



Volkanik cüruf modifiyeli betonlarda hasarsız deney yöntemleri ile basınç dayanımı tahmini

Prediction of compressive strength in volcanic slag modified concrete using NDT methods

İlker Bekir Topçu¹, İsmail Hocaoğlu^{2*}

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, ilkerbt@ogu.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2075-6361>

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bolvadin Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, ihocaoglu@aku.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9294-1120>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 15 Şubat 2024
Revizyon 1 Mart 2025
Kabul 2 Mart 2025
Online 26 Mart 2025

Anahtar Kelimeler:

*Beton,
Volkanik Cüruf,
SonReb Yöntemi,
Basınç Dayanımı*

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 February 2024
Received in revised form 1 March 2025
Accepted 2 March 2025
Available online 26 March 2025

Keywords:

*Concrete,
Volcanic Slag,
SonReb Method,
Compressive Strength*

ÖZ

Volkanik cüruflar, kolay temin edilebilir olması, gözenekli yapısı ve yoğunluğunun düşük olmasından dolayı yarı hafif beton imalatlarında ve yalıtım amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Betonların dayanımının hasarsız olarak belirlenmesinde ultrases geçiş hızı ile Schmidt çekici sonuçlarının birleşik olarak değerlendirildiği SonReb yöntemi yerinde beton dayanımı tahmin edilmesinde kullanılır. SonReb yöntemi, yapıya zarar vermeden hızlı bir şekilde yerinde beton dayanımını tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin önemli bir avantajı, bileşime giren yöntemlerin tek tek kullanılmasından kaynaklanan hata oranlarının en aza indirilmesidir. Bu sayede, beton dayanımı hakkında yaklaşık ve güvenilir tahminler elde etmek mümkün hale gelmektedir. Bu çalışmada farklı oranlarda volkanik cüruf içeren betonlara SonReb yöntemi uygulanarak basınç dayanımının tahmin edilmesi amaçlanmıştır ve sonuçta yöntemin yararlı olduğu görülmüştür. Özellikle depremlerin meydana gelmesinden hemen sonra, hasar alan betonarme yapılarda beton basınç dayanımının erken ve ekonomik olarak tesbit edilmesi açısından bu çalışma büyük önem arz etmektedir.

ABSTRACT

Volcanic slags are frequently preferred in the production of lightweight concrete and for insulation purposes due to their easy availability, porous structure, and low density. The SonReb method, which combines the evaluation of ultrasonic transmission velocity and Schmidt hammer results, is used to predict the strength of concrete in situ without causing damage, thus determining the strength of concrete without damage. The SonReb method enables a rapid estimation of concrete strength in situ with reasonable accuracy, minimizing error rates associated with individual methods used in combination. This study aimed to predict the compressive strength of concrete containing various proportions of volcanic ashes using the SonReb method, and the results demonstrated the usefulness of the method. This study is critical for especially in the aftermath of earthquakes, determining the early and cost-effective assessment of concrete compressive strength in earthquake-damaged reinforced concrete structures is of significant importance.

Doi: 10.24012/dumf.1437934

* Sorumlu Yazar

Giriş

Dünya genelinde en çok tercih edilen yapı malzemesi olan çimento, hidrolik bağlayıcı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Dünya genelinde sınırlı enerji kaynaklarının azalması ve çimento üretimi sırasında çevreye salınan CO₂ bilim insanlarını beton üretiminde alternatif malzemelere yönlendirmektedir [2-3]. Volkanik cüruf, volkanik olaylarda oluşan bazaltik-andezitik ve camı yapıya sahip bir kayaç türüdür [4,5,6]. Kolay temin edilebilir olması, gözenekli yapısı ve yoğunluğunun düşük olması sayesinde yarı hafif beton imalatlarında ve yalıtım amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir [7-10]. Ayrıca bazı durumlarda volkanik patlama sırasında gaz kabarcıkları tarafından oyulmuş, boşluklu kayalardan da oluşabilmektedir [11,12].

Deprem gibi sismik olaylarda yapılarda meydana gelen hasarlar, can ve mal kayıplarının meydana gelmesinde etkili olmaktadır. Bunun yanında ülkelerin ekonomilerinin de olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Örnek olarak 6 Şubat 2023'de Türkiye'de 7.8 büyüklüğünde meydana gelen depremde beş yüz doksan bin yapı az hasarlı, kırk beş bin beş yüz yapı ise orta hasarlı olduğu tespit edilmiştir [13,14]. Depremde hasar gören, hafif ve orta hasarlı yapılarda beton basınç dayanımlarının belirlenmesi ve önlemler alınması ile bir sonraki depremde daha az can kaybının yaşanması sağlanabilir. Günümüzde hasarlı (karot) yöntemlerle beton basınç dayanımları belirlenebilmektedir. Ancak hasarlı yöntemler ekonomik olmamakla birlikte zaman kaybına da neden olmaktadır. Bu doğrultuda hasarlı yöntemler ile çimento esaslı malzemelerin boşluk oranları belirlenerek, basınç dayanımlarını tahmin etme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Uyanık ve diğ. [15] beton basınç dayanımının tahmininde jeofizik yöntemler kullanmışlar ve beton basınç dayanımı ile basınç dalga hızı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Schmidt ölçümleri basınç dayanımı ile ilgili net bilgiler vermese de betonun yüzey sertliği hakkında bilgi verebilmektedir [16]. Bir diğer deney yöntemi ise ultrasonik ses geçiş cihazı ile çimentolu malzemelerde boşluk miktarı ile basınç dayanımının ilişkilendirilmesidir [17].

