



Makale / Research Paper

Pomza ve Diatomitin Yüzeysel Özelliklerinin Portland Çimentosunun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

İbrahim PINARCI^a, Yılmaz KOÇAK^{b*}

^aBilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Pazaryeri Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Bilecik/TÜRKİYE

^bDüzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce/TÜRKİYE
yilmazkocak@duzce.edu.tr

Received/Geliş: 03.05.2021

Accepted/Kabul: 05.07.2021

Öz: Pozzolanik malzemelerin çimento ile arasındaki etkileşim mekanizmasının anlaşılabilmesi açısından, malzemelerin zeta potansiyel ile belirlenen yüzeysel yüklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla yapılan çalışmada, Portland çimento, pomza ve diatomitin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile zeta potansiyelleri belirlenmiştir. Daha sonra referans ve %5+5 ve %10+10 pomza ve diatomit ikameli çimentoların su ihtiyacı, priz süresi, hacim genleşme ve basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre, hammaddelerin yüzeysel yükleri, kimyasal ve fiziksel yapısına göre su ihtiyacı, hacim genleşme değerleri, priz süreleri ve basınç dayanımlarında farklılıklar meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca Portland çimentosu, pomza ve diatomitin negatif zeta potansiyel değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Portland çimento; pomza; diatomit, zeta potansiyel; basınç dayanımı.

The Effect of Surface Properties of Pumice and Diatomite on Physical and Mechanical Properties of Portland Cement

Abstract: In order to understand the interaction mechanism between pozzolanic materials and cement, it is very important to determine the surface properties with the zeta potential of the materials. In this study, physical, chemical properties and zeta potentials of Portland cement, pumice and diatomite were determined. Then, the water requirement, setting time, volume expansion and compressive strength values of the reference, 5+5% and 10+10% pumice and diatomite substituted cements were determined. The data obtained showed that there were differences in the surface properties of the raw materials used, water demand, volume expansion values, setting times and compressive strengths according to their chemical and physical structure. In addition, it was determined that Portland cement, pumice and diatomite have negative zeta potential values.

Keywords: Portland cement; pumice; diatomite; zeta potential; compressive strength.

1. Giriş

Çimento ve beton sektöründe kullanım alanı bulan mineral katkıları, ekonomik ve ekolojik avantajlarının yanı sıra betonun dayanım ve dayanıklılık gibi özelliklerinin gelişimine katkı sağlaması nedeniyle tercih edilen temel yapı malzemeleri olarak vazgeçilmez bir ürün haline gelmiştir. Dolayısıyla çimento ve betonun bu özellikleri geliştirmek amacıyla endüstriyel atıklardan olan silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu; ısıl işlem görmüş metakaolin, pirinç kabuğu külü ya da doğal pozzolanik malzemeler olarak ifade edilen tras, pomza, diatomit, zeolit gibi mineral katkıları yoğun olarak kullanılmaktadır [1–14]. Bu doğal olarak elde edilen mineral katkıları içerisindeki pomza ve diatomitin ülkemizin zengin kaynaklarıdır.

Bu makaleye atıf yapmak için

Pınarlı İ, Koçak Y, *Pomza ve Diatomitin Yüzeysel Özelliklerinin Portland Çimentosunun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi* El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (3); 1385-1394.

How to cite this article

Pınarlı İ, Koçak Y, *The Effect of Surface Properties of Pumice and Diatomite on Physical and Mechanical Properties of Portland Cement* El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8.(3); 1385-1394.

ORCID ID: *0000-0002-9318-4325, ^b0000-0002-5281-5450

Diatomit, diatome olarak adlandırılan amorf silis yapıli kavkılarının yığışması sonucu oluşun ve kavkı iriliğı 2–200 mikron arasında olan, beyaz, açık bej ve gri arası renge sahip bir çökeldir. Genellikle yuvarlak tepsi veya uzun balık şeklinde olan diatomitin doğada 15 bine yakın çeşidi bulunmaktadır. Diatomit, opal sertliğı 4.5–6.0 arası olmakla birlikte, kayacın sertliğı 1.5'den fazla olmayan, kuru özgül ağırlığı 0.15–0.40 g/cm³ olan, kimyasal olarak bünyesinde %70–90 arasında SiO₂ bulunan, ağırlığının 3 misline kadar su çekebilen yüksek absorpsiyon özelliğine sahip gözenekli bir malzemedir [15–17]. Pomza (ponza) ise volkanik faaliyetlerin bir sonucu olarak kızgın haldeki magmanın ihtiva ettiğı gazların ani soğumasıyla oluşmuş silikat esaslı, kirli beyazdan griye, kırmızı ve kahverenginden siyaha kadar çeşitli renklere bulunabilen, boşluklu ve süngerimsi görünümlü bir kayadır. Pomza asidik ve bazik olarak iki türde bulunmakta olup, yaygın olarak kullanılan asidik pomza olup rengi açıktır. Mohs cetvelindeki sertliğı 5–6, yoğunluğu ise 0.5–2 g/cm³ arasında değişmektedir. Kimyasal bileşiminde; silisyum, alüminyum, demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyumun yanı sıra eser miktarda titanyum ve kükürt de bulunmaktadır [18,19].

