

## Kaolenlerin Jeopolimer Üretiminde Kullanılabilirliği

Özgül Boyacı<sup>1</sup>, Veli Uz<sup>1</sup>, Mehmet Uğur Toprak<sup>2\*</sup> and Nihal Derin Coşkun<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Metalurgy and Material Engineering/Engineering Faculty, Kütahya Dumlupınar University, Kütahya, Turkey

<sup>2</sup>Civil Engineering/Engineering Faculty, Kütahya Dumlupınar University, Kütahya, Turkey

<sup>3</sup>Ceramic and Glass/Faculty of fine arts, Ordu University, Ordu, Turkey

\*Corresponding author: [mugur.toprak@dpu.edu.tr](mailto:mugur.toprak@dpu.edu.tr)

<sup>†</sup>Speaker: [nihalderincoskun@odu.edu.tr](mailto:nihalderincoskun@odu.edu.tr)

Presentation/Paper Type: Oral Full Paper

**Özet** –Bu çalışmanın amacı, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> kaynağı olarak seramik üretiminde kullanılan 5 farklı kaolenin jeopolimer üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla beraber öğütülen kaolen-NaOH karışımları su ile birleştirilip preslenmiştir. Taze jeopolimerlere farklı (40, 80 ve 120°C) sıcaklıklarda kür uygulanmıştır. Kür sonrası sertleşen jeopolimerlerin birim hacim ağırlık, ultrases hızı, basınç dayanımı testleri ve XRD, SEM-EDX analizleri yapılmıştır. SEM-EDX analizlerinde kaolen taneleri yüzeylerinde oluşan jeopolimerleşme net olarak görülmüştür. Tane-tane bağlarının oluşan jeopolimerik yapı ile güçlendirilmesi sonucu en yüksek dayanım yaklaşık 55 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek dayanımı veren kaolenin ham özellikleri ve bu kaolen ile yapılan jeopolimerin mineralojik ve içyapı özellikleri detaylı olarak çalışılmıştır. Çalışmada jeopolimer üretimi için her kaolenin uygun olmayacağı bu nedenle de kaolen örneklerinin jeopolimerizasyon mekanizmalarının incelenerek kullanılabilceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler** – Jeopolimer, Kaolen, SEM-EDX, Basınç dayanımı

## Usability of Kaolins in Geopolymer Production

**Abstract** – The purpose of this study is to investigate the usability of 5 different kaolin used in ceramic production as a source of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> in geopolymer production. For this purpose, co-grinded kaolin-NaOH mixtures were combined with water and pressed. Fresh geopolymers are cured at different temperatures (40, 80 and 120°C). Unit weight, ultrasonic pulse velocity, compressive strength tests and XRD, SEM-EDX analyzes were performed on hardened geopolymer samples. Geopolymerization on kaolin grain surfaces was clearly seen in SEM-EDX analysis. As a result of the strengthening of the grain-grain bonds with the geopolymeric structure, the highest strength was approximately 55 MPa. The raw properties of kaolin which gives the highest strength and the mineralogical and internal structures of geopolymer made with this kaolin were studied in detail. In this study, it was observed that not every kaolin would be suitable for geopolymer production and therefore geopolymerization mechanisms of kaolin samples could be analysed before using.

**Keywords** – Geopolymer, Kaolin, SEM-EDX, Compressive strength

## 1.GİRİŞ

En önemli yapı malzemelerinden beton, yüksek basınç dayanımı ve performansından dolayı yılda yaklaşık 10 milyar tondan fazla üretilmektedir [1-2]. Beton üretiminde kullanılan çimento tek başına dünyadaki toplam CO<sub>2</sub> salınımının ~% 5-8'ini oluşturmaktadır. Bu durum çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir [3]. Çevre kirliliğini azaltmaya yönelik alternatif bağlayıcı malzeme arayışı, jeopolimerlerin çıkış noktası olmuştur. 1950'li yıllarda Glukhovsky ilk inorganik esaslı jeopolimeri üretmiş ve bu jeopolimere aktive çimento ismini vermiştir [4].

Jeopolimerler; taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı malzemelerinde, yüksek sıcaklığa dayanıklı panel üretiminde, yol kaplamalarında, zemin iyileştirmede, uçak endüstrisi ve nükleer santrallerde kullanılmaktadırlar [5]. Davidovits 1980'lerde jeopolimer üretiminde kaolen ve alkali silikatlar kullanarak kısa sürede sertleşip mukavemet kazanan yüksek dayanımlı geopolimer malzeme üretimini gerçekleştirmiştir [6].

