

Received: March 01, 2019

Accepted: March 22, 2019

Farklı Alkalilerle Aktifleştirilen Uçucu Kül Esaslı Harçların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Murat ÇAVUŞ^{1*}, Melih Naci AĞAOĞLU²

^{1,2}Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, Uçucu Kül + Zeolit ve Uçucu Kül + Diatomit mineralleri ile hazırlanan karışımların, sırasıyla Sodyum Hidroksit (NaOH), Potasyum Hidroksit (KOH) ve Sodyum Silikat (Na₂SiO₃) alkalileri kullanılarak elde edilen harçların 75 °C’da 24 saat kür ortamında bekletilerek 6 seri deney numunesi hazırlanmıştır. Elde edilen numuneler üzerinde mekanik ve fiziksel deneyler gerçekleştirilmiş ve çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tüm karışımlarda bütün bileşenler ve kür şartları sabit tutulmuş yalnızca alkali türü değiştirilmiştir. Numuneler üzerinde 1., 7. ve 28. Günde yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda en iyi değer in sodyum silikath karışımlarda elde edildiği görülmüştür. Genel olarak potasyum hidroksitin bu karışımlar için kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Zeolit, Diatomit, Alkali aktivasyon,

Investigation of Some Mechanical and Physical Properties of Different Alkalines Activated Fly Ash Based Mortars

Murat ÇAVUŞ^{1*}, Melih Naci AĞAOĞLU²

^{1,2}Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Civil Engineering Department, 60250, Tokat, Turkey

Abstract

In this study, the mixtures were prepared with fly ash + zeolite and fly ash + diatomite minerals. Mortars are obtained by using sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH) and sodium silicate (Na₂SiO₃) alkalis respectively. 6 series test specimens were prepared by holding the obtained mortars at 75°C for 24 hours. Mechanical and physical experiments were performed on the obtained samples and the results were examined comparatively. All components and all curing conditions were kept constant and only the alkali type was changed in all mixtures. As a result of the compressive strength tests performed on the 1st, 7th and 28th days on specimens, the best value was obtained in sodium silicate mixtures. In general, potassium hydroxide has no significant effect for these mixtures.

Keywords: Fly ash, Zeolite, Diatomite, Alkaline activation

*Sorumlu yazar, e- posta: murat.cavus@gop.edu.tr

1. Giriş

Portland çimentosu ve türevleri, inşaat mühendisliğinde yapı üretimi açısından temel bağlayıcı malzemesi ya da bazı durumlarda detay malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak bu malzemenin üretimi için önemli miktarda enerji tüketimine ve portland çimentosunun hammaddesini oluşturan kalkere (kalsiyum karbonat) ihtiyaç duyulmaktadır. Daha da önemlisi bu malzemenin üretimi sırasında ortaya çıkan CO₂, dünya genelinde sera gazı etkisi yaratan unsurlar içinde yaklaşık % 6-7'lik bir paya sahiptir. Bu durum bilim insanlarını daha çevreci ve az maliyetli ürünler üretmeye dönük araştırmalara yönlendirmiştir. Günümüzde de hala devam eden çalışmalarda, klinker üretiminin azaltılması için, klinkerin öğütülmesi sırasında içine bazı mineral katkıları katılarak üretim maliyetleri ve enerji tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Böylelikle bazı katkılı çimentolar elde edilmeye başlanmıştır. Bu sayede hem farklı çimento türleri hem de atık minerallerin kullanılması ile çevre için yararlı bir üretim ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra bu katkıların, çimentonun bazı durabilite özelliklerinde iyileştirmelere sebep olduğu görülünce, bu konuda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Ancak, son yıllarda dünya genelinde çimentonun hiç kullanılmadığı ve jeopolimer olarak adlandırılan malzeme ile ilgili çalışmalar önemli bir yer tutmaktadır [1-5]. Bu çalışmalarda genellikle atık olarak ortaya çıkan ve yapay puzolan olarak adlandırılan malzemeler kullanılarak hem ekonomik bir malzeme elde edilmeye çalışılmakta, hem de çevre kirliliği önlenmeye çalışılmaktadır [6-8]. Bu çalışmaların birçoğunda atık olarak termik santrallerde açığa çıkan uçucu kül ve taban külü ile demir çelik fabrikalarında ortaya çıkan cürüfler kullanılmıştır [9-11]. Bu atıkların tercih edilmesinin sebebi yüksek oranda silis ve alümin içermeleridir. Bu bileşiklerin Na₂SiO₃, NaOH ve KOH gibi alkalilerle 40-100 C° sıcaklıkta aktivasyonu ile oluşturdukları silikat bağlarıyla, yüksek dayanıma sahip ürünler üretilebilmektedir. Bu ürünlerin özelliklerini, kullanılan malzemenin inceliği, kür sıcaklığı ve süresi ile alkali tip ve miktarı önemli ölçüde etkilemektedir [12-15].

