



PORTLAND ÇİMENTOSUNA PERLİT VE POMZA İKAMESİNİN ÇİMENTONUN ÖZELLİKLERİNİN GELİŞİMİNE KATKILARI

İbrahim PINARCI^{1,a,*}

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Tasarım Bölümü

^a ibrahim.pinarci@bilecik.edu.tr ORCID: 0000-0002-9318-4325

ÖZET

Çimento ile puzolanların etkileşimi ve sonrasında kazandırılan pozitif özellikler günümüzde birçok çalışmaya konu olmaktadır. Bu özellikleri gösterebilmek için yapılan çalışmada Portland çimentosu, perlit ve pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ardından referans çimento ile her birinden % 5 ve % 10' ar oranlarında perlit ve pomza ikameli çimentoların su ihtiyacı, priz süresi, hacim genleşme ve basınç dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde, malzeme özellikleri ve ikame durumuna bağlı olarak su ihtiyacı, hacim genleşme değerleri, priz süreleri ve basınç dayanımlarında farklılıklar olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda basınç dayanımı bakımından oldukça verimli ve kabul edilebilir değerler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Portland çimentosu, ikame, perlit, pomza, basınç dayanımı.

ABSTRACT

The interaction of cement and pozzolans and the positive properties gained afterwards are the subject of many studies today. In the study conducted to demonstrate these properties, the physical and chemical properties of Portland cement, perlite and pumice were determined, then the water requirement, setting time, volume expansion and compressive strength values of the reference cement and the cements with 5% and 10% perlite and pumice substitution were determined. Within the framework of the results obtained, it was observed that there were differences in water requirement, volume expansion values, setting times and compressive

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Geliş (Received): 18/06/2024

Atıf (Citation): Pınarçı, İ. "Portland Çimentosuna Perlit ve Pomza İkamesinin Çimentonun Özelliklerinin Gelişimine Katkıları", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(2): 105-117, 2024.

Kabul (Accepted): 09/09/2024

Yayın (Published): 31/12/2024

strengths depending on the material properties and substitution status. As a result of the study, quite efficient and acceptable values were obtained in terms of compressive strength.

Keywords: Portland cement; substitution ; perlit; pumice; compressive strength.

1. GİRİŞ

Mineral katkıların çimento ve beton teknolojisinde kullanımı sayesinde betonun durabilite özelliklerinde kayda değer gelişme sağlanmasının yanı sıra, doğaya ve ülke ekonomisine de katkı sağlanabilmektedir. Mineral katkıları bu avantajları ile yapı malzemesi imalatında gün geçtikçe değer kazanmakta ve uygulanmaktadır. Söz konusu malzemeleri gruplandırarak olursak endüstriyel atık olarak bilinen silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, ısıtılarak özellik kazandırmak suretiyle elde edilen metakaolin, pirinç kabuğu külü, fındık kabuğu külü veya pomza, perlit, diatomit, tras, zeolit gibi doğal ürünler olarak sıralanabilir [1-17]. Puzolan olarak ifade edilen malzemeler, doğal halinde bağlayıcılık özelliği taşımayan, yapılarında yüksek miktarda silis ve alümin bulunduran, CH reaksiyonu sayesinde bağlayıcılık özelliği kazanan mineral katkılarıdır [18].

Çalışmanın amacı, çimento üretim aşamasında maliyetin azaltılması, sürdürülebilir temiz çevreye katkı sağlanması, betonun dayanım ve durabilite sorunlarına çözüm getirebilmektir [18]. Bu tür çalışmalarda kullanılan puzolanın oranı, hazırlama şartları ve planlaması ikame işleminin başarısını etkileyecektir [18], [19].

Çalışmada puzolan olarak perlit ve pomza kullanılmıştır. Perlit Kütahya bölgesinden temin edilmiştir. Bu malzeme lav parçacıklarının asit ortamında soğuması ve akabinde kırılması ile oluşan, yapısında su bulunduran bir cam türü olarak bilinir. Doğada açık griden siyaha kadar değişen renk skalası içerisinde bulunabilir. Dünya perlit kaynaklarının %74' ü ülkemizde bulunmaktadır. Bu anlamda değerlendirilmesi ülkemize büyük katkı sağlayacaktır [18], [20].

