



Hafif Agregalı Betonun Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması

Investigation of Engineering Properties of Lightweight Aggregate Concrete

Hüseyin Temiz¹, Ali Haydar Akçakale²

¹KSÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

²Kültür ve Turizm Bakanlığı, İstanbul Röleve ve Anıtlar Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, pomza agregalı hafif beton numunelerin dayanım ve yalıtım özellikleri araştırılmıştır. Uçucu kül, ahşap talaşı ve öğütülmüş portakal kabuğu kırıntısından katkı maddesi olarak yararlanılmıştır. 7 günlük numunelerin tümünün basınç dayanımı 20 MPa dan düşük bulunmuştur. 28 günlük numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri, %80 CEM I+%20 Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külü (AEUK) içeren numunede 23.53 MPa, en düşük dayanım ise %80 CEM I+%20 AEUK ve pomza agregasının %6.4'ü ahşap talaşı içeren numunede 7.58 MPa bulunmuştur. %100 CEM I, %90 CEM I + %10 AEUK ve %80 CEM I + %20 AEUK içeren numunelerin 28 günlük basınç dayanımları 20 MPa değerinin üzerindedir. En düşük ısı iletkenlik hesap değeri ve ultrases geçiş hızı %80 CEM I + %20 AEUK ve pomza agregasının %6.4'ü ahşap talaşı katkılı numunede sırasıyla 0.3417 W/mK ve 2.68 km/s elde edilmiştir. Saptanan bulgulara göre uçucu kül, ahşap talaşı ve portakal kabuğu kırıntısının pomzalarla birlikte kullanılmasında ısı ve ses yalıtım özellikleri iyi olan malzeme üretilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hafif beton, Pomza, Uçucu kül, Isı ve ses yalıtımı

Abstract

In this study, strength and insulation properties of pumice aggregate light-weight concrete samples were investigated. The fly ash, wood fiber and orange peel fragment were utilized as additive materials. From the test results, 7-day compressive strengths of all samples were lower than 20 MPa. The highest compressive strength of 28 day samples was obtained for mixture prepared by 80% CEM I + 20% Afsin-Elbistan Thermic Power Station flyash (AEFA) as 23.53 MPa. The lowest compressive strength of 28 day samples was obtained for mixture prepared by 80% CEM I+20% fly ash and 6.4% wood shaver instead of aggregate as 7.58 MPa. The compressive strengths of 100% CEM I, 90% CEM I+%10 fly ash and 80% CEM I + 20% fly ash addition samples were found over 20 MPa. The lowest thermal conductivity and ultrasound velocity were obtained for the mixture prepared by 80% CEM I + 20% flyash and 6.4% woodshaver instead of aggregate as 0.3417 W/mK and 2.68 km/sec. respectively. According to findings, using of flyash, woods have orange peel fragments together with pumiceled to good thermal and sound insulations.

Keywords: Light concrete, Pumice, Fly ash, Heat and voice insulation

1. Giriş

Çalışmanın amacı; yeterince değerlendirilmeyen pomza, uçucu kül, odun talaşı ve kurutulmuş portakal kabuğunun hafif beton karışımında kullanılarak yeterli yalıtım özelliğine sahip yeni malzemeler üretmektir. K.S.Ü. İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri Laboratuvarında, öğütülmüş Kayseri pomzası, Osmaniye pomzası, Afşin - Elbistan termik Santrali uçucu külü, odun talaşı ve kurutulmuş portakal kabuğu içeren numunelerin basınç dayanımı, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yangın direnci, donma-çözülme etkisi ve su emme oranı deneysel olarak araştırılmıştır.

Genleştirilmiş perlit ve pomza taşı agregalarından üretilmiş beton karışımlarının basınç mukavemetleri incelenmiştir. Araştırmada silis dumanı ve C sınıfı uçucu kül mineral katkı olarak değerlendirilmiştir. Silis dumanı ve uçucu kül malzemeleri çimentonun ağırlıkça %10, 20 ve 30'u oranında alınmış ve karışıma ilave edilmiştir. Çimento dozajı 200 kg/m³ olarak seçilmiştir. Portland çimentosunun ağırlığının %1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi, su/çimento oranını azaltmak için kullanılmıştır. Sonuç olarak; genişmiş perlit agregasının artması ile her grubun birim ağırlığı 1154 kg/m³, den 735 kg/m³ düşmüştür. Silis dumanı ve uçucu kül numunelerin birim ağırlığını düşürmüştür. Basınç mukavemetlerinde perlit agregası ile 7 günlüklerde %52, %85, %55 ve 28 günlüklerde %80, %84,

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: htemiz@ksu.edu.tr

%108 oranlarında artışlar meydana gelmiştir. Kür süresi uzadıkça basınç mukavemetleri yüksek oranda artmıştır (Demirboğa ve Gül 2003).

Yapılan bir çalışmada hafif beton üretiminde kaba agrega ve çimentonun bir kısmı yerine pomzanın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırmada, çimentonun yerine %0 - 25 arasında değişik oranlarda öğütülmüş pomza, kaba agreganın yerine ise hacimce %0 - 100 arasında değişik oranlarda pomza agregası kullanılmıştır. Çalışmada, pomzanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkilerini incelemiştir. Test sonuçları, çimentonun yerine %15' e kadar öğütülmüş pomza kullanılarak yapılan betonların kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur (KhandarandHossain 2004).

Hafif beton kullanılarak yapılardaki ağırlık ve durabilite sorunları çözülmeye çalışılmıştır. Deneysel sonuçlara göre; pomza agregalı hafif betonun normal betona kıyasla düşük mukavemete sahip olmasına rağmen, %30 - %40 oranında hafiftir. Hafif betonun daha düşük yoğunluk değerine sahip olmasından dolayı yapının ölü yükünü azaltacağı, yapı tasarımında esneklik ve daha düşük maliyetleri sağlayacağı belirtilmiştir. Betonun basınç dayanımı, elastisitemodülü ve yoğunluğu gibi mekanik özelliklerinin, pomza agregası / çimento oranının düşük değer alması ile iyileştiği ileri sürülmüştür. Su emme ve karbon geçirgenliği gibi özellikleri ise düşük pomza agregası/çimento oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Çalışma ile ince ve kalın taneli pomza taşı agregası kullanarak yapısal hafif beton üretimi sağlanabileceği ileri sürülmüştür (Gündüz ve Uğur 2004).

Elazığ yöresi pomzasının betonda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Katkı maddesi, pomzanın çimento inceliğinde öğütülmesiyle elde edilmiş ve CEM I 42,5 N yerine, ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında kullanılmıştır. Çalışmada silis dumanının basınç dayanımına yaptığı katkı da incelenmiştir. Her yaş için üçer tane olmak üzere her bir seriden 9 adet 10 x 10 x 10 cm' lik numuneler üretilmiş ve basınç dayanımları bulunmuştur. Ayrıca, numunelerin porozite ve ultrases geçiş hızları da saptanmıştır. Sonuç olarak pomza katkısı, basınç dayanımını ilk yaşlarda düşürürken, %10 silis dumanı ilavesi ile kontrol betonunun basınç dayanımından daha yüksek dayanımlar bulunduğu ifade edilmiştir (Yazıcıoğlu ve Demirel 2005).