Bu çalışma doğrultusunda kullanılan kaolenin geniş pH aralığına sahip olması, aktif bir malzeme olmaması, yumuşak ve aşınmaz yapısının olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin çok düşük olması ayrıca bünyesinde bol miktarda Al ve Si bulundurması jeopolimer üretiminde gözleri kaolene çevirmiştir [7]. Jeopolimer, doğal minerallerin kimyasal ve kristal yapılarının değiştirilip yeni malzeme üretilmesidir. jeopolimer üretiminde Si ve Al oksitlerinin çözünmesinde aktifleştiricilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için en yaygın aktifleştiriciler olarak; Sodyum Hidroksit, Sodyum Silikat, Potasyum Hidroksit ve Potasyum Silikat kullanılmaktadır [8]. NaOH çözeltisinde Al<sup>3+</sup> ve Si<sup>4+</sup> iyonlarının çözünmesi diğer aktifleştiricilere oranla daha iyidir [9]. Bu yüzden NaOH'ın geopolimerin yapısına ve basınç dayanımını arttırmaya yönelik etkisi fazladır. Ayrıca, NaOH jeopolimerizasyon sırasında, katı parçacıkları bağladığı gibi çözünmeyi de olumlu yönde etkiler [10]. Bu yüzden çalışmada aktifleştirici olarak NaOH kullanılmıştır.

Tokay ve Ayturan (2010) [11] çalışmalarında, sodyum hidroksit kullanarak jeopolimer üretmişlerdir. Ürettikleri jeopolimere 48 saat boyunca 65°C'de kür uygulamışlardır. Böylece jeopolimer malzemelerde 2.3-39.6 MPa arası basınç dayanımları elde ettiklerini belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise 8 molar Sodyum Hidroksit ile aktive

edilen kaolenler 85°C'de 20 saat boyunca küre tabii tutulmuştur. Bu kür sonrası bir günlük basınç dayanımlarının 70-80 MPa arasında değişen değerlerde olduğu belirtilmiştir [12]. Günümüzde gelinen noktada ise, jeopolimer malzemelerin yüksek ve erken dayanımlı, sülfat ve asitlere karşı dirençli, çevre dostu malzeme oldukları ve normal portland çimentosuna alternatif oldukları görülmektedir [13]. Ayrıca hammadde olarak doğada kolay bulunması, üretim sırasında yüksek enerji tüketimine ihtiyaç duyulmaması, basit üretim yöntemlerinin olması, kısa sürede dayanım kazanması, çimento ile üretilen betonlarla kıyaslandığında %80 daha düşük rötreyle sahip olup dış etkenlere ve sıcaklığa karşı dayanıklı olması, düşük ısı ve elektrik iletkenlik özelliklerinin olması jeopolimer malzemeleri daha önemli bir yere getirmiştir [14].

Jeopolimerlerin; yüksek mukavemet, ısıya karşı direnç ve kısa sürede dayanım kazanması atık arıtmada, yangın dayanım malzemelerinde, yapı ve askeri mühendislikte, biyo-malzemelerde kullanımının önünü açmıştır [5].

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma kapsamında kaolen jeopolimer tozları üretilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda denenecek 5 farklı kaolenin (İran Kaoleni (K1), Ukrayna Kaoleni (K2), CC31 Kaoleni (K3), A-130 Portekiz kaoleni (K4) ve Grolleg kaolenlerinin (K5) karakterizasyonu yapılmıştır. K1... K5 ağırlıkça 4 e 1 NaOH ile beraber toplam 30 dk öğütülerek (Gabbrielli Mill-2B jet değirmende 15 dk öğütme 10 dk bekleme 15 dk öğütme ) 5 farklı kuru jeopolimer tozu elde edilmiştir. Bir gün bekletilen jeopolimer tozları % 3 su ile karıştırılarak 30 mm çaplı silindir kalıba 40 gr yerleştirilerek 12 ton kuvvet ile preslenip 5 farklı taze jeopolimer üretilmiştir. Taze jeopolimerlere 40, 80 ve 120°C'de %40 bağıl nemde 24 saat etüv kürü uygulanmıştır.

