

itüdergisi/a
mimarlık, planlama, tasarım
Cilt:4, Sayı:1, 37-46
Mart 2005

Yerfistiği kabuğunun agrega olarak kullanım olanakları

Çiğdem ÇELİK*, Erol GÜRDAL

İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Taşkışla, 34437, Taksim, İstanbul

Özet

Bu çalışmada yerfistiği hafif agregası kullanılarak üretilen çimento bağlayıcılı hafif malzemenin değişen agrega miktarına bağlı olarak mekanik mukavemetleri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada yerfistiği kabuğu hafif agregası ile ısı direnci yüksek, birim hacim ağırlığı düşük, mekanik mukavemetleri yeterli düzeyde olan bir yapı malzemesini üretebilmek amaçlanmıştır. Hafif agrega olarak Akdeniz bölgesi Adana ilinden elde edilen yerfistiği bitkisinin kabukları kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yerfistiği agregasının yapı malzemesi olarak yapı endüstrisine kazandırılabilceği görülmüştür. Bugünün gereksinmelerine göre, tarımsal atıklardan üretilen yapı malzemelerinin piyasaya kazandırılması, hem tüketicici, hem ülke ekonomisi, hem de tarım üreticileri için kalıcı, sağlıklı ve ekonomik çözümler oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Kompozit malzeme, hafif beton, tarımsal atık, yerfistiği kabuğu.*

Usage of possibilities of agricultural wastes as concrete aggregate

Abstract

In this study it is examined the mechanical properties of the light materials with cement building materials produced by using peanut shell light aggregate on the basis of the aggregate amount used. It is aimed to produce a building material with heat resistance, low density, mechanical properties at a suitable level by using the peanut shell light aggregate. The peanut shell obtained from the plants grown in Adana province in the Mediterranean region were used as light aggregate. As a result of the experiments it is seen that peanut aggregate can be used as a building material. This material can be used not only as a building plate but also within the particle plate industry. Today the natural sources decreases day by day and using the agricultural products in the particle plate production industry shall be a good solution for the material supplies. The peanut shells are granulated used for composites and mixing with the resins used for the binding process in order to increase the resistance and as a filling material. Gaining the building materials obtained from the agricultural wastes by considering the needs of today shall enable healthy, economical and cost effective solutions for the consumers, country economics and the farmers. Annual agricultural products are cheap, easy to raw material sours can be produced again and used in several different areas.

Keywords: *Composite material, light aggregate, agricultural waste, peanut shell.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Çiğdem ÇELİK.; Tel: (216) 384 65 47.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Mimarlık Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Yerfistiği kabuğunun agrega olarak kullanım olanaklarının araştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 22.12.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 15.04.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Malzeme teknolojisinin gelişmesi ve ilerlemesi, yapı elemanlarının kesitlerinde küçülmeyi sağlamış ve bu çabalar hafif yapı üretebilme amacına dönüşmüştür. Böylece taşıyıcı olmayan düşey yapı elemanlarında, eski yığma sistem ile üretilen kalın düşey elemanların yerini ince, hafif, mukavemeti yüksek yapı elemanları almıştır. Ancak, bu gelişme yapıda ısı, su ve ses ile ilgili bozulma ve hasarlara neden olmuş, başka bir ifade ile yapı fiziği problemleri yaratmıştır. Bu sonuç, yeni malzeme arayışlarını arttırmış, tek malzeme yerine malzemeleri birleştirip onların zayıf yönlerini tamamlayarak, amaca uygun malzeme üretme gerekliliğini ortaya koymuştur.

Ancak, kullanım amacına uygun malzeme üretimi arayışları hammadde problemi ile karşı karşıyadır. Doğal kaynakların giderek azaldığı çağımızda, hammadde kaynaklarına alternatif olabilecek kaynak çeşitliliğini arttırmak gerekmektedir.

Yıllık bitkilerden elde edilen kabuklar ya da atıklar, yeni ürünlere dönüştürülmek sureti ile ekonomik değer ve yapı sektörü için önemli bir kaynak oluşturabilir. Doğal kaynakların giderek yok olmaya başladığı bir dönemde, tarımsal atıkların kullanılmaya başlanması ürün çeşitliliğini, hammadde sayısını arttırdığı gibi çevre kirliliği problemini de yok edebilecektir.

Yıllık bitkilerden yerfıstığı bitkisinin kabuğunun kullanılmasında, konut açığı sorununun çözümü değil, konutta oluşan ya da oluşabilecek yapı fiziği problemlerinin çözümünde başarılı, nitelikli, birim hacim ağırlığı düşük, ısıl direnci yüksek, mekanik mukavemetleri yeterli düzeyde olan, ekonomik, kolay uygulanabilen, üretim süreci kısa kompozit malzeme üretmek amacı vardır.

Hammadde ihtiyacının karşılanması yapıda yapı fiziği problemlerinin çözümü dışında, atıkların kullanılması, bitki üreticisine hasat ettiği üründen elde ettiği kar dışında ek gelir sağlayabilecektir.

