



EFFECT OF DIFFERENT CURING CONDITIONS ON ULTRASONIC PULSE VELOCITY AND COMPRESSIVE STRENGTH OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

Ahmet COŞKUN* & Harun TANYILDIZI

Fırat Üniversitesi Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğitimi Bölümü 23119/ ELAZIĞ/TÜRKİYE
acoskun@firat.edu.tr

ABSTRACT

The paper reports the results of an experimental study on investigation of the effect of curing conditions on the relationship between the ultrasonic pulse velocity and compressive strength of lightweight concrete with silica fume. In addition to concrete mixture with only Portland cement, concrete mixture with 0%, 10% of silica fume replaced with cement by weight was prepared. Maximum grain diameter of pumice stone is 16 mm. The 150×150×150 mm cube specimens were prepared for compressive strength and ultrasonic pulse velocity. The specimens were cured in different curing conditions, namely standard 20±2 °C water, sealed and air cure for periods of 3, 7, 14 and 28 days. The specimens were tested for compressive strength and ultrasonic pulse velocity. The results showed that water cured specimens always gave the highest values followed by those cured as sealed and in air irrespective of type and age of concrete and test methods; Furthermore, the ultrasonic pulse velocity and compressive strength results for all curing conditions were analyzed by using regression analysis. In this analysis result, it was obtained the high correlation coefficient.

Key Words: *Lightweight concrete, Ultrasonic pulse velocity, Compressive strength, Curing conditions.*

SİLİS DUMANI KATKILI HAFİF BETONUN BASINÇ DAYANIMI VE ULTRASONİK SES GEÇİRGENLİĞİNE FARKLI KÜR KOŞULLARININ ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, agrega olarak pomza taşı, mineral katkı olarak ise silis dumanı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişkiye kür şartlarının etkisi araştırılmıştır. Mineral katkı olarak çimento ağırlığının %10'u oranında silis dumanı katılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında maksimum tane çapı (d_{max}) 16mm olan pomza taşı kullanılmıştır. Ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç deneyleri için 150×150×150 mm ölçülerindeki küp numuneler hazırlanmıştır. 3, 7, 14 ve 28 gün 20±2 °C de su kürü, hava kürü ve torba küründe bekletilen numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre en yüksek ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri, suda kür edilen numunelerde elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, kür ortamları dikkate alınarak verilere lineer regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizi sonucunda, yüksek korelasyon katsayısı değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Hafif beton, Ultrasonik ses geçirgenliği, Basınç dayanımı, Kür koşulları.*

1. GİRİŞ

Pomza, lavlarının katılaşması sırasında gazın dışarı çıkmasıyla oluşan gözenekli ve volkanik kökenli doğal bir kayadır. Birçok alanda kullanılan pomza en çok inşaat sektöründe tüketilir. İnşaat sektöründe pomza, farklı amaçlarla üretilen hafif betonlarda agrega olarak kullanılır [1].

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler sonucunda iki tür pomza oluşmaktadır. Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Bazik pomza' ya bazaltik pomza veya scoria adı verilmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi veya siyahımsı bir görünüme sahip olup ağırlığı 1.0–2.0 gr/cm³ arasında değişmektedir [2].

Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan pomza türü, kirli beyaz renkte olan asidik pomzadır. Asidik pomzanın yoğunluğu 0.5–1.0 gr/cm³ arasındadır [3].

Ülkemiz yapı endüstrisi açısından pomza (bims) doğal, hafif ve gözenekliliği sebebiyle önemli bir malzeme haline gelmiştir. İnşaat sektöründe yapı elemanı olarak farklı formlardaki ürünleri, inşaatlarda blok şeklinde duvar dolgu elemanı olarak değerlendirilmesi gün geçtikçe artmaktadır. Pomza aynı zamanda fiziksel, kimyasal ve içyapısı itibarıyla inşaat sektöründe kullanılan doğal hafif agregaya sınıfına girmektedir. Pomza kayacı doğal hafif agregaya olarak, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişime maruz bırakılmaksızın, farklı tane boyutlarında serbest taneler halinde ısı yalıtım amaçlı bir malzeme olarak da kullanılabilir [4].

