

Atık PVC Katkılı Hafif Betonların Özellikleri ve Tarımsal Yapılarda Kullanım Olanakları

S. Şahin¹

S. Karaman²

İ. Örüng¹

¹Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum
²Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Tokat

Bu çalışmada, Van-Erciş yöresinden sağlanan doğal hafif agregaya, PVC atıklarının değişen oranlarda ilavesi ile üretilen hafif betonların bazı özellikleri araştırılmıştır. Araştırmada, agregada olarak Van-Erciş hafif agregası ve bununla birlikte PVC atıkları kullanılarak birim hacim ağırlığı düşük, basınç dayanımı yeterli düzeyde ve su emme miktarı az olan yapı malzemesinin üretilmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda üretilen hafif malzemenin birim hacim ağırlığı 760-883 kg/m³, basınç dayanımı 21,4-37,7 kgf/cm² ve su emme değerleri ise % 23,4 ile % 32,3 arasında değiştiği görülmüştür. Örneklerde atık PVC'nin karışım içerisindeki oranı arttıkça örneklerin birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımının arttığı, buna karşın su emme miktarının azaldığı belirlenmiştir. Üretilen bu malzemenin tarımsal yapılarda, özellikle çevre koşullarının kontrolünün önemli olduğu hayvan barınaklarında, depolama yapılarında ve konutlarda duvar blok elemanları olarak kullanılması yarar sağlayabilir. Bugünün gereksinimlerine göre PVC atıklardan üretilen yapı malzemelerinin piyasaya kazandırılması hem ülke ekonomisi, hem de çevre kirliliği yönünden yararlı ve ekonomik çözümler oluşturacaktır.

Anahtar kelimeler: Hafif beton, PVC atıkları, tarımsal yapılar

Material Characteristic of Lightweight Concretes With Waste PVC Additive and Their Possible Utilization in Agricultural Structures

In this study, characteristics of lightweight concretes prepared adding waste PVC materials at different rates into natural lightweight aggregates of Van Ercis region were investigated. The aims of the study were to propose and produce a construction material with low unit weight, sufficient pressure resistance and low water absorption capacity. The unit weight of leight weight material produced was ranged from 760 to 883 kg/m³, compressive strenght was ranged from 21.4 to 37.7 kgf/cm², and water absorption values were changed between 23.4 % and 32.3 %. The bulk density and compressive strength of samples were increasing with increasing waste PVC mixture, whereas, water absorbtion was decreased with the same amount of additions. The results of the study indicated that produced lightweight material could safely be used in agricultural structures, especially in animal housing facilities with sensitive environmental conditions, in storage facilities and houses as wall block materials. Introducing a material produced with waste PVC material into the construction market will provide several benefits to economy, and environment.

Keywords: Lightweight concretes, Waste PVC, Agricultural Structures

Giriş

Hafif agregada, gevşek birim ağırlıklarının en büyük değeri 1200 kg/m³'ü aşmayan, kırılmış veya kırılmamış gözenekli inorganik agregadır (Anonim, 1986). Hafif agregalar yapay ve doğal olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Postacioğlu, 1987). Yapay hafif agregalar, doğadaki malzemeye ısı işlem uygulanarak elde edilir (Anonymous, 1998a). Doğal hafif agregalar, doğada bulunan volkanik taşların parçalanması sonucu oluşmuş pomza veya sünger taşı adları ile bilinmektedir (Postacioğlu,

1987). Pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşan gözenekli, doğal kökenli hafif bir kayalık türü olup en fazla inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak değişik amaçlarla üretilen hafif betonun elde edilmesinde agregada olarak kullanılmaktadır (Ceylan, 2005). Agregaların özellikleri bunlarla yapılacak betonun özelliklerini etkiler. Agregaların fiziksel dayanımı, tanelerin şekli ve yüzey yapısı, birim ağırlığı ve su emmesi, granülometrisi, nem etkisiyle oluşan boyut değişimleri beton yapımında önem taşır.