Yıllık bitkilerin hasat mevsimi kısa, atıkların toplanması ve taşınması zordur. Bu nedenle

yıllık tarımsal atıkların endüstriyel ürün olarak kullanımına pek yönelme olmamıştır. Ancak yerfıstığı bitkisi yılda iki kere hasat edilen bir üründür. Bunun yanısıra yerfıstığı kabuklarından yapı malzemesi elde etmek için malzeme üreticisinin bitkiyi meyvesinden ayırmak, toplamak ve taşımak gibi problemleri yoktur. Çünkü yerfıstığından yararlanmak için, fıstık üreticileri bu işlemleri zaten yapmak zorundadır. Yerfıstığı bitkisinin kabuğunu, yapı malzemesi üreticisi, fabrikadan meyvesinden ayrılmış biçimde hiçbir toplama, taşıma, ayırma süreci yaşamadan elde edebilecektir. Bu da malzeme üretim sürecinde önemli bir yarar sağlar.

Bu çalışmada deneysel çalışmaya dayalı hipotetik-dedüktif bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem bilindiği gibi açıklama vaat eden bir hipotez ya da test edilebilir sonuçlar çıkarmaya ve çıkarılan sonuçları, ilişkin oldukları gözlem ya da deney verileri ile karşılaştırmaya dayanmaktadır.

Kompozit malzeme ve hafif agregalar

Bu çalışmada üretilen malzeme belirli performanslarda yeterli düzeyde malzeme üretebilmek amacı ile birden fazla malzemenin fiziksel olarak karıştırılması ile bir araya getirilerek elde edilen kompozit bir malzemedir.

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden ya da farklı fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur. Kompozitlere donatılı ya da pekiştirilmiş malzemeler de denir (Onaran, 1999).

Kompozit malzemenin üretiminde hafif agrega olarak bu çalışmada yerfıstığı kabuğu kullanılmıştır.

Doğada bol miktarda bulunan agregalarla üretilen normal betonun birim ağırlığını düşürebilmek için düşük birim ağırlıklı hafif agrega ile beton üretme çalışmaları 1950'lerden beri araştırılan bir konu olmuştur.

Yeni yapım yöntemleri ile hafif agregaların, beton üretiminde kullanılması yapıya olumlu etkiler sağlamaktadır. Düşük birim ağırlıklı agregalar ile yapı ağırlığı önemli ölçüde azalmakta ve daha büyük açıklıkta yapılar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Yapı ağırlığının azalması, kesitlerin küçülmesine, donatının, maliyetin ve işçiliğin azalmasına neden olmaktadır. Taşıyıcı hafif beton üretiminde en yaygın yöntem de hafif agreganın kullanılmasıdır.

Hafif agregalar ya doğal olarak bulunurlar ya da yapay yolla elde edilirler. Hafif beton üretebilmek amacıyla kullanılan agregalar şunlardır:

- Doğal hafif agregalar: Ponza taşı, volkanik tüf, volkanik curuf.
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, şist ve arduvaz.
- Endüstriyel atıklardan oluşan agregalar: Curuf, uçucu kül.
- Endüstriyel atıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş curuf, kızdırılmış uçucu kül.
- Organik hafif agregalar: Hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları.
- Polimer kökenli malzemeler: Styropor (Taşdemir, 1982).

Ancak, agreganın olarak hangi malzeme seçilirse seçilsin üretimden kullanımına kadar gözetilmemesi gereken bazı hususlar vardır.

Bunlar:

- Ekonomi,
- Ham madde,
- Enerji,
- Bağlayıcı madde,
- Üretim yöntemi'dir.

Ekonomi; yıllık tarımsal atıkların agreganın olarak seçilmesi, kısıtlı üretimler düşünüldüğünde ekonomik, seri ve büyük üretimler için yetersizdir. Ancak, yerfıstığı üretimi yılda iki dönem yapıldığı için bu önemli bir problem oluşturmamaktadır. Genel olarak tarımsal atıkların değerlendirilmesi için tesisler tarımsal alanlarının merkezinde kurularsa, toplama, taşıma ve üretime

başlama süreci kısa ve ekonomik olacaktır. Ancak, yerfıstığı kabuklarını elde edebilmek için, malzeme üreticisinin ek bir çalışma yapmasına gerek yoktur. Çünkü fıstık üreticisi meyveyi değerlendirirken bu işlemi yapmak zorundadır. Bu nedenle malzeme üreticisi agregayı hammadde olarak hazır olarak elde edebilecektir.

Hammadde; yıllık ürünlerden elde edilen atık miktarı şehirden şehire hatta ülkeden ülkeye değişim göstermektedir. Hammaddenin türü ve miktarı belirlenmeli, mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilerek, buna göre üretim planı yapılmalıdır. Hammaddeyi yabancı maddelerden arındırmak için uygun sistem geliştirilmelidir. Üretim için maliyet hesapları yapılmalıdır.

Enerji; agregadan üretilen kompozit malzemenin kendi enerjisini koruma potansiyeli, ısı transferi özellikleri, birim hacim ağırlığı yapı içinde kullanımında önemlidir. Buna göre enerji analizleri yapılmalı ve geliştirme yolları araştırılmalıdır.

Bağlayıcı Madde; bağlayıcı madde olarak bilinen malzemeye su ilave edilerek meydana getirilen hamurun, zamanla plastikliğini kaybederek sertleşme özelliği vardır. Bağlayıcı madde arasında yağlı kireç, çimento ve alçı en önemlileridir. Ancak, son zamanlarda polimer esaslı bağlayıcılar da önemli bir yere sahip olmuşlardır. Bağlayıcı maddeler genellikle yalnız başına kullanılmazlar. İri ya da ince agregalarla birlikte kullanılırlar.