Jeopolimerler üretildikleri kaolen dikkate alınarak kodlanmış (K1J, K2J... K5J) ve hem taze hem de sertleşmiş birim hacim ağırlık (sırasıyla TBHA, SBHA), ultrases geçiş hızı (USGH), basınç dayanımı (yükleme hızı 1.5 MPa/sn) testleri, içyapı (Taramalı Elektron Mikroskopu (Scanning Electron Microscopy) (SEM), Enerji yayımlı X-Işını Analizi (Energy Dispersive X-Ray Analysis) (EDX)) ve mineralojik analizleri (X ışını kırınım desenleri) ( X-Ray Diffraction) (XRD) yapılmıştır.

**Çizelge 2.1** Kaolenlerin ham yoğunluk ve XRF analizleri (ağırlıkça oksit %)

Seri	SBHA	KK	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
K1	1.60	13.69	47.36	34.86	1.10	0.86	0.18	0.05	0.17	1.49	0.26
K2	1.77	11.39	57.01	24.26	0.87	2.38	0.28	0.40	2.75	0.33	0.33
K3	1.71	12.04	47.06	37.14	0.79	0.04	0.07	0.05	0.24	2.52	0.05
K4	1.77	12.47	46.28	38.04	1.18	6.56	0.04	0.05	0.12	1.21	0.11
K5	1.56	12.17	46.86	37.74	0.83	0.06	0.09	0.05	0.10	2.00	0.12

\***KK**: Kızdırma kaybı

Jeopolimerlerde genel oksit içeriği silikat olmakla birlikte silikatla beraber doğada alüminyumla birlikte oluşan alüminyum silikat yapıların varlığı yaygındır. Kaolenlerde silikat ve alüminyum kaynağı olarak ucuz ve uygun hammadde kaynaklarıdır. Çalışmada kullanılan kaolenlerin (Çizelge 2.1) jeopolimer yapının oluşumunda gerekli alümina (% 25-38) ve silis içeriğine (% 46-60) sahip olduğu görülebilmektedir. Kızdırma kaybı değerlerinin %12-14 aralığında olduğu; küçük bir miktar organik madde dışında bu miktarın killerin kristal suyu olduğu söylenebilir. K2’de, sodyum oksit; K3, K4 ve K5’te ise potasyum oksit içeriği daha yüksektir.

### 3.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

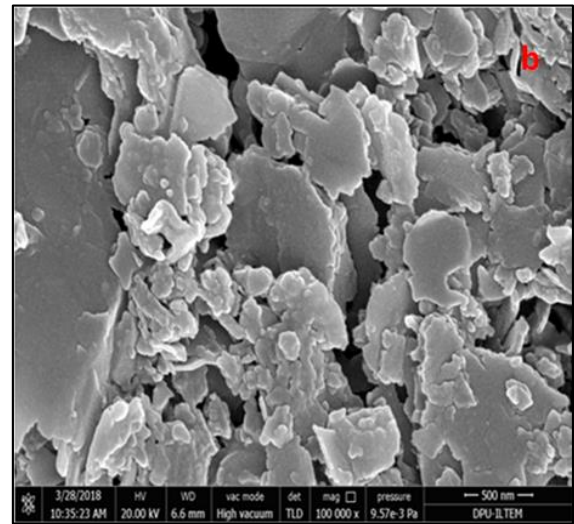
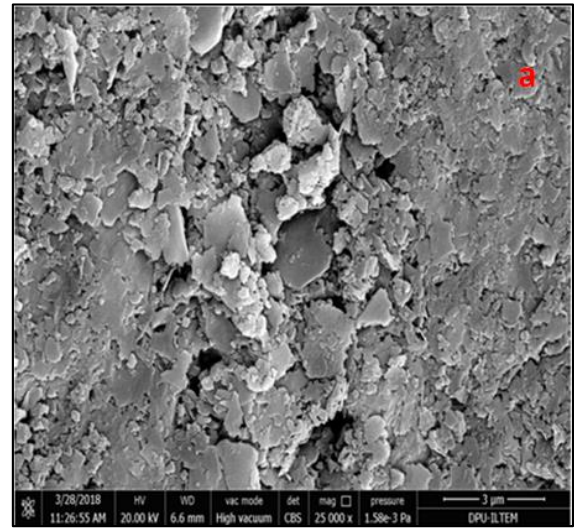
#### 3.1 TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU

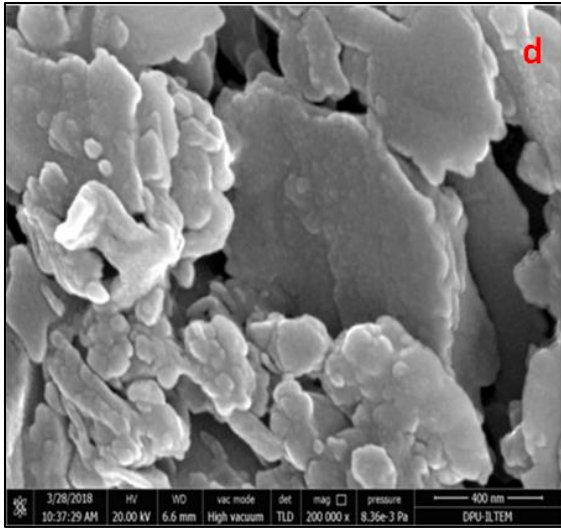
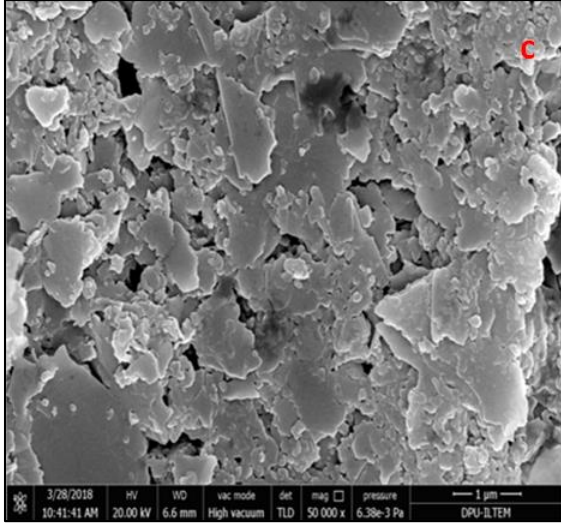
Taramalı elektron mikroskobu (SEM), malzemenin mikro yapısında meydana gelen değişimleri gözlemlemek üzere kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu analizde cihaz görüntü elde etmek için numune yüzeyi ile fiziksel etkileşim sonucu ortaya çıkan sinyalleri toplar ve çeşitli detektörlerle inceler. Bu çalışma kapsamında SEM’de görüntü elde etmek için ikincil elektron (secondary electron (SE)) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada nihai olarak en iyi sonucu veren İran kaoleninden elde edilen örneklerden FEI NOVA NANOSEM 650 cihazı kullanılarak SEM görüntüleri elde edilmiştir.

Killerin tane boyutlarının birkaç mikron civarında olduğu, tabakalı yapıya sahip oldukları görülmektedir. Basınç dayanımı en yüksek olan K1J kodlu kaolenle üretilen jeopolimerlerin 80°C sıcaklıkta kür uygulanmış örneklerinin mikro yapı görüntüleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Yapılan çalışmalarda en iyi basınç dayanımını veren örneklerle 80°C’de kür uygulandıktan sonra dört

farklı büyütme oranında mikro yapı görüntüleri için SEM analizleri yapılmış ve elde edilen görüntülerde yapraksı tanelerin birbirine yapışarak topraklanma şeklinde bir araya geldikleri belirlenmiştir.

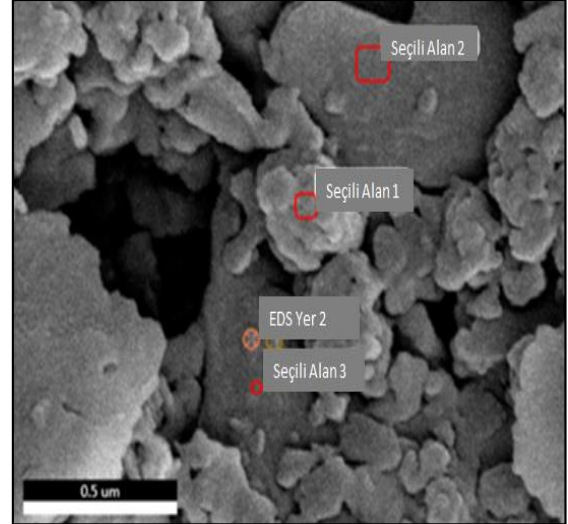
Mikro yapı görünümünde yapraksı ve katmanlı tabakalı taneler bulunmakla beraber bu tanelerin arasında da yer yer boşluklarında olduğu belirlenmiştir. İri yaprak şeklinde tabakalı yaklaşık 1 µm boyutundaki tanelerle birlikte daha küçük tanelerinde bu yapraksı plakalar arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca yapraksı yapıdaki plakaların birbirine bağlanarak ara bölgelerinde bağlayıcı faz oluşturduğu belirlenmiştir.