Öte yandan, ülkemizde 39 adet katı yakıt ile çalışan termik santral bulunmaktadır. Bu santrallerle ülkemizin enerji ihtiyacının yaklaşık %20'si karşılanmaktadır [16]. Bu santrallerde linyit kömürü ya da taşkömürü kullanılmaktadır. Bunun sonucunda termik santral çevrelerinde büyük oranda uçucu kül ve taban külü atıkları oluşmaktadır. Uçucu kül baca içine giren 0.5-150 µm boyutlarındaki parçacıkları içerirken; taban külü ise yanma kazanının altında biriken 250-7000 µm boyutlardaki kalıntılardan oluşmaktadır. Bunların depolanması oldukça zor ve maliyetlidir. Küller birçok santralde açık havada depolanmaktadır. Bunlar zamanla havaya karışmakta, bunun sonucunda yakın çevresindeki tarım arazilerini ve su yataklarını kirletmektedir. Ülkemiz genelindeki termik santrallerde, yılda yaklaşık 15-18 milyon ton uçucu kül ve 4 milyon ton taban külü açığa çıkmakta ve bu atıkların yalnızca 1,5 - 2 milyon tonu beton üretiminde değerlendirilebilmektedir. Uçucu külün beton yapımında kullanılabilmesi için sahip olması gereken özellikler ve sınırlamalar standartlarda verilmektedir. Bu sınırlamaların bazıları SO₃ içeriği, serbest CaO içeriği, MgO içeriği, alkali oksit içeriği olarak sıralanabilir [17]. Bu kimyasal içerikleri yüksek olan küller çimento ikamesi için veya kompoze çimento yapımında kullanılamamaktadır. Dolayısıyla bu küller depo sahalarında uzun yıllar saklanmakta, zamanla yeraltı suyuna karışarak veya havalanarak kirlilik ve çevresel tehdit oluşturabilmektedir.

Sivas Kangal termik santrali ülkemizdeki yüksek enerji üretme kapasitesine sahip tesislerden biridir. Büyük oranda kömür yakılması nedeniyle tesiste yüksek miktarda uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Santralde oluşan külün yaklaşık %95'i baca külü olarak ortaya çıkmakta ve bunlar elektro filtrelerde tutulduktan sonra santralin 1200 m güneybatısındaki bir vadide

biriktirmektedir. Bu kül %33-38 SiO₂, %11-16 Al₂O₃ ve %26-30 CaO içermektedir. Bu yüzden C sınıfına girmekte ve kısmı puzolanik özellik göstermektedir. Bu yüzden çimento üretiminde kullanımı istenilen düzeyde olmamaktadır [15-18]. Bu çalışmayla, bu santralde ortaya çıkan uçucu külün inşaat sektöründe blok üretiminde daha etkin bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar ve Bulgular