Pomza ise boşluk oranı yüksek sünger görünümünde silikat tabanlı kirli beyazdan kırmızı kahve ve siyaha kadar geniş bir renk skalasında bulunabilen silisyumca zengin bir kayadır. Volkanik olaylar sonucu yeryüzüne çıkan magmanın içerisindeki gazların bünyeyi terk etmesi ve hızlı bir şekilde soğuması ile oluşmuştur. Özellik olarak çoğunlukla asidik olmakla birlikte, bazik türü ile beraber iki çeşittir. Yapısında silisyum, alüminyum, demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum bulunmaktadır [21], [22].

Tüm bu bilgiler çerçevesinde ülkemizde yüksek rezerv miktarına sahip olan perlit ve pomzanın ekonomimize dahil edilmesinde yarar vardır.

Çalışma kapsamında çimento, perlit ve pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş ardından uluslararası çimento standartlarında belirtilen deneyler kullanılarak dayanıklılık ve durabilite özellikleri incelenmiştir. Deneyler kapsamında 42.5R Portland çimentosuna her birinden %5 ve %10' ar oranda perlit ve pomza ikamesi yapılmış, standart ikamesiz çimento ile birlikte 3 çeşit kompozit çimento üretilmiştir. Akabinde referans çimento, perlit ve pomzanın fiziksel, kimyasal, mineralojik ve mikro yapısal özellikleri test edilmiştir. Üretilen çimento harç ve hamur numuneleriyle standart çimento deneyleri yapılmıştır. Son olarak perlit ve pomza karışımı ile elde edilen harç ile hamur örneklerinin gelişim aşamaları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, perlit ile pomzanın çimento ve beton üretim prosesinde, analizlerde uygulanan ikame oranlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. MATERYAL

Çalışmada kullanılan çimento TS EN 197-1 standardına uygun olan CEM I 42.5 R Portland çimentosu olup çimentonun üretimi Eskişehir ÇİMSA çimento fabrikasında yapılmıştır [23]. Elde edilen yeni çimentoda kullanılan perlit ise Genper isimli firmadan alınmış olup Kütahya yöresine aittir. İkame işleminde kullanılan ikinci materyal olan pomza ise, Nevşehir yöresinden tedarik edilmiştir. Harç örneklerinin eldesinde standart kum kullanılmıştır. Kum TS EN 196-1'e uygundur. Ayrıca su olarak Eskişehir şehir şebeke suyu kullanılmıştır [24].

2.2. METOD

Kullanılan numuneler 2 mm' den küçük olduğundan herhangi bir kırma işlemi yapmadan öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Pomza, bilyalı değirmende 68 rpm ile 30 dakika boyunca öğütülmüş ve 90 µm'lik elekten geçirilmiştir. Perlit ise zaten 90 µm' den küçük olduğundan öğütme ve eleme işlemine tabi tutulmamıştır.

Harç numuneler, perlit ve pomzanın bulunmadığı referans karışım, Portland çimentosunun %10'unun perlit ve pomza ile eşit oranda değiştirildiği karışım ve Portland çimentosunun %20'sinin perlit ve pomza ile eşit oranda değiştirildiği karışım olmak üzere üç

farklı karışımdan elde edilmiştir. Söz konusu çimentolar ve kodları ile harçtaki karışım oranları Tablo 1’ de sunulmuştur.