Üretim; tarımsal atık olarak adlandırılan yerfıstığı kabuklarının kompozit malzeme olarak değerlendirilebilmesi, benzer organik maddelerin de kullanımına önderlik edebilecektir. Bu tip tarımsal atıkların kullanımında en önemli nokta yenilenebilir kaynak olmalarıdır.

Yerfıstığı kabuklarının kullanımı

Dünyada üretilen tahıl sapları miktarı 1980'li yıllarda 880 milyon ton tahmin edilmekte ve bunun 550 milyon tonu buğday, 180 milyon tonu pirinç, 60 milyon tonu çavdar, 50 milyon tonu yulaf, 40 milyon tonunu arpa sapı oluştur-

maktadır. Bu tarımsal atıkların farklı sektörlerde değerlendirilmesi, ülkemize yeni bir ekonomik olanak sağlaması açısından önemlidir.

Dünya yarfıstığı üretimi ortalama 18.54 milyon tondur. Dünya üretiminin %33'ünü Hindistan tek başına karşılarken, Çin %26'sını, Afrika %24'ünü, Kuzey Amerika %10'unu ve Güney Amerika %7'sini karşılamaktadır. Türkiye'de %95'i Akdeniz bölgesinde olmak üzere 25.9.10³ hektar alanda 60-80 bin ton ürün elde edilmektedir. Yarfıstığı bitkisinin %35'ini kabuklar oluşturmaktadır (Çiçek, 1998).

Teknolojik gelişmelerin aksine, orman varlığı gün geçtikçe orman endüstrisinin talebine cevap verememektedir. Yapılan araştırmalarda, birçok yıllık bitki atığının yonga levha üretiminde başarı ile kullanılabilmesi belirlenmiştir. Tarımsal atıklar kontrplak, yapı levhası ve yonga levha üretiminde kullanılabilir. Üretimlerde, tarımsal atıklar genellikle hiçbir işleme tabi tutulmadan ham şekli ile kullanılmıştır. Böylece, atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesinde, hem atık ürün olması, hem de hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılması ekonomik bir malzeme üretilmesini sağlar. Bu amaçla kullanım için göl kamışı, ayçiçeği çekirdeği, keten kenevir sapı, şeker kamışı, fındık kabuğu, yarfıstığı kabuğu, antepfıstığı kabuğu, çay fabrikası atıkları, ayçiçeği sapsarı, tütün sapsarı sayılabilir (Özen, 1980; Depp ve Ernst, 1981).

Williamson ve Lathrop (1949), kontrplak üretiminde reçinelerin içinde dolgu maddesi olarak tarımsal atık pudrasını kullanmışlardır. Kontrplaklarda yapıştırıcı olarak fenol-formaldehit reçinesi içine buğday sapsarı, pamuk çekirdeği, yarfıstığı kabuğu, pirinç sapsarı gibi tarımsal atık pudrası kullanılmasının oldukça olumlu sonuçlar verdiğini gözlemişlerdir.

Tarımsal atık olarak isimlendirilen yarfıstığı kabukları ve benzeri atıkları polimer emdirerek değerlendirilmiştir. Bu dolgu maddeleri ile üretilmiş olan betonların sıradan çimentolu betonlara göre daha iyi fiziko mekanik özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir. Epoksi emdirilerek

güçlendirilen kabuklar ve iyi bir kum ile üretilen kompozitlerin kullanımının, hafif beton üretiminde çimentonun kullanımında da ekonomi sağlayacağı sonucuna varılmıştır (Aminabhavi vd., 1981).

Yarfıstığı kabuğu pudrası ayrıca dolgu malzemesi olarak da kullanılmıştır. Yarfıstığı kabuğu pudrası dolgusu ile üretilmiş polistren ya da polipropilenin, ahşap pudrası ile kıyaslandığında daha az su tutucu ve daha esnek bir yapıya sahip olduğu ispatlanmıştır. Ahşap görümlü plastik levhaların üretilmesinde de yarfıstığı kabukları kullanılmıştır (Lightsey vd., 1979).

Guozhen (1985, 1987), kısmi hidroliz metodu ile lignoselülozik maddelerden kompozit malzeme elde etmeye çalışmıştır. Kabukların içinde bulunan serbest haldeki şekerler hidrolize hemiselüloz yöntemi ile alarak, yüksek sıcaklıkta buhar ile selülozik materyalleri disperse edilerek kompozit malzeme üretmiş ve buharda biçim vermiştir.

Lightsey ve diğerleri (1979), yarfıstığı kabuklarından elde edilen pudrayı polipropilen için düşük maliyetli katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Örnekler üzerinde yapılan deneylerde gerilmeyi oluşturan kuvvetin azaldığı, buna rağmen eğilme dayanımının değişmeden uzamanın arttığını, gerilme özelliklerinin pudra danelerinin büyüklüğünden etkilenmediğini, ancak eğilme ve darbe dayanımının, kabuk tozları 30-40µ arasında iken maksimum değerde olduğunu gözlemişlerdir. Matris ve dolgu maddesi arasındaki yapışma aderansının oldukça iyi olduğunu gözlemişlerdir .