2.1.Kullanılan Malzemeler

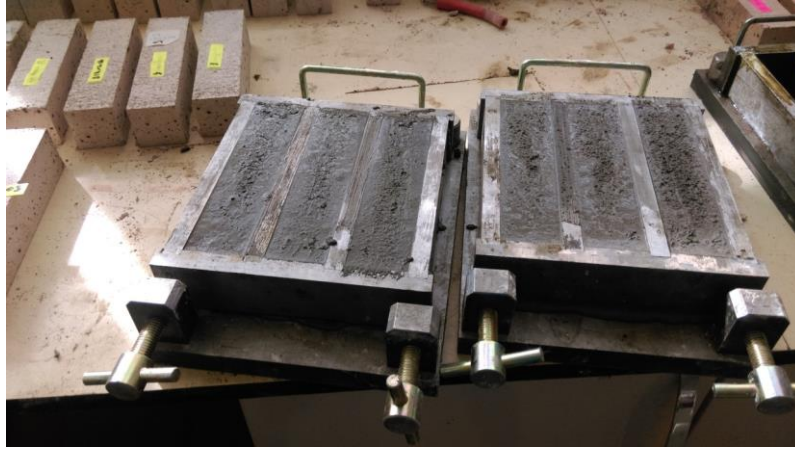
Deney numunelerinin üretilmesinde; uçucu kül, diatomit, zeolit, standart kum, aktifleştirici olarak Sodyum Hidroksit (NaOH), Potasyum hidroksit (KOH), sodyum silikat (Na₂SiO₃) ve su kullanılmıştır. Uçucu kül Sivas Kangal Termik Santralinden, diatomit Kayseri Develi'den, zeolit ise İzmir Gördes firmasından temin edilmiştir. Temin edilen uçucu külde öğütme işlemi yapılmıştır. Karışımda kullanılan uçucu kül, diatomit ve zeolite ait olan kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmektedir. Numunelerin hazırlanmasında maksimum agrega boyutu 2 mm olan yıkanmış ve kurutulmuş dere kumu ile şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal özellikleri			
Ana element	Uçucu Kül (%)	Diatomit (%)	Zeolit (%)
SiO₂	37.29	93,11	73,53
Al₂O₃	15.56	1,42	12,54
Fe₂O₃	4.83	1,77	1,45
CaO	28.90	0,83	2,85
MgO	3.63	0,30	0,82
SO₃	6.63	0,10	3,25
K₂O	0.84	0,35	2,7
Kızdırma kaybı	2.75	1,12	3,51
Fiziksel Özellikleri			
90 mikron altı (%)	100	100	100
Özgül ağırlık (gr/cm³)	2,72	2,12	2,03

2.2. Metot

Deney harçları, Kangal C sınıfı uçucu külü, dane çapı max. 2 mm dere kumu, sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum silikat ve içme suyu kullanılarak çimentosuz olarak üretilmiştir. Karışım oranları ağırlıkça; bağlayıcı/agrega oranı 1/2, su/uçucu kül oranı 1/1 ve alkali toplam bağlayıcının ağırlıkça %20'si olarak kullanılmıştır. Karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir. Kireç tüm karışımlarda sabit oranda kullanılmış diatomit ve zeolit ise kendi aralarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak numunelerin hazırlanmasında Şekil 1' de gösterilen 40x40x160 mm çelik çimento kalıpları kullanılmış ve Tablo 2'de verildiği gibi kodlanmıştır. Kodlamada Sodyum Hidroksit (SH), Potasyum Hidroksit (PH), Sodyum Silikat (NS), Zeolit (Z) ve Diatomit (D) olarak alınmıştır. Hazırlanan karışımlar, literatürdeki gibi 24 saat süresince 75°C sıcaklıkta kür edilerek deneylere tabi tutulmuştur [19].

