanımı ile gerçekleştiği gözlemlenmiştir(Şekil 3)[11].



Şekil 1. Pirinç kabuğu külü katkıli çimento hamurunun terleme oranları[11].



Şekil 2. Pirinç kabuğu külü içeren çimento hamuru ve harcın akma tablası yayılımı [1].



Şekil 3. Pirinç kabuğu külü katkı çimento hamurunun basınç dayanımı [1].

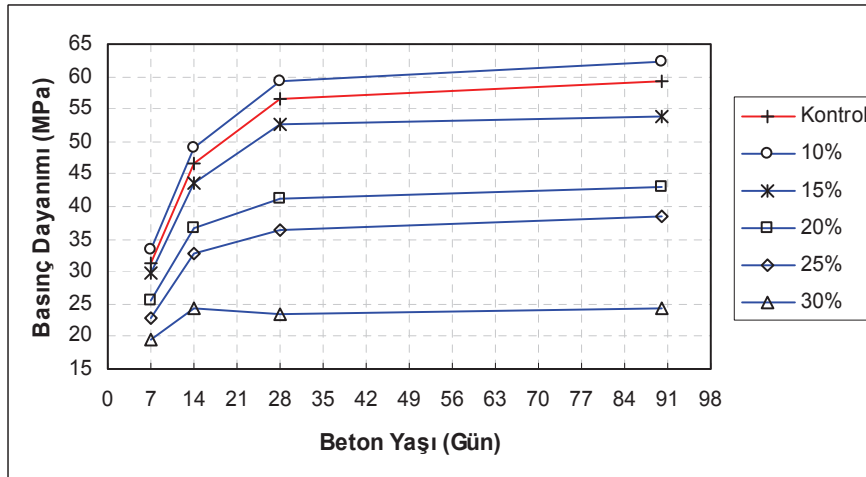
Pirinç kabuğu külünün artan miktarlarının basınç dayanımını düşürdüğü Şekil 3' de görülmektedir. Ancak yapılan araştırmalar betonda doğru miktarlarda pirinç kabuğu külü ve kimyasal katkı kullanımı ile pirinç kabuğu külünün yüksek puzolanik reaktivitesi sayesinde betonun ileri yaşlardaki dayanımının arttığı görülmüştür.

3.2. Basınç Dayanımı

Yıldız, Balaydın ve Ulucan tarafından pirinç kabuğu külünün basınç dayanımı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla %10-15-20-25-30 oranlarında pirinç kabuğu külü, çimento ile ikame edilerek beton numuneler hazırlanmış ve

numunelerin 7, 14, 28 ve 90. günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucu :

- %10 pirinç kabuğu külü içeren beton numunelerin basınç dayanımlarının, kontrol betonundan 7, 14, 28 ve 90. günlerde sırasıyla % 5.71, % 5.30, % 4.71, % 4.66 daha büyük çıktı.
- % 10 pirinç kabuğu külü içeren betonun dayanımındaki artışa rağmen, beton içerisindeki kül miktarının artmasıyla betonun basınç dayanımında sistematik bir azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4) [1].



Şekil 4. Numunelerin basınç dayanımlarının beton yaşına bağlı değişimleri [1].

3.3. Dayanıklılık

3.3.1. Klor Etkisine Karşı Dayanıklılık

Klor etkisi; betonu doğrudan etkilemek yerine, betonun içerisindeki donatıların korozyonuna sebep olması nedeniyle betonun maruz kaldığı diğer olumsuz şartlardan farklılık gösterir. Korozyon, donatının etrafında çimento hidratasyonunun başlamasından hemen sonra kendiliğinden oluşan ve korozyonu önleyen pasif katmanın, betona giren klorün etkisi altında parçalanmasıyla başlamaktadır [8].