SonReb yöntemi, betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesine uygun, en yaygın hasarsız yöntemdir. Tek tek ele alındığında, hem Schmidt geri tepme çekici hem de ultrasonik geçiş hızı yöntemlerindeki belirsizlik için belli sınırlarda hesaplama yapılmasını sağlamaktadır. SonReb'le, betonarme bir binanın yerinde beton dayanımı tahmin edilerek ve hasarlı deney sonuçları karşılaştırılır. Bu yöntem, Schmidt çekici okumaları ve ultrases geçiş hızı sonuçlarını bir araya getirilerek değerlendirir. SonReb, yerinde beton dayanımını hızlı bir şekilde ve yapıya zarar vermeden yaklaşık olarak tahmin etmekte olup, bu yöntemin bir diğer avantajı, bileşime giren yöntemlerin tek tek kullanılmasından kaynaklanan hataları en düşük seviyelere indirmesidir [18].

Literatürde SonReb yöntemiyle çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Akman ve Güner [19] yaptıkları çalışmada, ultrasonik darbe hızı ve Schmidt indeksi ölçümünün bir kombinasyonu olan Sonreb yönteminin, yüksek sıcaklıkların ve amonyum nitrat ve amonyum sülfatın kimyasal saldırısının neden olduğu hasarın belirlenmesinde

uygulanabilirliğinin sınırlarını belirlemektedir. Yangından zarar gören betonların hasar derecesi, süresi gibi sınıflandırmalar yapıldıktan sonra SonReb yönteminin yangından zarar gören betonların değerlendirilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [19]. Cianfrone ve Facaoaru [20] çalışmalarında, bazı doğu Avrupa ülkelerinde, betonun dayanımının yerinde hasarsız incelenmesi için ultrasonik hız - geri tepme endeksi birleşik yönteminin yaygın olarak kullanıldığını ve resmi olarak standartlaştırıldığını belirtmişler, yazdıkları makalede bu yöntemin İtalya'da çeşitli bileşimlerdeki belirli sayıda örnek beton küp üzerinde uygulanmasının sonuçlarını sunmaktadırlar [20]. Mevcut Romanya uygulamalarına özellikle atıfta bulunularak, İtalya'da uygulanmak üzere bu yöntemde bazı değişiklikler ve genişletmeler yapılmasını önerilmektedirler [20]. Ancak betonarmeye yapılan hatalar, yapının yaşı, donatıların olup olmadığı, karbonatlaşma, gözeneklilik, çatlaklar, agregaların özellikleri gibi faktörlerin yanı sıra sıcaklık ve nem gibi çevresel parametreler sonuçların doğruluğu ve hassasiyetini etkileyebilmektedir [21,22]. Bu nedenle, bu yöntem hasarsız bir teknik olması nedeniyle, hasarlı deneylerin güvenilirliğini ve doğruluğunu destekleyebilmektedir [21,22]. Literatürde SonReb yöntemi kullanılarak güvenilirliğini araştıran (katsayı çeşitliliği) bazı çalışmaların yapıldığı da görülmüştür [23]. SonReb yönteminin güvenilirliğini inceleyen bazı araştırma sonuçları Tablo 1' de gösterilmiştir [23].

Tablo 1. SonReb yönteminin katsayı çeşitliliğini araştıran bazı çalışmalar [23]

Yazar	f _{ck} , MPa	Standart sapma	Katsayı çeşitliliği, %
RILEM [24]	26.29	3.12	11.88
Bellander [25]	53.30	9.12	17.11
Meynink ve diğ. [26]	41.00	3.82	9.33
Tanigava ve diğ. [27]	26.07	3.50	13.60
Arioğlu ve Köylüoğlu [28]	36.40	4.89	13.45
Chandak ve Kumavat [29]	23.67	1.40	5.91
Kheder [30]	17.99	1.29	7.18

Depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasarlar bilim insanlarını alternatif hafif malzemelere yönlendirmektedir. Ayrıca depremden hemen sonra yapılarda hasar tespit çalışmalarının olabildiğince erken tamamlanması, olası can kaybının en düşük seviyelerde kalmasını sağlanabilir. Bu çalışmada volkanik cüruf katkılı betonlarda Schmidt çekici deneyleri ve ultrases geçiş hızı ölçümlerinin yapılması ile basınç dayanımının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Çimento