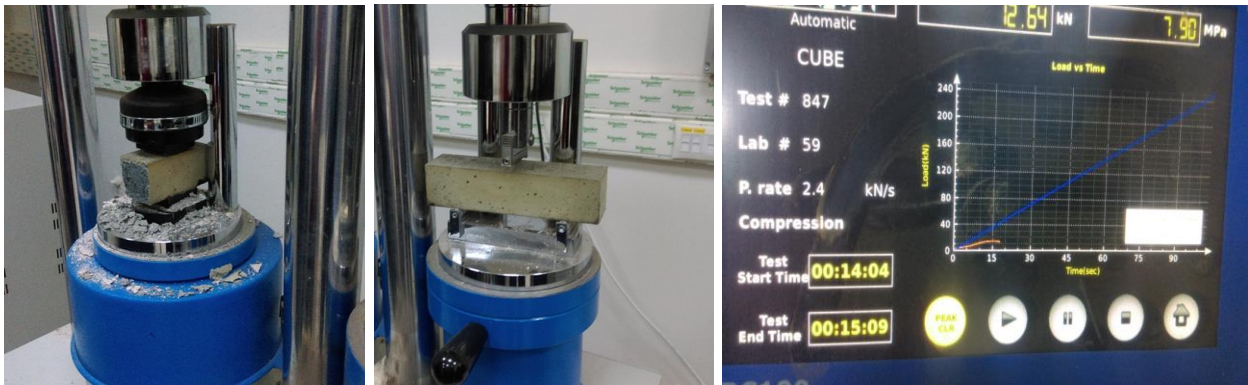


Şekil 1. Numunelerin hazırlanması

Tablo 2. Deneylerde kullanılan numune kodları ve karışım miktarları

Karışımlar						
Kodlama	Uucu Kül (gr)	Zeolit (gr)	Diatomit (gr)	Agrega (gr)	Su (ml)	Aktivatör (gr)
NHZ1	350	150	-	1000	350	100
KHZ1	350	150	-	1000	350	100
NSZ1	350	150	-	1000	350	100
NHD1	350	-	150	1000	350	100
KHD1	350	-	150	1000	350	100
NSD1	350	-	150	1000	350	100

Alkali ile aktive edilen harçların 1., 7. ve 28. günde basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı özellikleri ölçülmüştür. Basınç ve eğilme dayanımı deneyi utest marka cihazla ve TS196-1 standardına göre yapılmıştır (Şekil 2). Ayrıca 28. gün numuneleri üzerinde ultrases geçiş hızı, birim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır.