Beton teknolojisinde kullanılan pomza ve diatomitin gibi puzolanik malzemelerle çimento arasında gelişen yüzey ve ara yüzey etkileşimleri üzerine yapılan araştırmalar sınırlı kalmıştır. Son yapılan çalışmalarda görülmektedir ki puzolanik malzemelerin yalnızca fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleriyle ilgili değil, aynı zamanda fiziko kimyasal özellikleriyle ilgili de araştırmaların yapılması önemlidir. Çünkü puzolanik malzemelerin hem kendi arasındaki uyumunu hem de çimento ve diğer kimyasal katkılarla uyumunu belirleyen, hidratasyon esnasındaki davranışları ve yüzey özellikleridir. Dolayısıyla standart deneyler dışında yurtdışında yoğun olarak tercih edilen, ancak ülkemizde yeni yeni kullanılmaya başlayan XRD (mineralojik analiz), FT–IR (yüzey bağları), STA (ısı davranışları), SEM–EDX (Yüzey ve mineral yapıları) gibi analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de ülkemizde çok fazla kullanım imkanı bulamayan zeta (ζ) potansiyeldir. Puzolanik malzemelerin çimento ile arasındaki etkileşim mekanizmasının anlaşılabilmesi açısından ζ potansiyel ile belirlenen malzemelerin yüzey yüklerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

Yüklü mineral tanecikleri ile etrafındaki sulu çözeltinin birbirlerine göre hareketlerinde, çözelti–tane arasındaki kayma yüzeyindeki ölçülebilen potansiyel ζ potansiyel ya da Elektrokinetik potansiyel olarak tanımlanmaktadır. ζ potansiyel hem tanenin yüzey yapısından hem de içinde bulunduğu sıvının içeriğinden etkilenmektedir [20–25]. ζ potansiyel, elektriksel çift tabakanın kontrol altında tutulabildiğı ve deneysel olarak ölçülebilen bir büyüklüktür. ζ potansiyel, koloidal sistemlerde, koagülasyon ve stabilite, flokülasyon, flotasyonda reaktiflerin adsorpsiyonu, hava kabarcıklarının mineral tanelerine yapışması gibi olayların açıklanmasında [24–26], çimento [27–31] ve puzolanlarla [32–34] ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Araştırmalar sonucunda elde edilen bulgular ışığında yapılan bu çalışmada, ülke olarak zengin rezervlere sahip olduğumuz pomza ve diatomit ikamesi ile üretilen çimentoların standart çimento ve ζ potansiyel özellikleriyle ilgili deneyler yapılmıştır. Bu amaçla ilk etapta Portland çimentosu (PÇ), pomza ve diatomitin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ζ potansiyel değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra, %0, %5+5 ve %10+10 oranlarındaki referans ile pomza ve diatomit ikameli çimentoların özellikleri standart çimento deneyleri ile tespit edilerek taneler arasındaki etkileşimin, PÇ'nin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

2.1. Malzeme

Çimento, TS EN 197–1 standardına göre Eskişehir ÇİMSA çimento fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R tipi PÇ'dir [35]. EP mineral ticari markaya sahip olan diatomit ticari bir firmadan, pomza ise Isparta Betaş AŞ'nin üretim tesisinden elde edilmiştir. Harç numuneleri için kullanılan standart kum TS EN 196–1'e uygun olup, karışım için kullanılan su Eskişehir ili şebeke suyudur [36].

2.2. Metot

Çimentoların hazırlanmasında kullanılan pomza, bilyalı değirmende 30 dakika süre ile öğütülmüş, çok ince tane boyutuna sahip olan diatomit ise herhangi bir öğütme işlemine tabi tutulmamıştır. Deney numunelerinin hazırlanması için %0 (referans), %5+5 ve %10+10 oranlarındaki PÇ ile pomza ve diatomit ikameli 3 farklı çimento kullanılmıştır. Kullanılan harç numuneleriyle ilgili karışım oranları ve çimento kodları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Harç numunelerinin kodları ve karışım miktarları.

Kod	Çimento, g	Çimento, %	Pomza, g	Pomza, %	Diatomit, g	Diatomit, %	Su, g	Standart kum, g	s/ç
R	450	100	0	0	0	0	225		0.5
5P5D	405	90	22.5	5	22.5	5	240	1350	0.53
10P10D	360	80	45	10	45	10	250		0.55

Çimento hamurları TS EN 196–1’e [36] göre hazırlandıktan sonra, bu numunelerin kıvam suyu, priz süreleri ve genleşme deneyleri TS EN 196–3’e [37] göre bağıl nemin %65 ve sıcaklığın 20 °C olduğu bir laboratuvar ortamında belirlenmiştir.

Basınç dayanımlarının belirlenmesi için hazırlanan çimento harçları TS EN 196–1’e göre üç gözlü prizma kalıplar içerisine dökülmüş, kalıp sarsma cihazına yerleştirilmiş ve harç kalıba yerleştirilmek üzere standartta belirtilen esaslar dikkate alınarak sarsılmıştır [36]. Üretilen bu numuneler 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiş, bu süre sonunda kalıplardan çıkarılmış, 20 °C’lik sıcaklığa sahip bir odadaki su havuzlarına yerleştirilmiştir. 2, 7 ve 28. hidrasyon gününde 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler havuzlardan alınıp kurulanmış, uygun olarak ortadan kırılmış ve elde edilen yarım prizma numunelerin basınç dayanımları TS EN 196–1’e göre belirlenmiştir [36].