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Malzeme

Bu çalışmada pomza, çimento, uçucu kül, ahşap talaşı, kurutulmuş portakal kabuğu kırıntısı, süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kayaçların oluşumu sırasında

ani soğuma ve gazların bünyeyi terk etmesi nedeniyle irili ufaklı sayısız gözenekler bulunur. Pomzaların, gözenekleri birbiriyle bağlantısız olduğundan, permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Doğada farklı renklerde bulunabilmesi, gözenekli yapıda olması ve kristal suyunun olmaması pomzayı diğer volkanik camı kayaçlardan ayıran özelliklerindedir. Osmaniye pomzası 8 mm göz açıklıklı elekten geçen malzemeden alınmıştır. Kayseri pomzası ise çimento boyutunda öğütüldükten sonra kullanılmıştır. İri taneli ve toz pomza Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir.

Karışıma giren agreganın, hacimce %50'si 8 mm göz açıklıklı elekten geçen Osmaniye pomzası, %50'si Kayseri pomzası tozundan meydana gelmiştir. Pomzanın tane dağılımı analizi yapılarak TS EN 933-1'de verilen şartlara uygun hale getirildikten sonra kullanılmıştır (TS EN 933-1 1999 5).

Çalışmada pomza tozunun çimento ile reaksiyona girebileceği dikkate alınarak katkısız CEM I 42.5R kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal bileşenleri Çizelge 1'de, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan uçucu kül Afşin-Elbistan termik santralinden temin edilmiştir. Afşin Elbistan Termik Santral külünün (AEUK) özgül ağırlığı 2.93 kg/dm³ bulunmuştur. Afşin-Elbistan Termik Santralinde yılda 2 milyon ton dolayında kül ortaya çıkmaktadır. Çizelge 3'te AEUK'nın kimyasal özellikleri görülmektedir (Türker vd. 2007).

AEUK'nınreaktif CaO oranı %10'unun üzerinde olduğu için TS EN 197-1'e göre W sınıfına (kalkersi) girmektedir (ASTM C 619 1998). Ancak bu standarda göre SiO₂ miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir. Saptanan %15.82 oranı %25'in altında kalmıştır. SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ toplamı %27.27 çıkmıştır. Bu oran, ASTM C618'de

Çizelge 1. CEM I Çimentosunun kimyasal bileşenleri

Oksitler	Bileşen (%)
SiO ₂	20.96
Al ₂ O ₃	3.82
Fe ₂ O ₃	3.71
CaO	63.37
MgO	3.67
SO ₃	2.91
K ₂ O + Na ₂ O	0.4
K.K.	0.8
Ç.K.	0.36
Serbest CaO	0.89



Şekil 1. Osmaniye pomzası.



Şekil 2. Kayseri pomzası.

Çizelge 2. CEM I'in fiziksel ve mekanik özellikleri

Priz süresi (dak.)		Özgül ağırlık	Özgül yüzey (cm ² /g)	Basınç dayanımı (MPa)	
Başlama	Bitiş			2 gün	28 gün
162	195	3.06	3490	28	60

Çizelge 3. Afşin-Elbistan UK kimyasal analizi

Oksitler	Miktar (%)
SiO ₂	15.82
Al ₂ O ₃	7.97
Fe ₂ O ₃	3.48
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	27.27
CaO	44.4
MgO	3.64
SO ₃	19.22
K ₂ O	0.4
K.K.	4.55
Ç.K.	7.47

sınır değer olarak verilen %50'nin altında kalmıştır (TS EN 197-1 2002 8). Ancak CaO %10 olması nedeniyle C sınıfına girmektedir. En fazla %5 miktarında öngörülen SO₃ miktarı %19.22 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlarla, AEUK kimyasal yapısı bakımından TS EN 197-1 ve ASTM C618'de verilen kriterlere tam uymamaktadır. AEUK kimyasal yapısı standartlarda öngörülen kriterlere uygun hale getirildikten sonra beton katkısı olarak kullanılabilir. AEUK, volkanik cüruf ve CEM I çimentosu karıştırılarak yapılan çalışmada AEUK'nun kimyasal birleşimi yaklaşık olarak standartlarda verilen oranlara

uygun hale getirilmiştir (Temiz vd 2010). Ahşap en eski yapı malzemelerinden biridir. İnsanoğlu eski çağlardan beri barınma ve korunma amacına yönelik olarak ahşabı kullanmıştır. Günümüzde ormanların çeşitli nedenlerle azalması ve yerine yenisinin yetiştirilememesi veya geç yetişmesi ahşabın kıymetini daha da arttırmıştır. Çağımızda ahşap birçok farklı yapı malzemesi üretiminde kullanılmaktadır. Ahşabın işlenmesi sırasında değişik boyutlarda talaş meydana gelmektedir. Ahşap talaşının atık ya da düşük kalorili yakıt olarak değerlendirilmesi yerine, yalıtım yeteneği yüksek yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Ahşap talaşının kimyasal yapısı selüloz (C₅H₁₀O₅), lignin ve hemiselüloz'dan oluşmaktadır. Kullanılan ahşap talaşı (AT) 0.69 kg/dm³ özgül ağırlığına sahiptir. Çalışmada kullanılan gürgen ve meşe talaşı atölyelerden temin edilmiş ve verilen oranlarda azaltılan pomzanın yerine kullanılmıştır. Kullanılan ahşap talaşı Şekil 3' de görülmektedir.

Portakal kabuğu, tıp literatüründe bir deri hastalığı olarak kabul edilen selülit hastalığı tedavisinde uzun süre kullanılmıştır. Araştırmalar, portakal kabuğunun selülitli derideki suyu iterek bölgede birikmiş olan yağı erittiğini ve hasta olan bölgeyi yok ettiğini göstermiştir (www.diyetvakti.net). Literatürde verilen, portakal kabuğunun suyu itme özelliğinden faydalanma düşüncesiyle, pomza kütlelerinin % 0.85'i oranında kurutulmuş portakal kabuğu kırıntısı (KPK) kullanılmıştır. 0.65 kg/

dm³ özgül ağırlığına sahip olan portakal kabuğu kırıntısı Şekil 4'te görülmektedir.

Araştırmada şehir içme suyu kullanılmıştır. Normal betonlarda kullanılan çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı, çimento ağırlığının yaklaşık %21'i dolayındadır. Ancak akışkanlaştırıcı katılmadan, işlenebilme için %35 - %40 dolayında su gerekmektedir. Araştırmada normal beton üretilmemesi nedeniyle su miktarı/bağlayıcı (S/B) oranı yüksek alınmıştır. Numune karışımlarında kullanılan süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkısı (SA), çimentonun kütlece %2' si kadar kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Numunelerin karışım oranlarının bulunmasında TSE 802 esas alınmıştır (TS 802 2009). AEUK, azaltılan CEM



Şekil 3. Ahşap talaşı.

I çimentosunun yerine, KPK ve AT ise azaltılan agregaların yerine kullanılmıştır. Karışım oranları Çizelge 4'te sunulmuştur.

Karışıma giren malzemeler plastik kaplarda önce kuru ve gerekli su ilave edildikten sonra homojen olarak karıştırılıp 10 cm boyutlu çelik küp kalıplarına



Şekil 4. Kurutulmuş portakal kabuğu kırıntısı.

Çizelge 4. Numunelerin karışım oranları

	Agrega kütlece (%)			Bağlayıcı malzeme kütlece (%)	
	Pomza (P)	Ahşap talaşı (AT)	Portakal kabuğu (KPK)	Çimento (CEM I)	Afşin-Elbistan Termik Santral külü (AEUK)
1 (Referans)	100			100	
2	100			90	10
3	100			80	20
4	100			70	30
5	96.6	3.4		80	20
6	94.9	5.1		80	20
7	93.6	6.4		80	20
8	95.75	3.4	0.85	80	20
9	94.05	5.1	0.85	80	20
10	92.75	6.4	0.85	80	20

yerleştirilmiştir. Kalıplanmış örnek numune Şekil 5' de verilmiştir.