Normal betonların sakıncalı yönlerini giderebilmek, daha ekonomik ve kullanışlı betonlar elde etmek için, içinde bulunduğumuz yüzyılda yeni betonlar üretme yoluna gidilmiştir. Bunun için özellikle değişik agregalar ve katkı maddeleri eklenerek karışım oranlarını değiştirip, yalnızca normal agrega ve çimento kullanılmasıyla yapım tekniğinde değişiklik yaparak, ya da bu yöntemlerden bir kaçını birlikte kullanılarak özel betonlar üretilmiştir (Baradan, 1991). Özel amaçlı betonların başında hafif betonlar gelir. Hafif betonun dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanılmasında başarılı sonuçların elde edilmesiyle, bugün artık yalıtım görevine ek olarak taşıyıcı özelliği olan elemanlarda da kullanılmaya başlanmıştır (Açıkel, 1995). Taşıyıcı hafif betonlar; duvar, panel ve blokların yapımında, çatı katı döşemelerinde, köprü açıklıklarında, ön yapımlı beton ünitelerinde kullanılır. Özellikle deprem bölgelerindeki yapıların oluşturulmasında daha çok hafif betonlar tercih edilmektedir (Sari ve Pasamehmetoglu, 2005). Hafif agregalarla üretilen betonların ısı iletkenlikleri düşük, ateşe dayanıklılığı yüksek ve donma-çözölmeye karşı da dayanıklılıkları da fazladır (Hüsem, 1995; Durmuş ve ark., 1996). Bu özellikler göz önünde tutulursa özellikle deprem bölgelerinde hafif betonun kullanılması depremin yapı üzerindeki etkisini azaltacağından, güven ve ekonomi yönünden önemli bir üstünlük sağlayacaktır (Gül ve Gençten, 1993). Bu nedenle kırsal yörelerde yaygın olarak bulunan doğal hafif agregaların, yerinde değerlendirilerek hafif beton yapımında kullanılması ve tarımsal yapılarda uygulanması olanakları araştırılmalıdır (Turgutalp, 1978).

Hafif betonların su emmesi, normal betonlardan fazladır (Açıkel, 1995). Betonun gözeneklerinde bulunan su mekanik ve termik özellikleri olumsuz yönde etkilediğinden, betonların hiç su emmemesi ya da az su emmesi istenir. Su emme oranları normal betonlarda % 10'dan, genleşmiş kil ve şist betonlarında % 20'den az olup, genleşmiş fırın cürufu betonlarında % 15-25, pomza ve genleşmiş perlit betonlarında ise % 20-35 arasında olmaktadır. Bu oran gaz betonda % 25-35 ve genleşmiş polistren betonlarda %10-15 arasındadır (Çankıran, 1997). Hafif agregalı betonların su emme oranlarının azaltılması ve bu yönden daha kaliteli hafif beton üretilmesi

amacıyla bir çok araştırma yapılmaktadır (Basri and et al., 1999; Rossignolo and Agnesini, 2002).

PET (Polyethylene terephthalate) şişesi atıklarından elde edilen hafif agregadan üretilen betonun özelliklerinin incelendiği bir araştırmada, ince agreganın yerine hafif agrega olarak belirli oranlarda atık PET agregası kullanıldığında betonun bazı özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir (Choi and et al., 2005). Üretilen plastik malzemelerin çoğu, kullanımdan sonra fonksiyonunu kaybetmekte ve plastik atık olarak terk edilmektedir. Plastiklerin geri kazanım işlemi maliyeti düşük olmamakla birlikte, kullanılmış malzemenin çevreyi kirletmesi durumu göz önünde bulundurulduğunda daha avantajlı kabul edilebilmektedir. Plastiklerin bir çeşidi olan ve vinil klorürden üretilen PVC'nin sert ve fleksibül olarak iki çeşit kullanım alanı vardır. Sert PVC daha çok boru, pencere profili, duvar kaplamaları vb. alanlarda kullanılır. Bunlar iklim koşullarına dayanıklı, dayanımı yüksek, sert ve kendi kendine yanmazlık özelliklerine sahiptirler. Yumuşak veya fleksibül PVC türleri ise daha çok kablo sanayi, yer döşemeleri, oyuncak ve eldiven yapımında kullanılmaktadır (Aydın, 2004).