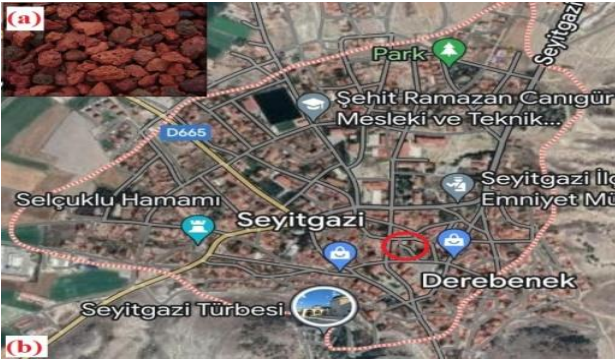
Deneylerde Eskişehir Çimento fabrikasının üretmiş olduğu CEM I 32.5 R çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun 28 günlük basınç dayanımının 36.5 MPa olduğu gözlenmiştir. Beton üretiminde kullanılan çimentonun bazı özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	CEM I 32.5 R
90µ'luk elekte kalan miktar (g)	1080
90µ'luk elekte kalan miktar (g)	1080
Özgül ağırlık (gr/cm ²)	2.97
Toplam şişme (Le Chatelier) mm	4
Priz başlangıç (dak.)	200
Priz bitiş (dak.)	300

Volkanik Cüruf

Beton üretimindeki volkanik cüruf, Eskişehir-Seyitgazi yolu üzerindeki Şükranlı köyü civarından (Şekil 1) temin edilmiştir. Volkanik cürufların mikroskobik incelemesinde camsı matris içerisinde sanidin, andezin ve kuvars fenokristalleri ile %1 oranında piroksen kristallerinden oluştuğu, cürufta oluşan boşlukların soğuma sırasında matriste meydana geldiği ve adının içi boş riyodasit olabileceği öngörülmüştür. Bir kenarı 7 cm olan küp şeklinde olduğunda birim ağırlığının 1390 kg/m³ olduğu görülmüştür. Basınç dayanımı 17 MPa olup, Böhme aşındırma cihazı ile aşınması %9 olarak bulunmuş olup, agrega haline getirildiğinde cürufun özgül ağırlığı 1730, birim ağırlığı 1330 kg/m³, su emmesi %14, gözenekliliği 0.22 olarak bulunmuştur [5,12].



Şekil 1. Beton üretiminde kullanılan volkanik cürufun bir görünümü (a) ve temin edildiği yer (b)

Deneylerde kullanılan volkanik cüruf konkasörden geçirilerek 0/31.5 mm boyutuna indirilmiştir. Sonrasında volkanik cüruf 0/16 ve 0/8 mm'lik dane boyutuna indirilmiştir. Volkanik cürufa ait elek analizi sonuçları ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Volkanik cürufun elek analizi ve bazı fiziksel özellikleri.

Elek açıklıkları (mm)	Geçen %	
	0/8	0/16
31.5	100	100
16	100	100
8	100	91
4	82.0	79
2	54.5	57.5
1	35.2	39
0.50	26.5	28
0.25	12.5	12
İncelik modülü	2.89	2.94
Özgül ağırlık (kg/m ³)	1983	1945
Gevşek birim ağırlık (g/dm ³)	1070	1080

Kum

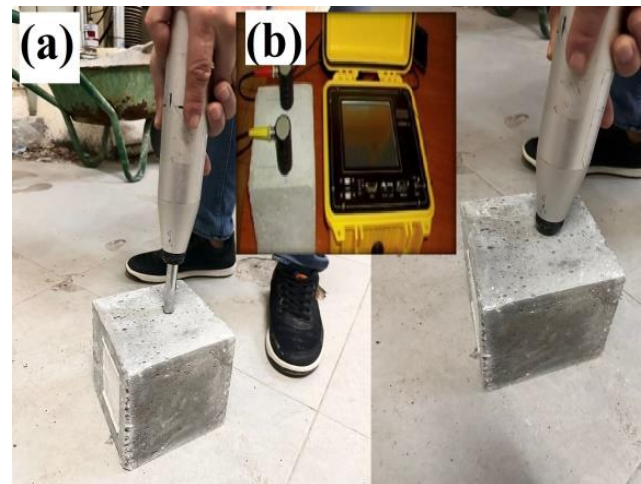
Deneylerde kırma kum kullanılmıştır. Beton üretimi için kullanılan kumun elek analizi sonuçları ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Kullanılan kumun elek analizi deney sonuçları

Elek açıklıkları (mm)	Geçen %
8	100
4	98
2	94
1	90
0.50	77
0.25	9
İncelik modülü	1.36
Özgül ağırlık (kg/m ³)	550
Gevşek birim ağırlık (g/dm ³)	1449
Su emme (30 dak.) %	1

Beton Üretimi ve Yapılan Deneyler

Beton üretiminde su/çimento oranı sabit (0.40) tutulmuştur. Beton üretiminde ince agrega olarak %50 oranında kırma kum kullanılmıştır. Daha sonra bu harç fazı içerisinde farklı dane boyutlarındaki (0/8 ve 0/16 mm) ve farklı oranlarda (%15, %30, %45 ve %60) volkanik cüruf katılan betonlar üretilmiştir. Karışım işlemleri olarak öncelikle kuru karışım gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bir karıştırıcı yardımıyla beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen betonlar 15 cm'lik polyster küp kalıplara yerleştirilmiştir. Oda koşullarında üretilen betonlar 1 gün sonra kalıplardan çıkartılarak 7 ve 28 gün süreyle kürlenmiştir. Sonrasında SonReb (ultraSon + Rebound hammer) analizi yapabilmek amacıyla Schmidt çekici (ASTM C805, 2013) [31] ve ultrases geçiş süresi ölçümleri (TS EN 12504-4, 2021) [32] gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Hasarsız ölçümlerin hemen ardından volkanik cüruf katkılı ve katkısız betonlarda TS EN 12390-3, 2019'e [33] göre basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