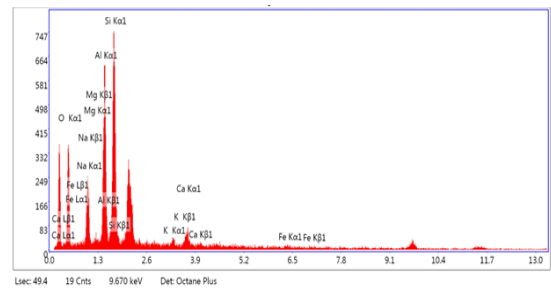
**Şekil 3.1.** K1J (80°C'de kür), farklı büyütme oranlarında (25 000 (a), 100 000 (b), 50 000 (c) ve 200 000 (d) x) elektron mikroskobu görüntüleri

Jeopolimer örneklerinin mikro yapı analizlerinde belirlenen taneler ve bağlayıcı ara fazın (jel yapısı) içerdiği elementlerin tespit edilmesi amacıyla EDX (Enerji Saçılımlı X-Işınları Spektrofotometre) analizi yapılarak, elementlerin oranları belirlenmiştir. Kaolen tanelerinin kenarlarının aşınmış olması ve düzgün altıgen şekilde olmaması kaolenin taşınmış ikincil oluşum kaolen olduğunu göstermektedir (Şekil 3.2).

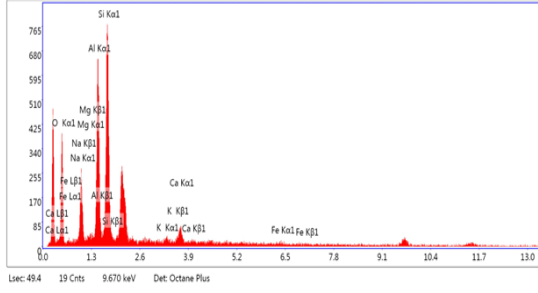


**Şekil 3.2.** K1J kodlu kaolenli jeopolimerin EDX görüntüsü.

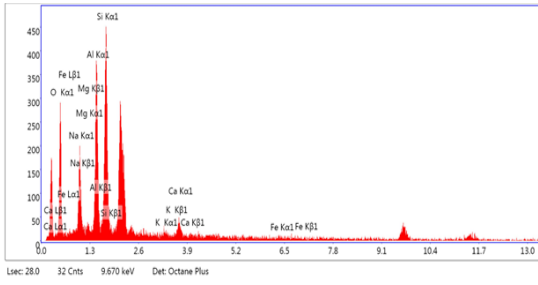
Şekil 3.2'de K1J kaoleni ile hazırlanan jeopolimer örneklerin mikro yapı analizinde taneler ve taneleri bağlayan ara bölgede bulunan bağlayıcı ara fazın yüzeyinden farklı noktalardan çekilen EDX analizleri Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de verilmiştir. Lloyd vd., 2009) [15] mikro yapı analizlerinde taneleri saran jeopolimer bağlayıcı bir tabaka oluştuğunu belirlemişlerdir. K1J kaoleniyle hazırlanan jeopolimer örneklerinde de benzer olarak kaolen tanelerinin yüzeyinde bağlayıcı bir tabaka oluşumu olduğu ve kaolen taneciklerini birbirine bağlayarak malzemenin basınç dayanımlarını artırdığı belirlenmiştir. Kaolen taneleri üzerinde yapılan analizlerde bu bağlayıcı yapının alüminyum ve silika ağırlıklı olduğu; beraberinde sodyum ve potasyum bulunduğu belirlenmiştir.



**Şekil 3.3.** Şekil 3.2'de K1J kaolenli jeopolimerde seçilen alan 1'nin elementel analizi.



Şekil 3.4. Şekil 3.2’de K1J kaolenli jeopolimerde seçilen alan 2’nin elementel analizi.



Şekil 3.5. Şekil 3.2’de K1J kaolenli jeopolimerde seçilen alan 3’nin elementel analizi.