Teknolojinin geliştiği, enerjinin her geçen gün daha da değerlendirildiği günümüzde kullanışlı, ekonomik ve güven duygusu veren yapıların oluşturulması gerekir. Ayrıca ülkemizin atıl durumda bulunan kaynaklarının değerlendirilmesi, toplumsal refahın artırılması yönünden de önemlidir. Bu çalışmada, Van'ın Erciş yöresinden sağlanan doğal hafif agrega ile PVC atıklarından elde edilen agrega kullanılarak üretilen hafif betonların bazı önemli özellikleri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma materyalini Van-Erciş yöresinden elde edilen volkanik kökenli, beyaz ve kirli beyaz renkte olan pomza taşı ile PVC atıkları oluşturmaktadır. Bağlayıcı olarak Erzurum-Aşkale Çimento Fabrikası üretimi olan CEM II/B-M 32.5 R(P-L) çimentosu, karışım suyu olarak da şebeke suyu kullanılmıştır. Çimento ve Van-Erciş hafif agregasının kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de (Şahin, 2002; Demirboğa ve ark., 2000), çimentonun fiziksel ve mekaniksel özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimento ve hafif agreganın kimyasal analiz sonuçları
Table 1. Chemical components of cement and lightweight aggregate

Kimyasal bileşenler Chemical Components	Çimento (%) Cement (%)	Agrega (%) Aggregate (%)
MgO	2.99	0.01
Al ₂ O ₃	6.34	13.20
SiO ₂	26.14	71.35
CaO	49.13	1.84
Fe ₂ O ₃	4.08	1.54
SO ₃	2.26	0.04
K ₂ O	0.67	5.00
Na ₂ O	0.55	3.40
Kızdırma kaybı/ LOI	6.8	3.37
Serbest CaO/Free CaO	0.12	-
Belirlenemeyen/ Undetermined	1.05	-

Araştırmada kullanılan hafif agregalar üzerinde Anonim (1986)'de belirtilen tane büyüklüğü dağılımı, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme oranı deneyleri yapılmıştır. Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı Anonim (1980a)'e göre belirlenmiştir. Agregaların gevşek birim hacim ağırlıkları (Anonim,1980b) ve su emme oranı da Anonim (1980c), Anonymous (1998b) ve Anonymous (1998c)'a göre belirlenmiştir. Hafif agreganın fırın-kuru örnekleri üzerinde, Anonymous (1985a) ve Anonim (1985b)'e uygun kare gözlü elek takımı ile yapılan elek analizi sonucu elde edilen değerlere göre granülometri eğrisi çizilmiştir (Şekil 1). Atık PVC, kangal boru ve diğer boru üretimi yapan atölyelerde yeniden üretim için atık PVC borularının kırma makinasında parçalanması ile değerlendirilmektedir. Bu parçalanmış malzemeden 4/16 mm tane çapında malzeme alınarak araştırmada kullanılmıştır (Şekil 2).

Çoğunlukla hafif agregalı betonların net su/çimento oranı, karışım hesabına temel olabilecek yeterli doğrulukta saptanamadığından, hafif agregalı beton karışımları önerilen koşuldaki kıvamda, çimento dozuna göre bir seri deney karışımı yapılarak hesaplanmalıdır (Anonim, 1977). Bu nedenle karışım oranlarının belirlenmesinde ve karışımların ayarlanmasında Anonim (1978)'de öngörülen kurallar göz önünde tutularak, Anonymous (1991)'da hafif betonlar için geliştirilen yöntemler izlenmiş, agregaların

piknometre yöntemine göre saptanan 10 dakikalık özgül ağırlık faktörleri karışım hesaplarında kullanılmıştır.

Çizelge 2.Çimentonun fiziksel ve mekaniksel özellikleri

Table 2. Physical and mechanical properties of cement

Özgül yüzey/Specific surface (cm ² /g)	4592
Priz başlangıcı/ Setting time start (h-min)	3-26
Priz sonu/ Setting time start (h-min)	4-27
Özgül ağırlık/ Specific gravity (gr/cm ³)	2.86
Litre ağırlığı/ Litre weight (gr)	953
Hacim genişlemesi/ Volume expansion (mm)	1
Basınç dayanımı/ Compressive strenght (N/mm ²)	2 gün/day 15.3 7 gün/day 27.7 28 gün/day 42.2

Araştırmada PVC atıkları, karışımdaki toplam iri hafif agregaya ağırlığına oranla % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında kullanılarak 200 ve 250 kg/m³ dozajlı, 150x300 mm ölçülerinde, her seriden 3'er adet olmak üzere silindirik beton örnekleri üretilmiştir. Hazırlanan karışımlar silindirik kalıplara yerleştirilerek laboratuvar koşullarında 1 gün saklanıp kalıptan çıkarıldıktan sonra, kür havuzuna konulmuş ve

üretim tarihini izleyen 28 günün sonunda birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve su emme gibi fiziksel ve mekanik özellikleri saptanmıştır. Sertleşmiş beton örneklerinin basınç dayanımları, 200 ton yükleme kapasitesine sahip kalibrasyonlu hidrolik pres kullanılarak belirlenmiştir (Anonim, 1981; Anonim, 1990).