Bu çalışmada, Portland çimentosu, agregaya olarak pomza taşı ve mineral katkı olarak silis dumanı kullanılarak hazırlanan numunelerin 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

Deneylerde kullanılan çimento, Elazığ Çimento Fabrikasından temin edilmiş olup TS EN 197–1-CEM I 42,5 R sınıfına giren ve özgül ağırlığı 3.10 gr/cm³ çimentodur [5]. Üretilen taşıyıcı hafif betonun niteliğini geliştirmek için kullanılan silis dumanı ise Antalya Eti Elektrometalürji A.Ş. tesisinden temin edilmiştir. Deneylerde agregaya olarak, Elazığ ili pomza yataklarından elde edilen, siyahımsı renkli bazik pomza taşı kullanılmıştır. Agreganın özellikleri Tablo 1’ de, silis dumanı ile çimentonun kimyasal özellikleri ise Tablo 2’ de verilmiştir. Betonun daha iyi sıkıştırılabilmesi ve işlenebilmesini sağlamak için, yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı ve sertleşmeyi hızlandırıcı özelliğe sahip olan “Rheobuild 1000” katkısı kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan Agreganın Fiziksel Özellikleri

d _{max} (mm)	Pomza Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Su Emme Miktarı (%)
16	2.00	23.00

Tablo 2. Çimentonun ve Silis Dumanının Kimyasal Özellikleri

% Ağırlık olarak	Portland Çimentosu	Silis Dumanı
SiO ₂	21.12	91
Al ₂ O ₃	5.62	0.58
Fe ₂ O ₃	3.24	0.24
CaO	62.94	0.71
MgO	2.73	0.33
LOI	1.42	1.84
Özgül Yüzey Alanı (cm ² /gr)	3430	-
Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	3.1	2.2

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Agregaya olarak pomza taşı kullanılması ile elde edilen taşıyıcı hafif betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliklerini araştırmak amacıyla 3, 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri için kontrol betonu (H) ve silis dumanı katkılı beton (A) olmak üzere iki tip beton serisi hazırlanmıştır. Tüm beton serilerinde aynı tane çapına sahip agregaya kullanılmış olup, çimento dozajı 400 kg/m³ olarak seçilmiştir. Katkı maddesi olarak kullanılan silis dumanı, Portland çimentosu ile ağırlık olarak % 10 oranında yer değiştirilerek karışımlar hazırlanmıştır. Tüm beton serilerinde karışımların Slump deneyinin çökme değeri 7–9 cm arasındadır.

Ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı deneyleri için 150×150×150 mm ölçülerindeki küp numune kalıpları kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda olduğu gibi karışımların hazırlanmasında normal betona göre farklı bir yol izlenmiştir. Öncelikle pomza, karışım suyunun yarısı ile 3 dakika karıştırılır. Daha sonra çimento, silis dumanı ve akışkanlaştırıcıyla karıştırılmış suyun geri kalan kısmı ilave edilerek 10 dakika daha karıştırılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Pomza taşının boşluk oranının diğer agregalara göre daha fazla olmasından dolayı, üniform bir karışım elde etmek amacıyla böyle bir yöntem kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar, her defasında 25' er kez şişlenerek kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra numuneler, 1 gün bekletilip kalıplar söküldükten sonra belirlenen yaşlarda su, hava ve torba kürlerine tabi tutulmuşlardır. Hazırlanan beton numunelerin karışım oranları Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. Beton Karışım Oranları

Beton karışımı	Çimento (kg/m ³)	Silis dumanı (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)	Su/Çimento	Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)
H	400	-	1038	0,77	4,8
A	360	40	1028	0,77	4,8

2.3. Uygulanan Deneyler

2.3.1. Ultrasonik ses geçirgenlik deneyi

Ultrasonik test cihazı ile betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğer yüzüne geçme süresi ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki elde edilmektedir [6].

Beton numunenin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (1)$$

Burada;

V = Ses üstü dalga hızı (km/sn),

S = Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye) [6,7].