2.2.1. Yayılma değerinin bulunması

Taze betonun işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için TS EN 12350-5 standardı esas alınmıştır (TS EN 12350-5 2010). Bu yöntemde karışımın işlenebilirlik değeri, yayılma tablası cihazı kullanılarak saptanmıştır. Hazırlanan karışım, taban çapı 100 mm ve yüksekliği 50.8 mm olan kesik koni şeklindeki kalıba, şişlenerek yerleştirildikten sonra 300 mm çapında dairesel yayılma tablasının yüzeyine taşınmıştır (Şekil 6). Kalıp alındıktan sonra, 15 saniye içinde yayılma tablasının kolu 25 kez çevrildikten sonra karışımın yayılması belirlenmiştir. Yayılma oranı şu formülle bulundu: $\text{Yayılma (\%)} = (d1-d) / d$.

2.2.2. Basınç dayanımının bulunması

Numuneler kür tankında 20 ± 2 °C' lik kirece doymun su içinde, 7 gün ve 28 gün bekletilmiştir. Basınç dayanımları TS EN 12390-3 e göre belirlenmiştir (TS EN 12390-3 2003). Kür havuzundan çıkarılan her yaştaki ve karı-



Şekil 5. Kalıba yerleştirilmiş taze beton.

şındaki, 10cm boyutlu küp numuneler, kurutulduktan sonra basınç presine yerleştirilerek basınç dayanımı değerleri bulunmuştur.

2.2.3. Donma-Çözülme dayanıklılığının belirlenmesi

Donma - çözülme dayanıklılığı TS 3449 esas alınarak saptanmıştır (TS 3449 1980). Buna göre, 28 günlük yaşa sahip her karışımdan 3'er numune, 24 saat kurutma işleminden sonra, hassas terazide tartılarak kütleleri kaydedildikten sonra donma-çözülme cihazının haznesine birbirlerine temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 7). Donma sıcaklığı -20°C ve çözülme sıcaklığı +20°C ayarlanan cihazda numunelere 30 devir donma-çözülme uygulanmıştır. 30 devir donma-çözülme işleminden sonra numuneler 24 saat kurutulmuş ve kütleleri ile basınç dayanımları belirlenmiştir.

2.2.4. Su emme oranı ve birim ağırlık

Su emme oranı tayini TS 3526 standardına göre yapıldı (TS 3526 1980). Her karışımdan 3'er numune alınarak 105oC' de, etüv kurusu ağırlığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Numunelerin kütleleri hassas teraziyile belirlenmiş ve tüm yüzeyleri 20oC'lik suya gömülecek şekilde 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda numunelerin yüzeyi kurularak kütleleri saptanmıştır. Kütleler arasındaki farktan su emme oranları bulunmuştur.

Numunelerin birim ağırlıkları, oda sıcaklığındaki numunelerin kütlelerinin, hacimlerine oranlanması ile bulunmuştur.

2.2.5. Boyut değişiminin belirlenmesi

Boyut değişimi, 24 saat sonunda kalıptan alınan ve 28 gün kür edilen aynı numunelerin boyutlarının elektronik kompas ile ölçülüp birbirleri ile karşılaştırılması sonucu bulunmuştur.

2.2.6. Ultrases geçiş hızlarının bulunması

Numunelerin ultrases geçiş hızları ASTM C 597'ye göre



Şekil 6. Yayılma tablası ile numunenin yayılması.

belirlenmiştir (ASTM C 597 1998). Ultrases yönteminde numune içinden geçen ultrases dalgasının, geçme hızı bu lunarak basınç dayanımı ve yalıtım özelliği hakkında değerlendirme yapılabilir. Hızın hareket zamanı elektronik olarak ölçülüp, proplar arasındaki uzaklık, hareket zamanına bölünerek dalga ortalama hızı elde edildi. Şekil 8’de numunelerin ultrases yöntemiyle test edilmesi görülmektedir.

2.2.7. Isı iletkenlik katsayısının bulunması

Isı iletkenlik katsayısı, ASTM C 1113 Standardı esas alınarak bulunmuştur (ASTM C 1133). Bu test KSÜ Avşar Kampusu Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. Numunelerin pürüzsüz yüzeyine deney aletinin probu yerleştirildikten yaklaşık bir dakika sonra deney aletinden sonuçlar alınmıştır. Saptanan ısı iletkenlik hesap değerinin numunenin kalınlığının bölünmesiyle ısı iletkenlik katsayısı değeri bulunmuştur. Çıkan sonucun yüksek olması ısı yalıtım değerinin düşük olduğunu gösterir. Sonuçta ısı iletkenlik katsayısı

değeri düştükçe ısı yalıtım özelliği artmaktadır. Deney Numunenin test edilmesi Şekil 9’da görülmektedir.

2.2.8. Numunelerin yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığın belirlenmesi

Binalardaki yangınlarda 1200°C’ a kadar yükselen sıcaklıkların ortaya çıktığı ölçülmüştür. Yapı malzemeleri bu sıcaklığa maruz kaldığında, ahşabın yandığı, çeliğin yumuşayıp mukavemetini kaybettiği, beton veya taşların ise parçalanıp döküldüğü gözlemlenmiştir (European-Concrete Platform 2007). Şu halde yapı malzemelerinin hiçbiri bu derece yüksek sıcaklığa dayanamaz. Ancak yapı malzemeleri arasında pomza diğerlerine kıyasla biraz daha yüksek sıcaklığa dayanıklı ve biraz daha uzun süre sonunda parçalanırlar. Üretilen pomza katkılı hafif beton numuneleri, KSÜ İnşaat Mühendisliği Laboratuvarındaki yüksek sıcaklıklara ayarlanabilen fırında 300°C, 500°C, 700°C, 900°C ve 1050°C’ de pişirilmiş ve pişirilen numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Fırın ve içindeki bir grup numune Şekil 10’ da, çatlak ölçme işlemi Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 7. Donma-çözülme cihazındaki bir grup numune.



Şekil 8. Ultrases geçiş hızı bulunması işlemi.



Şekil 9. Isı iletkenliği testi.



Şekil 10. Fırındaki bir grup numune.



Şekil 11. Çatlak genişliğinin ölçülmesi.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yayılma

Çalışmada, 10 farklı karışımdan meydana gelen numunelerin yayılma değerleri, milimetre cinsinden ölçülerek tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar Çizelge 5' te verilmiştir. Bu çizelgedeki değerlere göre numuneler arasında en fazla yayılma 1' nolu numune olurken, en az yayılma ise 7' nolu numunede bulunmuştur. Karışımlarda su miktarları aynı olmasına karşın, tanık numunenin en fazla yayılma göstermesinin nedeni suyun temas ettiği yüzeyin diğerlerine göre daha az olması ile izah edilebilir. 7' nolu numunede ise hem uçucu külün çimentodan daha ince olması hem de ahşap talaşının suyu emmesi sebebiyle yayılma mesafesi en düşük çıkmıştır. 7' nolu numune ile 10' nolu numune, 6' nolu numune ile 9' nolu numune, 5' nolu numune ile 8' nolu numune, kendi aralarında kıyaslandıklarında kurutulmuş portakal kabuğu kırıntısı bulunan numunelerin, diğerlerine oranla biraz fazla yayıldıkları saptanmıştır. Portakal kabuğu kırıntısı katkılı numunelerde yayılmanın biraz fazla çıkmasına, portakal kabuğunun suyu itme özelliğinin neden olduğu düşünülmektedir.

