

Uçucu Küllü Geopolimer Harcın Özellikleri

Hayrettin TOKAY^{1*}, Osman GENÇEL²

¹İnşaat Mühendisliği /Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Bartın,Türkiye

²İnşaat Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Bartın,Türkiye

*Sorumlu Yazar: hayrettin.tokay@hotmail.com

Öz –Bu çalışmanın hedefi, silis kumu (SK) ve Termik Santralinden elde edilen uçucu kül (UK) kullanılarak geopolimer harç üretmektir. Bu çalışmada uçucu küllü aktive etmek için çimento yerine, aktivatör (Na_2SiO_3 ve NaOH) ve uçucu kül (UK) birleştirilip bağlayıcı madde olarak elde edilmiştir. NaOH derişimi 10 Molar (M) ve 15M olarak hazırlanmıştır. Daha sonra alkali çözelti olan sodyum hidroksit (SH) çözeltisi, sodyum silikat (SS) ile birleştirilmiştir. Ardından hacimce %50 ve %70 olan uçucu kül ile karıştırılmıştır.. Bunlara ilaveten silis kumu ve karışım suyu katılarak geopolimer harç numunesi üretilmiştir. Üretilen numunelere, su emme, taze ve kuru birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve en son Mikroyapı Analizi için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) deneyi yapılmıştır. Numuneler 4*4*16 cm boyutlarına sahiptir. Her seri üçer adet numuneden meydana gelmektedir.

Anahtar kelimeler –Uçucu kül, aktivatör, alkali çözelti, geopolimer harç.

Properties of Geopolymer Mortar with Fly Ash

Abstract-The aim of this study is produce the geopolymers mortar with fly ash which is obtained Thermic Plant. To activate the fly ash instead of cement, activator (Na_2SiO_3 and NaOH) and fly ash (FA) are used as binder material. Concentration of NaOH is prepared as 10 Molar (M) and 15 Molar. Later, alkaline solution which is called sodium hydroxide (SH) solution is compounded with sodium silicate (SS). Afterwards fly ash which volume ratios are %50 and %70 is mixtured with these solution. In addition to these; silica sand and mixing water are added to admixture to product geopolymer mortar sample. On these produced samples, water absorptions, fresh and dry bulk densities, compressive strength and at last to analyze the microstructure Scanning Elektron Microscope (SEM) tests are conducted. Dimensions of samples are 4*4*16 cm. For all serials are composed of three samples.

Keywords-Fly ash, activator, alkaline solution,geopolymer mortar.

1. GİRİŞ

Ülkemizde kömürle çalışan 13 termik santralde yanma sırasında yılda yaklaşık olarak 15 milyon ton uçucu kül (UK) atık olarak çıkmaktadır. Bu durum yeni depolama alanları ihtiyacını doğurmaktadır. Elde edilen uçucu küllün geopolimer harç veya betonda kullanılması hem depolama sorununu azaltacak hem de mevcut atıktan faydalanılması söz konusu olacaktır. [1]

Çevre temizliği açısından kıyaslanacak olursa beton üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan çimento yerine geopolimerlerin kullanılmasında elde ettiğimiz en büyük avantaj geopolimer üretilmesi esnasında daha az CO_2 ortaya çıkmaktadır. Bunu gerçekleştiren etmen ise geopolimer reaksiyonları sırasında kalsinasyon aşamasının var olmamasıdır. Ancak çimento üretimi aşamalarında klinker üretilmesi sürecinde yüksek

sıcaklıklara gelinmesi için fazlaca fosil kaynaklı enerji tüketilmesi mevcuttur. Dolayısıyla tepkime sonucunda fazla miktarda CO_2 salınımı meydana gelmektedir. [2]

Mahmut, O. (2015)'ün yapmış olduğu çalışmada, sodyum silikat ve sodyum hidroksit alkali aktivatörü kullanarak elde etmiş olduğu bulgulara göre, mol oranı arttıkça yayılma çapları azalırken basınç dayanımında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm karışımların yoğunluklarının 1800 kg/m^3 , ün altında olduğunu, molarite ve sıcaklık arttıkça birim ağırlığın azaldığını tespit etmiştir. [3]