Yarfıstığı kabuğundan aktif karbon üretimi için yararlanmaya çalışılmıştır. Karbon içeren her madde aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır. Aktif karbon pek çok maddeyi adsorblama eğilimine sahip oluncaya kadar karbonizasyon, aktivasyon gibi bazı ön işlemlere tabi tutulan, amorf bir karbondur. Günümüzde pek çok uygulama alanı bulunmaktadır. Bunların en önemlisi gıda endüstrisi ve atık su uygulamalarıdır (Çiçek, 1998).

Maldas ve diğerleri (1992), HDPE (High density polyetilen) kompozitlerde yerfıstığı kabuğu pudrası katkısının performansını incelemiştir. Farklı boyutlardaki kabuk pudrasını, %5 oranında HDPE içine dolgu malzemesi olarak ilave etmişlerdir. Fıstık kabukları ilave edilen ve edilmeyen örneklerin HDPE kompozitlerde presleme ya da enjeksiyon yolu ile üretilen her iki karışımın mekanik mukavemetlerini kıyaslamışlardır. Fıstık kabukları ile üretilen örneklerin mekanik mukavemetlerinin üretilmeyenlere göre genellikle yüksek olduğunu ve %20-30 arasında kabuk pudrasının dolgu malzemesi olarak kullanılmasının termoplastik kompozitlerde potansiyel güçlendirici olarak olumlu yönlerini de belirtmişlerdir.

Kuo Cheng (1984, 1985), düşük maliyetli bir metod ile lignoselülozik materyalleri reçine kullanmadan, buharda işlem yaparak yapı levhası elde etmeye çalışmıştır. %8 neme sahip kabukları 280°C'de yüksek buhar basıncı altında 15 dakika tutmuş ve aniden buhar basıncını kaldırarak %40-60 neme ve %18.2 pentosana sahip olan kabukları, nemi %3-4'e gelinceye kadar kurutarak, 220°C'de ve yüksek basınç ile presleyerek yapı levhası elde etmiştir.

Yıllık tarımsal ürünler ucuz, yeniden elde edilebilir ve birçok yeni alanda kullanılabilir hammadde kaynağıdır. Kompozit malzeme üretimi için yıllık tarımsal ürünler önemli bir kaynak olarak gösterilebilir. Gelecekte organik olan bu ürünlerin kullanım alanları, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirginleştikçe gelişecektir. Bu çalışmada da, tarımsal atıklardan yerfıstığı kabuğunun yapı malzemesi olarak kullanılabilme olanakları incelenmiştir.

Örneklerin boyutu, karışımları, üretimi ve bakım şartları

Yerfıstığı kabuğu ile kompozit malzeme üretmek amacı ile örneklerin üretiminde belli bir sisteme göre hareket edilmiştir. Buna göre yerfıstığı kabukları, yabancı maddelerden arındırıldıktan sonra, tamburlu değirmende öğütülerek dane büyüklüğüne göre ayrılmıştır. Deneylerde, 2-4mm arasında daneler kullanılmıştır. Kabuklar, organik madde olduğundan 48 saat etüvde

bırakılarak, içinde bulunabilecek olası mantar ve bakteriler öldürülmeye çalışılmıştır. Daha sonra kabuklar plastik torbalar içinde muhafaza edilmiştir. Prizmatik örnekler üzerinde basınç ve eğilme deneyleri daha kolay yapılacağından üretilen örnek boyutu 4x4x16cm olarak saptanmıştır. Deneyler için üretilen örneklerde bağlayıcı olarak çimento kullanılmıştır.

Dane gruplarına göre ayrılan yerfıstığı kabukları ile, hesaplanan oranlarda karışımlar üretilmiştir. Üretilen örnekler, 24 saat sonra kalıptan alınarak, desikatörde soğutulmuş, daha sonra desikatörden alınan örnekler ise deneylerin uygulanacağı güne kadar oda koşullarında bekletilmiştir.

Yerfıstığı kabuğu organik kökenli bir malzeme olduğundan, bağlayıcı malzemeyi nasıl etkilediğini belirlemek için, kabuklar su ile ıslatılmıştır. Bir süre bekletildikten sonra, kabuklar sudan süzülerek elde edilen su ve bağlayıcı malzeme ile agregasız bir seri üretilmiştir (ÇA0). Böylece kabukların suya bıraktığı maddelerle bağlayıcı malzemenin nasıl etkileneceği uygulanacak olan deneyler ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada sürekli ve dağınık faz miktarları hacim oranı olarak ifade edilmiştir ($V_m; V_{ag}$). Karışımlarda 0.5-4mm ve 2-4mm arası agreganın kullanılması ve eldeki hafif agreganın birim hacimde belirli bir doluluğun üzerine çıkmaması nedeniyle, agregalı serilerde bileşimin analitik ifadesinde değişken olarak matris hacim oranları kullanılmıştır.

Karışımların kodlanmasında:

Ç0 : İçinde agreganın olmayan dolgun çimento hamuru serisi.

ÇA0 : İçinde agreganın olmayan ancak agreganın suyu ile üretilen çimento hamuru.

ÇA : Çimento bağlayıcı ve hafif agreganın (yerfıstığı kabukları) serisi.