Tablo 1. Harç numunelerinin kodları ve karışım miktarları

Çimento Kodu	Çimento (g)	Çimento (%)	Pomza (g)	Pomza (%)	Perlit (g)	Perlit (%)	Su (g)	Kum (g)	s/ç
R	450	100	0	0	0	0	225		0.5
5PE5PO	405	90	22.5	5	22.5	5	250	1350	0.55
10PE10PO	360	80	45	10	45	10	270		0.60

Portland çimentosu, perlit ve pomza’ nın yapısal özelliklerinin tespitinde; kimyasal analizler ARL marka 9900 model X-Ray spektrometresi (XRF) cihazı ile, Özgül yüzey tayini Toni Teknik marka ve 7202 model Blain cihazı ile, Özgül ağırlıkları Quanta Chrome MVP-1 model piknometre cihazı ile tespit edilmiştir. Harç numuneleri TS EN 196-1’deki kurallar çerçevesinde imal edilmiştir [24]. Hamurlarda genleşme, priz süreleri ve su ihtiyacı tespitinde bağıl nemin % 65 ve sıcaklığın 20 °C olduğu laboratuvar şartlarında TS EN 196-3 standartlarına çerçevesinde tespitler yapılmıştır [25]. Harçlar ise 40x40x160 mm boyutlarında üç bölmeli kalıplara döküldükten sonra laboratuvar ortamında 24 saat bekletilmiş, 20 °C’ deki ortamda su havuzuna bırakılmış, hidrasyonun 2, 7, 28. ve 90. günlerinde havuzlardan çıkarılan harç numuneleri kurutularak TS EN 196-1’e göre basınç dayanımları Toni Teknik marka ve Toni Comp III 1511 Model Basınç test cihazı ile Eskişehir Çimsa Çimento Fabrikasında 2400±200 N/s hızda bir kuvvet uygulanarak numuneler kırılana kadar arttırılmaya devam edilerek değer tespiti yapılmıştır [24].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Fiziksel Analizler

Referans çimento, perlit ve pomzanın fiziksel özellikleri analiz edilmiş elde edilen değerler toplu halde Tablo 2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre perlitin en küçük tane yapısında ve en büyük yüzey alanına sahip olduğu, bunun yanında pomzanın en büyük tane boyutuna ve en küçük blaine verisini gösterdiği anlaşılmaktadır. Özgül ağırlıkları değerlendirildiğinde referans portland çimentosunun 3.12 g/cm³, perlitin 2.38 g/cm³ ve pomzanın ise 2.68 g/cm³ olduğu tespit edilmiştir. Bu analizler sonucu, daha düşük özgül ağırlık değerlerine sahip perlit

ve pomzanın, Portland çimentosuyla ikamesi ile oluşturulan yeni kompozit çimentonun da özgül ağırlığında düşme meydana geleceği ön görülmektedir.

Tablo 2. Portland Çimentosu, perlit ve pomzanın fiziksel özellikleri

	Tane boyutu (elek üstü), %		Özgül ağırlık, g/cm ³	Özgül yüzey (Blaine), cm ² /g
	>45 µm	>90 µm		
Çimento	68.4	0	3.12	4187
Pomza	34.2	8.4	2.68	2732
Perlit	44.3	0	2.38	5274

3.2. Kimyasal Analizler

Portland çimentosu, perlit ve pomzanın kimyasal değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Portland Çimentosu, perlit ve pomzanın kimyasal özellikleri

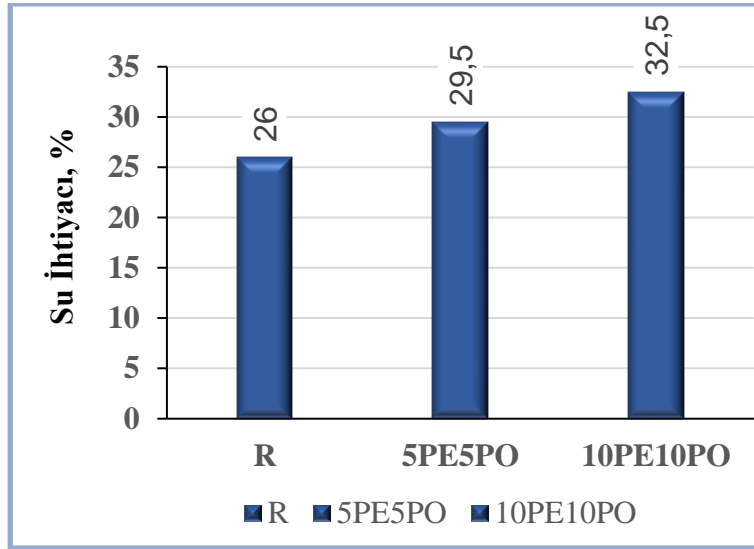
Materyaller	Çimento	Perlit	Pomza
SiO₂ (S)	21.28	74.32	66.32
Al₂O₃ (A)	4.14	13.48	17.43
Fe₂O₃ (F)	2.41	0,03	3.24
CaO	62.22	1,17	2.34
MgO	1.47	0.06	0.46
SO₃	3.43	0.02	0.32
Na₂O	0.18	3.53	3.13
K₂O	0.57	4.90	4.21
Cl⁻	0.012	0.04	0.02
Kızdırma kaybı	2.45	0.00	2.56
Serbest CaO	1.89	-	-
S+A+F		87.83	86,99

