

## Bor Minerali ve Uçucu Kül İçeren Harçların Mekanik Özelliklerinin ve Sülfata Dayanıklılığının İncelenmesi

Tuğçe GEZMEN<sup>1</sup>, Selçuk TÜRKEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35360, İzmir

(Alınış / Received: 24.10.2016, Kabul / Accepted: 12.06.2017,  
Online Yayınlanma /Published Online: 20.09.2017)

**Anahtar Kelimeler**  
Bor minerali,  
Dayanım  
Kolemanit,  
Uçucu Kül  
Sülfat direnci

**Özet:** Türkiye bor madeni zenginliği açısından dünyada birinci sırada yer alan bir ülkedir. Ülkemizde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik maddeler endüstriyel atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, portland çimentosu ile farklı oranlarda kullanılan kolemanit mineralinin (%0, %2, %4, %6, %8, %10) ve uçucu kül içeren harçların (%0, %10, %20, %30) 7, 28, 56, 90. günlerdeki basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Ayrıca bazı karışımların priz süreleri ve hacim genleşmeleri ile karışımların ASTM C1012'ye göre sülfata dayanıklılıkları belirlenmiştir. Dayanım sonuçlarına göre, kolemanitin çimentoya kütlece %2 ve %4 oranlarında kullanılabileceği önerilmektedir. Sülfata dayanıklılık sonuçlarına göre, kolemanit miktarının artmasıyla sülfata dayanıklılığın geliştiği görülmüştür.

## Investigation of the Mechanical Characteristics And Sulfate Resistance of the Mortars Containing Boron Mineral and Fly Ash

**Keywords**  
Bor mineral,  
Colemanite  
Fly ash,  
Strength  
Sulfate  
resistance

**Abstract:** Turkey takes first place in the world in terms of the richness of the boron mine. In our country, fly ash and blast furnace slag are coming out as Pozzolan materials such as industrial waste. In this study, different proportions used with portland cement, colemanite mineral (%0, %2, %4, %6, %8, %10) and fly ash's (%0, %10, %20, %30) compressive strength bending strength 7, 28, 56, 90 days, setting time and volume expansion of some paste were examined. Sulfate resistance of mortars are determine according to ASTM C1012.

According to strength results, colemanite is proposed can be used in the cement of %2 and %4 by mass. According to sulfate resistance results, sulfate resistance was observed to be enhanced with the increasing amount of colemanite.

\*Sorumlu yazar: tugcegezmen@gmail.com

## 1. Giriş

Beton, yıllardır pek çok alanda çok sayıda uygulamaları olan en yaygın kullanılan malzemedir. Gelişen dünya betonun çeşitli formlarındaki yapılara sahiptir. Bir bağlayıcı malzeme olan çimento, beton yapımında kullanılan temel malzemedir ve zamanla daha çok gelişmektedir. Geleneksel olarak beton, çimento matrisinin içerisinde dağınık bir agrega fazının olduğu kompozit bir malzemedir. Modern beton ise çimento, su ve agregaya ek olarak mineral, kimyasal katkıların ve fiberlerin olduğu bir malzemedir [1].

Bazı ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı durabilite, beton teknolojisinin gelişmesinde ve servis ömrü uzun betonarme yapıların inşasında kritik konulardan biridir. Dayanıklı yapılar inşa edilerek beton yapıların bakım ve iyileştirme maliyetleri azaltılabilir. Beton teknolojisi, malzeme ve yapı maliyeti, durabilite, ve çevre dostu yapılar olmak üzere üç kriter kullanılarak geliştirilebilir. Temel yaklaşımlardan biri beton üretiminde endüstriyel atıkların kullanımınıdır. Bunlar; uçucu kül, yüksek fırın cüruf, silika dumanı ve diğerleridir [2].

Gelişmekte olan dünya ülkeleri büyük miktarda enerji ve kaynak tüketimine sebep olur ve atık üretir. Atık sonucu oluşan çevresel kirlilik ekolojik dengenin bozulmasına yol açar. Son yıllarda, çimento ve beton üretiminde atık malzemelerin kullanımı yaygın hale gelmiştir.