3.2. Birim Ağırlık ve Su Emme Oranları

10x10x10 cm boyutlu beton küp numuneleri üzerinde birim ağırlık ve su emme oranları tespit edilmiştir. Bulunan değerler Çizelge 6' da verilmiştir. 28 günlük numunelerde, 1' nolu referans numunesinin birim ağırlığı en yüksek çıkmıştır. Katkı oranı arttıkça birim ağırlıklarda azalma meydana gelmiştir. Çizelge 6' da görülen birim ağırlıklar (9 ve 10' nolu numuneler hariç) TS EN 206-1 göre D 2,0 sınıfına girmektedir (TS EN 206-1 2002). Su emme oranı test işlemi sonunda, 7' nolu numunenin su emme oranının en fazla olduğu saptanmıştır. Saptanan bu %13.45 su emme değeri, 7' nolu numunenin boşluk

Çizelge 5. Numunelerin yayılma oranları

Numune no	Yayılma (%)
1	109.00
2	107.50
3	104.50
4	102.00
5	80.00
6	61.50
7	48.00
8	83.00
9	64.00
10	49.00

Çizelge 6. Numunelerin birim ağırlık ve su emme oranları

Numune no	Birim ağırlık (kg/dm ³) (g/cm ³)	Su emme (%)
1	1.904	8.27
2	1.891	7.60
3	1.888	7.11
4	1.885	5.96
5	1.842	9.62
6	1.818	11.48
7	1.801	13.45
8	1.818	9.48
9	1.795	11.29
10	1.778	13.30

oranının da en yüksek olduğunu göstermektedir. Odun talaşının su emme özelliğinden dolayı, talaş katkılı numunelerde su emme oranının yüksek çıktığı düşünülmektedir.

3.3. Boy Değişimi

10x10x10 cm. küp numunelerin boy değişimleri 24 saat sonunda kalıptan alınanlar ile 28 gün kür edilenlerin kenar uzunluk ölçümlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 12. incelendiğinde en yüksek boy değişim oranı 7, en düşük ise 4' nolu numunede tespit edilmiştir. 7' nolu numunenin boy değişiminin fazla olmasına ahşap talaşının su emme özelliğinin neden olduğu düşünülmektedir.

3.4. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımları, 10x10x10 cm boyutlu ve 10 farklı karışımdaki numunelerin basınç presinde test edilmeleriyle bulunmuş ve üç numunenin ortalaması alınarak verilmiştir. Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım

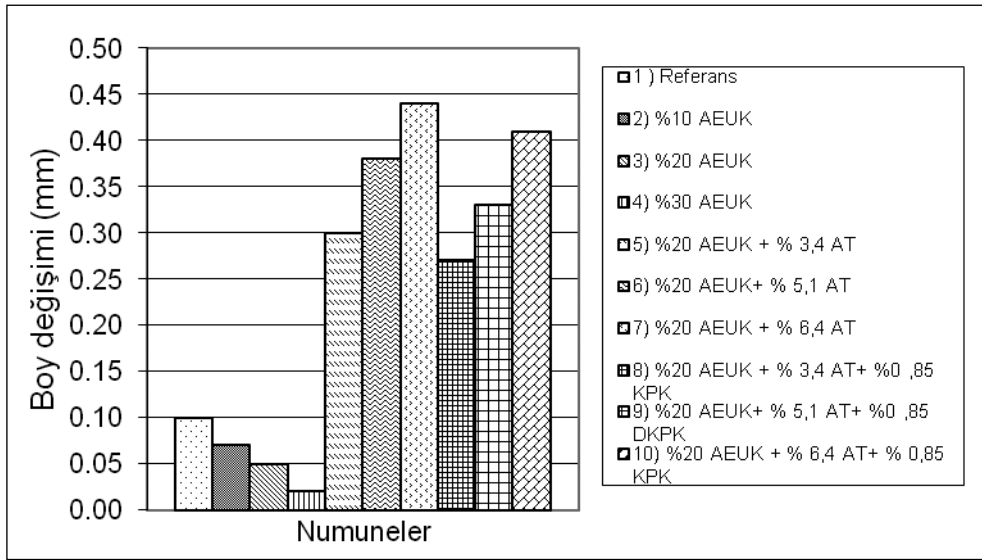
değerleri Şekil 13 ve Şekil 14'te verilmiştir. Şekil 13'deki 7 günlük değerlere göre en yüksek basınç dayanımı 1'nolu numunenin 16.32 MPa, en düşük 7'nolu numunenin 4.28 MPa. 7 günlük numunelerde uçucu kül ve ahşap talaşı katkılı numunelerde dayanım referans numuneye göre düşüktür. Uçucu külün reaksiyonunun gecikmesi ve talaşın dayanım düşmesine neden olduğu söylenebilir. Portakal kabuğu kırıntılı karışımların dayanımları biraz yüksek çıkmıştır. 28 günlük numunelerin dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanımın 3'nolu karışımda olduğu görülmektedir. En düşük basınç dayanımı değeri yine 7'nolu numunede çıkmıştır. Bu değerler sırası ile 23.53 MPa, 7.58 MPa. 28 günlük karışımlarda da portakal kabuğu basınç dayanımlarda az da olsa artışa neden olmuştur.

Ahşap talaşı katkılı numuneler ilk basınç dayanımı testi sonrası dağılmamışlardır. Bu numuneler yeniden basınç

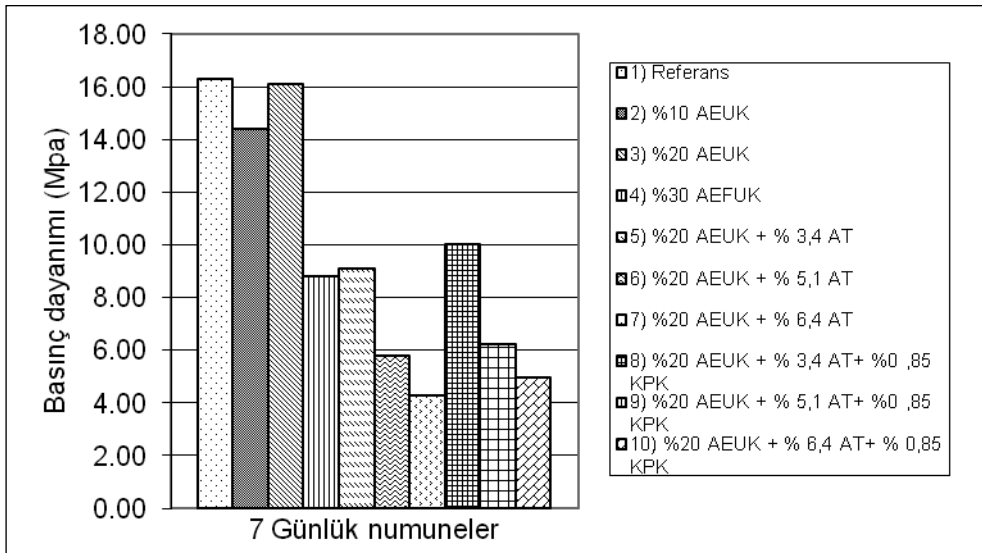
testine tabi tutularak ilk dayanımlarla arasındaki farklar belirlenmiştir. Belirlenen basınç dayanımı kayıpları %19 - %31 arasında değişmektedir. Numunelerin dağılmalarına ahşap talaşının engel olduğu düşünülmektedir.