Kodlama sistemi:

Çx . w . Vm / (GR)

Çx: Seri adı, w: Su/çimento oranı, Vm: Matris Hacim oranı, (GR):Dane boyutu.

Birim hacimde agrega hacim oranının erişebileceği üst sınır ($V_{ag\ max}$);

$$V_{ag\ max} = \frac{\Delta_{ag}}{\delta_{ag}} \Rightarrow \quad (1)$$

Δ_{ag} = Yığın Birim Ağırlığı (gr/cm^3)

δ_{ag} = Dane Birim Ağırlığı (gr/cm^3)

olarak saptanmıştır.

Bu yolla bulunan değer ile karışımda olabilecek max agrega miktarı belirlenmesi ile;

$$\begin{aligned} V_c &= \text{Kompozit malzeme hacmi,} \\ V_m &= \text{Matris hacim oranı,} \\ V_h &= \text{Hacimce hava boşluğu oranı} \\ V_{ag\ max} &= \text{Azami agrega hacim oranı,} \end{aligned}$$

Böylece;

$$V_c = V_m + V_{ag\ max} + V_h \quad (2)$$

İfadesi geçerli olmakta, V_h 'in hava boşlukları oranını belirttiği oran, $V_{ag\ max}$ değerinin aşılması ile karışımın giderek hafif agregalı ve yığılma boşluklu bir nitelik kazanmaktadır.

Yerfıstığı kabuklarının bulunan birim ağırlıklarına göre;

$$\Delta_{ag} = 0.187\ gr/dm^3$$

$$\delta_{ag} = 0.885\ gr/dm^3$$

$$V_{ag\ max} = 0.21\ \text{bulunmuştur.}$$

Elde edilen sonuca göre karışımda kullanılacak maksimum fıstık kabuğu hacim oranı %20 olarak alınmıştır. Buna göre agrega hacim oranı değiştirilerek seriler üretilmiştir. Deneylerde w oranı sabit tutulmuştur.

Organik maddeleri ekstraksiyon yöntemi ile alınan agreganın, bağlayıcı malzeme üzerindeki etkilerini incelemek için de seriler üretilmiştir.

Örnekler üzerinde yapılan deneyler fiziksel ve mekanik olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

Fiziksel deneyler: birim hacim ağırlık, kılcallık, kütlece su emme, kompasite (doluluk), porozite (gözeneklilik), ultra ses hızı, ultra ses hızı ile elastiklik modülünün bulunmasıdır. Mekanik deneyler: eğilme ve basınç dayanımlarının bulunması şeklindedir.

Sonuçlar

Günümüzde daha hafif, dayanım ve dayanıklılık bakımından performansı iyi, ekonomik az enerji ile üretilen ve çevre ile uyumlu malzemelere olan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemiz hem karasal hem de akdeniz iklimi etkisi altındadır. Soğuk bölgelerde hafif ya da yarı hafif betonlar kullanılırsa ısı yalıtımı problemi çözümlenmesinde yardımcı olabilir. İklimin yanında, en önemli bir problem deprem kuşağında yer almamızdır. Aynı şekilde hafif betonların kullanılması yapı ağırlığının azalması ile deprem yükleri etkisinde yapının daha az zorlanmasını sağlayabilecektir.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi:

Bu çalışmada yerfıstığı kabuğu hafif agregası kullanılarak üretilen çimento bağlayıcılı hafif malzemenin değişen agrega miktarına bağlı olarak mekanik mukavemetleri incelenmeye çalışılmıştır.

Deneylerde karışıma (0.5-4mm) ile (2-4mm) arasında yerfıstığı hafif agregası karıştırılmıştır. Agreganın maksimum hacim oranı $V_{ag\ max} = 0.21$ olarak bulunmuş; deneylerde $V_{ag\ max} = 20$ olarak alınmıştır.

Buna göre deney sonuçları ve bu sonuçların değerlendirilmesi ile yerfıstığı hafif agregası ile elde edilen bulgular:

Çimento bağlayıcılı serilerde $V_{ag\ max}$ 'e doğru tüm serilerin birim hacim ağırlıklarında azalma Şekil 1'de görülmektedir. Agregalı olan seriler birim hacim ağırlıkları için agregasız seriler ile karşılaştırıldığında %33 oranında azalma görülmüştür. Seriler içinde $1.32\ gr/cm^3$ ile ÇA 30 80/(2-4)I serisi en düşük birim hacim ağırlık değerine sahiptir. Aynı karışım oranlarında üretilen ancak, agregası suda bekletilerek üretilen ÇA0 30 80/(2-4)I serisi, biraz daha

yüksek bir birim hacim ağırlık değerine sahiptir. Agregada yüzeyinde bulunan toz parçacıkları suya geçtiğinden, mekanik kenetlenme artmaktadır. Yüzeydeki toz parçacıkları boşluk yaratarak malzemeyi hafifletmektedir. Bu nedenle, seriler içinde $\text{ÇA0 30 80}/(2-4)\text{I}$ $V_{\text{ag}}= 20$ olmasına rağmen $\text{ÇA 30 90}/(2-4)\text{I}$ ($V_{\text{ag}}= 10$)'a yakın bir değere sahiptir.