Pirinç kabuğu külü mikro gözenekli yapısı ile suyun büyük miktarını emerek betonun geçirimsizliğini iyileştirir. Betona potansiyel yararlılığı olduğu gibi, çeliğin korozyonunun olduğu yerlerdeki uygulamalar için de yararlılığı büyük ilgi görür ve ortadır. Bundan dolayı, deniz ortamı gibi iyi durabilite ve su direnci ihtiyacı olan alanlar için pirinç kabuğu külü kullanımı oldukça önemlidir. Mehta tarafından klor etkisini belirlemek amacıyla sabit miktarlarda süper akışkanlaştırıcı kullanarak beton numuneler üretilmiş ve numunelerin klor geçirgenlikleri ile beton dayanımları test edilmiştir. Çalışma sonucunda:

- Pirinç kabuğu külünün miktarlarının artırılması ile beton geçirimsizliğinin iyileştirildiği (Şekil 5-6), dolayısıyla ileri yaşlardaki beton dayanımının arttığı.
- Pirinç kabuğu külü katkı betonların coulomb değerlerinin kontrol betonlara göre:

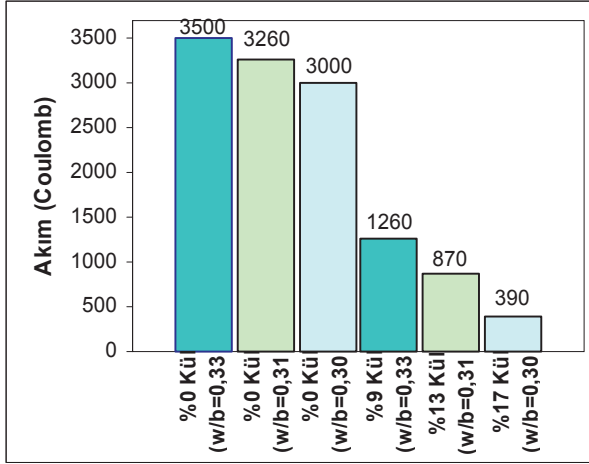
28 günlük:

0.30 w/b, %17 pirinç kabuğu külü % 87
0.31 w/b, %13 pirinç kabuğu külü % 73.31
0.33 w/b, %9 pirinç kabuğu külü % 64

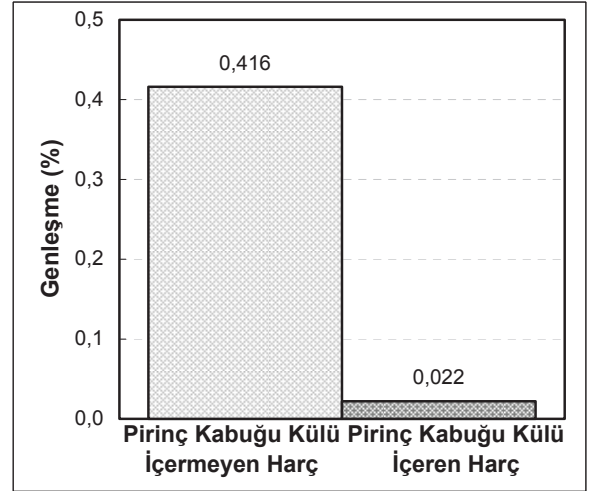
1 yıllık :

0.30 w/b, %17 pirinç kabuğu külü % 89.44
0.31 w/b, %13 pirinç kabuğu külü % 88.64
0.33 w/b, %9 pirinç kabuğu külü % 80.91

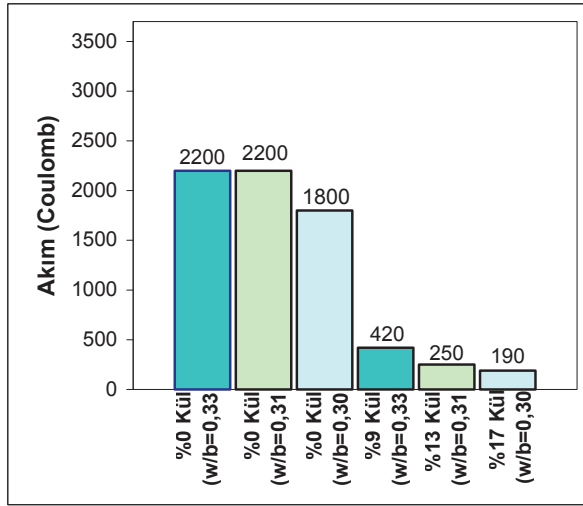
oranlarında azaldığı gözlemlenmiştir [12].