Tablo 3’ deki veriler incelendiğinde referans çimentonun CaO ve SiO₂ bakımından zengin, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ ve MgO oranı açısından zayıf olduğu görülmektedir. Perlitteki durum ise SiO₂ ve Al₂O₃ bakımından yüksek olduğu belirlenmiştir. Pomza bileşenlerinde de yüksek oran

içeren bileşenler SiO_2 ve Al_2O_3 ' dir. Buna karşılık CaO , Fe_2O_3 , MgO ve SO_3 miktarının ise daha az olduğu anlaşılmıştır. Pomza ve perlitin Na_2O oranının, K_2O oranına kıyasla görece daha fazla bulunması, malzemelerin Na^+ iyonlarınca bir miktar daha fazla olduklarını göstermektedir. Elde edilen bulgular sonucunda perlit ve pomzanın S+A+F toplam miktarının %80' den yüksek olduğu tespit edilmiş ve puzolanik olarak kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

3.3. Su İhtiyacı

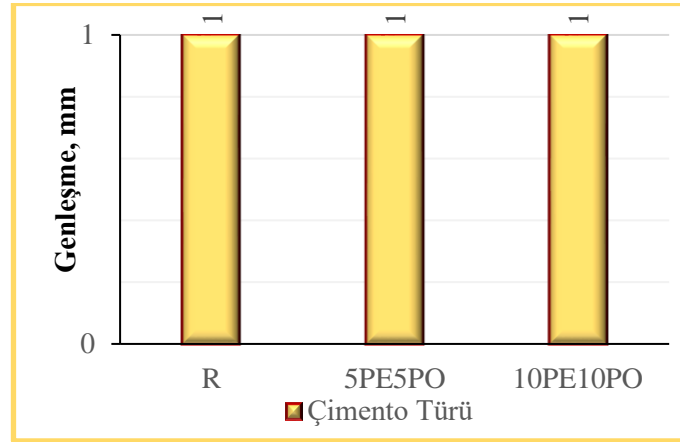
TS EN 196–3 standardında uygulanan su ihtiyacını belirleme analizleri sonucu perlit ve pomza ikameli çimento hamurlarına ait elde edilen veriler Şekil 1' de sunulmuştur [25].



Şekil 1. Su ihtiyacı sonuçları

3.4. Genleşme Değerleri

TS EN 196–3 Standardına göre uygulanan analizler neticesinde perlit ve pomza katkılı çimentolardan elde edilen hamurların genleşme sonuçları Şekil 2' de verilmiştir [25].