Bulgular ve Tartışma

Agrega özellikleri

Hafif agregaların fırın-kuru gevşek birim ağırlıkları iri, ince ve karışık agregalar için sırasıyla 1000 kg/m³, 1200 kg/m³ ve 1100 kg/m³'den fazla olmamalıdır (Anonim, 1986).

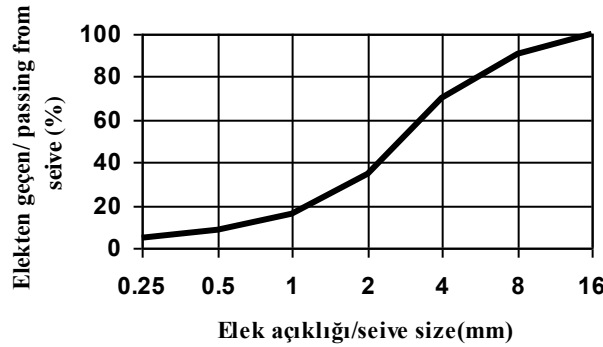
Taşıyıcı betonlar, duvar birimleri ve yalıtım betonlarında kullanılacak hafif agregalar için de yukarıdaki sıraya uygun olarak 880 kg/m³, 1120 kg/m³ ve 1040 kg/m³'tür (Anonymous, 1998a;d). Araştırma malzemesini oluşturan 0/4 ve 4/16 mm tane sınıflarındaki Van-Erciş hafif agregası için fırın-kuru ve gevşek birim ağırlıkları sırasıyla 575 kg/m³, 398 kg/m³ ve PVC agregasının 4/16 mm tane sınıfındaki gevşek birim ağırlığı ise 427 kg/m³ olduğu görülmektedir (Çizelge 3). Bu hafif agregaya ile

kısmen yalıtım betonu ve orta derecede dayanımlı beton üretme olanağı bulunmaktadır.

Beton özellikleri

Araştırmada üretilen 200 kg/m³ çimento dozajlı hafif betonun birim ağırlığı % 0, % 10, % 20 ve % 30 PVC karışım oranlarına göre sırasıyla 760, 767, 779 ve 792 kg/m³ olmuştur. 250 kg/m³ çimento dozajlı hafif betonun birim ağırlığı ise 853, 866, 873 ve 883 kg/m³'tür. Elde edilen sonuçlara göre, karışımlardaki PVC agregaya oranının artması, betonun birim ağırlığını da artırmıştır (Şekil 3).

Beton hacim ağırlığı, sertleşme süresi ve nem durumuna göre farklı değerler alır ve taze betonun veya 28 günlük sertleşmiş betonun fırın veya hava-kuru birim ağırlıkları olarak belirtilir. Hafif agregaya betonu genellikle 1850 kg/m³'ten daha az birim ağırlığa sahip betondur. Üretim yöntemine ve agregaya çeşidine göre 560-1850 kg/m³ arasında değişiklik gösterebilir (Urhan, 1993). Birim ağırlıkları genellikle 800 kg/m³'ten az olan betonlar, düşük dayanımlı yalıtım veya dolgu betonu şeklindedir (Neville, 1999).



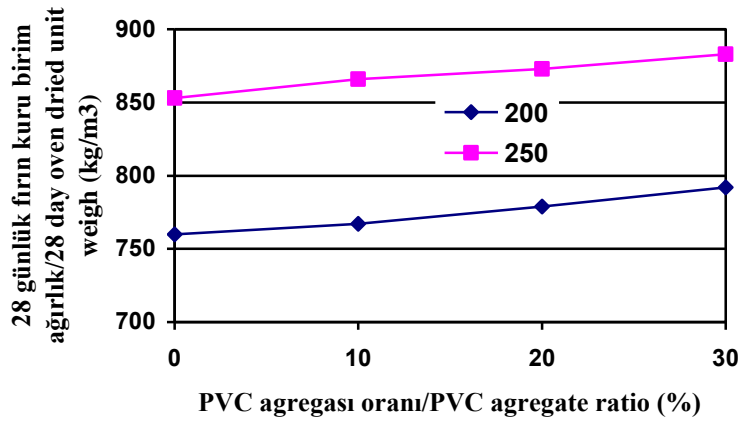
Şekil 1. Van-Erciş hafif agregasının granülometri eğrisi
Figure 1. Grading curve of Van-Erciş lightweight aggregate