Şekil 5. Beton numunelerin 28 günlük klor permeabilitesi[12].



Şekil 7. Harçların alkali-silis genleşmesi düşüşü[13].



Şekil 6. Beton numunelerin 1 yıllık klor permeabilitesi[12].

3.3.2. Alkali-Agrege Reaksiyonuna Karşı Dayanıklılık

Betonda zamanla genleşme ve çatlamlara yol açan alkali-agrege reaksiyonları genellikle alkali-karbonat ve alkali-silika reaksiyonları olarak iki ana grupta ele alınır[7]:

1. Silis alkali-karbonat reaksiyonlarının kontrol altına alınmasında fazla etkili olmadığı bildirilmektedir.
2. Alkali-silika reaksiyonu, betona bazı puzolanların yeterli miktarda katılması halinde geçiktirilebilmekte veya önlenebilmektedir. Puzolanların ince taneleri içindeki silis, çimento hamuru gözenek sıvısındaki alkalileri (suda çözünen bazlar) hızla bağlayarak yoğunlukları ve sıvının pH değerini azaltır. Bu durumda gözenek sıvısında azalan alkalilerin agregeadaki reaktif silis ile reaksiyona girmeleri zorlaşır.

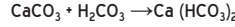
Mehta ve Folliad tarafından alkali-silis genleşmesi üzerinde pirinç kabuğu külünün etkisini belirlemek amacıyla %90 yüksek alkali portland çimentosu ve % 10 pirinç kabuğu külü içeren harç numuneler hazırlanmış ve ASTM C441 standardına göre alkali silis genleşme yüzdeleri test edilmiştir. Çalışma sonucunda:

- Pirinç kabuğu külünün çimentodan alkali karşılanmasının azalmasına yardımcı olduğu ve daha fazla reaktiviteye neden olan çimentodan alkali tükettiği dolayısıyla pirinç kabuğu külü içeren harcin büyümede 95% azalma gösterdiği(Şekil 7).
- Pirinç kabuğu külünün harcı çevreleyen suyu emerek gözenekli yapıyı rafine ettiği ve mikro gözenekli pirinç kabuğu külü ile agrege yüzeyine alkali iyonlarının difüzyonunu engellediği gözlenmiştir[13].

3.3.3. Çelik Donatı Korozyonuna Karşı Dayanıklılık

Betonarme yapılarda donatının korozyona uğraması yapının erken yaşta yıpranmasına neden olmaktadır. Beton tarafından sağlanan alkalın (Ca(OH)₂) ortamı çeliği korozyondan korur. Ancak, karbondioksit gazı ve klorür iyonları betona nüfuz ettiği zaman normal olarak pasif korozyon durumunda bulunan çelik üzerinde aktif korozyon süreci başlar. Korozyon ürünleri (pas), kendisini oluşturan orijinal çelik hacminin yaklaşık 2-4 katı kadar artar[14].

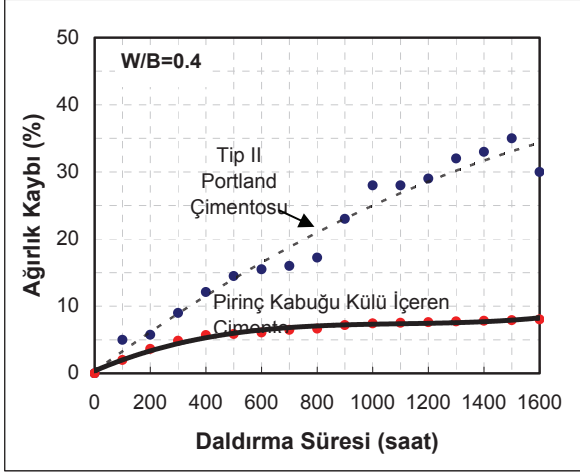
Taze betonda karışım suyu içinde fazla miktarda çözünmüş karbondioksit bulunması durumunda su ile karbonik asiti, CaO ile kalsiyum karbonatı oluşturduğu belirlenmiştir. Ortamda fazla olan karbonik asit kalsiyum karbonatı da kalsiyum bikarbonata dönüştürerek çözündürmekte ve betonu ayrıştırmaktadır :