2.3.2. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanım deneyi her yaş için 3' er adet 150×150×150 mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Basınç dayanım deneyi TS EN 12390-3' e göre yapılmıştır [8]. 3, 7, 14 ve 28 gün farklı kür uygulanan numuneler 3000 kN yüklemeye kapasitesine sahip otomatik kontrollü preste kırılarak dayanım değerleri bulunmuştur.

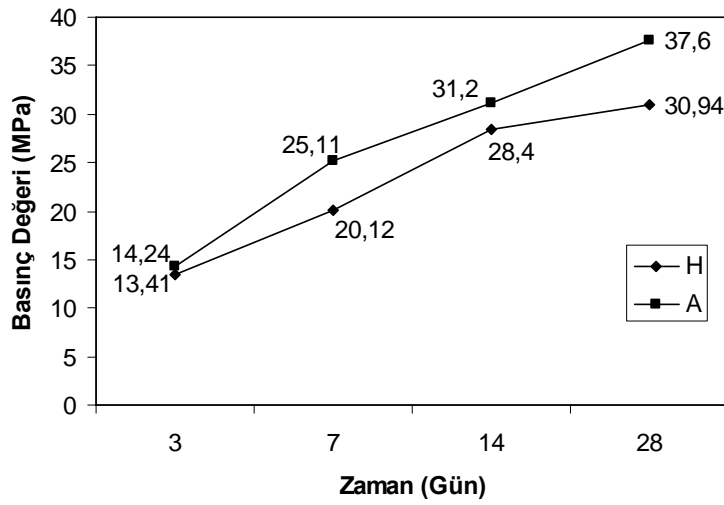
3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞILMASI

Bu çalışmada, ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı deneyleri için 72 adet 150×150×150 mm boyutlarında küp numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 3 farklı kür koşulu altında (su, hava, torba) 3, 7, 14 ve 28 gün kür edildikten sonra, ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, 20±2 °C' de standart kür, torba kürü ve hava kürü uygulanan numunelerin basınç dayanımı değişimleri Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3' de verilmiştir. Hazırlanan beton serilerinin ses üstü geçirgenlik hızları ise Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, A serisindeki numunelerin 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri kontrol betonunun değerlerini geçmiştir. Çalışmada kullanılan silis dumanının tane boyutu, çimentonun tane boyutundan daha küçük olduğu için

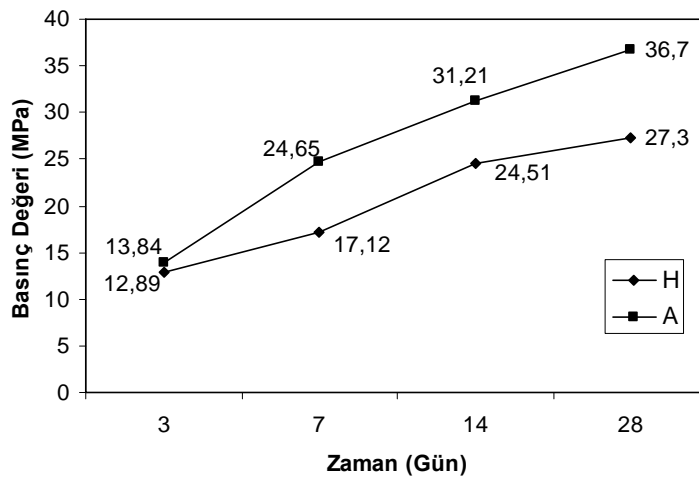
agrega/çimento ara yüzeyinde boşlukları doldurma etkisi gerçekleştirerek daha yoğun bir agrega-bağlayıcı ara yüzeyi oluşturmuştur [9].