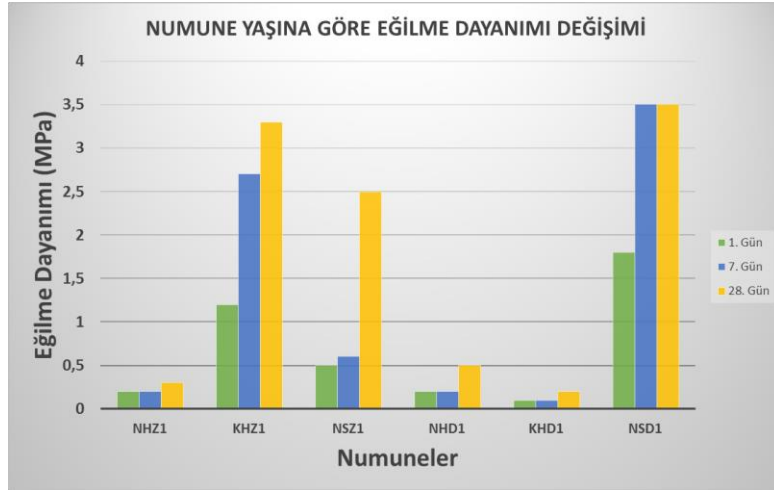


Şekil 2. Deney düzeneği ve kontrol ekranı

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Eğilme Dayanımı

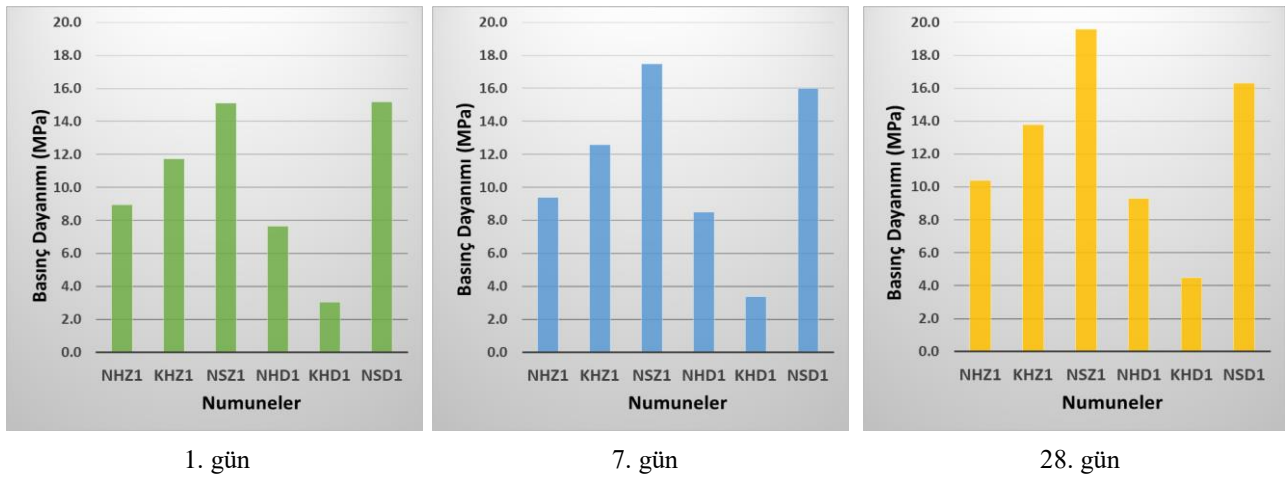
Numunelerin 1., 7. ve 28. güne ait karşılaştırmalı eğilme dayanımlarına ait değerler Şekil 3'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, en yüksek eğilme dayanımı değerinin 28. Günde 3,5 MPa olarak diatomitin kullanıldığı ve sodyum silikat alkalisinin aktifleştirici olarak kullanıldığı karışımda elde edilmiştir. En düşük dayanımın ise yine diatomitin kullanıldığı ve potasyum hidroksit ile aktifleştirilen harç numunelerinde ortaya çıktığı görülmüştür.