Yüzeyde oluşan bu reaksiyon betonun içine yıllarca nüfuz eder. Yüzeydeki sertleşme ve kabuklaşma, betonun bu bölgelerinde ek gerilmeler oluşturur ve çatlamlara, yarılan beton örtünün atılmasına sebep olur[6].

Andersson tarafından asidik atağa karşı pirinç kabuğu külünün etkisini belirlemek amacıyla w/ç oranı 0,4 olan pirinç kabuğu külü katkı ve portland çimentolu referans beton silindirik numuneleri hazırlanmış daha sonra numuneler 5% HCL çözeltisi içinde sürekli batırma deneyine tabi tutulmuş ve numunelerin ağırlık kayıpları test edilmiştir. Çalışma sonucu:

- Pirinç kabuğu külü etkisiyle kalsiyum silis hidratların (C-S-H) oluşumu ve silis jelden dolayı katkılı numunelerin hidrasyon ürünlerinin asidik atağa karşı daha fazla dirence sahip olduğu.
- Tip II Portland çimentolu numunelerin yüzey yumuşaması ve yüzey dağılımına eğilimli olduğu, pirinç kabuğu külü katkı numunelerin ise kendi orijinal sert yüzeylerinin koruduğu ve daha az ağırlık kaybı gösterdiği(Şekil 8) gözlenmiştir[10].



Şekil 8. 5% HCL çözeltisi içinde sürekli batırma ile beton silindirlere ait ağırlık kaybı[10].

Hwang and Wu tarafından pirinç kabuğu külünün pH değeri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 700°C'de yanmış pirinç kabuğu külü ile 20, 10, 6.67, 5, 4, 3.33 w/pirinç k.k. oranlarında yapılan çalışmada pH değerlerinin sırasıyla:

- 1 günlük : %0.71, %0.20, %1.20, %0.20, %0.69
- 3 günlük : % 2.4, %0.92, %0, %0.71, %0
- 7 günlük: %2.09, %0.51, %1.63, %0.51, %0

oranlarında artışa sebep olduğu görülmüştür[11].

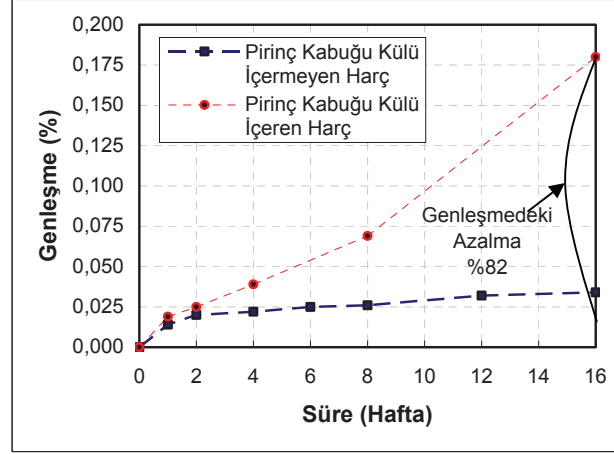
3.3.4. Sülfat Etkisine Karşı Dayanıklılık

Sülfat iyonları, çimento içindeki C₃A (tri kalsiyum alüminat) ile reaksiyona girerek etrenjit bileşimini meydana getirir. Bu reaksiyonu önlemek için çimento bileşimindeki tri kalsiyum alüminatın düşük olması (C₃A%6) gerekmektedir[15].

Donatıda kimyasal korozyonun meydana gelmesine neden olan, sülfat asitleri, deniz suyu ve klorürlerin zarar verebilmesi için beton içerisine girmiş olması gerekmektedir. Betonun permeabilitesi bu bakımdan da önemli görülmektedir. İç rutubet yükselmesinden, ısıdan ve ozmoz olayından dolayı aktif maddelerin beton içerisine doğru taşınması kimyasal tesirin gerçekleşmesinde etkin olmaktadır[14].