Ç potansiyel deneyleri için elektroforez yöntemi için dizayn edilmiş Zeta–Meter (System 3.0+) cihaz kullanılmıştır. PÇ, pomza ve diatomitin her birinden 0.5 g alınmış ve tek tek içerisinde 50 ml saf su bulunan uygun beher içerisine koyularak 10 dakika karıştırılmış. Numunelerin pH’ları HCl ve NaOH ile ayarlanmıştır. İstenilen pH değerinde iri tanelerin çökmesi için 5 dakika dinlendirilmiş ve hemen ardından Ç potansiyel ölçümleri için cihazın içerisine konulmuştur. Her pH değeri için sisteme bir elektrik alanı uygulanarak tanenin sıvı içerisinde hareketi sağlanmak suretiyle hızı belirlenmiştir. Yüklü parçacığın hızı, Zeta–Meter cihazının mikro işlemcisi ile hesaplanmış ve Ç potansiyel değerlerine dönüştürülmüştür. Yeterince yüklü parçacığın (minimum 10) hızı belirlendikten sonra, her bir pH değeri için Ç potansiyel değerleri cihaz tarafından ortalaması alınarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1.Fiziksel Analizler

PÇ, pomza ve diatomitin fiziksel özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur. Tablo 2’de elde edilen verilere göre diatomitin en küçük tane yapısına en büyük yüzey alanına sahip olduğu görülürken, pomzanın ise en büyük tane boyutuna ve en küçük Blaine değerine sahip olduğu görülmektedir. Özgül ağırlık değerleri kıyaslandığında ise referans çimentonun 3.18 g/cm³, pomzanın 2.70 g/cm³ ve diatomitin ise 2.58 g/cm³ olduğu görülmektedir. Bu değerler, daha düşük özgül ağırlık değerlerine sahip pomza ve diatomitin, PÇ’ye ikame edildiğinde elde edilen katkılı çimentoların da özgül ağırlığını düşüreceğini göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. PÇ, pomza ve diatomitin fiziksel özellikleri.

Malzemeler	Tane boyutu (elek üstü), %		Özgül ağırlık, g/cm ³	Özgül yüzey (Blaine), cm ² /g
	>45 µm	>90 µm		
Çimento	0.0	3.2	3.18	3822
Diatomit	0.0	0.1	2.58	6112
Pomza	40.5	7,8	2.70	2645

3.2.Kimyasal Analizler

PÇ, pomza ve diatomitin kimyasal özellikleri Tablo 3'te sunulmuştur.

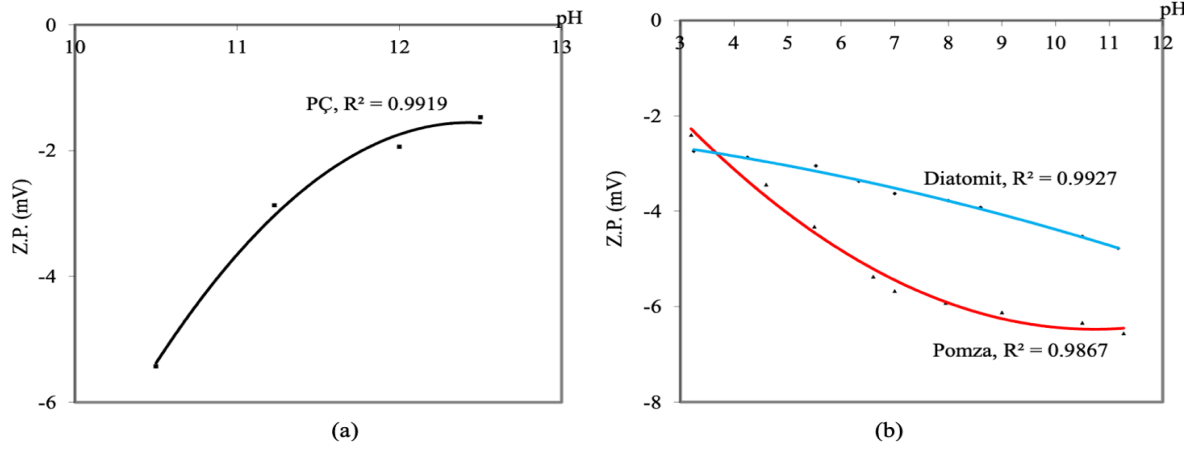
Tablo 3. PÇ, pomza ve diatomitin kimyasal özellikleri.