Kür ortamları kendi aralarında ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri karşılaştırılarak incelenirse; su kürü uygulanan numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerlerinin, torba kürü uygulanan numunelere göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Aynı şekilde torba kürü uygulanan numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri de, hava kürü uygulanan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

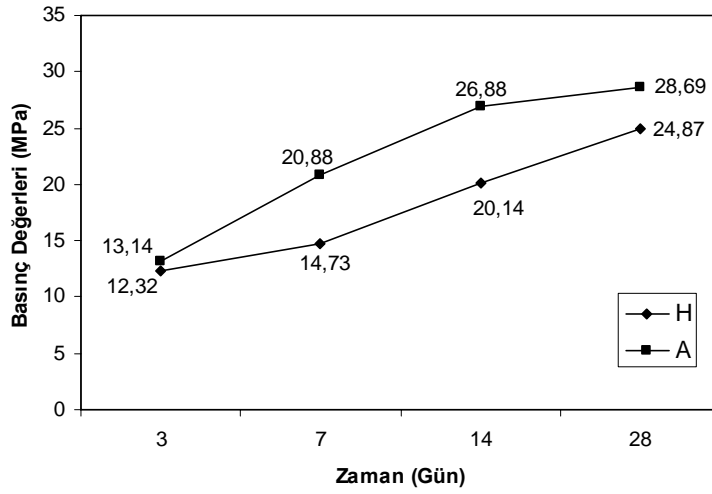
Su kürüne tabi tutulan numunelerin basınç dayanımlarının ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliklerinin, torba kürü ve hava kürüne göre yüksek çıkmasının sebebi, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan hidratasyon ürünleri (çimento jelleri), çimento hamurunun bağlayıcılığını sağlamakta, çimento hamurundaki kapiler boşluk oranını azalttığı olarak açıklanabilir. Bir başka deyişle çimento hamurunun kazanacağı dayanım hızı ve miktarı, hidratasyonu ne ölçüde gerçekleştirmiş olduğuna bağlıdır [6].



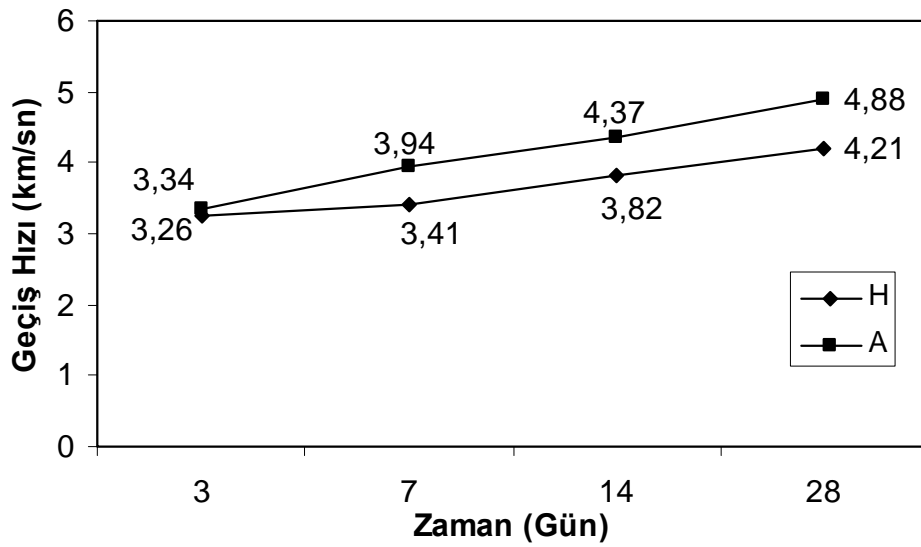
Şekil 1. Hafif agregalı beton serilerinin su kürü periyodu – basınç dayanımı grafiği