Mehta and Folliaod tarafından sülfat direncine karşı pirinç kabuğu külünün etkisini belirlemek amacıyla %90 yüksek C₃A portland çimentosu içeren ve w/ç oranı 0.485 olan referans harç numuneleri diğer taraftan da aynı akma değerlerin korunmasına göre su miktarları belirlenerek %10 pirinç kabuğu külü katkılı harç numuneleri hazırlanmıştır. Gereken 19.6 MPa dayanım numunelere 24 saatte kazandırılması için numuneler 38°C'de kür edilerek ASTM C1012 standardına göre sülfat çözeltisine daldırılmıştır(su litresi başına 50 g Na₂SO₄). Çalışma sonucunda:

- Pirinç kabuğu külü içeren harç numunelerinin genişlemesinin 16 hafta sonunda referans harç numunelerine göre %82 azaldığı, referans harç numunelerindeki genişlemenin de ilerleyen haftalarda devamlı olduğu(Şekil 9).
- Pirinç kabuğu külünün geçiş bölgesini güçlendirme etkisinden dolayı katkılı harç numunelerinin büyüme miktarlarının neredeyse istikrarlı olduğu gözlenmiştir[13].



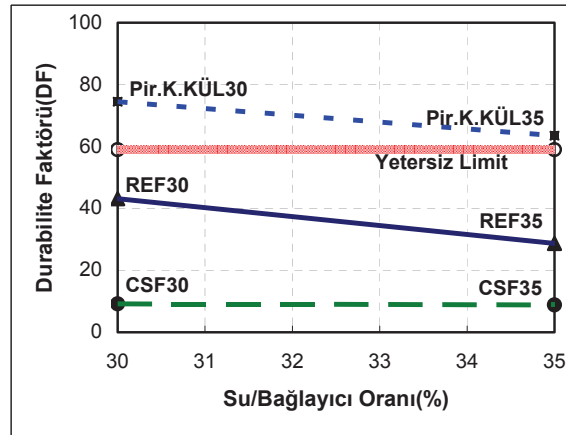
Şekil 9. Harç numunelerine ait sülfat genişmesi[13].

3.3.5. Donma-Çözünme Etkisine Karşı Dayanıklılık

Beton, boşluklarına önemli miktarda su alabilen bir malzeme olduğuna göre, donma olayının etkisi altında kalmaya ve bu olay sonucunda hasar görmeye elverişli bir malzemedir. Donma olayı önce büyük boşluklarda gerçekleşir. Suyun donma derecesi boşluk boyutları küçüldükçe artmaktadır. Bu nedenle iri boşluklarda başlayan donma olayı küçük boşluklara doğru gelişir ve bunun sonunda kılcak boşluklardaki su donmaya başlar. Jel boşluk boyutları küçük olduğundan buralarda buz kristalleri oluşamaz. Bu ince boşluklarda suyun donabilmesi için sıcaklık derecesinin -78°C'nin altına düşmesi gerekmektedir. Bu böyle olmakla beraber, jel suyu ile buzun etropilerindeki farklılıklardan dolayı, potansiyel enerjisi artan jel suyu kılcak boşluklara yönelerek donma olayının şiddetlenmesine neden olurlar. Betonun dona dayanıklı olabilmesi için kendisini oluşturan çimento hamurunun ve agreganın dona dayanıklı olması gerekir. Yapılan incelemelerde çimento hamurunda, dona dayanımın su/çimento oranına ve beton içine sürüklenmiş kabarcıklarının miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür[16].