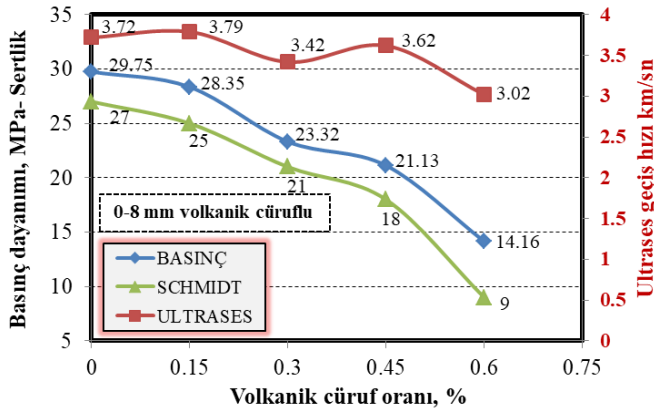


Şekil 2. Hasarsız deneylerin yapılması (a-Schmidt çekici, b-ultrases geçişi)

Sonuçlar ve Tartışma

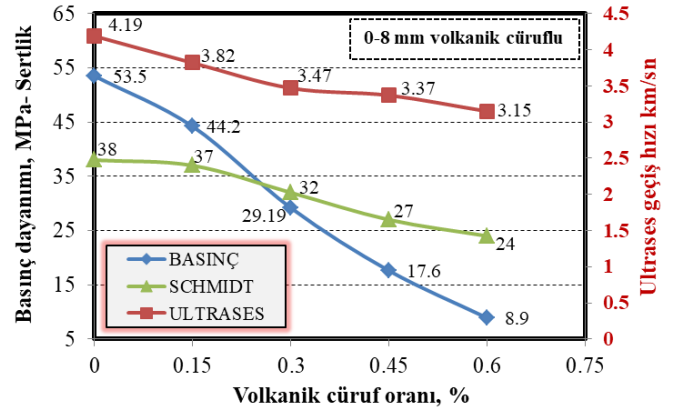
Dane Boyutları 0/8 mm olan Volkanik Cüruf Katkılı Betonların İncelemesi

Şekil 3, 7 gün kür edilen farklı oranlarda volkanik cüruf (0/8 mm dane çapındaki) içeren betonların basınç dayanımları, Schmidt sertlik değerlerini, ultrases değerlerini karşılaştırmak için oluşturulmuştur. Beton içindeki volkanik cüruf miktarının artmasıyla basınç dayanımında azalma gözlenmiştir. Sırasıyla %0.15, %0.30, %0.45 ve %0.60 oranlarında volkanik cüruf katkı betonların basınç dayanımları kontrol numunesine göre yaklaşık olarak sırasıyla %4.57, %21.61, %28.97 ve %52.40 oranlarında azalmıştır. Betonların basınç dayanımlarındaki bu azalma porozitenin artması ile açıklanabilir. Numunelerin ultrases ve Schmidt çekici değerleri incelendiğinde tüm serilerde paralel bir azalma gözlenmiştir. Bu sonuç, ultrases deneylerinde elde edilen sonuçların Schmidt çekici deneylerinde elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. Bu durum deneylerin güvenilir olduğunu göstermektedir. Yine 7 gün kür edilen betonlarda yüksek oranda volkanik cüruf (%0.45 ve %0.60) kullanılmasının mekanik dayanımı, ultrases geçişini ve numunenin sertliğini yüksek oranda azalttığı gözlenmiştir. Çimentolu malzemelerde volkanik cürufun kullanılması gereken optimum miktarın %0.15 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. 7 gün kür edilmiş betonlarda basınç dayanımı ile hasarsız yöntemlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Şekil 4, 28 gün kür edilen farklı oranlarda volkanik cüruf (0/8 mm dane çapındaki) içeren betonların basınç dayanımları, Schmidt sertlik değerlerini ve ultrases geçiş hızlarını karşılaştırmak için oluşturulmuştur. Beton içindeki volkanik cüruf miktarının artması basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur. Sırasıyla %0.15, %0.30, %0.45 ve %0.60 oranlarında volkanik cüruf katkı betonların basınç dayanımlarının kontrol numunesine göre yaklaşık olarak sırasıyla %17.38, %45.43, %67.10 ve %83.36 oranlarında azalmıştır. Tüm serilerde volkanik cüruf oranının artması ile basınç dayanımı, Schmidt sertliği ve ultrases değerlerinde azalmalar gözlenmiştir.