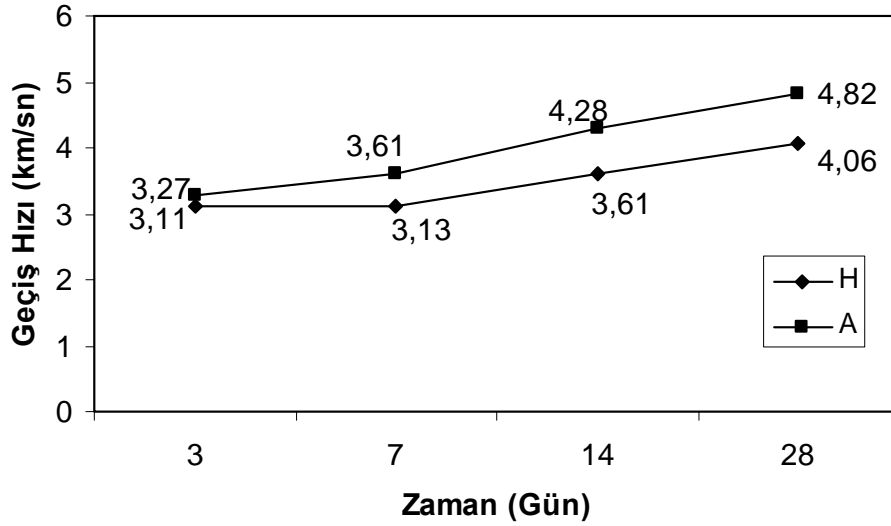
Şekil 2. Hafif agregalı beton serilerinin torba kürü periyodu – basınç dayanımı grafiği



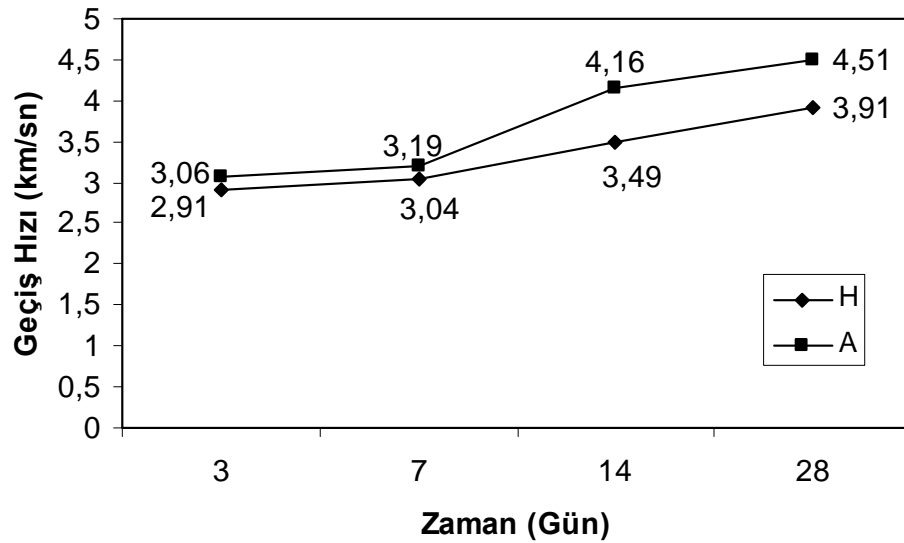
Şekil 3. Hafif agregalı beton serilerinin hava kürü periyodu – basınç dayanımı grafiği



Şekil 4. Hafif agregalı beton serilerinin su kürü periyodu - ultrasonik ses geçirgenlik hızı grafiği



Şekil 5. Hafif agregalı beton serilerinin torba kürü periyodu - ultrasonik ses geçirgenlik hızı grafiği



Şekil 6. Hafif agregalı beton serilerinin hava kürü periyodu - ultrasonik ses geçirgenlik hızı grafiği

3.1 DeneY Sonularımmın Regresyon Analizi

Basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği deneY sonuçlarına, kr ortamları göz önünde bulundurularak nonlineer regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizlerin grafikleri şekil 7–10’ da verilmiştir. Bu grafiklerde beton numunelere uygulanan kr koşulları dikkate alınarak amprik denklem için en uygun eğri çizilmiştir.

Bu denklemlerde;