Şekil 3.2’de SEM elektron mikroskop görüntülerinde farklı bölgelere uygulanan elementel analiz sonuçlarının oksit olarak oranları Çizelge 3.1’de verilmiştir.  $Al_2O_3$  oranı ağırlıkça % 30,87 ile %31,89 arasında değişirken  $SiO_2$ ’nin oranı ağırlıkça %44,89 ile %48,39 arasındadır.  $Na_2O$  oranına bakıldığında ise %14,58 ile %17,79 arası oranlardadır.  $Fe_2O_3$  oranının %0,88 - %1,18 arasında,  $CaO$  oranının %2,92 - %3,58 arasında,  $K_2O$  oranının ise %1’in altında olduğu görülmektedir. Tanelerin yüzeyinde jeopolimer üretmek için kullanılan sodyumun tanelerin yüzeyinde kaplandığı ve tanelerin yüzeyinde jeopolimerizasyon mekanizmasının oluştuğu belirlenmiştir. K1J’de basınç dayanımının yüksek olmasında bu tanelerin yüzeyinde oluşan jeopolimerizasyon ile oluşan bağlayıcı ara yüzey oluşumu ile tanelerin birbirine daha sağlan bağlandığı ve basınç dayanımlarının arttığı düşünülmektedir.

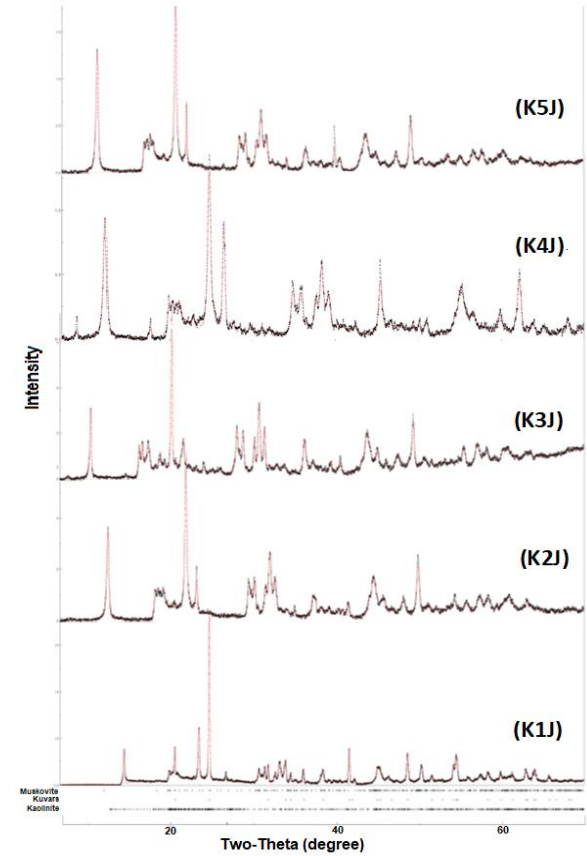
Çizelge 3.1. K1J EDX’lerinde görülen ağırlıkça oksit oranları.

Oksitler	Alan 1	Alan 2	Alan 3
$Al_2O_3$	31,89	31,71	30,87
$SiO_2$	47,66	48,39	44,89
$K_2O$	0,64	0,43	0,53
$Na_2O$	14,78	14,58	17,79
$CaO$	3,51	3,58	2,92
$Fe_2O_3$	1,04	0,88	1,18

### 3.2 X-IŞINI KIRINIMI DESENİ ANALİZİ (XRD)

Hammadde ve jeopolimer numunelerin mineralojik oluşumlarını irdelemek, amorf ve kristal fazlarını tespit etmek amacıyla X- ışını kırınım deseni (XRD) çekimiyle faz analizleri yapılmıştır. Rigaku-Rint 2000 Japon marka Miniflex Model X- Işınları Difraktometresi XRD cihazı kullanılmış olup  $Cu-K\alpha$  X- ışını kaynağıyla çekimler gerçekleştirilmiştir. Analizler çekim aralığı  $2\theta = 2^\circ-90^\circ$  ve tarama hızı  $2^\circ/dk$ . olacak şekilde yapılmıştır. Kaolinlerden elde edilen faz parametrelerini gösteren Şekil 3.6’de XRD’leri verilmiştir.

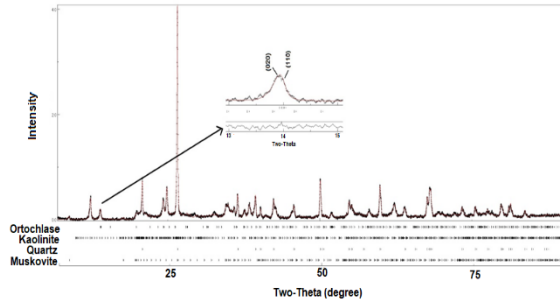
Faz analizlerinde kuvars, kaolinit, illit/muskovit ve feldspat oluşumları gözlemlenmiştir. Ana pik olarak kuvarsin oluşumu ve yanında feldspat oluşumlarını Şekil 3.6’da  $25-27^\circ$ ’lerde görmek mümkündür.