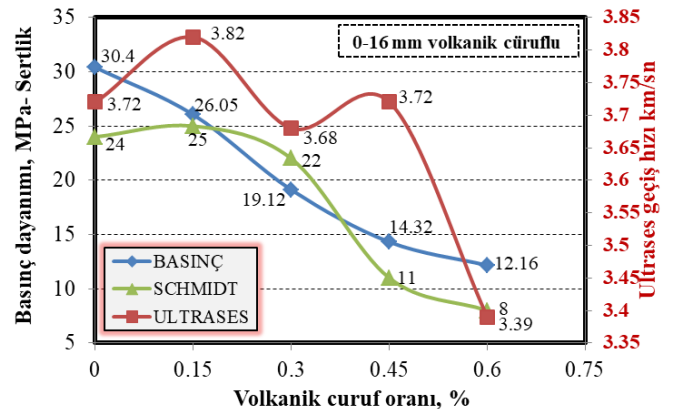


Şekil 4. 28 gün kür edilmiş betonlarda basınç dayanımı ile hasarsız yöntemlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Ancak volkanik cüruf oranının artması ile Schmidt sertliği değerlerinde daha fazla miktarda azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Bu durum Schmidt çekici deneyinin beton yüzeylerinden yapılması nedeniyle, özellikle %0.45 ve %0.60 volkanik cüruf içeren beton yüzeylerinin boşluklu yapıya sahip olması ile açıklanabilir. Şekil 4, Schmidt çekici deneylerinde elde edilen sonuçların ultrases deneyinde elde edilen sonuçları genel olarak doğruladığını göstermiştir.

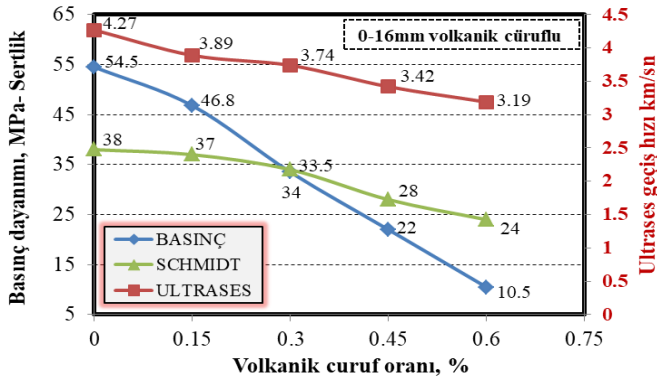
Dane Boyutları 0/16 mm olan Volkanik Cüruf Katkılı Betonların İncelemesi

Şekil 5, 7 gün kür edilen farklı oranlarda volkanik cüruf (0/16 mm dane çapındaki) içeren betonların basınç dayanımları, Schmidt sertlik değerlerini, ultrases değerlerini karşılaştırmak için oluşturulmuştur. Basınç dayanımı açısından konulması gereken optimum volkanik cüruf oranının %0.15 olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek volkanik cüruf oranlarında basınç dayanımında yüksek miktarda azalmalara neden olmuştur. Bu nedenle taşıyıcı elemanlarda %0.15 üzerinde volkanik cüruf kullanılmasının uygun olmadığı yorumu yapılmıştır. Şekil 5 incelendiğinde volkanik cüruf oranının %0.30'dan %0.45'e çıkarılması ile ultrasonik ölçümde artış gözlenmiştir. Bu durum %0.30 volkanik cüruf içeren beton numunelerinde, ölçümlerin yüksek ihtimalle numunelerin kompozitenin yüksek olduğu bölgelerden deney yapılmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. 7 gün kür edilen 0/8 mm ve 0/16 mm ile üretilen betonların ultrases değerlerinde anlamlı bir ilişki kurulamamıştır.



Şekil 5. 7 gün kür edilmiş betonlarda basınç dayanımı ile hasarsız yöntemlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Şekil 6, 28 gün kür edilen farklı oranlarda volkanik cüruf (0/16 mm dane çapındaki) içeren betonların basınç dayanımları, Schmidt sertlik değerlerini, ultrases değerlerini karşılaştırmak için oluşturulmuştur. Genel olarak 0/8 mm dane çapında volkanik cüruf katkılı betonların basınç dayanımlarının 0/16 mm dane çaplı volkanik cüruf modifiyeli betonların basınç dayanımlarından daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir. Bu durum daha düşük dane çaplı volkanik cürufun beton içerisindeki boşlukları daha iyi doldurması ile açıklanabilir. Beton içerisinde %0.15'den daha fazla volkanik cüruf katıldığında basınç dayanımının yüksek oranda azaldığı gözlenmiştir (Şekil 6). Bu çalışmanın diğer sonuçları destekleyecek biçimde, Schmidt ve ultrases deneylerinin yapılması ile beton basınç dayanımının karşılaştırılmasının yapılabileceği yorumu yapılmıştır.