Yanma neticesinde oluşan küllün %75-85'i baca gazları vasıtasıyla kazandan tahliye olur. Tahliye olan bu ürüne uçucu kül denir. Bu küllün oluşmasında çeşitli etmenler rol oynamaktadır. Santral türü, yakılan kömürün çeşidi, işletim şekli gibi etmenler etmenler rol oynarken, genel

anlamda elektrik enerjisi amaçlı olan termik santrallerde yüksek derecelere çıkmak için tüketilen taşkömürünün %10-15'ini, linyit kömürü yakılması sonucu %20-50'si kadarı kül şeklinde karışımıza çıkmaktadır. Santrallerde yakma sonucu oluşan uçucu külün çevreye yayılmasını engellemek amacıyla elektrofiltreler kullanılır ve bu sayede tutulurlar. Bu elektrofiltreler iyi derecede verimli diyebileceğimiz filtrelerdir. [4]

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Kullanılan Malzemeler

Karışımları oluşturmak için kullanılan malzemeler; uçucu külü (UK), silis kumu, şebeke suyu, sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) oluşmaktadır.

2.1.1 Uçucu kül

Araştırmada kullanılan uçucu kül; F sınıfı, bağlayıcılık sağlaması amacıyla katkı maddesi olarak kullanılmıştır.

2.1.2 Silis Kumu

Deneylerde kullanılan kum, silis kumu olup beton şantiyesinden temin edilmiştir. İnce agrega olarak kullanılmıştır.

2.1.3 Su

Deneylerde karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır. Sodyum Hidroksit (NaOH)'ın molar derişiminin hazırlanmasında ve hazırlanan harç karışımlarında kullanılmıştır.

2.1.4 Sodyum Silikat (Na_2SiO_3)

Uçucu külü aktifleştirmek için kullanılmıştır. Sıvı haldedir. Cam suyu olarak da bilinir. Elle temas ettiğinde yapışkan hissi verir. Sodyum Hidroksit ile beraber kullanılmıştır. 1 Litre ve 5 Litrelik şişelerde temin edilebilmektedir. Sıvı halde temin edilmiştir.

2.1.5 Sodyum Hidroksit (NaOH)

Uçucu külü aktive etmek için cam suyu ile beraber kullanılmıştır. Katı halde temin edilmiştir.

2.2 Geopolimer Harç Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Geopolimer harç üretiminde; bağlayıcı olarak UK, uçucu külü aktive etmek için Na_2SiO_3 ve NaOH , su, ince agrega olarak silis kumu kullanılmıştır. Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de ayrıntılı oranlar verilmiştir.

Tablo 2.1. Hammaddelerin ağırlıkça oranları (g).

Karışım No	Na_2SiO_3	NaOH	Karışım Suyu
1	180	90	180
2	180	90	220
3	180	90	130
4	180	90	210

Tablo 2.2. Hammaddelerin derişimi ve hacimce oranları (%).

Karışım No	Derişim (Molar)	Silis Kumu	Uçucu Kül
1	10	50	50
2	10	30	70
3	15	50	50
4	15	30	70

2.3 Geopolimer Harç Karışımlarının Hazırlanması

Deneyisel işlem çalışması yapılırken literatür çalışmalarından da yararlanılarak farklı molariteli NaOH ve farklı oranlarda su, UK ve silis kumu miktarı denenmiştir. [5-9]. Bunun için bir çok sayıda optimizasyon çalışması yapılmıştır. Karışım oranları belirlendikten sonra deney için kullanılan malzemelerin ve deney sonucu elde edilen karışımların ve numunelerin tartılmasında 1 gram hassasiyete sahip elektronik terazi kullanılmıştır. Öncelikle aktivatör olan sodyum hidroksit derişimi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımdan 90 gram alınarak 180 gram Na_2SiO_3 ile karışımı sağlanmıştır. Alınan alkali aktifleştirici karışım UK ile karıştırılmıştır. Daha sonra sırası ile silis kumu ve karışım suyu ilavesi yapıp geopolimer harç elde edilmiştir. Hazırlanan harç karışımlarından $4*4*16$ cm ebatlarında prizmatik çelik kalıpta numuneler üretilmiştir. (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).