Şekil 3. Numune içeriği ve yaşına göre eğilme dayanımı değerleri

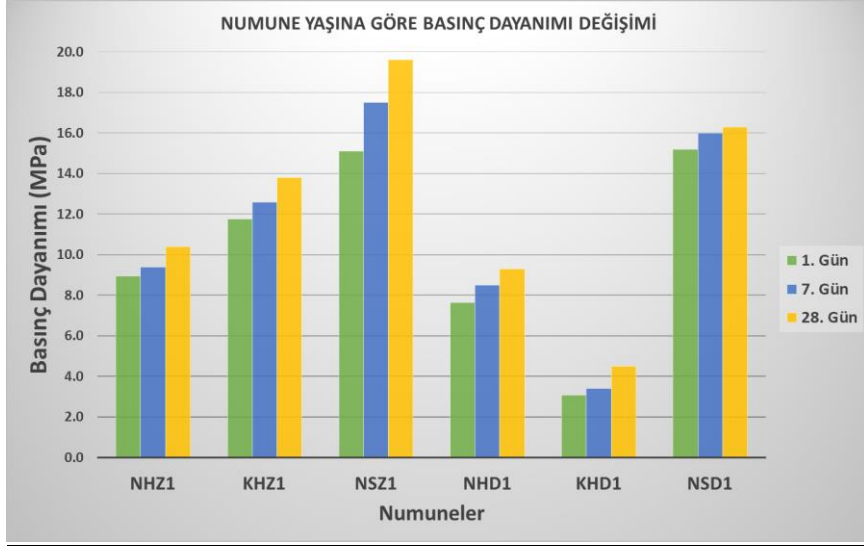
3.2. Basınç Dayanımı

Numunelerin 1., 7. ve 28. güne ait basınç dayanımlarına ait değerler Şekil 4'te verilmiştir. Tüm numuneler içinde elde edilen en büyük basınç dayanımı değeri 19,4 MPa ile zeolit katkılı ve sodyum silikatla aktifleştirilen harç numunelerinde ölçülmüştür. En düşük basınç dayanımı değeri ise diatomitin kullanıldığı ve potasyum hidroksit ile aktifleştirilen numunelerde olduğu görülmüştür.



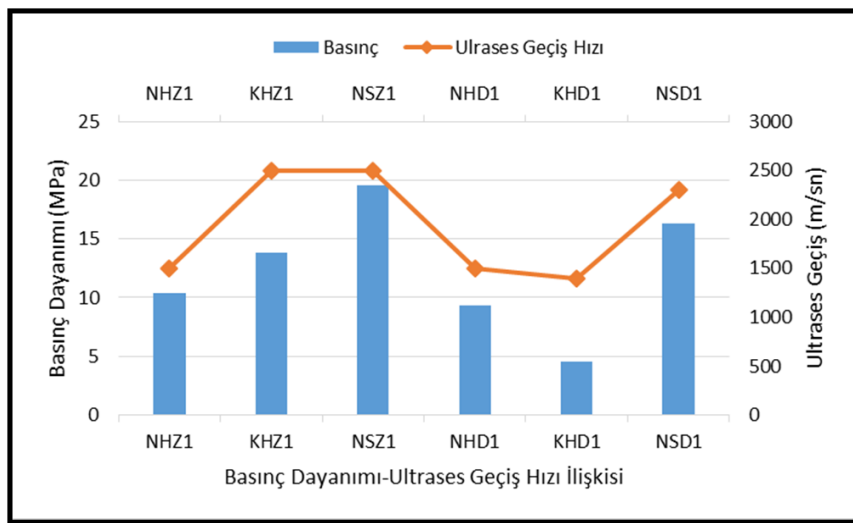
Şekil 4. Numune içeriği ve yaşına göre basınç dayanımı değerleri

Şekil 5 bir önceki şekildeki basınç dayanımı değerlerinin toplu olarak gösterilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Şekil incelendiğinde zeolitin kullanıldığı karışımlarda alkaliler sırasıyla sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum silikattır. Bu karışımlarda en büyük basınç gerilmesi değeri 19,4 Mpa ile Sodyum silikatlı karışımlarda orta çıktığı görülmüştür. Ancak diatomitin kullanıldığı karışımlarda en büyük basınç gerilmesi değeri 16,1 Mpa ile yine sodyum silikatlı karışımlarda gözlenirken, diatomit katkılı karışımlarda potasyum hidroksit kullanımının basınç dayanımında kayda değer bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