Şekil 6. 28 gün kür edilmiş betonlarda basınç dayanımı ile hasarsız yöntemlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması

SonReb Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımı Tahmini

Beton matrisi çok karmaşık olması nedeniyle beton üretim aşamalarında meydana gelecek küçük bir değişim basınç dayanımını etkileyebilmektedir. Bu etkenlerden bazıları agreganın türü, boyutu, çimentonun tipi, çimentonun inceliği, çimento içerleği, kür koşulları, ortam koşulları vb.'dir. Sertleşmiş betondan numune alınması (karot) ile daha kesin sonuçlar elde edilse de hem zaman kaybına hem de maliyet açısından olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu nedenle bilim insanları, hasarsız yöntemlerle basınç dayanımı tahminine yönelmişlerdir. Betonlarda ultrasonik geçiş hızı (UPV) ve beton Schmidt çekici ölçümleri ile basınç dayanımı tahmin edilebilmektedir [34]. Ancak beton basınç dayanımını tahmin edebilmek için hem Schmidt çekici hem de ultrasonik cihazı ile ölçüm yapılması gerekmektedir. SonReb denilen bu yöntemde betonun basınç dayanımı $f_{ck}=a.V^b.S^c$ formülü yardımıyla hesaplanabilmektedir [35]. Formülde f_{ck} betonun tahmini basınç dayanımını, V ultrasonik ses geçiş hızını, S: Schmidt çekiciden elde edilen değeri, a, b, c: veri katsayılarını ifade etmektedir. SonReb yöntemi için EXCEL'in LINEST işlevi kullanılabilir. "LINEST", bir çizginin istatistiklerini hesaplamak için "en küçük kareler" yöntemini kullanarak hesaplama yapmaktadır. Verilere en iyi uyan doğrusal denklemi bulmaya yardımcı olur. Ayrıca diğer model türlerinin istatistiklerini hesaplamak için LINEST'i diğer işlevlerle birleştirip polinom, logaritmik, üstel ve kuvvet serileri de hesaplanabilir. SonReb yöntemi için LINEST'i kullanabilmek için verilerin doğal logaritmalari ile çalışmak gerekir. Bunu yapmak için öncelikle "LN" fonksiyonu

kullanılır. Bunu yapmak için öncelikle "LN" fonksiyonunda ilgili formül $y=m_1x_1+m_2x_2+b$ şeklinde olur. Bu denklemde SonReb katsayıları a, b, c = EXP(b), m2, m1 olur. Buna göre gerekli düzenlemeler yapırsa hesaplamalar sonucunda aşağıdaki Tablo 5'deki sonuçlar elde edilir.

Bu çalışma için üretilen 2 seri için yukarıdaki denklem yardımıyla betonların basınç dayanım değerleri elde edilmiştir (Tablo 5). Tablo 5 incelendiğinde tahmin edilen basınç dayanımlarının genel olarak gerçek dayanımdan daha düşük olduğu görülmüştür.

Bazı serilerde gerçek dayanımla benzer olacak şekilde basınç dayanımı tahmin edilebilmiştir. Örnek olarak M2 serisinde yalnızca %1.20'lik fark çıktığı gözlenmiştir. Bazı serilerde ise büyük oranda sapmalar gözlenmiştir. Bunun nedeninin hasarsız yöntemlerden %100 doğru sonuç elde edilememesi ile açıklanabilir. Örnek olarak M5 serisi incelendiğinde gerçek dayanım 12.16 MPa iken tahmin edilen dayanım 19.42 MPa olmuştur. Denklemde parametrelerin oldukça fazla olması nedeniyle herhangi bir numunede bir parametrenin yanlış belirlenmesi veya ölçüm yapılan numunenin porozitesinin yüksek olması deney sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu nedenle SonReb yöntemi ile basınç dayanımının olabildiğince çok numune üzerinde gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