Şekil 2.1 Harç karışımlarının $4*4*16$ cm ebatlı çelik kalıplara yerleştirilmesi.



Şekil 2.2 Geopolimer harç numuneleri.

2.4 Uygulanan Deneyler

Geopolimer harç numunelerine su emme, taze ve kuru birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve mikroyapı analizi (SEM) deneyleri yapılmıştır.

2.4.1 Su Emme Deneyi

Geopolimer harç karışımlarına ait numunelerin ağırlıkça su emme oranları, TS 12390-7, (2010)'de ifade edildiği biçimde belirlenmiştir. [10]

2.4.2 Taze ve Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi

TS EN 12390-7 (2010)'a uygun şekilde belirlenmiştir. [10]

2.4.3 Basınç Dayanımı Deneyi

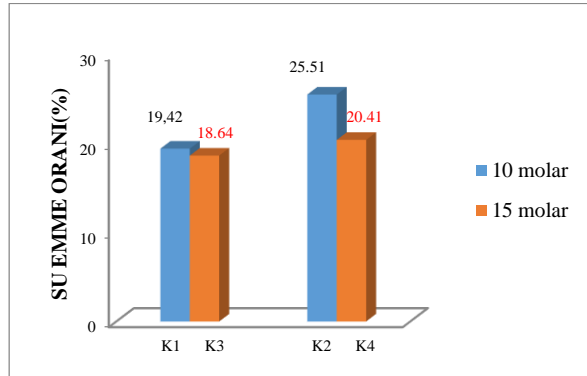
Basınç dayanımı deneyi, 40*40*160 mm boyutlarına sahip numunelerin TS EN 1015-11 (2000)'e [11] sadık kalınarak çimento presinde basınç deneyine tabi tutulup ifa edilmiştir. Numuneler, basınç deneyi yapılmak üzere 4*4 cm'lik bölüme konulmuştur. Cihazın hızı 500 N/s değerinde olarak ayarlanmış ve ilgili deney bilgisayar destekli basınç presi ile yapılmıştır.

2.4.4 Geopolimer Harçların SEM Analizleri

Taneciklerin mikroyapısal analizini gerçekleştirmek için taramalı electron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

3. BULGU

3.1 Su Emme Deneyi Sonuçları

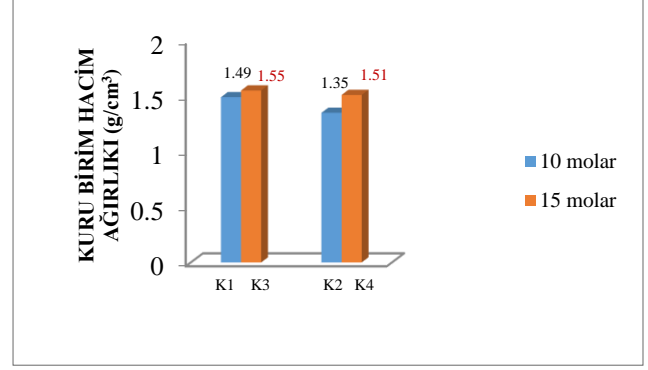


Şekil 3.1 Karışımların su emme oranları.