Materyaller	Çimento	Diatomit	Pomza
SiO ₂ (S)	20.36	85.69	56.32
Al ₂ O ₃ (A)	4.6	2.1	16.51
Fe ₂ O ₃ (F)	2.56	0.96	3.93
CaO	62.57	0.54	4.84
MgO	1.53	0.32	1.87
SO ₃	3.32	0.03	0.23
Na ₂ O	0.26	0.25	5.18
K ₂ O	0.66	0.18	5.09
Cl ⁻	0.018	0.013	0.01
Kızdırma kaybı	2.38	9.97	2.65
Serbest CaO	1.78	–	–
S+A+F	–	88.75	76.76

Tablo 3'te elde edilen verilere göre referans çimentonun oksit bileşenlerine göre CaO ve SiO₂ oranının yüksek, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ ve MgO oranının ise düşük olduğunu görülmektedir. Diatomitin ana oksit bileşiğinin ise %85.69 gibi çok yüksek oranla SiO₂ olduğu belirlenmiştir. Pomzanın oksit bileşenlerine göre ise SiO₂ ve Al₂O₃ oranının yüksek, CaO, Fe₂O₃, MgO ve SO₃ oranının ise düşük olduğunu yapılan analizler sonucunda elde edilmiştir. pomza ve diatomitin sodyum oksit oranının (Na₂O), potasyum oksit oranına (K₂O) göre nispeten daha yüksek olması, Na⁺ iyonlarınca nispeten daha zengin olduğunu belirtmektedir. Kimyasal analiz bulgularına göre pomzanın ve diatomitin S+A+F toplamının %70 den büyük olması puzolanik olarak istenilen özellikte olduğunu göstermektedir (Tablo 3).

3.3.Zeta Potansiyel

PÇ, pomza ve diatomitin için gerçekleştirilen ζ potansiyel ölçüm sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar çimentonun yüzey yükünün yapısına göre farklılıklar gösterebildiği ancak genellikle negatif [10, 28, 38–40], ya da pozitif [30, 41] de olabileceğini göstermiştir. Elde edilen veriler PÇ (Şekil 1.a), pomza ve diatomitin (Şekil 1.b) negatif yüklü olduğunu göstermektedir. PÇ'nin negatif yükü CaSO₄'dan (alçı taşı) gelen SO₄²⁻ ile yapısında bulunan CO₃²⁻ olarak ifade edilebilir. Bunun yanı sıra pH artışına bağlı olarak referans çimentonun yapısında bulunan Ca²⁺ iyonları pozitif yüke doğru yaklaştırmıştır. Dolayısı ile PÇ için potansiyel belirleyen Ca²⁺ ve SO₄²⁻ iyonlarıdır. Pomza ve diatomit bütün pH değerlerinde negatif yüzey yüküne sahiptir. Pomzanın yüzey yükü pH 4 civarında –2.8'den pH 12 civarında –7.0 mV'ye, diatomitin ise pH 4 civarında –3'den pH 12 civarında –5 mV'ye mutlak değer olarak artmıştır (Şekil 1.b).

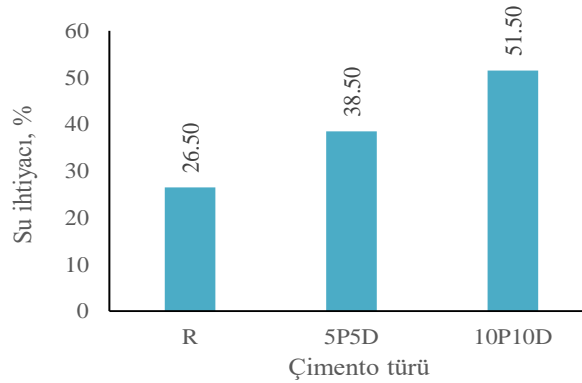


Şekil 1. PÇ, pomza ve diatomitin ζ potansiyel değerleri.

Tanelerin birbirleriyle etkileşimleri, DLVO teorisinde belirtildiği gibi yüzey yüklerine ve aralarındaki mesafeye göre farklılıklar gösterebilmektedir [42, 43]. Taneler birbirlerine yaklaştıklarında -25 ile $+25$ mV aralığındaki yüzey yüklerinde elektriksel çift tabaka ile Van der Waals kuvvetleri nedeniyle birbirlerini çekmekte, tersinde ise dağılmaktadırlar [30, 43, 44]. Ancak ortamda farklı yüzey yüküne sahip taneler bulunduğunda bahse konu olaylara ek olarak devreye aynı ya da zıt yük olayı girmektedir. Dolayısı ile elektrostatik olarak aynı yüke sahip taneler birbirlerini iterken, zıt yüke sahip taneler ise birbirlerini çekmektedir. Burada pH 12 civarında aynı ortamda bulunan PÇ ile pomza ve diatomitin birbirlerini itmesi gerekmektedir. Fakat pomzanın ve diatomit yüzey yükleri maksimum -7 mV değeri ile, -25 ile $+25$ mV değerlerinden çok küçük olduğu için elektriksel çift tabaka kuvvetleri ile çok küçük etkiye sahip de olsa Van der Waals kuvvetleri de devreye girmektedir [30, 43, 45]. Bu nedenle pomza ve diatomitin, PÇ ile uyumlu olduğu ifade edilebilir.

3.4. Su İhtiyacı

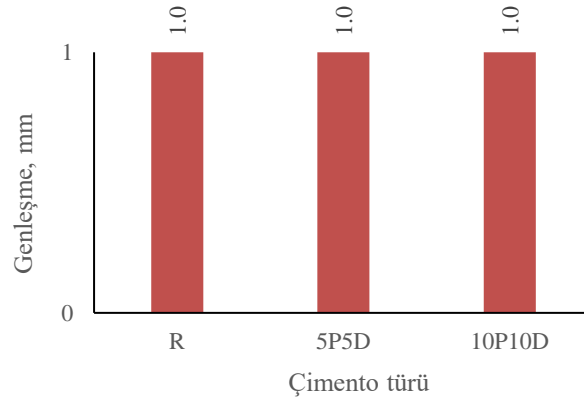
TS EN 196-3 standardında belirtilen kurallar çerçevesinde yapılan deneyler sonucunda referans ile pomza ve diatomit ikameli çimento hamurlarının su ihtiyacı Şekil 2’de verilmiştir [37].