3.5. Donma-Çözülme Dayanıklılığı

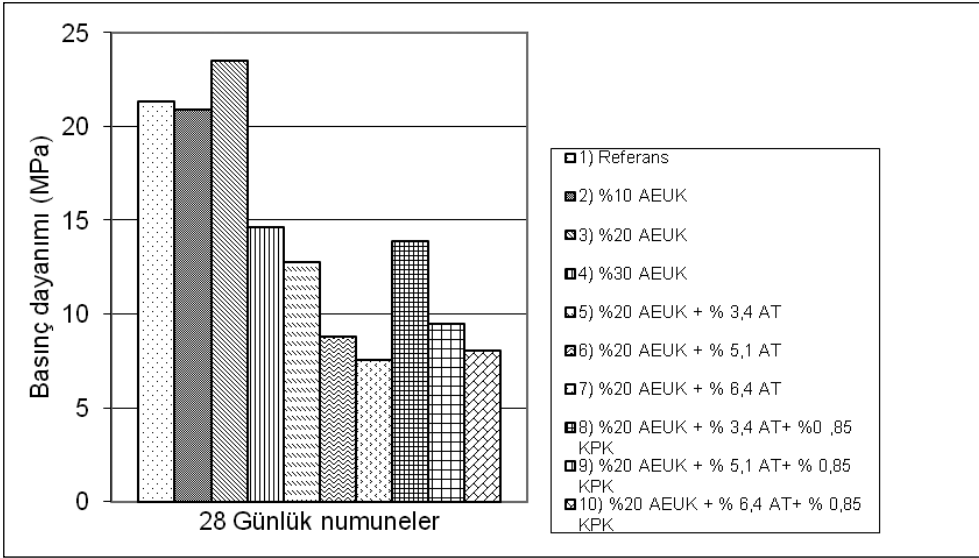
Numunelerin donma-çözülme testi sonrası bulunan kütle kaybı ve basınç dayanımı değerleri, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Deney sonunda en fazla kütle kaybı 7'nolu numunede olurken, en az kayıp ise 4'nolu numunede çıkmıştır. Kütle kayıpları sırası ile %2.3 ve %0.78 dir. 4'nolu numunenin kütle kaybı miktarının düşük çıkmasının nedeni içerisinde bulunan boşlukların uçucu külün reaksiyon ürünleri tarafından doldurulmuş olması şeklinde açıklanabilir. Benzer bir sonuç basınç dayanımı kayıplarında da bulunmuştur. Uçucu kül katkısı kütle kayıplarını düşürürken, portakal



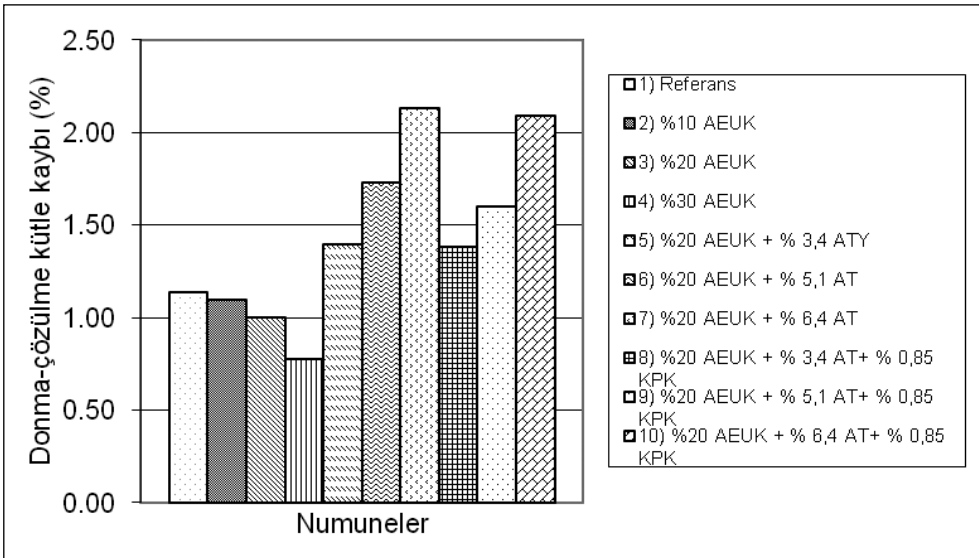
Şekil 12. Numunelerin boy değişimleri.



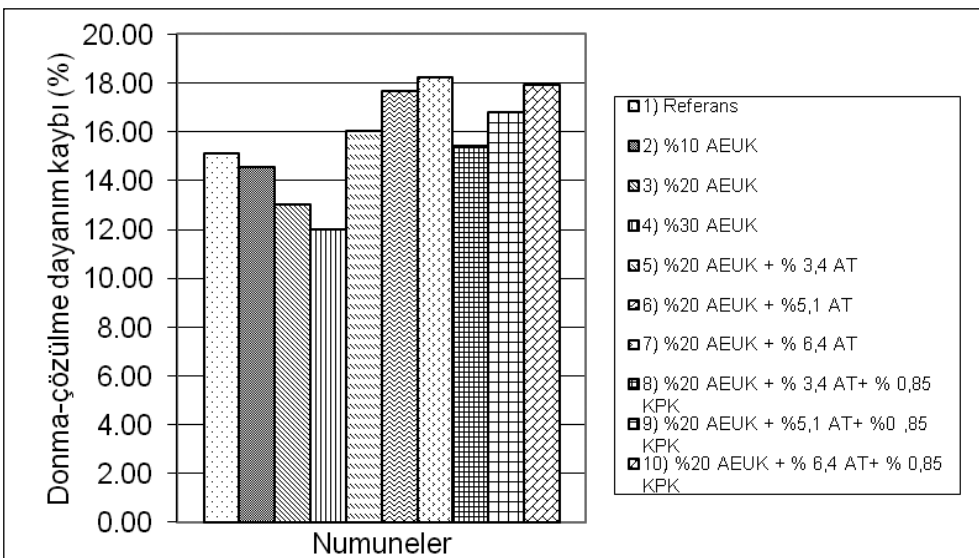
Şekil 13. 7 Günlük numunelerin basınç dayanımı.



Şekil 14. 28 Günlük numunelerin basmaç dayanımı.



Şekil 15. Donma-çözülme ile meydana gelen kütle kayıpları.



Şekil 16. Donma-çözülme ile oluşan basmaç dayanımı kayıpları.

kabuğu ve ahşap talaşı artışlara neden olmuştur. Şekil 16' daki basınç dayanım değerleri incelendiğinde kütle kayıpları ile benzerlikler gösterdiği anlaşılmaktadır.

3.6. Ultrases Geçirgenliği

Ultrases geçirgenliği 10 cm boyutlu küp numuneler üzerinde bulunup, saptanan değerler Şekil 17'de verilmiştir. Çıkan sonuçlara göre; 7'nolu numunede en düşük değer elde edilirken, 4'nolu numunede en yüksek değer alınmıştır. 7'nolu numunenin en düşük değeri alması, numunenin boşluklu bir yapıya sahip olduğu fikrini ortaya koymuştur. Genel olarak çok yüksek hızların (> 4570 m/s) basınç dayanımı yüksek ve düşük hızların da (< 3050 m/s) basınç dayanımı düşük betonun göstergesi olduğu bilinmektedir.