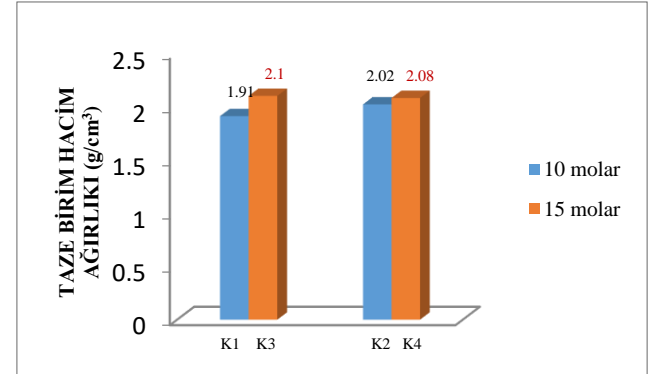
Su emme deneyi sonrası elde edilen sonuçlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

En yüksek su emme oranı, hazırlanan karışımlardan K2'ye ait iken en düşük su emme oranı K3'e aittir. Ayrıca aynı uçucu kül ve silis kumu oranına sahip farklı derişimli K1 ile K3 ve K2 ile K4 numuneleri karşılaştırıldığında, molarite arttıkça su emme oranının azaldığı görülmüştür.

3.2 Kuru ve Taze Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları



Şekil 3.2 Karışımların kuru birim hacim ağırlık değerleri.



Şekil 3.3 Karışımların taze birim hacim ağırlık değerleri.

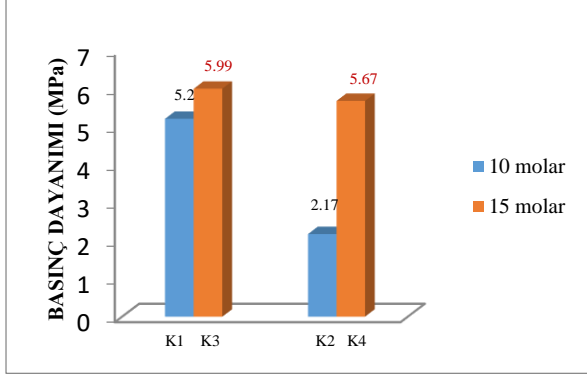
Birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarına bakıldığında 10 molar derişiminde hazırlanan harç numunelerinin birim hacim ağırlık değerleri 15 molar derişiminde hazırlanan harç numunelerinin birim hacim ağırlık değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle molarite arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Birim hacim ağırlık testi neticelerine bakıldığında elde edilen değerler şöyledir;

En yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri 15 molar derişimli, 1,55 gr/cm³ ile K3 karışımında elde edilirken, en düşük birim ağırlık değeri 10 molar derişimli 1,35 gr/cm³ ile K2 karışımında elde edilmiştir. (Şekil 3.2)

Molarite arttıkça taze birim hacim ağırlık değerlerinde artış olduğu görülmüştür. En yüksek değer K3 numunesinde 2,10 g/cm³ olarak elde edilirken en düşük birim ağırlık değeri 1,91 g/cm³ ile K1 numunesinde elde edilmiştir.

Taze birim hacim ağırlık değerleri kuru birim hacim ağırlık değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca taze birim hacim ağırlık değerlerine bakıldığında; molarite arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde de artış olduğu görülmüştür. (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4)

3.4 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları



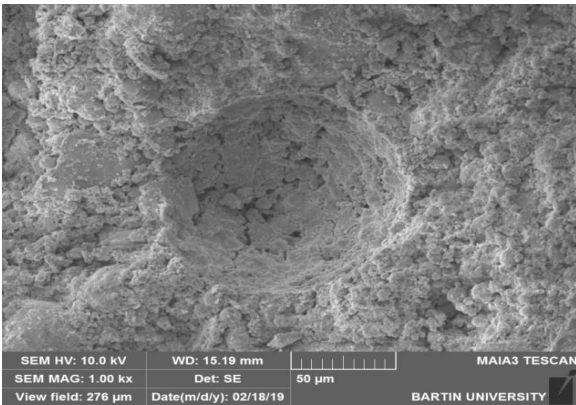
Şekil 3.5 Karışımların basınç dayanımı değerleri.

Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.5'e bakıldığında kuru birim hacim ağırlık arttığında basınç dayanımında da artış olduğu görülmüştür. Ayrıca su emme oranı arttıkça basınç dayanımı değerlerinde de artış görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı değeri K3 numunesinde görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değeri ise K2 numunesinde görülmüştür.

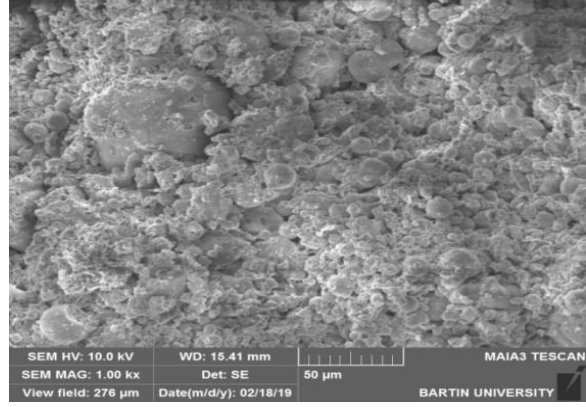
Üretilen geopolimer harçların derişim değeri arttıkça basınç dayanımı da artış göstermektedir. Örneğin, uçucu kül ve silis kumu açısından aynı karışım hacmine sahip ancak farklı molar derişimli K1 ile K3 ve K2 ile K4 numunelerine bakıldığında K3'ün 5,99 MPa, K4'ün 5,67 MPa basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür.

3.5 Mikroyapı Analizi- SEM Deneyi Sonuçları

10 ve 15 molar derişimlerinde hazırlanmış olan numunelerin laboratuvar ortamında 28 gün bekletildikten sonra alınan örneklerin mikroyapı analizleri (SEM) yapılmıştır. Bu örnekler, 10 molar derişimli K1 karışımı ile 15 molar derişimli K4 numuneleridir. (Şekil 3.5a ve Şekil 3.5b)



a) K1 numunesinin SEM görüntüsü.



b) K4 numunesinin SEM görüntüsü.

Şekil 3.5 Alkali derişimi 10M olan NaOH ve Na₂SiO₃ kullanılan ve 28 gün laboratuvar ortamında bekletilen K1 numunesi ile 15 Molar derişimli K2 numunesinin SEM görüntüsü a) 1000x, b) 1000x.

28 gün süre ile laboratuvar ortamında havada kür edilen K1 karışımı numunenin yüzeyinde gözeneklerin oluştuğu ve çukurların oluştuğu görülmüştür. Numunede ayrıca çatlak oluşumunun meydana geldiği görülmüştür. Numunede ayrıca tepkimeye girmeyen uçucu kül tanelerinin olduğu görülmüştür. Jel fazın belli bir bölgede oluşarak uçucu kül tanelerinin etrafını sardığı ancak numunenin diğer bölümünde ise jel fazın net olarak oluşmadığı görülmüştür. [7]

K4 numunesi incelendiğinde tepkimeye girmemiş uçucu kül taneleri ve gözenekler görülmüştür. Öteki yandan jel oluşumunun meydana geldiği ve bu jelin üzerinde çöken kalıntıların olduğu gözlenmiştir. [12]

4.TARTIŞMA

Betonun emebileceği su miktarı betonda mevcut olan boşlukların total hacmi ile alakalıdır. Bu total hacim ise betonda kullanılan su/çimento oranına, agrega cinsine, kür zamanı ve şartlarına, beton numunelerinin boyutuna bağlıdır. Ayrıca betonun su emme niteliği betonun dayanıklılığını da etkiler. Örneğin boşluklarda mevcut olan suyun donması gerilmelere yol açacaktır. Suyun tekrar erimesi de homojenizasyonu etkileyecektir. [14]

En yüksek su emme oranı, hazırlanan karışımlardan K2'ye ait iken en düşük su emme oranı K3'e aittir. K1 ve K3 ile K2 ve K4 numuneleri kıyaslandığında iki karışımında uçucu kül ve silis kumu hacimce oranı eşit ve %50 iken K3 ve K4'ün molarite değeri daha yüksek olduğundan su emme oranları da düşük olduğu görülmüştür. Molarite arttığında mevcut silisyum ve alüminyum minerallerinin çözünmesi daha fazla olmakta, tepkimeye girmeyen uçucu küllerin azalması ile homojen yapı artmakta, boşluklu yapıdan uzaklaşmaktadır. [13-16]

Birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarına bakıldığında 10 Molar derişiminde hazırlanan harç numunelerinin

birim hacim ağırlık değerleri 15 Molar derişiminde hazırlanan harç numunelerinin birim hacim ağırlık değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle molarite arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Molarite arttığında mevcut silisyum ve alüminyum minerallerinin çözünmesi daha fazla olmakta, tepkimeye girmeyen uçucu küllerin azalması ile homojen yapı artmakta, boşluklu yapıdan uzaklaşmaktadır. [15]

Birim hacim ağırlık testi neticelerine bakıldığında elde edilen değerler şöyledir;

En yüksek kuru birim ağırlık değeri 15 Molar derişimli, 1,55 gr/cm³ ile K3 karışımında elde edilirken, en düşük birim ağırlık değeri 10 Molar derişimli 1,35 gr/cm³ ile K2 karışımında elde edilmiştir.

Kuru birim hacim ağırlık ile taze birim hacim ağırlık değerleri mukayese edildiğinde;

Taze birim hacim ağırlık değerleri kuru birim hacim ağırlık değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu, beklenen bir durumdur. Çünkü taze halde boşluklarda mevcut bulunan suyun etüv sonrası buharlaştığından değerlerde düşme meydana getirmiştir. Ayrıca taze birim hacim ağırlık değerlerine bakıldığında; molarite arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde de artış olduğu görülmüştür.

Molarite arttıkça taze birim hacim ağırlık değerlerinde artış olduğu görülmüştür. En yüksek değer K3 numunesinde 2,10 g/cm³ olarak elde edilirken en düşük birim ağırlık değeri 1,91 g/cm³ ile K1 numunesinde elde edilmiştir.

Hazırlanan geopolimer harç karışımları 28 gün kalıpta bekletilip kalıptan alındıktan sonra basınç testine tabi tutulmuştur. Kuru birim hacim ağırlık arttığında basınç dayanımında da artış olduğu görülmüştür. Ayrıca su emme oranı arttıkça basınç dayanımı değerlerinde de artış görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü su emme oranı numunenin boşluk oranı ile orantılı olduğundan boşluk oranı arttıkça da basınç dayanımında düşme olması beklenen bir durumdur. [14]

En yüksek basınç dayanımı değeri K3 numunesinde görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değeri ise K2 numunesinde görülmüştür.

Üretilen geopolimer beton veya harçların derişim değeri arttıkça mevcut silisyum ve alüminyumun yüksek derişimlerde çözünmesinden ötürü üretilen numunelerin basınç dayanımı da artış göstermektedir. [15]

Örneğin, uçucu kül ve silis kumu açısından aynı karışım hacmine sahip ancak farklı molar derişimli

numunelere bakıldığında; molar derişimi arttıkça basınç dayanımı değerlerinde de artış olduğu görülmüştür. Örneğin K1 ve K3 karışımına bakıldığında K3 karışımının basınç dayanımı değeri 5,99 MPa iken K1 karışımının basınç dayanımı değeri ise 5,20 MPa değerine sahiptir. Sonuç olarak alkali derişim değeri arttıkça tepkimeye katılmayan uçucu kül miktarının azalması ile geopolimer jel yapının daha homojen bir yapıya büründüğü ifade dileyebilir. [15]