Şekil 2. PVC agregası
Figure 2. PVC aggregate

Çizelge 3. Hafif agrega ve PVC agregasının birim ağırlık ve su emme değerleri
Table 3. Unit weight and water absorbtion values of lightweight aggregate and PVC aggregates

	Tane sınıfları/ Grain classes	Gevşek birim ağırlık/ Loose unit weight (kg/m ³)	Su emme/ Water absorbtion (%)
Van-Erciş hafif agregası/ Van- Erciş light aggregates	İri/ coarse (4/16)	398	42
	İnce/Fibe (0/4)	575	29
PVC agregası/ PVC aggregates	İri/coarse (4/16)	427	-



Şekil 3. Betonların birim ağırlıklarının PVC agregası oranı ile değişimi
Figure 3. Change in unit weight of cements with PVC aggregate rate

Hafif agrega ve PVC agregası ile hazırlanan örneklerin 28 günlük basınç dayanımları test edilmiş ve elde edilen basınç dayanımı değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. 200 kg/m³ çimento dozajlı örneklerin % 0, % 10, % 20 ve % 30 PVC agrega karışım oranlarına göre 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 21,4; 22,7; 25,6 ve 27,4 kgf/cm² olmuştur. 250 kg/m³ çimento dozajlı örnklerde ise 32,4; 34,1; 36,3 ve 37,7 kgf/cm² elde edilmiştir.

Hafif beton, basınç dayanımı esas alınarak kullanılma amacına göre sınıflandırılmakta olup, bu sınıflandırma 28 günlük basınç dayanımı 170 kgf/cm²'den az olmayan, birim ağırlıkları 1400-1800 kg/m³ olan yapısal hafif beton; duvar birimleri üretimine uygun, basınç dayanımları 70-175 kgf/cm² olan hafif beton ve dayanımları 7-70 kgf/cm², birim ağırlıkları genellikle 800 kg/m³'ten az olan düşük dayanımlı yalıtım veya dolgu betonu şeklindedir (Neville, 1999). Tarımsal yapılar

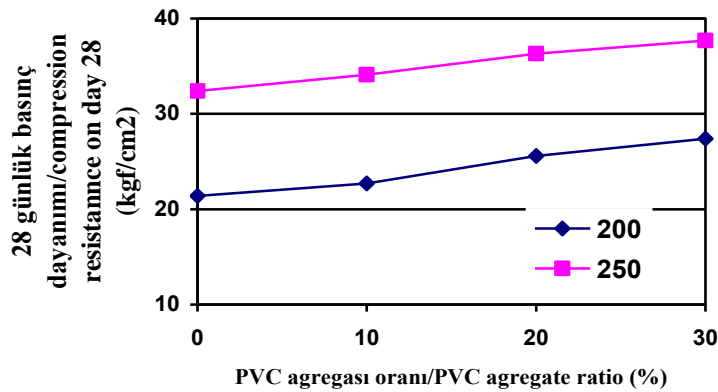
genellikle tek katlı olduğundan ve taşıyıcı elemanlarda çok katlı yapılara oranla daha az

dayanıma gereksinim duyulduğundan, elde edilen PVC katkılı hafif betonların taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan bölme duvarları için duvar malzemesi olarak kullanılabilceği söylenebilir.