Şekil 3.6. İran-1 (K1J), Ukrayna (K2J), CC-31 (K3J), A-130 (K4J), Grolleg (K5J) kaolenlerine ait XRD paternleri.

Jeopolimerleşme sonrası elde edilen KJ1 kodlu örnekte ise meydana gelen; amorf fazla birlikte muskovit ve kuvars faz oluşumları Şekil 3.7’de verilmektedir. Ancak amorf fazın pik şiddetinin yüksek olmadığı belirlenmiştir. Ham kaolenle üretilen jeopolimerde kaolinit, muskovit, kuvars yanında ortoklaz piklerinin arttığı özellikle 14

derecedeki iki-teta açısındaki pikin (020) ve (110) Miller İndislerini yansıtan pik şiddetinin arttığı belirlenmiştir. Ortoklaz piki feldspat ortoklaz+albit beraberinde pikleri yansıtmaktadır.



Şekil.3.7 Jeopolimerizasyon sonrası K1J kaolinitine ait XRD paterni.

### 3.3. BİRİM HACİM AĞIRLIK ANALİZLERİ

Jeopolimerlerin taze birim hacim ağırlıkları (TBHA) değerleri, K1J için 1,60 gr/cm<sup>3</sup>, K2J: 1,77 gr/cm<sup>3</sup>, K3J: 1,71 gr/cm<sup>3</sup>, K4J: 1,77 gr/cm<sup>3</sup>, K5J: 1,56 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Jeopolimerler kür sonrası sertleştikten sonra en yüksek sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri (SBHA) 80°C kür uygulanan serilerde görülmüştür. En yüksek SBHA ise 80°C kür uygulanan K1J'de (2,04 gr/cm<sup>3</sup>), ve en düşük SBHA 40°C kür uygulanan K3J'de (1,66 gr/cm<sup>3</sup>) görülmüştür.

Çizelge 3.2 Birim Hacim Ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)

KÜR SICAKLIĞI, °C	K1J	K2J	K3J	K4J	K5J
40	1.89	1.77	1.66	1.77	1.89
80	2.04	1.83	1.80	1.83	1.83
120	1.89	1.71	1.77	1.77	1.83

### 3.4. ULTRASONİK TEST ANALİZLERİ

Jeopolimerlerin hazırlanması aşamasında kullanılan su, işlenebilmede kolaylık sağlamak ve jeopolimerin kürlenmesi ve kuruması sırasında jeopolimer içerisinde süresiz boşluklar bırakarak jeopolimeri terk etmektedir [16-17]. Kür sıcaklıkları; reaksiyon gelişimi ve reaksiyon sonucu jeopolimer miktarını etkilediği için toplam boşluk miktarı ve buharlaşmayı etkilediği için boşluklardaki su miktarını etkilemektedir. Ultrases dalgalarının malzeme, boşluk veya boşluklardaki sudan geçiş hızları (USGH) değişmektedir. Dolayısıyla her kür

sıcaklığı için jeopolimer serilerinin USGH göre ayrı ayrı değerlendirilmelidir [18].

Farklı sıcaklıklarda kür uygulaması yapılan kaolenlerin kullanımı ile üretilen jeopolimer örneklerinin USGH değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. USGH en yüksek 80°C'de kürlenmiş jeopolimerlerde (2,61-3,03 km/sn) bulunmuştur. Ses dalgaları en yavaş 120°C'de kürlenmiş K4J numunesinde (1,20 km/sn) ilerlemiştir. En yüksek USGH; 80°C'de kürlenmiş K1J numunesinde (3,03 km/sn) elde edilmiştir.

Çizelge 3.3 Ultrases geçiş hızları (km/sn)

KÜR SICAKLIĞI, °C	K1J	K2J	K3J	K4J	K5J
40	2.03	2.65	2.09	2.70	1.97
80	3.03	2.82	2.71	2.87	2.61
120	1.84	2.44	2.50	1.20	2.59

### 3.5 BASINÇ DAYANIMI

Basınç dayanım testleri TS EN 12390-3'e göre yapılmış, sonuçlar Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Basınç dayanımı (MPa)

KÜR SICAKLIĞI, °C	K1J	K2J	K3J	K4J	K5J
40	14,80	37,97	23,50	35,99	27,45
80	53,38	48,88	45,42	47,67	35,67
120	37,91	30,22	36,06	38,33	28,15