28 gün süre ile laboratuvar ortamında havada kür edilen K1 karışimli numunenin yüzeyinde gözeneklerin oluştuğu ve çukurların oluştuğu görülmüştür. Gözeneklerin, buharlaşan suyun ortamdan ayrılması neticesinde meydana geldiği düşünülmektedir. Numunede ayrıca çatlak oluşumunun meydana geldiği görülmüştür. Bu çatlakların meydana gelmesinin sebebi, basınç dayanımı deneyi esnasında numunenin kırılması neticesinde ya da analiz için örnek alma sırasında oluştuğu düşünülmektedir. Numunede ayrıca tepkimeye girmeyen uçucu kül tanelerinin olduğu görülmüştür. [12]

15 Molar derişime sahip geopolimer harç numunelerinin yüzey morfolojisi incelendiğinde reaksiyona girmemiş küresel yapıda çok sayıda uçucu kül taneleri ve gözenekler görülmüştür. Ayrıca jelin üzerinde çöken kalıntıların olduğu gözlenmiştir. [12]

Ayrıca jel fazın belli bir bölgede oluşarak uçucu kül tanelerinin etrafını sardığı ancak numunenin diğer bölümünde ise jel fazın net olarak oluşmadığı görülmüştür. Jel fazın oluşmadığı alanda tepkimeye girmeden kalan uçucu kül taneleri dikkat çekmektedir. Numuneye yakinen bakıldığında çatlakların oluştuğu görülmüştür. [7]

15 molar derişime sahip geopolimer harç numunelerinin yüzey morfolojisi incelendiğinde reaksiyona girmemiş küresel yapıda çok sayıda uçucu kül taneleri ve gözenekler görülmüştür. Öteki yandan jel oluşumunun meydana geldiği ve bu jelin üzerinde çöken kalıntıların olduğu gözlenmiştir. [12]

5.SONUÇ

En düşük su emme oranı K3 karışımında görülürken, en yüksek su emme oranı K2 karışımında görülmüştür. Bu durum numunelerin sahip olduğu boşluk miktarı ile ilişkilidir. Bu boşluk miktarı hakkında bilgi verecek bir diğer kıstas ise numunelerin kuru birim hacim ağırlık değeridir. Öyle ki K2 numunesinin kuru birim hacim ağırlığı değeri en düşük ve 1.35 gr/cm³ iken, K3 numunesine ait kuru birim hacim ağırlık değeri en yüksek ve 1.55 gr/cm³ değerine sahiptir.

15 molar derişimli geopolimer harç numuneleri, 10 molar derişiminde hazırlanmış harç numunelerine göre daha yüksek birim hacim ağırlık değerlerine sahiptir.

En düşük basınç dayanımı değeri 15 molar derişimli %70 oranında uçucu kül katkılı K2 karışımında 2,17

MPa olarak tespit edilirken, en yüksek basınç dayanımı değeri %50 uçucu kül katkılı K3 karışımında 5,67 MPa olarak tespit edilmiştir.

Genel olarak molar derişimi değeri yüksek olan karışımların basınç dayanımı değeri de yüksek olmuştur. Bunun sebebinin mevcut silisyum ve alüminyumun yüksek derişimlerde çözünmesinden ötürü olabileceği ifade edilmiştir. Diğer bir deyişle alkali derişim değeri arttıkça tepkimeye katılmayan uçucu kül miktarının azalması ile geopolimer jel yapının daha homojen bir yapıya büründüğü ifade edilebilir.

Genel olarak kuru birim hacim ağırlık değeri yüksek olan karışımların basınç dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Elde edilen geopolimer harç numunelerinden alınan örneklerin (K1,K4) taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtası ile elde edilen analiz sonucuna göre söz konusu numunelerde çatlakların oluştuğu görülmüştür. Bu çatlakların oluşma sebebinin basınç dayanımı deneyinin tespiti veya analiz için örnek alınması sırasında da oluşabileceği ifade edilmiştir.