Şekil 2. Su ihtiyacı değerleri.

3.5. Genleşme Değerleri

TS EN 196-3 standardında belirtilen esaslar çerçevesinde yapılan deneyler sonucunda referans ile pomza ve diatomit ikameli çimento hamurlarının genleşme değerleri Şekil 3’te verilmiştir [37].

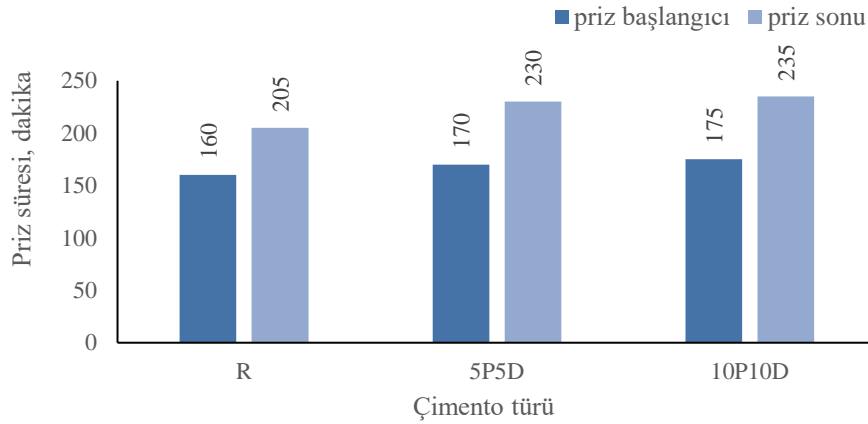


Şekil 3. Genleşme değerleri.

Referans ile pomza ve diatomit ikameli çimento hamurlarının genleşme değerleri, Le Chatelier kalıbı kullanılarak belirlenmiştir. Çimentoda bulunan MgO ve CaO'nun fazla miktarda bulunması genleşmeye sebep olmakta, bu nedenle de betonda hasarlara oluşabilmektedir. Le Chatelier kalıbı kullanılarak yapılan deney sonucunda genleşme değerlerinin çimento hamurlarının tümünde 1 mm olduğu görülmektedir (Şekil 3). Elde edilen bu değerlerin, TS EN 197-1'de en yüksek hacim genleşme değeri olan sınırlanan 10 mm'den oldukça küçük olması, çimentoların tümünün genleşme açısından standarda uygun olduğunu göstermektedir [35].

3.6.Priz Süreleri

TS EN 196-3 standardında belirtilen esaslar çerçevesinde yapılan deneyler sonucunda referans ile pomza ve diatomit ikameli çimento hamurlarının priz süreleri Şekil 4'te verilmiştir [37].



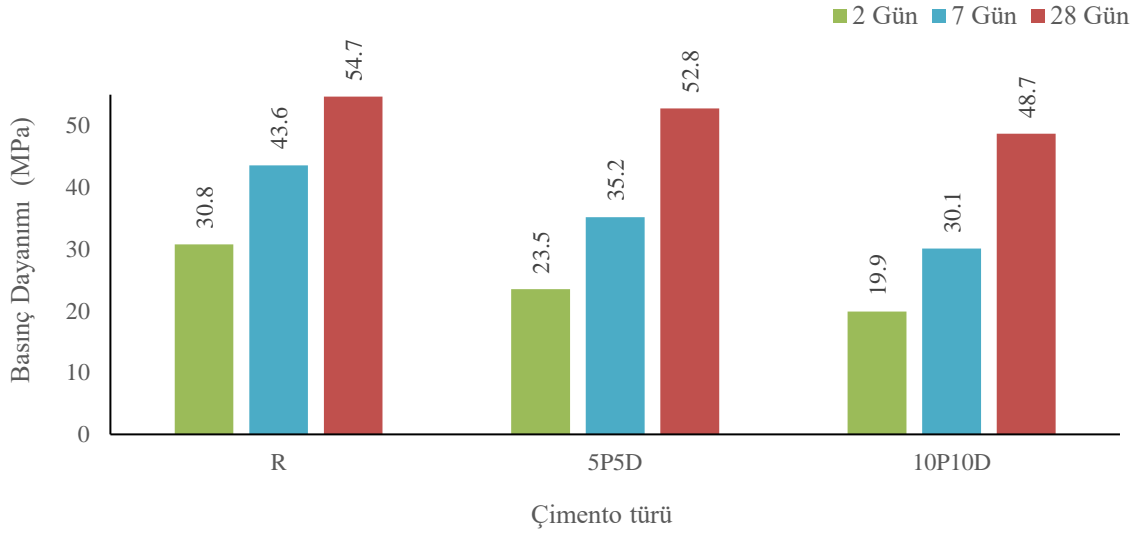
Şekil 4. Priz süreleri.