Çimentolu örneklerin agregasız (kabukların suda bekletilmesi ile elde edilen su-normal su) serilerinde, birim hacim ağırlık değeri azaldıkça kılcallık katsayısı da azalmaktadır. Agregalı olan serilerde ise birim hacim ağırlık değeri azaldıkça, kılcallık katsayısı artmıştır. Suda bekletilerek elde edilen agregada ile üretimi yapılan serilerin su emme özelliği azalmıştır. $\text{ÇA0-30-80}/(2-4)\text{I}$ serisinin kılcallık katsayısı birim hacim ağırlık değerinde olduğu gibi $\text{ÇA 30 90}/(2-4)\text{I}$ serisine oldukça yakın bir değerde olduğu görülmüştür. Kılcallık katsayısı seriler içinde minimum $0.0426 \text{ cm}/\sqrt{\text{dak}}$ ($\text{ÇA0-30-80}/(2-4)\text{I}$ serisi), maksimum $0.1967 \text{ cm}/\sqrt{\text{dak}}$ ($\text{ÇA-30-80}/(2-4)\text{I}$ serisi) olarak bulunmuştur.

Su emme deneyi kütlece su emme şeklinde yapılmıştır. Her iki bağlayıcı ile üretimi yapılan örneklerin su emme değerleri kılcallık deneyi sonuçlarına paralel bir durum sergilemiştir.

Çimentolu serilerin tamamında yapılan gözlem sonucunda, örneklerin mekanik dayanımları Şekil 2'de görüldüğü gibi; agreganın suda bekletilmesinden sonra süzülerek alınan agregada ile üretimi yapılan örneklerin mekanik mukavemetleri, aynı karışım oranlarına sahip normal agregada ile üretimi yapılan örneklerle göre oldukça yüksektir. Agreganın dane şekli ve yüzey yapısı malzemenin basınç dayanımından çok, eğilme dayanımı üzerinde etkilidir. Agregadaki ince madde miktarı agregada ile bağlayıcı madde arasındaki bağı zayıflatır. İnce madde miktarının çok olması ayrıca hafif betonun karma suyu ihtiyacını da arttırır, az da olsa betonun işlenebilmesini azaltır ve mekanik mukavemetlerinde azalma görülür.

Yerfıstığı agregası ile yapılan üretimlerde 2-4mm dane boyutlarında agregada kullanılmıştır.

Agregada şekil olarak genelde bilinen agregadaki gibi yuvarlak ya da köşeli değil, yassıdır. Agreganın yassı olması karışım kalıplara döküldükten sonra yassı olan yüzeyler üst üste tabaka oluşturmaktadır. Harç sallanıp kalıba yerleştirildikçe, agregalar genelde yer düzlemine paralel bir şekilde yerleşmektedirler. Çok düzenli bir yapıya sahip olmasa da örneklerde tabakalanmış bir yapı gözlenmiştir. Oluşan boşluklarda, arada dik ve düzensiz şekilde duran agregalardan kaynaklanmıştır. Bu nedenle çimento bağlayıcı ile üretilen örneklerde Şekil 3'te görüldüğü gibi kompozite oranında çok artma gözlenmemiştir.

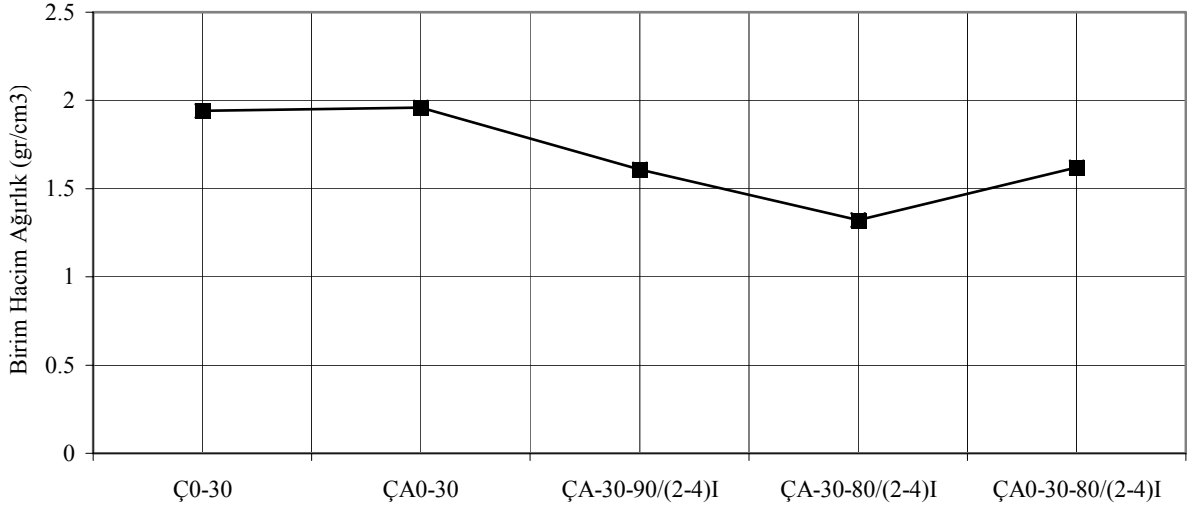
Agreganın yüzey yapısı, bağlayıcı hamur ile agregada arasındaki bağı ve karışımın su ihtiyacını belirler. Agregada danesi ile bağlayıcı arasındaki mekanik aderansa en kuvvetli etki yapan faktör agregaların yüzey pürüzlülüğüdür. Pürüzlülük fazla ise bağlayıcı hamur ile agregada arasında temas yüzeyi geniş olur. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılara bağlayıcı hamurun girmesi, bu iki farklı malzemenin birbirinden ayrılmasını güçleştirir ve mekanik kenetlenme artar. Yerfıstığı kabuğu hafif agregası ile bağlayıcı hamur arasında oluşan bağ mekaniktir.