Tüm karışımların ultrases geçiş hızları düşük sayılır. Bu durum malzemelerin boşluklu olduğu ve hızı absorbe ettiği sonucunu doğurur. Saptanan değerler ile ultrases hızı-dayanım ilişkileri tam olarak kurulamamıştır. Örneğin 4'nolu numunede ultra ses hızı en yüksek çıkarken dayanımı en yüksek değildir. Ultrases hızı-dayanım ilişkisinin birçok değişkenden etkilendiği düşünülmektedir. Örneğin; boşlukların Ca(OH)_2 ile doldurulması olabilir. Ayrıca Afşin-Elbistan uçucu külünde CaO oranı yüksektir. Agregada olarak kullanılan pomza, çimento-uçucu kül oranı gibi bu değişkenlerden sayılabilir.

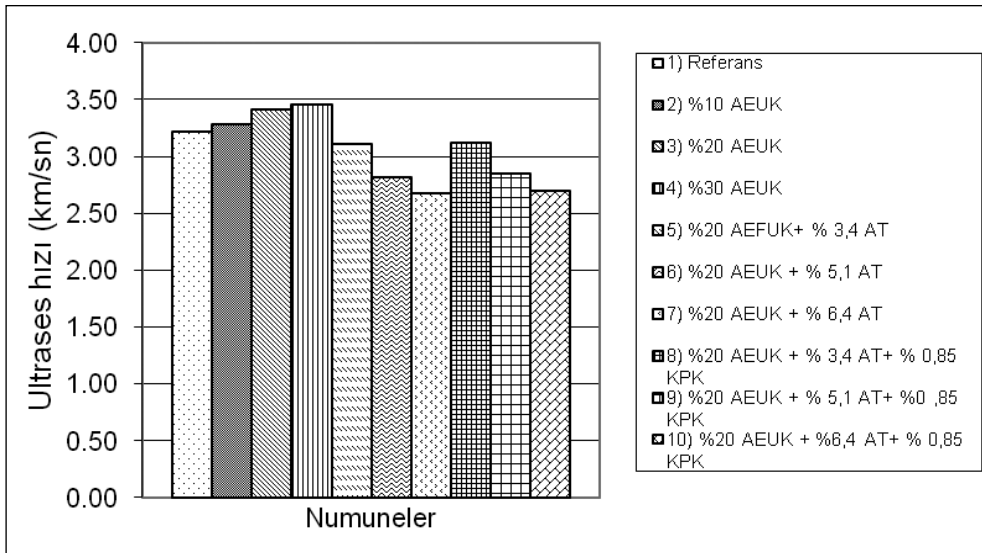
3.7. Isı İletkenliği

Isı iletkenlik hesap değerinin numune kalınlığına bölünmesi ile ısı iletkenlik katsayısı değerleri bulunmuştur. Numunelerin ısı iletkenlik hesap değeri, ısı iletkenlik direnci, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı kaybı değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 7 incelendiğinde 7'nolu

numunenin ısı iletkenlik hesap değeri en düşük, 4'nolu numunenin ise en yüksek çıktığı görülmektedir. Bu değerler sırası ile 0.3417 ve 0.4466 W/mK . 7'nolu numunede en düşük ısı iletkenlik hesap değeri çıkmasına karışımda bulunan odun talaşının neden olduğu düşünülmektedir. Ahşap talaşı katkılı numunelerin ısı iletkenlik dirençleri biraz yüksek çıkmış; ancak çok büyük bir fark olmadığı görülmektedir. Bunun temel sebebi ise karışımlarda kullanılan malzemelerin ısı yalıtım özelliğine sahip olmalarıdır. Saptanan bulgular (Demirboga ve Gül 2003) tarafından gerçekleştirilen araştırma sonuçları ile uyum göstermektedir. Belirlenen ısı iletkenliği hesap değerleri, TS 825'te birim hacim kütleleri ve ısı iletkenliği hesap değerleri verilen malzemelerle karşılaştırıldığında ısı yalıtım özelliği bakımından iyi olduğu söylenebilir. Çünkü TS 825'te normal betonların ısı iletkenlik değeri 1.74 W/mK, gözenekli hafif agregalarla üretilmiş hafif betonları ise, birim hacim kütlelerine bağlı olarak $0.39 - 1.60$ W/mK arasında verilmiştir (TS 825 1998).

3.8. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklılık

Yüksek sıcaklığa dayanıklılıkta, $50 \times 90 \times 190$ mm boyutlu numunelerin 300°C , 500°C , 700°C , 900°C ve 1050°C sıcaklıklarda 2'şer saat pişirildikten sonra kütle kayıplarının tespiti, çatlak genişliklerinin ölçülmesi ve 1050°C ' den sonra basınç dayanımları bulunmuştur. Şekil 18'de yüksek sıcaklıkta pişirilen bir grup numune ile çatlak ölçüm işlemleri görülmektedir. Şekil 19'da, 900°C ve Şekil 20'de 1050°C pişirilen numunelerin kütle kayıpları; Şekil 21 ve Şekil 22'de ise aynı sıcaklıklarda meydana gelen çatlak genişlikleri verilmiştir. Pişirme sıcaklıklarındaki artışlarla numunelerdeki kütle kayıplarında da artışlar meydana gelmiştir. 105°C ' de numunelerin serbest suyu buharlaşarak kütle kaybı olmuştur. 300°C ' den 900°C ' ye



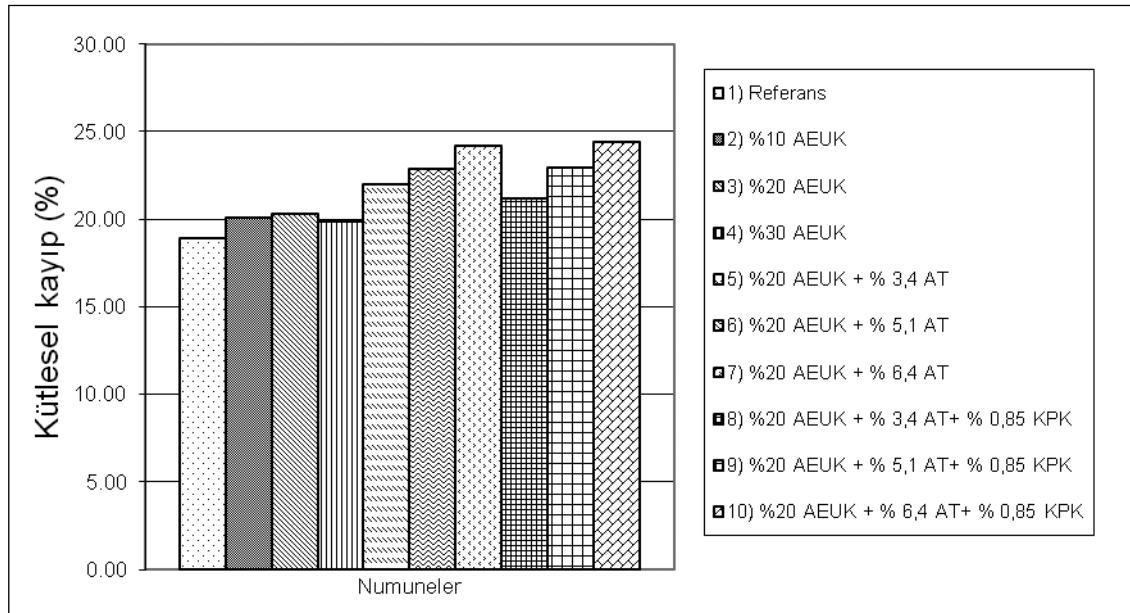
Şekil 17. Numunelerin ultrases geçirgenlik hızları.