Farklı kaolenler ile ve farklı kür sıcaklıklarında üretilen jeopolimerlerin basınç dayanımı değerleri (TS-EN 196) karşılaştırılmıştır [18]. Hazırlanan jeopolimer örneklerinin kür sıcaklığına bağlı basınç dayanım değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. En yüksek basınç değerlerinin 80°C kür sıcaklığında olduğu belirlenmiştir. 40°C kürlenme sonrası en yüksek basınç dayanımı K2 örneğinde yaklaşık 38 MPa ve K4 örneğinde 36 MPa değerleri belirlenmiştir. Kürlenme sıcaklığı 80°C olduğunda en yüksek basınç dayanımı 53 MPa ile K1J örneğinde, 120°C kürlenme sonrasında ise 38 MPa değeriyle K1 ve K4 örneklerinde tespit edilmiştir. Ham kaolenlerle hazırlanan jeopolimer örneklerinde en yüksek basınç dayanımı değerleri 80°C kürlenme sonrası elde edilmiştir. Bu sıcaklığın ham kaolenli jeopolimer örneklerinin hazırlanmasında uygun olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] P.C. Aiitcin, Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow, *Cem. Concr. Res.*, 30, 1349-1359, 2000.
- [2] M.C.G. Juenger; F. Winnerfeld; J.L. Provis; H.H. Ideker, Advances in alternative cementitious binders. *Cem. Concr. Res.*, 41, 1232-1243, 2011.
- [3] N.V. Castaldelli, J.L. Akasaki, J.L.P. Melges, M.M. Tashima, L. Soriano, M.V. Borrachero, J. Monzo, J.Paya, Use of Slag/Suger Cane Bagasse Ash (SCBA) Blends in the Production of alkali-Activated Materials, *Materials* 6, 3108-3127, 2013.
- [4] J. Davidovits, *Geopolymer Chemistry and Applications*, Saint Quantin, France, 2008.
- [5] P. Duxson, J.L. Provis, G.C. Lukey, S.W. Mallicoat, W.M. Kriven ve J.S.J. Deventer, Understanding The Relationship Between Geopolymer Composition, Microstructure And Mechanical Properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 269, 47-58, 2005.
- [6] A. Fernandez-Jimenez, A. Palomo, Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder: Effect of the Activator, *Cement and Concrete Research*, 35, 1984-1992, 2005.
- [7] R.R. Lloyd, J.L. Provis, ve J.S.J. Deventer, Microscopy And Microanalysis Of Inorganic Polymer Cements.2: The gel binder, *J. Mater. Sci*, 44, 620-631, 2009.
- [8] A. Palomo, M.W. Grutzeck, ve M.T. Blanco, Alkali – activated fly ashes A cement fort he future, *Cement and Concrete Research*, 29: 1323-1329, 1999.
- [9] D. Panias, I.P. Giannopoulou, ve T. Perraki, Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 301, 246-254, 2007.
- [10] Ç. Salam, *Fiziksel ve kimyasal işlemlerin kaolinin yapısına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2004.
- [11] S. ThokchoM, P. Ghosh, S. Ghosh Effect of Na<sub>2</sub>O Content on Durability of Geopolymer Mortars in Sulphuric Acid, *International Journal of Natural Sciences and Engineering*, 77-82, 2009.
- [12] M. Tokyay, P. Ayturan, Mineral katkıların alkali ile aktive edilmesi: *Bölüm 2, Çimento ve Beton Dünyası*, 15-89, 77-91, 2010.
- [13] H. Xu, ve J.S.J. Deventer, The Geopolymerisation Of Alumino-Silicate Minerals, *Int. J. Miner. Process*, S.59, 247-266, 2000.
- [14] H. Binici, M. Eken, O. Aksoğan, Cüruf, uçucu kül, silis kumu ve pomza esashi geopolimerlerin fiziksel, mekanik ve radyasyon geçirgenlik özellikleri, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 8, No: 2, 2012 (12-25).
- [15] Z. Li, Z. Ding, Y. Zhang, Development of sustainable cementitious materials, *Int. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, China, 55-76, 2004.
- [16] B.V. Rangan, *Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, Research Report*, No.4, Engineering Faculty, Curtin University of Tech., Perth, Australia, 44s, 2008.
- [17] U. Rattanasak, ve P. Chindapasirt, Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer, *Minerals Engineering*, 22: 1073-1078, 2009.
- [18] B. Özgül, *Farklı kaolenlerin metakaolen ve spinel yapılarında geopolimer davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2018.