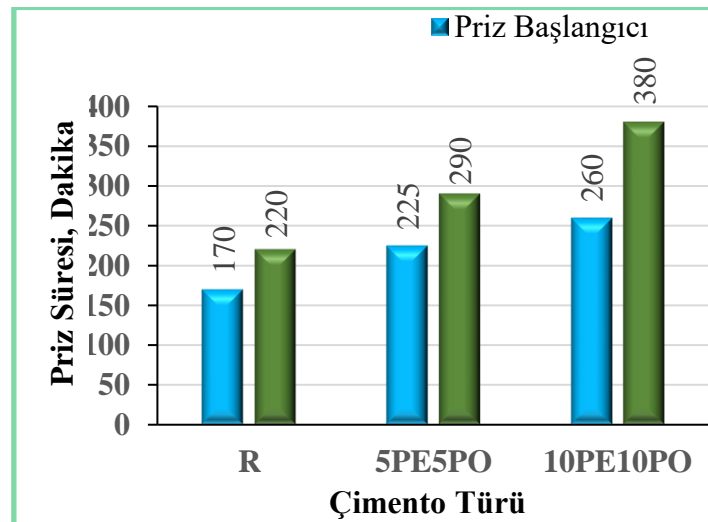


Şekil 2. Genleşme miktarı sonuçları

Deneylerde kullanılan çimento incelendiğinde MgO ve CaO' in fazla miktarda bulunduğu görülmektedir. Bu durum genleşme problemini ortaya çıkarmakta, dolayısı ile betonda bir takım durabilite problemlerini gündeme getirmektedir. Analizlerde referans çimento, perlit ve pomza çimento hamurlarında Le Chatelier kalıbı kullanılarak, tümünde 1mm genleşme olduğu tespit edilmiştir. TS EN 197-1' de tanımlanan standarda göre en yüksek sınır genleşme değeri 10 mm' dir. Bu bağlamda numunelerin kabul edilebilir genleşme değerleri içerisinde kaldığı için standartlara uygun olduğu anlaşılmıştır [23].

3.5.Priz Süreleri

Priz süresi tespiti için deneyler TS EN 196-3 standardına göre yapılmış, referans çimento, perlit ve pomza katkılı çimento hamurlarının priz süreleri tespit edilerek Şekil 3' te sunulmuştur [25].