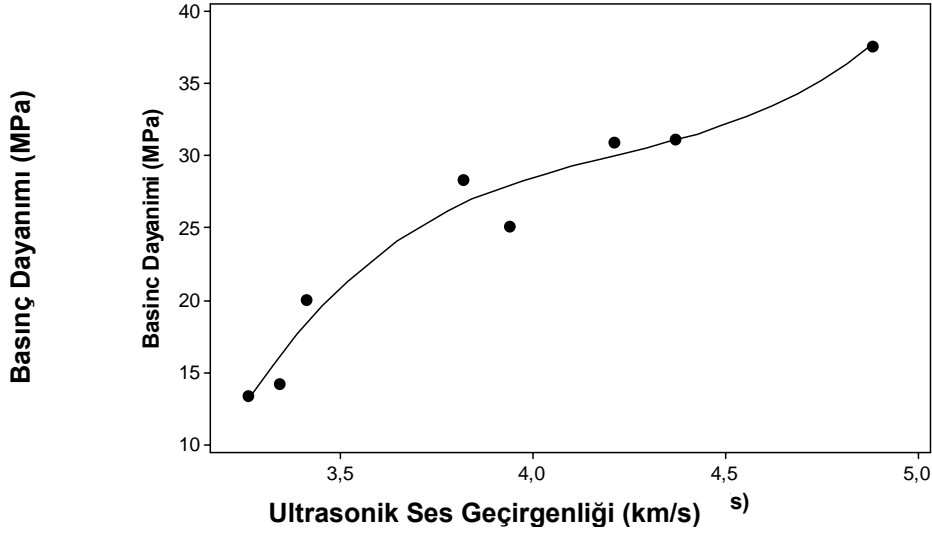
y= Basınç dayanımı,

x=Ultrasonik ses geçirgenliĐini,

ifade etmektedir.

Şekil 7’de su kürü uygulanan numunelerin nonlinear regresyonu sonucunda elde edilen eğriye ait korelasyon katsayısı 0.964 ve 2 denklemi bulunmuştur.

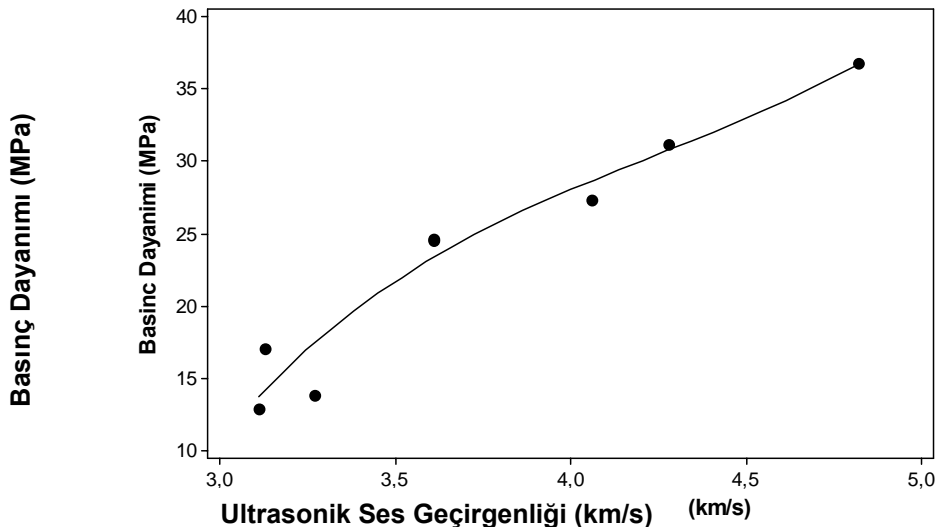
$$y=-898,5+646,4x-151,4x^2+11,95x^3 \quad (2)$$



Şekil 7. Su kürü uygulanan numunelerin nonlinear regresyon analizi sonucunda elde edilen amprik denklemine ait grafik

Şekil 8’de ise su kürü uygulanan numunelerin nonlinear regresyonu sonucunda elde edilen eğriye ait korelasyon katsayısı 0.946 ve 3 denklemi bulunmuştur.