Şekil 4'de elde edilen verilere göre priz başlama süreleri içerisinde 160 dakika ile en düşük sürenin referans çimento hamurunda, en yüksek sürenin ise 175 dakika ile 10P10D çimento hamurlarında olduğu görülmektedir. Referans çimento hamuruna göre, 5P5D ve 10P10D çimento hamurlarında sırasıyla %6.3 ve %9.4 oranında bir artış meydana gelmiştir. Priz sonu sürelerin dikkate alındığında en düşük sürenin 205 dakika ile yine referans çimento hamurunda, en yüksek sürenin ise 235 dakika ile 10P10D çimento hamurlarında olduğu görülmektedir. Referans çimento hamuruna göre, 5P5D ve 10P10D çimento hamurlarında sırasıyla %12.2 ve %14.6 oranında bir artış olduğu görülmektedir (Şekil 4). 5P5D ve 10P10D çimento hamurlarındaki priz sürelerindeki artışın, PÇ, pomza ve diatomitin arasındaki minimum ζ potansiyel farkı olarak ifade edilebilir (Şekil 1). Elektrostatik olarak aynı yüklü taneler birbirlerini itmektir, bu bağlamda PÇ'nin pomza ve diatomit taneciklerini, pomza ve diatomit taneciklerinin de suyu itmesi, puzolanik reaksiyonları yavaşlatarak priz süresini artırmaktadır. Priz süreleri dikkate alındığında, tüm çimento hamurlarının, standartta 42.5 R tip

çimento için 60 dakika olan minimum priz başlama süresinin üstünde olduğu belirlenmiştir [35]. Bu sayede dayanım değerlerinin uygun sürede sağlanacağı, işlenebilirlik özelliklerinde herhangi bir problemle karşılaşılmayacağı, kalıp sökme işlemlerinde olumsuz bir etkinin olmayacağı düşünülmektedir.

3.7.Basınç Dayanımları

Referans ile pomza ve diatomit ikameli harç numunelerinin 2, 7 ve 28. hidratasyon günleri için basınç dayanım değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Basınç dayanım değerleri.

Referans harç numunelerine göre 5P5D ve 10P10D harç numunelerinde sırasıyla 2. hidratasyon gününde %23.7 ve %35.4, 7. hidratasyon gününde %19.3 ve %30, 28. hidratasyon gününde ise %3.5 ve %11 oranında dayanım düşüklüğü görülmektedir (Şekil 5). Sonuçlar incelendiğinde çimento harçlarının basınç dayanım değerleri referans çimentoya göre, pomza ve diatomit ikame oranları arttıkça erken yaşlarda azalmış, ancak 28. hidratasyon yaşında referans harç numunelerinin basınç dayanım değerine yaklaşmıştır. Erken yaşlardaki basınç dayanımının azalması, puzolanik reaksiyonun bir sonucu olarak hidratasyon reaksiyon hızının azalması ve daha az C-S-H açığa çıkmasıdır. Aynı zamanda elektrostatik olarak PÇ, pomza ve diatomitin ζ potansiyel değerlerinin negatif olması nedeni ile birbirlerini itmesi, erken yaşlardaki basınç dayanım değerlerinin azalması için bir etken olarak düşünülmektedir. 28 gün sonundaki pomza ve diatomit ikameli harç numunelerinin basınç dayanım değerlerinin gelişme hızlarının, 2 ve 7. hidratasyon günündeki harç numunelerine göre tümünde arttığı ve referans harç numunelerine yaklaştığı görülmektedir. Bu durumun nedeni olarak pomza ve diatomitin ortamdaki CH'ı bağlayarak daha fazla C-S-H açığa çıkarması olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda DLVO teorisi esaslarına göre PÇ, pomza ve diatomitin ζ potansiyel değerleri -25 ile $+25$ mV arasında yüzey yüklerine sahip olduğundan, birbirlerine yaklaştıklarında elektriksel çift tabaka kuvveti ile Van der Waals kuvvetleriyle birbirini çekmekte olduğu, bu durumun da ileriki yaşlardaki basınç dayanımına katkı sağladığı düşünülmektedir. Bunların yanı sıra %5+5 oranlarında ikame edilen pomza ve diatomit ikameli çimento harçlarının TS EN 197-1 de belirtilen 2 günlük norm basınç değeri olan 20 MPa'nın üzerinde elde edilerek 42.5 R dayanım sınıfını sağladığı, %10+10 oranlarında ise 10 MPa'nın üzerinde elde edilerek 42.5 N dayanım sınıfını sağladığı, 19.9 MPa basınç dayanımı ile de 42.5 R dayanım sınıfına çok yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca %20 gibi yüksek bir ikame oranında bile 28 günlük norm basınç değeri olan 42.5 MPa'nın üzerinde elde edilerek 42.5 R dayanım sınıfını sağladığı görülmektedir. Bunun yanı sıra %5+5 oranlarında ikame edilen çimento harçlarında, 2 günlük norm basınç değeri

olan 30 MPa'nın üzerinde elde edilerek ve 28 günlük norm basınç değeri olan 52.5 MPa'nın üzerinde elde edilerek 52.5 R dayanım sınıfını sağladığı da belirtilebilir [35].