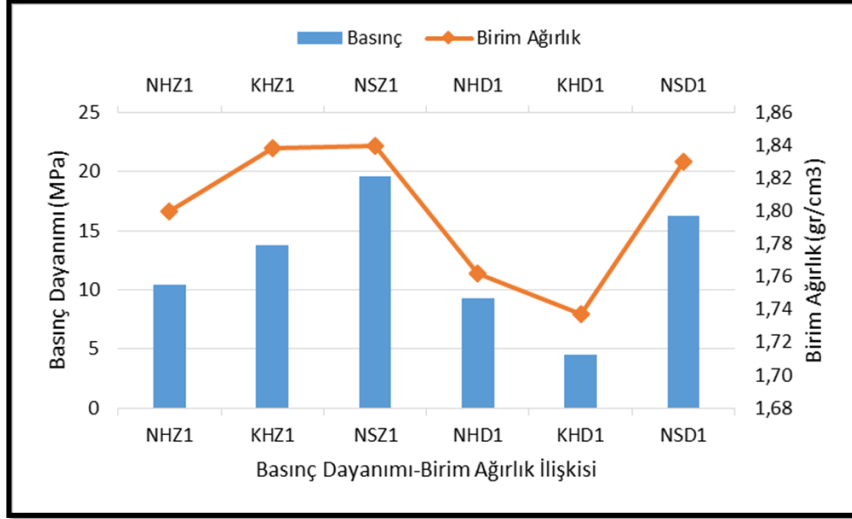
Hasarsız test yöntemlerinden olan ve ses dalgaları ile malzemenin dayanımı hakkında bir fikir veren ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı değerleri karşılaştırılmıştır. Bu durum Şekil 6'da grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde burada bir doğrusal ilişki olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, ultrases hızı değerleri ile tek eksenli deneyde elde edilen basınç dayanımı değerleri arasında bir tutarlılıktan söz edilebilir.



Şekil 6. Ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı ilişkisi

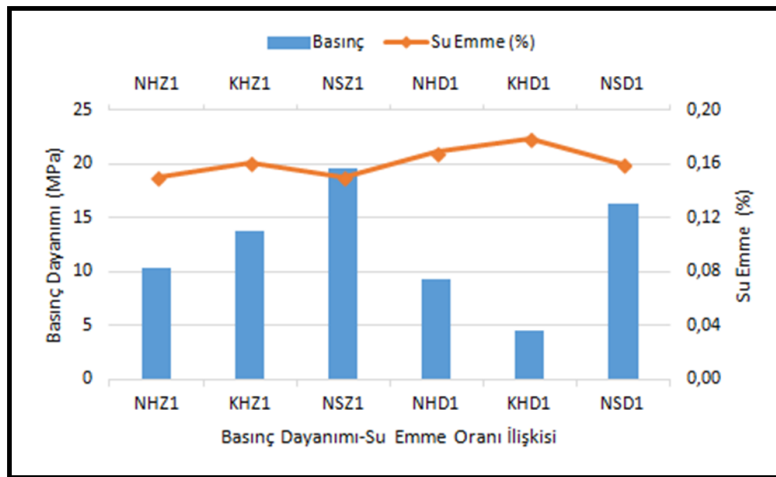
3.3. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi ve basınç dayanımı ile karşılaştırılması

Daha sonra numunler üzerinde fiziksel deney olarak birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar basınç dayanımı değerleri ile karşılaştırılarak Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde en büyük birim hacim ağırlık değerinin zeolit katkı ve sodyum silikatın kullanıldığı numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak birim hacim ağırlık değerleri ile basınç dayanımı değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ilişkisi

Numuneler üzerinde Özellikle harçlar için önemli bir kriter olan su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deney ile malzemelerin boşluk yapıları hakkında ve malzeme içinde kalabilecek serbest kirecin eriyerek yerine suya bırakmasıyla oluşacak boşlukların tespiti açısından önemlidir. Şekil 8’de, en düşük su emme oranına sahip numunelerin en fazla basınç dayanımı değerine ulaştıkları görülmektedir.



Şekil 8. Su emme oranı-basınç dayanımı ilişkisi

4. Sonuçlar

Çalışmada, depolanması evre için sorunlu ve oldukça maliyetli olan Sivas Kangal Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül, diatomit ve zeolit, alkalilerle aktifleştirilerek harç üretiminde kullanılmışlardır. Deneysel çalışmada tüm bileşenler sabit tutularak yalnızca aktivatörler, zeolitli ve diatomitli olmak üzere iki karışımda denenmiştir. Numuneler 24 saat boyunca 75 C ortamda kür edilmiş ve 1., 7. ve 28. Günde numuneler üzerinde bazı mekanik ve fiziksel özellik belirleme deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, aktivatör olarak Sodyum silikatın kullanıldığı karışımlarda 28. Gün için elde edilen basınç gerilmesi değerleri 16 ile 19 MPa aralığında llerek en büyük değerlere ulaştığı görülmüştür. Yine tüm karışımlar içinde en kk değer potasyum hidroksitin kullanıldığı karışımlarda çıktığı görülmüştür. Genel olarak malzemelerin llen fiziksel özellikleri ile basınç gerilme değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