Çizelge 7. Numunelerin ısı iletkenlik değerleri

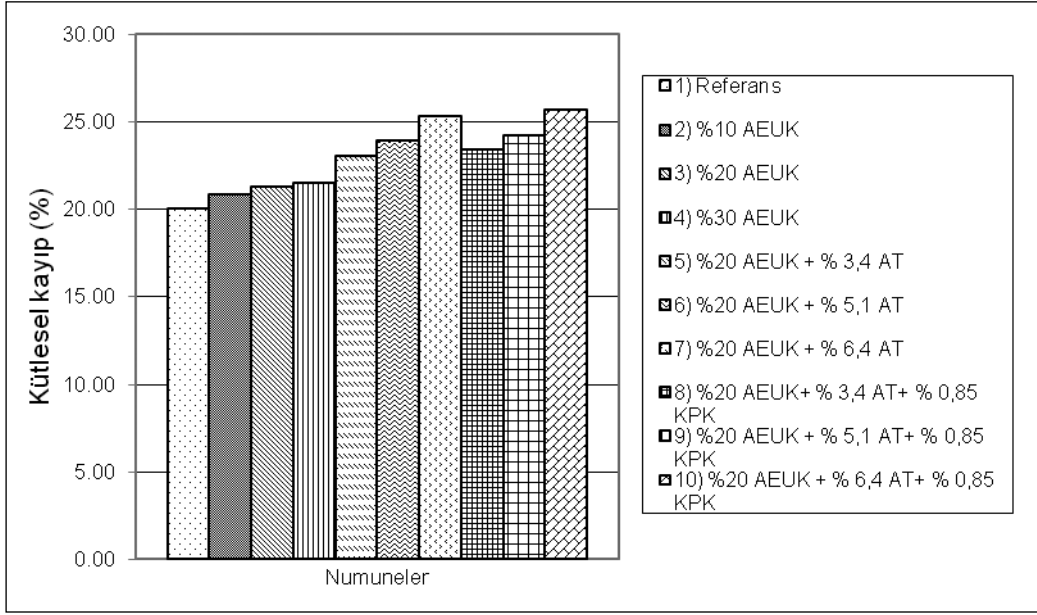
Numune no	Numune kalınlığı (m)	Isı iletkenlik hesap değeri (W/mK)	Isı iletkenlik direnci (m ² K/W)	Isı iletkenlik katsayısı (W/m ² K)	Isı kaybedilen yüzey (m ²)	Isı kaybı (W/K)
1	0.10	0.4084	0.244	4,09	0.06	0.245
2	0.10	0.4144	0.241	4,15	0.06	0.249
3	0.10	0.4233	0.236	4,24	0.06	0.254
4	0.10	0.4466	0.224	4,46	0.06	0.267
5	0.10	0.3673	0.272	3,67	0.06	0.220
6	0.10	0.3525	0.284	3,52	0.06	0.211
7	0.10	0.3417	0.292	3,42	0.06	0.205
8	0.10	0.3601	0.277	3,61	0.06	0.216
9	0.10	0.3565	0.280	3,57	0.06	0.214
10	0.10	0.3482	0.287	3,48	0.06	0.208



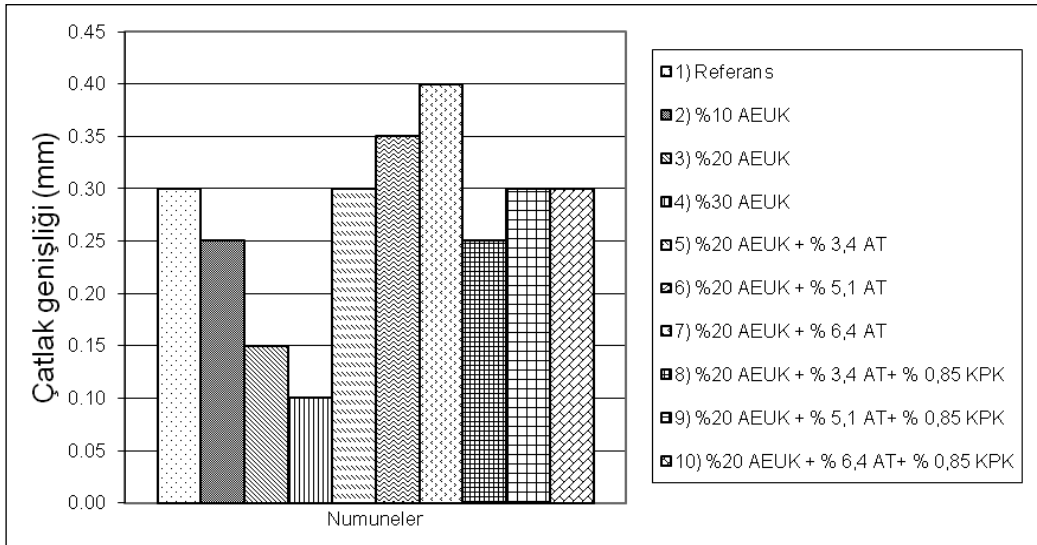
Şekil 18. Yüksek sıcaklıkta pişirilen bir grup numune.



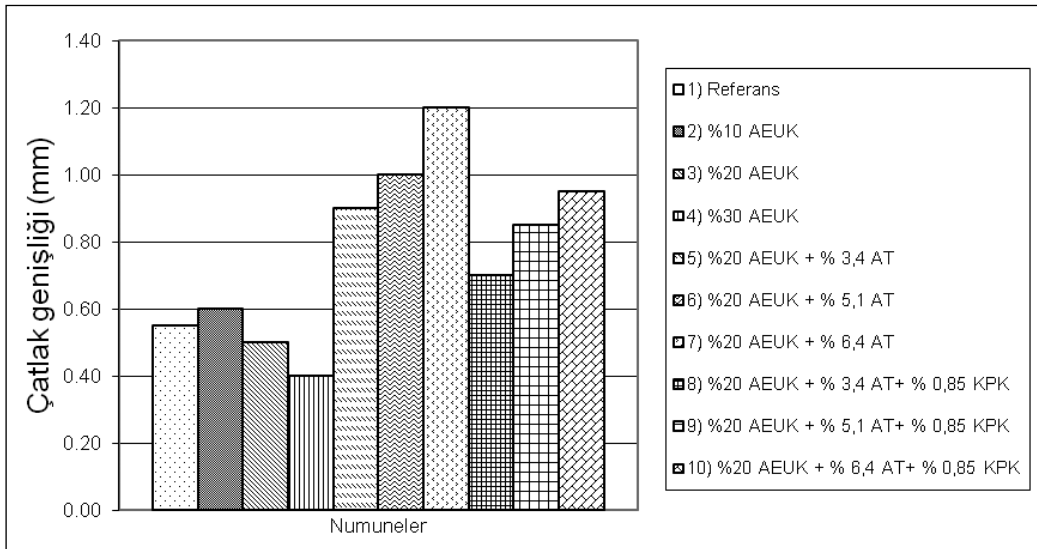
Şekil 19. 900°C'de kütle kaybı.



Şekil 20. 1050°C'de kütle kaybı.



Şekil 21. 900°C çatlak genişliği.