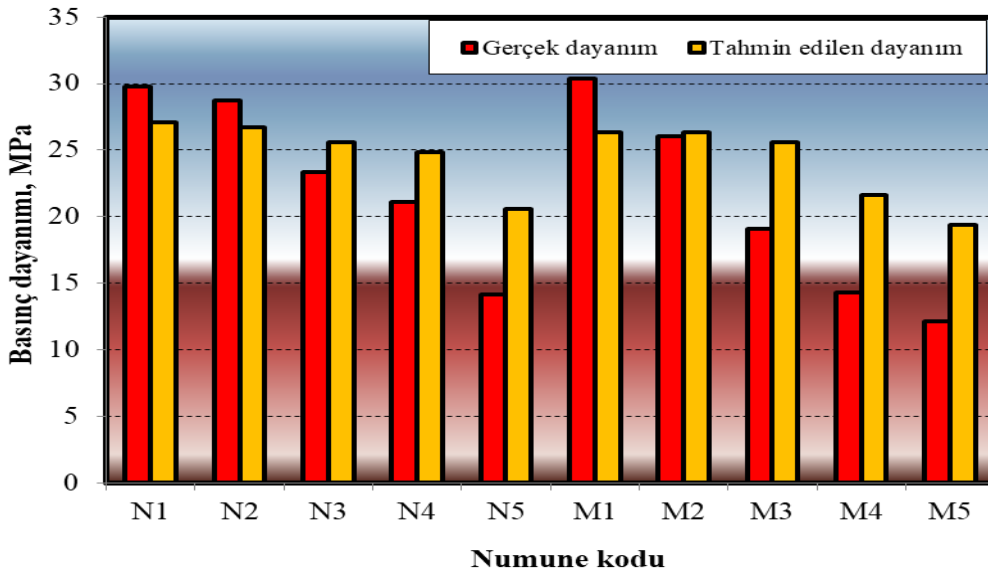
Sonuç ve öneriler

Temele gelen yüklerin azaltılması ile zemin taşıma kapasitesi artırılabilir, bu sayede deprem güvenliği sağlanabilmektedir. Bu çalışmada farklı dane çapındaki ve farklı oranlarda volkanik cüruf katılan betonların basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bir diğer kısmında SonReb yöntemi kullanılarak betonların basınç dayanımları tahmin edilmiştir. Özellikle depremlerin ardından yapıların hasar tespitinin ekonomik olması ve güvenilirlik açısından bu çalışmanın büyük öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Optimum volkanik cüruf miktarın %0.15 olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle taşıyıcı elemanlarda %0.15 üzerinde volkanik cüruf kullanılmasının uygun olmadığı yorumu yapılmıştır. Betonlarda volkanik cürufun artması ile porozitenin arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle çimento esaslı malzemelerde volkanik cürufun yalıtım amaçlı kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.
- Genel olarak 0-8 mm dane çapında volkanik cüruf katkılı betonların basınç dayanımlarının 0-16 mm dane çaplı volkanik cüruf modifiyeli betonların basınç dayanımlarından daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir.
- 7 ve 28 gün kür edilen betonlarda yüksek oranda volkanik cüruf (%0.45 ve %0.60) kullanılmasının mekanik dayanımı ve ultrases geçişini ve sertliğini yüksek oranda azalttığı gözlenmiştir.
- Bazı serilerde gerçek dayanımla benzer olacak şekilde basınç dayanımı tahmin edilebilmiştir. Örnek olarak M2 serisinde yalnızca %1.20'lik fark çıktığı gözlenmiştir (Şekil 7). Bazı serilerde ise basınç dayanımı tahminlerinde büyük oranda sapmalar gözlenmiştir. Bunun nedeninin hasarsız yöntemlerde (beton numunelerinin homojen özellik göstermemesinden dolayı) %100 doğru sonuç elde edilemeyeceği yorumu da yapılmıştır.

Tablo 5. 28 gün kür edilen betonlarda basınç dayanımı tahmini

Numune kodu	V (m/s)	S	LN(f_{ck})	LN(V)	LN(S)	f_{ck} (MPa)	Tahmini f_{ck} (MPa)	Fark	% Fark
N1	3720	27	3.39	8.22	3.29	29.75	27.06	2,69	0,09
N2	3790	25	3.34	8.24	3.21	28.35	26.69	1,66	0,06
N3	3420	21	3.14	8.13	3.04	23.32	25.56	-2,24	-0,10
N4	3620	18	3.05	8.19	2.89	21.13	24.83	-3,70	-0,18
N5	3020	9	2.65	8.01	2.19	14.16	20.55	-6,39	-0,45
M1	3720	24	3.41	8.22	3.17	30.40	26.36	4,04	0,13
M2	3820	25	3.26	8.24	3.21	26.05	26.36	-0,35	-0,01
M3	3680	22	2.95	8.21	3.09	19.12	25.63	-6,62	-0,35
M4	3720	11	2.66	8.22	2.39	14.32	21.63	-7,31	-0,51
M5	3390	8	2.49	8.12	2.07	12.16	19.42	-7,26	-0,60



Şekil 7. Betonların gerçek basınç dayanımları ile tahmin edilen basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Kaynaklar

- [1] M.Y. Vahabi, B. Tahmouresi, H. Mosavi, S.F. Aval, "Effect of pre-coating lightweight aggregates on the self-compacting concrete," *Structure Concrete*, vol. 23, pp. 2120-2131, 2022. <https://doi.org/10.1002/suco.202000744>.
- [2] M.C. Acar, "Usability of Kayseri volcanic slags as filling material on flexible paved roads," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 37(1), pp. 47-56, 2022.
- [3] İ.B. Topçu, "Volkanik cürüflarla üretilen yarı hafif betonların özellikleri," IX. Müh. Semp., *Süleyman Demirel Üniv., Müh.-Mim. Fak.*, pp. 95-97, 1996.
- [4] S. Demirdağ, L. Gündüz, L. "Volkanik cürüfların inşaat endüstrisinde hafif beton agregası olarak değerlendirilme kriterleri," *3. Kırmataş Sempozyumu*, pp. 51-58, 2003.
- [5] İ.B. Topçu, "Volkanik cürüfların hafif beton agregası olarak kullanılma olanaklarının incelenmesi", *İMO X. Teknik Kongresi*, vol. 1, pp. 437-451, 1989.
- [6] İ.B. Topçu, "Eskişehir volkanik cüruf agregası kullanılarak üretilen yarı hafif betonların özellikleri", *Anadolu Üniv. Müh.-Mim. Fak. Der.*, vol.8(2), pp. 55-73, 1994.
- [7] A. A. Balog, N. Cobirzan, C. Aciu, D.A. Ilutiu-Varvara, "Valorification of volcanic tuff in constructions and materials manufacturing industry (pp: 323328)," *The 7th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2013)*, Petru Maior University of Tirgu Mures, October, pp. 10-11, Romania, 2014.
- [8] T. Ercan, A. Dinçel, S. Metin, A. Türkecan, E. Günay, "Uşak yöresinin neojen havzaları jeolojisi," *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, vol. 21(2), pp. 104, 1978.
- [9] İ.B. Topçu, "Hafif Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Olarak İncelenmesi," *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bil. Ens.*, Mart 1988, İstanbul.
- [10] İ.B. Topçu, "Properties of concretes produced by volcanic slags," *Concrete Technology for Developing Countries, 4th Int. Conf., EMU*, pp. 59-66, 1996.
- [11] T. Ercan, A. Türkecan, A. Dinçel, E. Günay, "Kula-Selendi (Manisa) dolaylarının jeolojisi", *Jeoloji Müh. TMMOB Odası Yayın Organı*, vol.17, pp. 17-19, 1983.