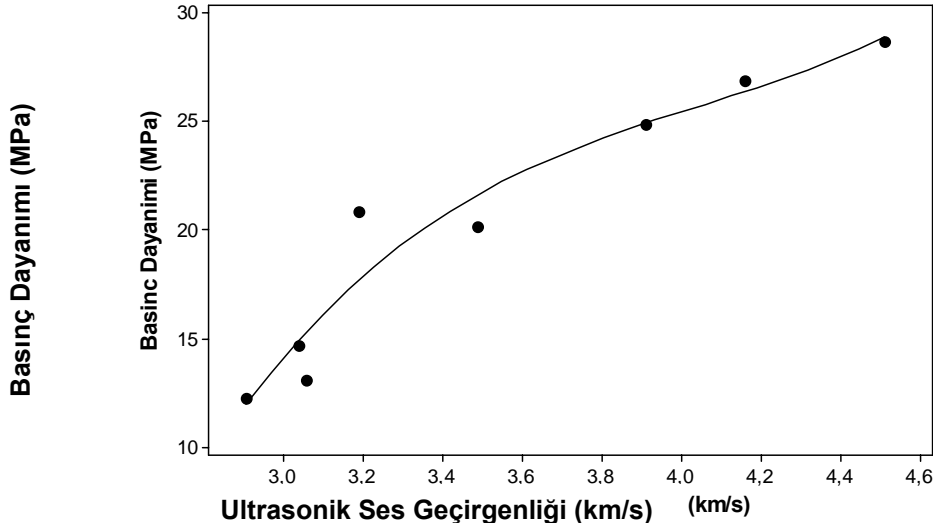
$$y=-313,3+223,6x-50,36x^2+3,951x^3 \quad (3)$$



Şekil 8. Torba kürü uygulanan numunelerin nonlinear regresyon analizi sonucunda elde edilen amprik denklemine ait grafik

Şekil 9'da ise hava kürü uygulanan numunelerin nonlineer regresyonu sonucunda elde edilen eğriye ait korelasyon katsayısı 0.937 ve 4 denklemleri bulunmuştur.

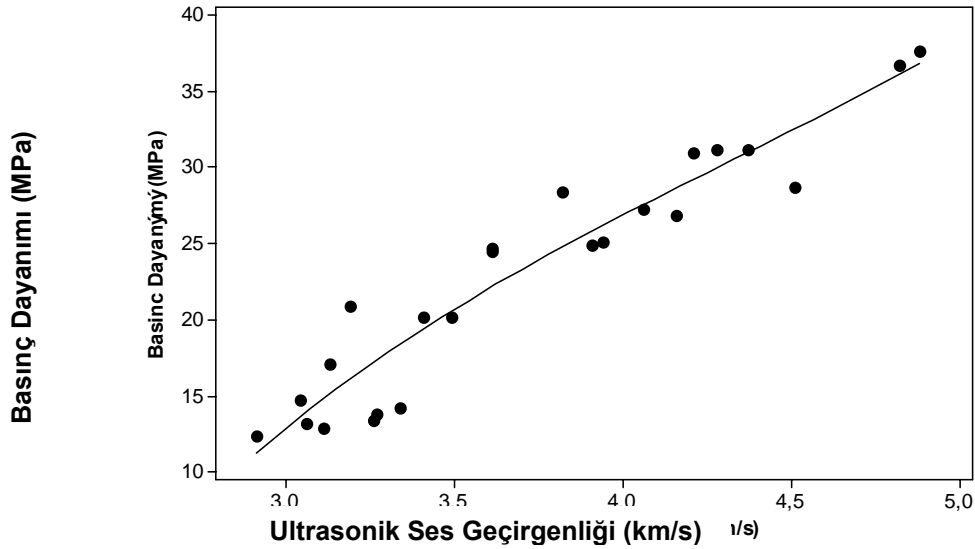
$$y = -314,9 + 240,5x - 57,91x^2 + 4,763x^3 \quad (4)$$



Şekil 9. Hava kürü uygulanan numunelerin nonlineer regresyon analizi sonucunda elde edilen amprik denkleme ait grafik

Şekil 10'da ise bütün kür koşulları göz önüne alınarak yapılan nonlineer regresyonu sonucunda elde edilen eğriye ait korelasyon katsayısı 0.908 ve 5 denklemleri bulunmuştur.

$$y = -122,5 + 84,2x - 16,95x^2 + 1,308x^3 \quad (5)$$



Şekil 10. Bütün kür koşulları göz önüne alınarak yapılan nonlineer regresyon analizi sonucunda elde edilen amprik denkleme ait grafik