Şekil 22. 1050°C çatlak genişliği.

kadar numunelerin içerisindeki nemin, bazı minerallerin eriyip, ahşap talaşı ve portakal kabuğu katkılarının yanıp buharlaşması ile kütle kayıpları meydana gelmiştir. 900°C' den sonra pomza içerisinde bulunan magnezyum bileşiklerinin erimesi neticesinde kütle kayıpları olmuştur. 10' nolu numunede en fazla, 1' nolu numunede ise en az kütle kaybı tespit edilmiştir. Bu numunelere ait değerler sırasıyla %25.2 ve %10 dur. 10' nolu numunede en fazla kütle kaybı bulunmasının sebebi; tüm numunelerde olduğu gibi pomzanın içindeki minerallerin, odun talaşı ve kurutulmuş portakal kabuğu kırıntısı katkılarının yanması ile izah edilebilir.

Numunelerde 900°C' ye kadar çatlak oluşmazken, bu ısıdan sonra çatlaklar meydana gelmiştir. 1050°C' de çatlakların daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiş ve çatlak ölçerle genişlikleri ölçülmüştür. Yüksek ısıda çatlakların artmasının nedeni karışımlardaki organik malzemelerin ve pomza içerisindeki bazı minerallerin yanmasıyla izah edilebilir. Ayrıca içerisinde organik malzeme içermeyen 1, 2, 3, 4 numaralı numunelerde daha küçük çatlak genişlikleri ölçülmüştür. En küçük çatlak genişliği 4' nolu numunede bulunmuştur. En küçük çatlak genişliği 0.38 mm, en büyük 1.2mm. dir. 4' nolu numunenin çatlak genişliğinin az çıkmasının nedeni, uçucu kül miktarı arttıkça gevrekliğinin azaldığı ve gevrekliğin azalmasıyla da çatlak boyu ve genişliğinin küçüldüğü şeklinde izah edilebilir. Bulunan sonuçlar referans (Binici vd 2010). tarafından yapılan araştırma bulguları ile uyumaktadır.

Katkılar numunelerin renklerinde değişiklikler meydana getirmiştir. Portakal kabuğu katkılı numuneler turuncu renk, ahşap talaşlı numuneler koyu gri renk, yalnız uçucu kül katkısı içeren numuneler beyazımsı renk, referans numunesi ise açık gri bir renk almıştır.

1050°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin basınç dayanımı testine tabi tutulmuş; ancak dayanım bulunamamıştır. Sonuç çıkmamasının nedeni yüksek sıcaklıkta numune içinde kullanılan materyallerin yanması ve dayanım özelliklerini kaybetmesi gibi etkenler düşünülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

İlk yaşlarda katkıların etkisi yüzünden numunelerin basınç dayanımları düşük çıkmıştır. Ahşap talaşı katkısı sayesinde numuneler yüklemeye sonra dağılmamışlardır. Kurutulmuş portakal kabuğu kırıntısı su gereksinimini biraz düşürmüştür. 7 günlük karışımların basınç dayanımları 4,2 MPa ile 16.3 MPa arasında değişmektedir. 28 günlük numunelerde tüm karışımların basınç dayanımları 5 MPa'nın üzerinde çıkmıştır. Bu yaşta 1, 2, 3' nolu numunelerin basınç dayanımları 20 MPa'nın üzerinde bulunmuştur.

Ahşap talaşı katkısı su emme oranını arttırmıştır. Numuneler birim ağırlıkları bakımından incelendiğinde, normal betonlar için eşik değer olan 2000 kg/m³ altında kaldığı için hafif beton sınıfına girmektedir.

Numunelerin ultrases geçirgenlik hızı ve ısı iletkenlik hesap değerleri tüm karışımların yalıtım özelliklerinin iyi olduğunu göstermiştir. Ultrases geçiş hızları 2,68 - 3.46 km/s, ısı iletkenlik hesap değerleri ise 0.3417 - 0.4466 W/m.K arasında değişmektedir.

Ahşap talaşı içeren ve yüksek sıcaklıklarda pişirilen numunelerde, talaşın yanmasına rağmen dağılmadıkları belirlenmiştir.

Deneysel yöntemlerle belirlenen basınç dayanımı değerleri, genelde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Olan Binalar Hakkındaki Yönetmelikte öngörülen C 20 sınıfı beton dayanımının altında kalmıştır (DBYBHY 2007)]. Test edilen numunelerle aynı oranlarda üretilen betonların taşıyıcı eleman yerine, bölme elemanı yapımında kullanılması daha uygun olabilir. Termik santrallerin atık maddesi olan uçucu külün depolanma probleminden kaynaklanan çevreye ve ekolojik yaşama zararı önemli boyutlardadır. Afşin - Elbistan termik Santralında bu tehlike daha fazladır. AEUK'nun kimyasal yapısından dolayı kullanımı azdır. AEUK'dan %20 oranında katkı olarak yararlanılan numuneler iyi sonuç vermiştir. Ahşap talaşının yakılarak veya atılarak çevreyi kirletmesi yerine, yalıtım özelliği iyi olan malzeme üretilmesinde pomzalarlabirilikte kullanılabileceği saptanmıştır.

Portakal kabuğu katkılı numunelerde su gereksiniminin biraz azaldığı, yayılmanın biraz arttığı saptanmış; ancak değerlerin arasındaki farkın fazla olmaması nedeniyle portakal kabuğu hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Portakal kabuğu katkısı ile ilgili daha kapsamlı araştırmalar yürütülebilir.

5. Kaynaklar

- ASTM C 618. 1998.** Standard Specification for Coal FlyAsh and Rawor Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM, U.S.A.
- ASTM C 597. 1998.** Standard Test MethodforPulseVelocity Through Concrete. ASTM, U.S.A.
- ASTM C 1113. 2003.** Standart Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire. Annual Book of ASTM, U.S.A.
- Binici, H., Aksoğan, O., Temiz, H., Kaplan, H., Ulusoy, A. 2010.** Theuse of flyashandbasalticpumice as additives in theproduction ofclayfiredbric in Turkey. Int. J. Mat.Res., 101: 887-893.

- Demirboga, R., Gül, R. 2003.** The Effects of Expanded Perlite Aggregate, Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. *Cement Concrete Res.*, 33: 723-727.
- DBYBHY. 2007.** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Olan Binalar Hakkındaki Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 31s.
- European Concrete Platform. 2007.** Comprehensive fire protection and safety with concrete.
- Gündüz, L., Uğur, İ. 2005.** The Effects of different fine and coarse aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixture. *Cement and Concrete Res.*, 35: 1859-1864.
- Khandaker, M., Hossain, A. 2004.** Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Res.*, 34: 283-291.
- Temiz, H., Binici, H., Coşkun, İ. 2010.** Volkanik Cüruf İlave Edilmiş Uçucu Kül Katkılı Betonların Özellikleri. *Hazır Beton*, 97: 74-82.
- TS 802. 2009.** Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- TS 825. 1998.** Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. TSE, Ankara.
- TS 3449. 1980.** Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini. TSE, Ankara.
- TS 3526. 1980.** Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 933-1. 1999.** Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü. TSE, Ankara.
- TS EN 197 - I. 2002.** Çimento Deney Metodları, TSE, Ankara.
- TS EN 206-1. 2002.** Beton - Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-5. 2010.** Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3. 2003.** Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A. 2007.** Türkiye de Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. TÇMB, Ankara, s. 1-11.
- www.diyetvakti.net. Portakal kabuğunun faydaları.
- Yazıcıoğlu, S., Demirel, B. 2005.** Elazığ Yöresi Pomzasının Katkı Maddesi Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, s.245, Denizli.