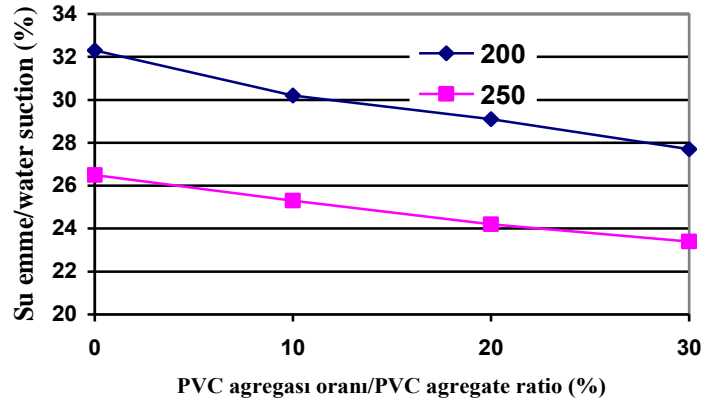
Sertleşmiş örnekler üzerinde yapılan su emme değerlerinin ağırlıkça % 23,4 ile % 32,3 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 5). Pomzanın yüksek derecedeki gözenekli yapısı nedeniyle pomza-agrega oranı artırıldıkça, elde edilen hafif betonun geçirgenlik ve su emme değerlerinde de önemli artışlar olmaktadır (Şahin ve ark., 2003; Hossain, 2004). Araştırmada örneklerin su emme miktarları PVC agregasının artış oranıyla azaldığı ve aynı zamanda çimento dozajıyla da düştüğü belirlenmiştir (Şekil 5). PVC agregasının hafif betonda kullanılması ile betonun su emme değerlerinin olumlu yönde etkilendiği söylenebilir.

Hafif betonların birim hacim ağırlıkları düşük olduğundan, ısı yalıtımları yüksektir. sahip bulunmaktadır. Türkiye’de enerjinin % 41’inin ısıtmada kullanıldığı göz önüne alınırsa hafif betonun kullanılmasıyla sağlanan ekonomi daha iyi anlaşılacaktır (Gül ve Geçten, 1993). Isı yalıtımı iyi olan hafif betonların su emme değerlerinin yüksek olması, ısıl özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir. Araştırmadan elde edilen sonuçlardan, hafif betona iri agrega yerine belli oranlarda PVC agregasının ilavesi ile üretilen örneklerde, PVC’nin karışımdaki artış oranına göre su emme değerlerinin

Başka bir anlatımla normal betonlara oranla % 48 daha düşük ve daha iyi yalıtım özelliğine azaldığı belirlenmiştir. Bu tür betonların tarımsal yapılarda duvar malzemesi olarak kullanılması, özellikle kış aylarının uzun sürdüğü ve kış ayları ortalama sıcaklığının çok düşük olduğu bölgelerdeki kırsal yapıların ısıtma giderlerini önemli ölçüde düşürerek, hayvan barınaklarında ısı nem dengesinin sağlanmasına yardım edecek ve tüketilen enerjiden önemli oranda ekonomi sağlanabilecektir.



Şekil 4. Betonların 28 günlük basınç dayanımının PVC agregası oranı ile değişimi
Figure 4. Change in compressive strength obtained after 28 days with PVC aggregate rate.



Şekil 5. Betonların su emme değerlerinin PVC agregası oranı ile değişimi
Figure 5. Change in water absorption values of cements with PVC aggregate rate

Sonuç

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, atık PVC agregasının 200-250 kg/m³ çimento dozajıyla düşük ve orta dayanımlı yalıtım ve dolgu betonu üretimi için uygun olduğu söylenebilir. Aynı zamanda PVC agregasının ilave edilmesiyle elde edilen malzemenin

tarımsal yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlarda kullanılarak bazı yapı

malzemelerine oranla daha iyi ısı yalıtımı elde edilebilir. Çünkü PVC agregası ilavesi ile su emme miktarı azaldığından, malzemenin mekanik ve ısıl özellikleri de olumlu yönde etkilenecektir. Elde edilen örneklerin basınç

dayanımları duvar malzemesi için yeterli düzeyde olduğundan, tarımsal yapılarda fazla dayanımın gerektirmediği uygulamalarda, ısı yalıtımını yükseltmesi nedeniyle özellikle çevre koşulları kontrolünün önemli olduğu hayvan barınaklarında, depolama yapılarında ve konutlarda kullanılması yarar sağlayabilir.