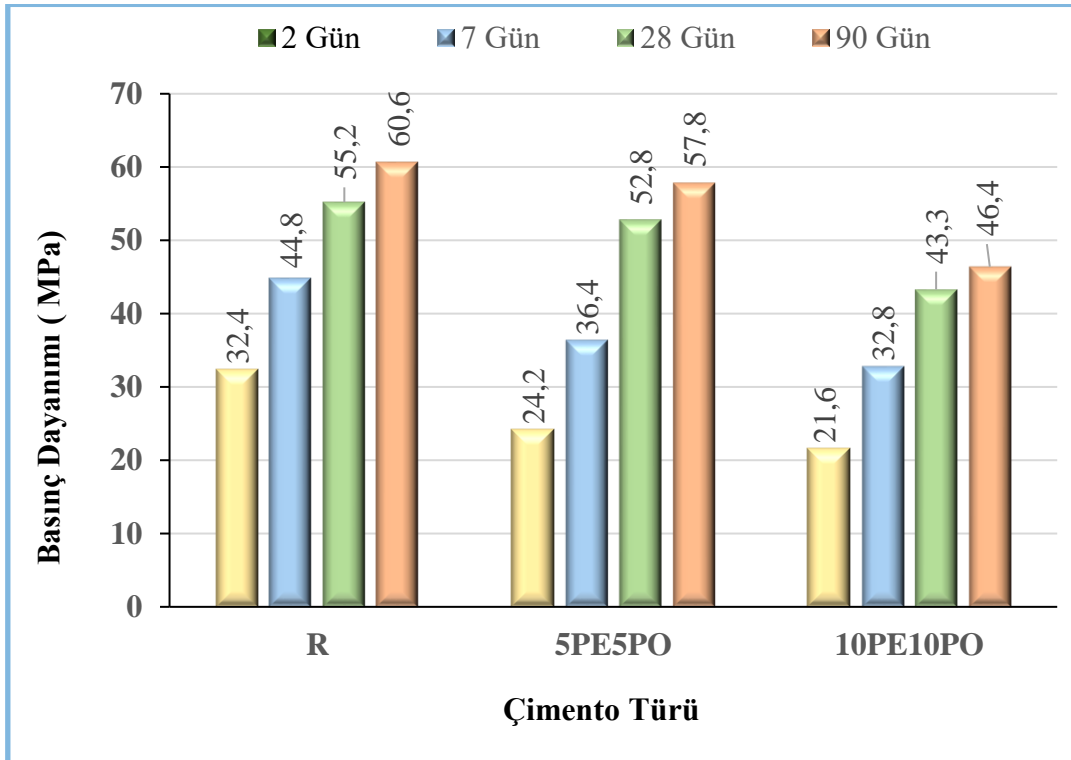


Şekil 3. Priz süreleri sonuçları

Şekil 3'e göre priz başlangıç süreleri kıyaslandığında en düşük süre 160 dk ile referans çimento hamuru numunesinde, en yüksek priz başlangıcının ise 260 dk ile 10PE10PO çimento hamurunda olduğu görülmüştür. Bu durumda referans numunelere göre sırasıyla 5PE5PO ve 10PE10PO çimento hamurlarında sırasıyla %32.35 ve % 52.99 oranında süre artışı tespit edilmiştir. Priz süre sonu verilerinde ise en erken süre 220 dk ile referans numunede görülürken, 380 dk ile en uzun süre 10PE10PO hamurunda olduğu anlaşılmıştır. Yine referans çimento hamuru ile kıyaslandığında 5PE5PO ve 10PE10PO çimento hamurlarında sırası ile % 41.17 ve % 94.11 kadar süre yükselmesi olduğu görülmüştür (Şekil 3). Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, standartlarda referans olarak seçilen çimento için belirtilen 60 dk priz başlangıç minimum süre sınırının üstünde olduğu ve bu sebepten dayanım özelliklerine uygun olarak gelişim göstereceği, işlenebilirlik problemi görülmeyeceği, kalıp sökme işlemlerinde sıkıntı oluşmayacağı düşünülmektedir.

3.6. Basınç Dayanımları

Referans çimento perlit ve pomza katkılı harç örneklerinin 2, 7, 28 ve 90. hidrasyon günlerinde basınç dayanım sonuçları Şekil 4' de sunulmuştur.



Şekil 4. Basınç dayanımları sonuçları

Referans harç numunelerine göre 5PE5PO ve 10PE10PO örneklerinde sırasıyla 2. hidrasyon gününde %25.6 ve %33.75; 7. hidrasyon gününde %18.75 ve %26,78; 28. hidrasyon gününde %4.34 ve %21.55; 90. Hidrasyon gününde ise %4.6 ve %23,43 oranında dayanım düşüklüğü tespit edilmiştir (Şekil 4). Sonuçlar değerlendirildiğinde çimento harç numunelerinin basınç dayanımları ilk yaşlarda ikame oranları arttıkça referans çimento harç numunesine göre düşüş göstermektedir. Bunun temel nedeni meydana gelen puzolonik aktiviteler sebebiyle reaksiyon hızının düşmesi ve dolayısı ile sınırlı miktarda C-S-H oluşturulmasıdır. Ancak 28. hidrasyon gününden itibaren basınç dayanım değerleri tüm ikameli numunelerde standartlarda beklenen değerlere ulaştığı görülmüştür. Bu hızlı gelişimin sebebi ikamede kullanılan perlit ve pomzanın ortamda oluşan C-S-H oluşturmak için daha fazla CH' 1 bağlaması olarak mütalaa edilebilir. Ayrıca perlit ve pomza ile ikame edilen numunelerin tamamında TS EN 197-1 de kabul edilen 2 gün için beklenen basınç değeri olan 20 MPa' ı aşan sonuçlar vererek 42.5 R dayanım sınıfı değerlerini elde ettiği, ilaveten 28. hidrasyon gününde sırasıyla 5PE5PO ve 10PE10PO numunelerinde 52.8 MPa ile 43.3 MPa gibi referans çimentoda beklenen standart değerlere % 20 gibi yüksek bir ikame oranında ulaşabilmesi işlemin oldukça verimli olduğunu göstermektedir. Tüm bu durumlara ilave olarak 5PE5PO numunelerinin 28 günlük norm basınç değeri olan 52.5 MPa' yı aşan bir sonuçla 52.5 N dayanım sınıfına da girdiği görülmüştür [23].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