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışma sonucundaki bulgulara göre;

- Kimyasal özelliklerine göre pomzanın S+A+F toplamının %76.76, diatomitin ise %88.75 (S+A+F>0.70) olması puzolanik olarak istenilen özellikte olduğunu;
- 45 µm ve 90 µm elek üstündeki tanelerin boyut aralıkları ve özgül yüzey alanı değerlerine göre, pomzanın PÇ'ye göre nispeten daha iri tane boyutuna ve daha düşük özgül yüzey alanına, diatomitin ise daha küçük tane boyutuna ve daha yüksek özgül yüzey alanına sahip olduğu;
- Pomza ve diatomitin PÇ'ye göre özgül ağırlığının düşük olduğu, bu nedenle bu puzolanların ikamesi ile özgül ağırlığı düşük çimentolar elde edilebileceği;
- Ç potansiyel değerlerine göre pomza ve diatomitin, hem birbirleriyle hem de PÇ ile uyumlu olduğu;
- Referans çimentoya kıyasla, hammaddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak pomza ve diatomit ikameli çimentoların su ihtiyacında nispeten bir artış olduğu;
- Tüm çimentolar için hacim genleşmelerinin sınırlar içerisinde olduğu;
- Priz süreleri değerlendirildiğinde, tüm çimento hamurlarının standartta belirtilen en düşük priz başlama süresinin üstünde olduğu ve işlenebilirlik özelliklerinde herhangi bir problemlerle karşılaşılmayacağı;
- %5+5 oranlarında pomza ve diatomit ikameli harçlarda, 28 günlük norm basınç değeri olan 52.5 MPa'nın üzerinde elde edilerek, hem 42.5 R hem de 52.5 R dayanım sınıfını sağladığı belirlenmiştir.

Genel olarak elde edilen bulgular sonucunda, zengin kaynaklarımızdan olan pomza ve diatomitin çimentoya ikamesi ile olumlu sonuçlar elde edilebildiği ve Ç potansiyelin tanelerin uyumu ya da uyumsuzluğunu belirlemek açısından faydalı olduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda hammaddeler kimyasal ve fiziksel özellikleri ile çimento hamur ve harçlar ise standart çimento deneyleri açısından değerlendirmiştir. Ancak bunların yanı sıra yapısal değişiklikleri de izlenebileceği SEM XRD, FT-IR, termal analiz gibi modern tekniklerle ayrıntılı olarak incelenmesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmayı destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığına (Proje kod numarası: 2021.06.08.1190) ve standart çimento deneylerinin yapılmasında katkı sağlayan Eskişehir ÇİMSA Çimento Fabrikası'na teşekkür ederler.

Yazar(lar)ın Katkıları

IP ve YK makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar(lar), çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Topçu İ.B., Sofuoğlu, T., Pres Filtre Atığı ve Uçucu Kül ile Elde Edilen Geopolimer Harçların Farklı Koşullar Altında Birim Ağırlığı ve Basınç Dayanımının Değerlendirilmesi, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 2020, 7 (2): 806-823.

- [2]. Sevinc, A.H., Farklı Tane Boyutuna Sahip Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Geopolimer Hammaddesi Olarak Kullanımı, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2021, 8 (2); 751-765.
- [3]. Zhao H., Sun W., Wu X., Gao Bo., The Properties Of The Self-Compacting Concrete With Fly Ash And Ground Granulated Blast Furnace Slag Mineral Admixtures, *Journal Of Cleaner Production*, 2015, 95: 66-74.
- [4]. Zhengqi L., Drying Shrinkage Prediction Of Paste Containing Meta-Kaolin And Ultrafine Fly Ash For Developing Ultra-High Performance Concrete, *Materials Today Communications*, 2016, 6: 74-80.
- [5]. Kocak Y., Effects of metakaolin on the hydration development of Portland-composite cement, *Journal of Building Engineering*, 2020, 31: 101419.
- [6]. Özdemir İ, Koçak Y, Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimentoların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2020, 7(1); 160-168.
- [7]. Wen N., Zhao Y., Yu Z., Liu M., A sludge and modified rice husk ash-based geopolimer: synthesis and characterization analysis, *Journal of Cleaner Production*, 2019, 226: 805-814.
- [8]. Koçak Y., Dorum A., Yılmaz B., Uçar A., Trasin Çimento Yüzey Özelliğine, Hidratasyona Ve Basınç Dayanımına Etkisi, *E-Journal Of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 2010, 5 (1): 1-14.
- [9]. Cabrera-Luna K., Maldonado-Bandala E. E., Nieves-Mendoza D., Castro-Borges P., García J. E., Novel low emissions supersulfated cements of pumice in concrete; mechanical and electrochemical characterization, *Journal of Cleaner Production*, 2020, 272: 122520.
- [10]. Yıldız K., Dorum A., Koçak Y., Pomza Zeolit Ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik Ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 2010, 25 (4): 867-879.
- [11]. Gönen, T., ve Yazıcıoğlu, S., Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma Çözülme Direncine Mineral Katkıların Etkisi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2021, 8 (1); 94-101.
- [12]. Koçak Y, Savaş M, Zeolit Ve Diatomit İkameli Betonların Sülfürik Asit Etkisine Karşı Davranışı, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2018, 5(3); 845-855.
- [13]. Sun M., Zou C., Xin D., Pore structure evolution mechanism of cement mortar containing diatomite subjected to freeze-thaw cycles by multifractal analysis, *Cement and Concrete Composites*, 2020, 114: 103731.
- [14]. Ahmadi Z., Esmaeili J., Kasaei J., Hajialioghli R., Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite. *Sustainable Materials and Technologies*, 2018, 16: 47-53.
- [15]. Aruntaş, H.Y., Diatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
- [16]. Uygun A., Diatomit Jeolojisi, ve yararlanma olanakları, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 1976, 15(5): 31-38.
- [17]. Çalışkan M. Doğal Diatomit (Çaldıran-Van) Üzerine Basic Blue Ve Neutral Red Boyar Maddelerinin Adsorpsiyon ve Denge Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, 2018.
- [18]. Eroğlu G., Şahiner M., Dünyada Ve Türkiye’de Pomza, Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, 2020, 1-32.
- [19]. Elmastaş N., Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı), *Journal of International Social Research*, 2012, 5(23): 197-206.
- [20]. Uçar A., Fluorit flatasyonuna yüzey özelliklerinin etkisi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir, 1995.
- [21]. Uçar A., Kolloid ve yüzey kimyası, Ders Notu, Kütahya, 2004.
- [22]. Fuerstnau M.C., Miller J.D., Kuhn M.C., Chemistry of flotation, society of mining engineers, AIME, New York, 1984.