Bu alışma, kr sıcaklığı, kr süresi ve karışım oranları üzerinde yapılacak değerliklerle çalışılmaya devam edilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca, bundan sonra yapılacak çalışmalarda durabilite özelliklerinin araştırılması düşünülebilir.

5. Kaynaklar

- [1]. Gartner E. (2004). Industrially interesting approaches to “low-CO2” cements. *Cement and Concrete Research*, 34(9): 1489-1498.
- [2]. Davidovits J. (2008). *Geopolymer chemistry and applications*, 3rd Ed, Institut Gopolymère, St. Quentin, France.
- [3]. Tokyay M, Ayturan P. (2010). Mineral katkıların alkali ile aktive edilmesi: Blm 2. *imento ve Beton Dnyası*, 15(89): 77-91.
- [4]. Sukmak P, Horpibulsuk S, Shen S-L, Chindaprasirt P, Suksiripattanapong C, (2013). Factors influencing strength development in clay–fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*, 47: 1125–1136.
- [5]. Provis J L, Deventer J S J, (2009). *Geopolymers: Structures, processing, properties and industrial applications*. Woodhead Publishing, Abingdon, UK.
- [6]. şahin M, Mahyar M, Erdoğan S T, (2015). Afşin Elbistan Uucu Kl ve Yüksek Fırın Crufu İeren imentosuz Bağlayıcılar Hazırlanması, *9.Ulusal Beton Kongresi*, Antalya, Türkiye.
- [7]. Rangan, B V, (2008). *Fly ash-based geopolymer concrete*. Research Report GC 4, Engineering Faculty, Curtin University of Technology, Perth, Australia,
- [8]. Haqn E, Padmanabhan S K, Licciulli A, (2014). Synthesis and characteristic of fly ash and bottom ash based geopolymers–A comparative study. *Ceramics International*, 40: 2965–2971.
- [9]. Ramani P V, Chinnaraj P K, (2015). Geopolymer concrete with ground granulated blast furnace slag and black rice husk ash. *Gradevinar*, 67 (8): 741-748.

- [10]. Akcaozoğlu S, Ulu C, (2014). Recycling of waste PET granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends. *Construction and Building Materials*, 58: 31–37.
- [11]. Bakharev T, (2005). Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions. *Cement and Concrete Research*, 35: 1233–1246.
- [12]. Rattanasak U, Chindapasirt P, (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*, 22 (12): 1073-1078.
- [13]. Chindapasirt P, Jaturapitakkul C, Chaleec W, Rattanasak U, (2009). Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste Management*, 29 (2): 539-543.
- [14]. Temuujin, J., Williams, R.P., Riessen, A., (2009), “Effect of mechanical activation of fly ash on the properties of geopolymer cured at ambient temperature”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (12): 5276-5280.
- [15]. Topçu İ.B, Kurama H, Karakurt, C, (2007). Utilization of bottom ash in aerated concrete production. *Cement and Concrete World*, 12(68): 56-65.
- [16]. Anonim (2019). <https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/elektrik>, (Erişim 01.03.2019)
- [17]. Erdoğan T Y, (1997). *Admixtures for Concrete*, METU Press, Ankara, Türkiye.
- [18]. Erdoğan B, Katnaş F, Trker P, Yeğinobali A, (2003). Türkiye’deki Uucu Kllerin Sınıflandırılması ve zellikleri. *Türkiye imento Mstahsilleri Birliği*, Ankara.
- [19]. Tekin İ, (2016). Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes. *Construction and Building Materials*, 127: 607–617.