Agreganın yüzey özelliklerinden kaynaklanan bu tip bağ modelinde yerfıstığı kabuklarının yüzeyinin pürüzlü olmasından kaynaklanmaktadır. Bağlayıcı hamur yüzeydeki bu pürüzlülük sayesinde yüzeydeki küçük boşluklara yerleşebilir. Matris fazı ile dağınık faz arasında sürekli bir bağ oluşmuş olur. Burada bağlayıcı hamurun inceliği önem kazanmaktadır. Bu sayede kenetlenme oranına bağlı olarak mekanik özellikleri de artmaktadır.

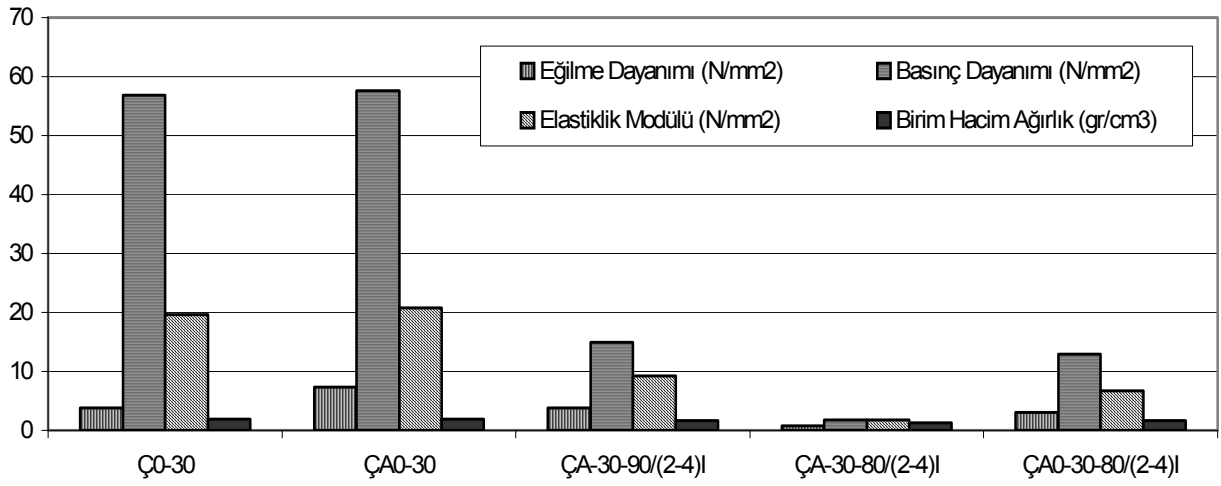
Deney sonuçlarından uygulamada yararlanma şekilleri

Yerfıstığı kabuklarını hafif agregada olarak kullanarak, çimento bağlayıcı ile üretimi yapılan örneklerin deney sonuçlarına göre malzemeden uygulamada yararlanma şekilleri;

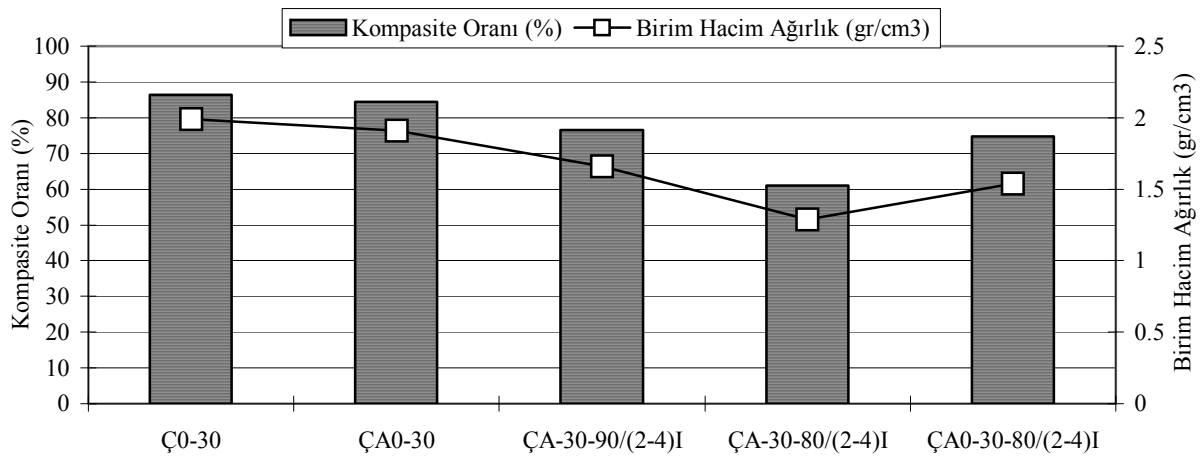
- Düşük birim hacim ağırlık ve ısı direnci yüksek, mekanik mukavemetleri yeterli düzeyde olan malzemeler üretmek mümkün olabilecektir.