- [12] İ.B. Topçu, "Semi lightweight concretes produced by volcanic slags", *Cement and Concrete Research*, vol. 27(1), pp. 15-21, 1997.
- [13] Preliminary assessment report of AFAD, 06 February 2023, Pazarcık (Kahramanmaraş) mw 7.7, Elbistan (Kahramanmaraş) mw 7.6 earthquakes, 2023.
- [14] Environment, Urbanization, and Climate Change (MEUCC), General Directorate of Construction Affairs, 2023, Ankara.
- [15] O. Uyanık, G. Şenli, B. Çatlıoğlu, "Binaların beton kalitesinin tahribatsız jeofizik yöntemlerle belirlenmesi", *SDU International Technologic Science*, vol. 5(2), pp. 156-165, 2013.
- [16] TS 3260, "Beton yüzey sertliği yolu ile yaklaşık beton dayanımının tayini," *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara, 1978.
- [17] R.N. Swamy, A.H.M.S. Al-Hamed, "Evaluation of the windsor probe test to assess in-situ concrete strength," *Proc. Inst. Civil Engineering*, Part 2, England, 1989.
- [18] İ. Yüksel, "Bileşik yıkıntısız yöntemle yerinde beton dayanımının tahmini," *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 9(2), pp. 231-235, 2003.
- [19] M.S. Akman, A. Güner, A. "The applicability of sonreb method on damaged concrete," *Materials and Construction*, vol. 17, pp. 195-200, 1984.
- [20] F. Cianfrone, I. Facaoru, Study on the introduction into Italy, of the combined non-destructive method, for the determination of in situ concrete strength, *Materials and Structures*, vol. 12 (71), pp. 413-429, 1979.
- [21] M. Cristofaro, S. Viti, M. Tanganelli, "New predictive models to evaluate concrete compressive strength using the SonReb method," *Journal of Building Engineering*, vol. 27, pp. 1-21, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100962>.
- [22] A. Hussain, S. Akhtar, "Visual analysis and Schmidt rebound hammer test of Taj-ulMasajid," *Informes de la Construcción*, vol. 69(547), pp. 1-8, 2017. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.097>
- [23] A. Hernández Oroza, J.R. Cuetara Ricardo, "Evaluation of SonReb models for estimating compressive strength in Cuban cement and aggregate concrete," *Revista ALCONPAT*, vol. 13(1), pp. 97-111, 2023. <https://doi.org/10.21041/ra.v13i1.602>
- [24] RILEM NDT 4., "Recommendation for in Situ Concrete Strength Determination by Combined Non-destructive Methods," *Compendium of RILEM Technical Recommendations*. U.K., London, 1993.
- [25] U. Bellander, "NDT testing methods for estimating compressive strength in finished structures—evaluation of accuracy and testing system" in: RILEM Symp. Proc. on Quality Control of Concrete Structures, *Session*, pp. 37-45, 1979.
- [26] P. Meynink, A. Samarin, "Assessment of compressive strength of concrete by cylinders, cores, and non-destructive tests, in: RILEM Symp. Proc. On Quality Control of Concrete Structures, Session 2.1", *Swedish Concrete Research Institute Stockholm*, Sweden, pp. 127-134, 1979.
- [27] Y. Tanigava, K. Baba, H. Mori, "Estimation of concrete strength by combined non destructive testing methods," *ACI SP-82*, pp. 57-76, 1984.
- [28] E. Arioglu, O. Köylüoğlu, "Discussion of prediction of concrete strength by destructive and nondestructive methods by Ramyar and Kol.," *Cement Concrete World*, vol. 3, pp. 33-34, 1996.
- [29] N.R. Chandak, H.R. Kumavat, "SonReb Method for Evaluation of Compressive Strength of Concrete," *Materials Science and Engineering*, pp. 810, 2020. <http://dx.doi.org/10.1088/1757899X/810/1/012071>
- [30] G.F. Kheder, "A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing," *Mat. Struct.* vol. 32, pp. 410-417, 1999. <https://doi.org/10.1007/BF02482712>
- [31] ASTM C805, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, ASTM, 2013.
- [32] TS EN 12504-4, "Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini", *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara, 2021.
- [33] TS EN 12390-3, "Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin", *TSE*, 2019.
- [34] R.C. Narayan, R.K. Hemraj, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 810 012071, 2020.
- [35] İ.B. Topçu, "Volkanik cürüflü betonlarda SonReb yöntemi uygulaması, 5. Malzeme Sempozyumu," *Pamukkale Üniv., Müh. Fak.*, vol. 2, pp. 770-779, 1993.