Mehta and Folliaod tarafından donma-çözünmeye karşı pirinç kabuğu külünün etkisini belirlemek amacıyla 0.30 ve 0.35 w/c oranlarında konsantre silis dumanı(CSF) ve pirinç kabuğu külü içeren ayrıca katkısız referans prizma numuneler (76.2x101.6x406.4 mm; 3x4x16 inç) hazırlanmıştır. Bütün prizma numunelerinin karışımlarında su miktarını düşürmek amacıyla süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır(Çizelge 3). Prizmalar 14 gün kür edilmiş ve ASTM 666 ve yöntem A'ya göre donma çözünme testine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucu:

- Pirinç kabuğu külünün beton içerisinde oluşturduğu mikro gözenekli yapı ile iç gerilmeleri rahatlatarak ve mikro çatlakları azaltarak donma-çözünme direncini iyileştirdiği.
- REF30 betonunun dayanıklılık faktörünün 43, REF35 betonun ise 28 olduğu(Şekil 10).
- 0.30 ve 0.35 w/c oranlarına sahip CSF betonunun 101 ve 67 seri sonrası 10 değerinden daha da az don direncine sahip olduğu, 0.30 w/c oranına sahip referans betonun 0.35 w/c oranına sahip olan referans betondan daha iyi olduğu gözlenmiştir[13].



Şekil 10. Betonların dayanıklılık faktörleri[13].

4. Sonuçlar

Sürdürülebilir bir beton elde etmede önemli bir parametre olan beton dayanıklılığı üzerinde, pirinç kabuğu külünün etkisi ile ilgili yapılan çalışmaların araştırılması sonucu:

- Pirinç kabuğu külünün bir çok C-S-H jeli oluşturarak ve agrega ara yüzey geçiş bölgesinde olumlu etki yaratarak segregasyonda azalma meydana getirdiği buna bağlı olarak pirinç kabuğu külünün eklenen miktarlarının artışı ve öğütülmüş kül kullanımı ile çimento hamurundaki terlemenin azaldığı ve en az terlemenin % 20 oranında öğütülmüş pirinç kabuğu külü kullanımı ile gerçekleştiği.
- Yüksek su-bağlayıcı oranında özellikle kumun eklenmesi ile harcın işlenebilirliğinin iyileşmeye yöneldiği ancak pirinç kabuğu külünün yüksek su emme gücünden dolayı kuru karışımların ortaya çıkabileceği bu yüzden karışımlarda belli oranlarda süper akışkanlaştırıcı gibi kıvam ayarlayıcıların kullanılması ile işlenebilirliğin önemli derecede artacağı.
- Pirinç kabuğu külünün karışımda kullanılan doğru miktarlarının gözeneklilikte önemli derecede azalma meydana getirerek geçirimsizliği düşürdüğü buna bağlı olarak dayanımı arttırdığı ancak kullanılan büyük miktarlarının dayanımı olumsuz etkilediği.
- %10 pirinç kabuğu külü içeren beton numunelerin basınç dayanımlarının, referans betonundan 7, 14, 28 ve 90. günlerde sırasıyla % 5.71, % 5.30, % 4.71, % 4.66 daha büyük tespit edildiği ancak kül miktarı artışının %10'dan sonra basınç dayanımının düşürdüğü.
- Pirinç kabuğu külünün miktarlarının artırılması ile beton geçirimsizliğinin iyileştirildiği (Şekil 5-6), dolayısıyla ileri yaşlardaki beton dayanımının arttığı.
- İşlenebilirliğin sağlanması için süper akışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen betonlarda pirinç kabuğu külünün eklenen miktarlarının artırılması ile betonların klor etkisine karşı direncin artarak beton geçirimsizliğinin iyileştirildiği buna bağlı olarak ileri yaşlardaki beton dayanımlarının arttığı.
- %90 yüksek alkali portland çimentosu ve % 10 pirinç kabuğu külü içeren karışımdaki alkali-agrega reaksiyonundan kaynaklanan alkali-silis genleşmesine karşı pirinç kabuğu külünün iyi bir direnç göstererek genleşmede 95% azalmaya sebep olduğu.
- Pirinç kabuğu külü içeren betonların asidik atağa karşı daha fazla dirence sahip olduğu, daha az ağırlık kaybı gösterdiği dolayısıyla karbonatlaşmaya karşı direncin iyileştirildiği.
- Beton içerisindeki çelik donatı korozyonuna büyük etkisi olan pH değerini arttırdığı buna bağlı olarak çelik donatı korozyonuna karşı direncin iyileştirildiği.
- Pirinç kabuğu külü katkılı harçların sülfat atağına karşı oluşan genleşmesinin referans harçlara göre 16 hafta sonunda %82 oranında azaldığı ve pirinç kabuğu külünün geçiş bölgesini güçlendirme etkisinden dolayı genleşmede istikrarlı bir davranış gösterdiği.
- Pirinç kabuğu külünün beton içerisinde gözenekli bir yapı oluşturarak donma etkisine karşı iç gerilmeleri rahatlattığı ve mikro çatlakları azalttığı dolayısıyla donma-çözünme etkisine karşı direncin iyileştirildiği, buna bağlı olarak tespit edilen dayanıklılık faktörlerinin referans betonlara göre: 0.30 w/b oranında yaklaşık olarak %79.07; 0.35 su-bağlayıcı oranında da yaklaşık olarak %121 artış gösterdiği görülmüştür.

Yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular gösteriyor ki: pirinç kabuğu külünün beton özellikleri üzerindeki olumlu etkisi değerlendirildiğinde, pirinç kabuğu külünün kullanımı sadece çevre yönünden değil aynı zamanda beton durabilitesine dolayısı ile sürdürülebilir bir beton elde edilmesine de çok büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Yıldız, S., Balaydın, İ., Ulucan, Ç., "Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi", *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Türkiye, 19 (1): 85-91 (2007).
- [2]. Balaydın, İ., "Pirinç Kabuğu ve Külünün Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye, (2005). (Danışman: S. Yıldız).
- [3]. Erdoğan, S., Erdoğan, T., "Puzolanik Mineral Katkılar Ve Tarihi Geçmişleri", *2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Türkiye, 264-329 (13 Nisan 2007).
- [4]. Binici, H., Kaplan, H., Yaşarer, F., "Pomza Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonların Durabilitesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Türkiye, 13 (1): 40-47 (2009).
- [5]. Taşdemir, M. A., "Betonun Dayanım ve Durabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi", *Sürekli Eğitim Seminerleri*, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, Türkiye, (2 Kasım 2002).
- [6]. Küçük, B., "Betonun Dayanım Ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler", *Pamukkale Üniv. Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Türkiye, 6(1): 79-85 (2000).
- [7]. Yeğinobalı, A., "Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı", *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü*, Türkiye, Ankara, (2005).
- [8]. Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker, P., "Traslar ve Traslı Çimentolar", *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü*, Türkiye, Ankara, (2003).
- [9]. Bui, D. D., Hu, J., Stroeven, P., "Partide size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded portland cement concrete", *Cement and Concrete Composites*, 27: 357-366 (2005).
- [10]. Hwang, C. L., Chandra, S., "Waste Materials Used in Concrete Manufacturing", 184-234, *Noyes Publications*, Westwood, U.S.A., New Jersey, (1997).
- [11]. Hwang, C. L., and Wu, D. S., "Properties of Cement Paste Containing Rice Husk Ash", *American Concrete Institute*, (V. M. Malhotra ed.), Sp.114: 733-762 (1989).
- [12]. Mehta, P. K., "Rice Husk Ash-A Unique Supplementary Cementing Material", *Advances in Concrete Technology*, M.V. Malhotra ed., CANMET, Canada, Ottawa, (1992).
- [13]. Mehta, P. K. and Folliad, K. J., "Rice Husk Ash-a Unique Supplementary Cementing Material: Durability Aspect", *American Concrete Institute*, Sp.154: 531-542 (1995).
- [14]. Arslan, M., Subaşı, S., "Kalıp Teknolojilerindeki Gelişmelerin Betonarme Elemanların Dayanıklılığına Etkileri", *3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 355-370 (18-20 Ağustos 2003).
- [15]. Kılınçkale, F., "Betonda Dayanıklılık", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Türkiye, 427: 32-33 (2003).
- [16]. Subaşı, S., "Kalıp Yüzey Faklılıklarının Betonun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkileri", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, (2001).