- [23]. Mackenzie J.M.W., Zeta potential studies on mineral processing measurement techniques and applications, *Minerals science and engineering*, 1971, 25–43.
- [24]. Fuerstnau D.N., Chander S., *Thermodynamics of flotation, advances in mineral processing Arbiter Symposium*, New Orleans, Louisiana, 1985, 121–136.
- [25]. Shaw D.J., *Introduction to colloid and surface chemistry*, Butterworths, 1970, 231.
- [26]. Atak S., Kalsit ve şelitin flotasyon özellikleri, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1979.
- [27]. Hodne H., Saasen A., The effect of the cement zeta potential and slurry conductivity on the consistency of oilwell cement slurries, *Cement and Concrete Research*, 2000, 30: 1767–1772.
- [28]. Viallis–Terrisse H., Nonat A., Petit J.C., Zeta–Potential study of calcium silicate hydrates interacting with alkaline cations, *J. of Colloid and Interface Science*, 2001, 244(11): 58–65.
- [29]. Zhang T., Shang S., Yin F., Aishah A., Salmiah, A., Ooi, T.L., Adsorptive behavior of surfactants on surface of Portland cement, *Cement and Concrete Research*, 2001, 31(7): 1009–1015.
- [30]. Nachbaur L., Nkinamubanzi P.C., Nonat A., Mutin J.C., Electrokinetic properties which control the coagulation of silicate cement suspensions during early age hydration, *Journal of Colloid Interface Science*, 1998, 202(2): 261–268.
- [31]. Castellote M., Llorente I., Andrade C., Influence of the composition of the binder and the carbonation on the zeta potential values of hardened cementitious materials, *Cement and Concrete Research*, 2006, 36: 1915–1921.
- [32]. Dorum A., Yılmaz B., Koçak Y., Uçar A., Puzolan Yüzey Özelliklerinin Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *e–Journal of New World Sciences Academy*, 2010, 5(2): 448–462.
- [33]. Yılmaz B., Ertün T., Uçar A., Öteyaka B., Önce, G., A study on the effect of zeolites (clinoptilolite) on volcanic tuff blended cement paste and mortars, *Magazine of Concrete Research*, 2009, 6(2): 133–142.
- [34]. Elakneswaran Y., Nawa T., Kurumisawa K., Zeta potential study of paste blends with slag, *Cement & Concrete Composites*, 2009, 31: 72–76.
- [35]. TS EN–197–1, Çimento–Bölüm 1: Genel çimentolar–Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [36]. TS EN–196–1, Çimento deney metodları–Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [37]. TS EN–196–3, Çimento deney yöntemleri–Bölüm 3: Priz süreleri ve genişleme tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2017.
- [38]. Dorum A., Koçak Y., Yılmaz B., Uçar A., Uçucu Kül Katkılı Çimento Hidratasyonuna Elektrokinetik Özelliklerin Etkisi, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2010, 25(3): 449–457.
- [39]. Yılmaz B., Ediz N., The use of raw and calcined diatomite in cement production, *Cement & Concrete Composites*, 2008, 30: 202–211.
- [40]. Yoshioka K., Tazawa E., Kawai K., Enohata T., Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals, *Cement and Concrete Research*, 2002, 32(10): 1507–1513.
- [41]. Termkhajornkit P., Nawa T., The fluidity of fly ash–cement paste containing naphthalene sulfonate superplasticizer, *Cement and Concrete Research*, 2004, 34(6): 1017–1024.
- [42]. Skripkiunas G., Sasnauskas V., Dauksys M., Palubinskaite D., Peculiarities of hydration of cement paste with addition of hydrosodalite, *Materials Science*, 2007, 25(3): 627–635.
- [43]. Gabrovsek R., Vukb T., Kaucica V., Evaluation of the hydration of portland cement containing various carbonates by means of thermal analysis, *Acta Chim.*, 2006, 53: 159–165.
- [44]. Drazan J., Zelic J., The effect of fly ash on cement hydration in aqueous suspensions, *Ceramics–Silikaty*, 2006, 50(2): 98–105.
- [45]. Pan Z., Cheng L., Lu Y., Yang N., Hydration products of alkali–activated slag–red mud cementitious material, *Cement and Concrete Research*, 2002, 32: 357–362.