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada agrega olarak pomza taşı, mineral katkı olarak ise silis dumanı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişkiye farklı kür koşullarının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Her yaşta en yüksek ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri, 20 ± 2 °C’ de standart kür koşulları altındaki betonlarda elde edilmiştir. Su kürüne tabi tutulan numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımının yüksek çıkmasının sebebi, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda çimento jelleri, çimento hamurunun bağlayıcılığını sağlamakta, çimento hamurundaki kapiler boşluk oranını azalttığı olarak açıklanabilir [6].
- En düşük ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri, hava kürü uygulanan numunelerde elde edilmiştir.
- Silis dumanı katkılı numuneler her yaşta ve tüm kür koşullarında en yüksek ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerini vermiştir. Burada silis dumanı çimento hidrasyonu süresince serbest kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek betonun basınç ve aderans dayanımı gelişiminde etkili olmuştur [10 ,11].
- Deneysel sonuçlarına nonlineer regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizi kür koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda, su kürü uygulanan numunelerin korelasyon katsayısı $r^2=0.964$, torba kürü uygulanan numunelerin korelasyon katsayısı $r^2=0.946$ ve hava kürü uygulanan numunelerin korelasyon katsayısı $r^2=0.937$ olarak bulunmuştur. Su kür koşulunda beklenen numunelerin basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişki diğer kür koşullarına göre yüksek çıkmıştır. Analiz sonucunda elde edilen denklemlerin küçük bir hata ile doğru olduğu bulunmuştur. Böylece basınç dayanımı deneyi yapmaksızın basınç dayanımı değerlerinin, ultrasonik ses geçirgenliği yardımıyla küçük bir hata ile bulunabileceği görülmüştür.
- Elde edilen beton serileri, TS EN 206-1’ e göre LC 35/38 sınıfına girmektedir [12]. Buna göre hafif ve daha iyi dayanım özelliklerine sahip taşıyıcı hafif beton üretilebileceği, betonarme yapılarda rahatlıkla kullanılabilirliği ve böylece yapıların ağırlıklarının düşük olmasını sağlayacağı görülmüştür. Silis dumanının maliyetinin az olması büyük bir avantaj iken sadece Antalya’da bulunması kullanım açısından tek dezavantajdır.
- Dünyadaki nüfusun artmasına paralel olarak enerji tüketiminde de artış söz konusudur. Böylece silis dumanı gibi atık maddeler de gün geçtikçe artmaktadır. Bu atık malzemeler hem hava kirliliğine hem de çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Atık malzemelerin kullanımıyla söz konusu kirlenmeler azaltılacaktır.

Semboller Listesi

- V = Ses üstü dalga hızı (km/sn),
S = Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),
t = Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye),
y= Basınç dayanımı,
x=Ultrasonik ses geçirgenliği.

KAYNAKLAR

- [1] Ceylan, H., 2005; Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği, Doktora Tezi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 201 s.,Isparta.
- [2] Gündüz, L., Yılmaz, İ., Hüseyin, A., 2001. “Hafif agrega olarak genişmiş kil ve pomza taşının teknik özelliklerinin karşılaştırılması.”, *10. Ulusal Kil Sempozyumu*, Konya, 446–456.
- [3] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 1996. “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu.”
- [4] Gündüz, L., 2005. “Bimsblok ve Binalarda Isı Yalıtımı Değerlendirmesi”. <http://www.yapimalzeme.com.tr>
- [5] TS EN 197–1, 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [6] Erdoğan, T. Y., 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- [7] ASTM C 597, 1994. Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standarts.
- [8] TS EN 12390–3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [9] Tasdemir, C. 2003. Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete. *Cement and Concrete Research*, 33 (10), 1637–1642.
- [10] Almussalam, A.A., Beshr, H., Maslehuddin, M. and Al-Moudi, O.S.B., 2004, Effect of silica fume on the mechanical properties of low quality coarse aggregate concrete, *Cement and Concrete Composites*, No. 26, 891–900.
- [11] Khatri, R.P. and Sirivivathnanon V., 1995, Effect of different supplementary cementations materials on mechanical properties of high performance concrete, *Cement Concrete Research*, No. 25, 209–220.
- [12] TS EN 206–1, 2000. Beton –Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.