Şekil 1. Çimento bağlayıcılı örneklerin birim hacim ağırlıkları



Şekil 2. Çimento bağlayıcılı örneklerin mekanik dayanımları



Şekil 3. Çimento bağlayıcılı örneklerin mekanik komposite-birim hacim ağırlık değerleri

•Deney sonuçlarına göre, $V_{ag\ max}$ sınırları içinde örneklerin ısı direnci yüksektir. Matris ve agrega hacim oranlarında amaca uygun değişiklikler yapılarak yalıtım özellikleri artırılabilir.

•Su/bağlayıcı ve agrega miktarının karışımdaki oranlarında, kullanım amacına uygun olarak (dolgu malzemesi, levha, kaplama, ısı direnci yüksek malzeme, düşük birim hacim ağırlıklı malzeme gibi) kontrol edilebilmesi olumlu bir özelliktir.

•Malzeme karışımlarının kalıplanabilme ve şekillendirilebilme özellikleri ile amaca ve kullanıma uygun ön yapımlı, prefabrik ve yerinde yapı elemanları üretebilmek mümkün olacaktır.

•Yerfistığı kabuklarının yapı malzemesi olarak kullanılması ile yapı endüstrisine, hammadde problemi yaşanmadan, ekonomik bir şekilde yeni malzeme kazandırılmış olacaktır. Yerfistığının yalnız bu çalışma içindeki şekli ile değil, farklı bağlayıcılar ile farklı şekillerde kullanım olanakları arttırabileceği gibi, diğer tarımsal ürünlerden elde edilen kabukların, sapların, kısaca atıkların kullanımında da rehberlik edilecektir. Böylece düşük maliyetli, ancak, nitelikli malzemeler elde edilebilir.

•Yapı endüstrisinde yerfistığı kabuğunun yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ile, yeni pazar oluşumunu sağlayabilir, yeni iş sahaları yaratabilir.

•Yerfistığı kabukları hafif agregası ile üretilen malzeme dolgu betonu olarak kullanılabilir. Üretilen örneklerde de gözlemlendiği gibi, su emmesi daha düşüktür ve mekanik dayanımları oldukça yeterli düzeydedir. Dolgu betonları yapı için ek bir yük oluşturduklarından genellikle hafif agrega ile üretilmektedir. Beton ısı yalıtım malzemesi değildir. Ancak, kullanılan agrega ile ısı direnci artırılabilir. Bu çalışmada da yerfistığı kabuğu ile hafif betonun ısı direnci özelliği artmıştır.

•Yerfistığı kabuğu çimento bağlayıcı ile üretilen örnekler süneklik kazandırmıştır. Bu kaplama ve bölücü eleman üretiminde olumlu bir özel-

liktir. Dış hava koşullarına dayanıklı ve uyumlu olması açısından, çimento bağlayıcılı birleşimler dış mekanlarda kaplama olarak kullanılabilir.

•Yerfistığı agregalı alçı bağlayıcılı harçlar kaplama işlerinde ve dekoratif amaçlı olarak kullanılabilir. Agrega dane boyutu değiştirilerek, amaca uygun, estetik çözümler üretilebilir. Malzeme levha şeklinde üretilerek, parçalar halinde mekanlarda kaplamalar yapılabilir. Malzeme içeriğinde alçı bağlayıcı olduğundan duvara yapıştırma işleminde de alçı kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmalarım sırasında beni destekleyen, Sayın Prof. Dr. Nihat TOYDEMİR'i sevgi ve saygı ile anıyor, rahmet diliyorum. Ayrıca, değerli bilgileri ile beni yönlendiren ve destekleyen danışmanım, Sayın Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Aminabhavi, T.M., Patel, R. C., Biradar, N. S., (1981). Inst. Colloid Surf. Sci., Clarkson Coll. Technol., Potsdam, Polymer Composites.
- Çiçek, İ., (1998). Tarımsal kaynaklı atıklardan aktif karbon üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Müh., İstanbul.
- Depp. H. J., Ernst. K., (1981). Taschenbuch der Spanplatten technik 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart.
- Guozhen S., (1985, 1987). Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu CN 85,105,958 (Cl. B27N3/00), 25 Feb, Appl. 06 Aug, 17.
- Kuo Cheng, S., (1984, 1985). Eur. Pat. Appl. EP 161,766 (Cl. B27N3/04) 21 November, JP Appl. 84/62,946; 30 Marc, 22.
- Lightsey, G.R., Herzog, B.D., Short, P.H., Mann, L., (1979). Dep. Chem. Eng., Mississippi State Univ., Mississippi State, MS USA, Plast. Des. Process.
- Maldas, D., Kokta, B.V., Nizio, J., (1992). Cent. Rech. Pates Pap., Univ. Quebec, Trois-Rivieres, PQ Can. G9A 5H7, Introduction Polymer Materials.
- Onaran, K., (1999). Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

Özen R., (1980). Yonga Levha Endüstrisi Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi Ders Notları, Yayın No:30, Trabzon.
Taşdemir, M. A., (1982). Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları,

Doktora Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
Williamson, R. V., Lathrop, E. C., (1949). *Modern Plastics* **27**, 2, 111.