SEM deneyi sonucuna göre numunelerde ayrıca gözenek ve çukurların oluştuğu görülmüştür. Bunun sebebi laboratuvar ortamında 28 gün bekletilen numunelerde mevcut suyun numuneyi terk etmesi sonucunda veya harç karışımları çelik kalıplara doldurulurken meydana gelen boşluklardan oluşabileceği ifade edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Aruntaş,H.Y. (2006). Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli [*The potential of fly ash usage in construction sector*] Engineering and Architectural Faculty of Gazi University, 21-1, 193-203.
- [2] Duxon P., Fernandez-Jimenez A., Provis J.L., Lukey G.C., Palomo A. ve van Deventer J.S.J. (2007). Geopolymer technology: The current state of the art, *Journal of Materials Science*, 42, 2917-293.
- [3] Mahmut, O. (2015). Geopolimer Harç Üretiminde Elazığ Ferrokrom Cürufunun Kullanılması [*Examination on the use of Elazığ Ferrochromium slag in the production of production of geopolymer concrete mortar*] Master of Science Thesis, Düzce University, Institute of Science, Department of Civil Engineering, Düzce, 53p.
- [4] Morrison. R.E. (1970). A Review of Ash Specifications. *Symposium on Fly Ash Utilization*. Pp. 24-31. Pittsburgh.
- [5] Kantarcı, F. (2013). Elazığ Ferrokrom Cürufundan Alkali Aktivasyon Metoduyla Üretilen Geopolimer Çimentolu Betonların Yangın Dayanımının Araştırılması [*Investigation of fire resistance of geopolymer concrete produced from Elazığ ferrochrome slag by alkali activation method*] Master's Dissertation, İnönü University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Civil Engineering ,Malatya, 131p.
- [6] Görhan, G., Kürklü, G. (2014). Alkali Tuz İçeriğinin Geopolimer Cephe Kaplama Malzemesi Özelliklerine Etkisi [*The effect of alkaline salt content on geopolymer surface materials properties*] The 7th. National Symposium of Roof and Facade, 3-4 April 2014. Yıldız Technical University, Beşiktaş – İstanbul.
- [7] Ariöz, E. (2015). Geopolimer Elde Edilmesi ve Katyon, pH ve Isıl İşlemin Geopolimer Üzerine Etkisi [*Acquirement of*

- geopolymer and the effect of cation, ph and curing conditions on the properties of geopolymers*] Anadolu University Graduate School of Natural and Applied Sciences Chemical Engineering Program, Master's Dissertation, Eskişehir, 236 p.
- [8] Mahmut, O. (2015). Geopolimer Harç Üretiminde Elazığ Ferrokrom Cürufunun Kullanılması [*Examination on the use of Elazığ Ferrochromium slag in the production of production of geopolymer concrete mortar*] Master of Science Thesis, Düzce University, Institute of Science, Department of Civil Engineering, Düzce, 53p.
- [9] Girgin, S. (2016). NaOH ile Aktifleştirilmiş Metakaolin Katkılı Geopolimer Malzeme Özelliklerinin Araştırılması [*The investigation of properties of metakaolin additive geopolymer material activated with NaOH*] Master's Dissertation, Afyon Kocatepe University Graduate School of Natural and Applied Sciences Civil Engineering Department, Afyon, 64p.
- [10] TS EN 12390-7,(2010). Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini, *TSE, Ankara*.
- [11] TS EN 1015-11, (2000). Kagir Harcı Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [12] Fernandez-Jimenez, A., Palomo, A. (2005). Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder: Effect of the Activator, Cement and *Concrete Research*, 35, 1984-1992.
- [13] Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü. ve Mordoğan,H.(2005). *Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları. [The Properties and Using of Fly Ash]* Turkey 19th International Mining Congress and Exhibition, IMCET2005, İzmir, Türkiye.
- [14] Erdoğan, T. Y. (2013). Beton (4. bs.) [*Concrete (4th ed.)*]. METU Publishing, Ankara, 757p.
- [15] Somna K., Jaturapitakkul C., Kajitvichyanukul P. ve Chindaprasirt P. (2011), *NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature*”, *Fuel*,90, 2118-2124.
- [16] Aydın, T., Pehlivanlı, Z.O. (2017). Jeopolimer Esaslı Gözenekli Hafif Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesi. *Mühendislik dergisi*, 8(1): 227-236.