- Kimyasal özellikleri için yapılan analizlerde perlitin S+A+F toplamının % 87.83; pomzanın ise % 86.99 (S+A+F>0.70) olarak bulunması özellik olarak istenilen puzolonik yapıda olduklarını;
- 45 µm ve 90 µm elek üstü taneciklerin tane boyut bölgesi ve özgül yüzey alanı sonuçları itibariyle, pomza referans çimentoya kıyasla görece daha büyük tane boyutuna ve daha küçük özgül yüzey alanına, perlit ise daha düşük tane boyutuna ve daha yüksek özgül yüzey alanına sahip olduğu;

- Pomza ve perlitin referans çimentoya göre özgül ağırlığının küçük olmasından dolayı söz konusu puzolanların çimento ile ikamesinden özgül ağırlığı daha düşük kompozit çimentoların üretilebileceği;
- Su ihtiyaçları noktasında, kullanılan ikame miktarı ile puzolanların kimyasal ve fiziksel özelliğine bağlı olarak bir miktar su ihtiyacının arttığı;
- Tüm numuneler için genleşme değerlerinin standartlarda belirtilen referans aralıklarında gerçekleştiği;
- Priz sürelerine bakıldığında, priz başlangıç ve son sürelerinin tüm numuneler için standartlarda belirtilen sürelerle uygun olduğu, bu anlamda işlenebilirlik açısından imalat sırasında bir problem oluşturmayacağı;
- Tüm ikameli harç numunelerinde TS EN 197-1’de belirtilen 2 gün için beklenen basınç değeri olan 20 MPa’ nın üstünde sonuçlanarak 42.5 R dayanım sınıfının elde edildiği sağladığı, bunun yanında % 20’ ye kadar yüksek sayılabilecek bir katkı oranında dahi 28 günlük basınç değerlerine göre, elde edilen üründen oldukça verimli sonuçlar alındığını;
- 5PE5PO numunesinde 28 günlük norm basınç değeri 52.5 MPa’ nın üzerinde elde edilmiştir. Dolayısı ile bu durum 52.5 N dayanım sınıfını da sağladığı da görülmüştür.

Yapılan çalışma neticesinde ülkemizde rezerv bakımından hatırı sayılır miktarda bulunan perlit ve pomzanın çimentoya ikamesiyle, hidrasyon sürecine katkı sağlamasının yanı sıra ekonomiye ve çevreye katkı sağlanmış olacaktır. Çalışma kapsamında perlit ve pomzanın fiziksel, kimyasal özellikleri ile bunlardan elde edilen kompoze çimento harç ve hamurlarının standart çimento deneyleri açısından değerlendirilmesi yapılmış olup bu incelemelerin ileri görüş teknikleri ile de desteklenerek katkı sağlanmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler Çimsa Eskişehir Çimento Fabrikası gerçekleştirilmiş olup katkılarından dolayı teşekkürlerimi bir borç bilirim.

KAYNAKÇA

- [1] İlker Bekir Topçu, Taylan Sofuoğlu, “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*, c. 7/2, 806-823., 2020.
- [2] İbrahim Pınarcı, Yılmaz Kocak, “Hydration mechanisms and mechanical properties of pumice substituted cementitious binder ”, *Construction and Building Material*, c. 335, 2022.
- [3] İbrahim Pınarcı, Yılmaz Kocak, “Effects of hydration mechanism on mechanical properties of diatomite-cement composites”, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, c. 27(12), ss. 3707-3721, 2023.
- [4] Pınarcı İ., “Sürdürülebilirlik çerçevesinde yeşil betona bakış üzerine bir araştırma”, içinde *Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21st Century-I*, ss. 103-116, Özgür Yayıncılık., Gaziantep, 2023.
- [5] Pınarcı İ., “Diatomit ve pomza ikameli çimentoların hidrasyon reaksiyonlarının ve yüzey özelliklerinin spektroskopik yöntemlerle araştırılması”, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2022.
- [6] Yılmaz Koçak, Atilla Dorum, Bülent Yılmaz, ve Ali Uçar, “Trasın Çimento Yüzey Özelliğine, Hidratasyona Ve Basınç Dayanımına Etkisi, *E-Journal Of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, c. 5, sy 1, ss. 1-14, 2010.
- [7] Kürşat Yıldız, Atilla Dorum, Yılmaz Koçak, “Pomza Zeolit Ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik Ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* , c. 25, sy 4, ss. 867-879, 2010.