Kaynaklar

- Açıkel, H., 1995. Karapınar Volkanik Agregasından (TS 4047'ye Uygun) Hazır Döşeme ve Çatı Plakları İmalı. Doktora Tezi, Selçuk Üniv., Fen Bilimleri Enst., Konya. 164 s.
- Anonim, 1977. Taşıyıcı hafif betonların karışım hesapları, TS 2511. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 135 s.
- Anonim, 1978. Bimsbeton yapım kuralları, karışım hesapları ve deney metodu, TS 3234. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 30 s.
- Anonim, 1980a. Beton agregalarının tane büyüklüğü dağılımının tayini, TS 3530. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 11 s.
- Anonim, 1980b. Beton agregalarının birim ağırlıklarının tayini (TS 3529). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 5 s.
- Anonim, 1980c. Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini (TS 3526). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13 s.
- Anonim, 1981. Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayin Metodu, TS 3624. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 9 s.
- Anonim, 1985a. Deney elekleri-tel kafesli kare göz açıklıklı (TS 1227). Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 14 s.
- Anonim, 1985b. Deney elekleri-metal levhalı yuvarlak veya kare delikli, (TS 1226). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 14 s.
- Anonim, 1986. Hafif agregalar-beton için, TS 1114. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 39 s.
- Anonim, 1990. Beton basınç mukavemeti tayini, TS 3114. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 11 s.
- Anonymous, 1991. ACI Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-91). Detroit, Michigan, 93 p.
- Anonymous, 1998a. Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. Masonry Units. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 331-98, 04.02, s.197-199.
- Anonymous, 1998b. Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 127-88, 04.02, s.64-68.
- Anonymous, 1998c. Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 128-97, 04.02, s.69-73.
- Anonymous, 1998d. Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 330-97, 04.02, s.193-196.
- Aydın, H., 2004. PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri. Osmangazi Üniv., Fen Edebiyat Fak., Kimya bölümü, (Bitirme tezi), Eskişehir, 86 s.
- Baradan, B., 1991. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniv., Mühendislik Mimarlık Fak. Yay., İzmir, 77s.
- Basri, H.B., M.A. Mannan and M.F.M. Zain, 1999. Concrete using waste oil palm shells as aggregate. Cem. Concr. Res., (29), s. 619- 622.
- Ceylan, H., 2005. Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği. Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enst., Isparta, 201s.
- Choi, Y.W., D.Z. Moon, J.S. Chung and S.K.Cho, 2005. Effects of Waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, Cem.Concr.Res., 35, 776-781.
- Çankıran, O., 1997. Pomza Agregalı Hafif Betonun Mekanik Özellikleri ve Kimyasal Katkılarla Dayanımının Artırılması. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ. Fen Bilimleri Enst., Isparta, 82 s.
- Çevikbaş, A. ve F. İlgün, 1997. Türkiye pomza yataklarının jeolojisi ve ekonomisi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta. s.13-19.
- Demirboğa, R., M. Yavuz, R. Gül and A.C. Aydın, 2000. Effects of Admixtures on compressive strength of lightweight concrete, Cement and Concrete Technology in 2000s, Second International Symposium, 6-10 Sept., İstanbul, pp.144-153.
- Durmuş, A., M. Aslaner, M. Hüsem, ve H. Kolaylı, 1996. Karadeniz Bölgesi hafif agrega yataklarının belirlenmesi ve bunlarla yekpare ve prefabrike beton yapılarda kullanılabilirlik ve yararlarının araştırılması. Araştırma Projesi Raporu, KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fak. İnşaat Müh., 91.112.001.5, Trabzon.
- Gül, R. ve O. Geçten, 1993. Elazığ ferrokrom işletmesi granüle curufunun hafif beton ürteiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, s.291-301.

- Hossain, K.M.A., 2004. Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol: 34, pp. 283– 291.
- Hüsem, M., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enst., Trabzon, 170 s.
- Neville, A., *Properties of Concrete*, Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, NY, 1999, 535 pp.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton (Cilt 2). Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 192 s.
- Rossignolo, J.A.and M.V.C. Agnesini, 2002. Mechanical properties of polymermodified lightweight aggregate concrete. *Cem. Concr. Res.* 32, s.329– 334.
- Sahin, R., R. Demirboğa, H. Uysal, R. Gül, 2003. The effect of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strength and densities of concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol: 33, pp. 1245– 1249.
- Sari, D. and A.G. Pasamehmetoglu, 2005. The Effect of Gradation and Admixture on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete. *Cement and Concrete Research*, No 35 (5), pp. 936– 942.
- Şahin, S., 2002. Tarımsal yapılarda kullanılan hafif agregalı beton blokların bazı özelliklerinin iyileştirilmesi olanakları üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enst., Erzurum, 164 s.
- Turgutalp,Ü., 1978. Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanılabilme olanakları üzerine bir araştırma. Doçentlik tezi, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Erzurum. 144s.
- Urhan, S., 1993. Hafif ve çok hafif betonların karakteristik özellikleri ve teknik kapasiteleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (369), 34-40.