- [8] Hui Zhao, Wei Sun, Xiaoming Wu, Bo Gao, “The Properties Of The Self–Compacting Concrete With Fly Ash And Ground Granulated blast furnace slag mineral admixtures” *J Clean Prod*, sy 95, ss. 66-74, 2015.
- [9] Yılmaz Kocak, Eda Tasci, ve Unal Kaya, “The effect of using natural zeolite on the properties and hydration characteristics of blended cements”, *Constr Build Mater*, c. 47, ss. 720-727, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.033.
- [10] Yılmaz Kocak, “Effects of metakaolin on the hydration development of Portland–composite cement”, *Journal of Building Engineering*, c. 31/101419, 2020.
- [11] Abdurrahman Ergin, “Bitlis Yöresi Pomzasının Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Mineral Katkı Olarak Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , Elazığ, 2016.
- [12] Atilla Dorum, Yılmaz Koçak, Bülent Yılmaz, ve Ali Uçar, “Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine Ve Hidratasyona Etkileri”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, ss. 47-58, 2009.
- [13] A. Tolgay, E. Yaşar, ve Y. Erdoğan, “Nevşehir Pomzasının Agrega Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, İzmir: 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 2004.
- [14] Cabrera–Luna K., Maldonado–Bandala E. E., Nieves–Mendoza D., Castro–Borges P., ve García J. E., “Novel low emissions supersulfated cements of pumice in concrete; mechanical and electrochemical characterization ”, *J Clean Prod*, c. 272/ 122520, 2020.
- [15] İbrahim Pınarcı, Yılmaz Kocak, “Pomza ve diatomitin yüzey özelliklerinin portland çimentosunun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8/3, 1385-1394., 2021.
- [16] Yılmaz Kocak, “A Study On The Effect Of Fly Ash And Silica Fume Substituted Cement Paste And Mortars”, *Scientific Research And Essays*, c. 5, sy 9, ss. 990-998, 2010.

- [17] Pınarcı İ., “Hafif Beton ve Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Yapı Malzemeleri Üzerine Bir Araştırma ”, *Mühendislik Bilimleri Alanında Yeni Trendler*, 1. bs, Prof. Dr. Birol KILIÇ ve Prof. Dr. Gülden BAŞYİĞİT KILIÇ, E, 2022.
- [18] Eylül Selin Kaya, “Ham Perlit Ve Genleştirilmiş Perlitin Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği ”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Balıkesir, 2019.
- [19] DPT, “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza, 96 Perlit, Vermikülit, Flogopit, Genleşen Killer), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık (2001-2005) Kalkınma Planı”, Ankara, 2001.
- [20] *TS EN-197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.* Ankara, 2012, ss. 3-10.
- [21] Gonca Eroğlu ve Mesut Şahiner, “Dünyada Ve Türkiye’de Pomza”, 2020.
- [22] Necmettin Elmastaş, “Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı)”, *Journal of International Social Research*, c. 5, sy 23, ss. 197-206, 2012.
- [23] *TS EN-197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.* Ankara, 2012, ss. 3-10.
- [24] *TS EN-196-1. Çimento deney metodları-Bölüm 1: Dayanım tayini.* Ankara, 2016, ss. 16-21.
- [25] *TS EN-196-3.Çimento deney yöntemleri-Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini.* Ankara, 2017, ss. 5-8.