Hidratasyon ısısının düşük olması özellikle kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır. Çimento üretiminde kolemanit kullanımı ayrıca, atmosfere salınan karbondioksit miktarını %25-30 oranında düşürmektedir [6].

Bunun sonucunda maliyette azalma, enerji tasarrufu sağlanıp üstün özellikte ürünler elde edilmiştir [3].

Dünyada bor mineralleri ve bileşikleri çeşitli endüstri dallarında çok farklı malzeme ve ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Dünyada bor yataklarına sahip sayılı ülke mevcuttur. Bunların arasında Türkiye, dünya toplam rezervinin % 72'sine sahiptir ve bu rezerv oranıyla dünyada birinci sırada yer almaktadır [4]. Bor elementi doğada sodyum, kalsiyum ve magnezyum oksitlerine bağlı ve kristal suyu içeren mineraller halinde bulunur. Bu minerallere bor madenleri veya bor tuzları adı verilir. Bilinen ve ticari önem taşıyan minerallerden Tinkal, Üleksit ve Kolemanit Türkiye'de çıkarılıp zenginleştirilen veya rafine edilen bor tuzlandır. Bunlardan kolemanit Türkiye'nin en büyük kozlarından biridir.

Bor ürünleri uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askeri araçlar, yakıtlar, elektronik ve iletişim sektörü, tarım, cam sanayi, kimya ve deterjan sektörü, seramik ve polimerik malzemeler, nanoteknolojiler, otomotiv ve enerji sektörü, metalurji ve inşaat gibi 500'e yakın alanda kullanılmaktadır [5]. Bir bor minerali olan kolemanit, %8 oranında çimento üretiminde kullanılarak klinker pişirme sıcaklığını düşürmekte ve çimentonun özelliklerini iyileştirmektedir. Borlu çimento; mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidrasyon ısısı gibi parametreler açısından portland çimentosuna göre daha iyi özellikler sergilemektedir. Bor minerali ya da bor içeren atıklar kullanılarak geçmişte pek çok çalışma yapılmıştır. Bor atığı ve borojips kullanılarak yapılan çalışmalarda, eklenen bor atığı ve borojips oranındaki artışla birlikte priz başlangıç ve bitiş sürelerinin uzadığı görülmüştür [7, 8, 9]. Kolemanit atıklarının çimento ağırlığının

%5' ine kadar kullanılabilceği önerilmiştir [7]. Kolemanit ve uçucu külün bir arada kullanıldığı bir çalışmada yine uçucu kül ve kolemanit atığı oranındaki artışla birlikte priz başlangıç ve bitiş sürelerinin uzadığı görülmüştür. Ayrıca kolemanit miktarının artmasıyla dayanımda düşüş meydana gelmiştir. Kolemanit atığının çimento yerine %9' a kadar kullanılmasıyla basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmesine rağmen elde edilen değerlerin Türk standartları içerisinde kaldığı belirtilmiştir [10]. Bor içeren killi atıklar kullanılarak yapılan çalışmada, killi atıkların çekme ve basınç dayanımlarını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Killi atıklardaki B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının artmasıyla dayanımların düştüğü görülmüş ve killi atıkların çimento katkı malzemesi olarak % 5 ile %10 arasında kullanılabilceği önerilmiştir[11].Agrega olarak kullanılan kolemanitin hacimce %30 oranında kullanılması işlenilebilirlik ve dayanım açısından kabul edilebilir bir sınır değer olarak belirlenmiştir. Ayrıca agrega olarak hacimce kullanılan kolemanit miktarının artmasıyla birlikte basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir [12].

Sülfat etkisi beton yapılarda durabilite ile ilgili en büyük problemlerden biridir. Sülfat etkisinde çimento pastası gelişmelerden kaynaklı bozulmalara maruz kalır, betonda pullanmalar,

Sülfat saldırısı gibi dış kaynaklı iyon girişi sebebiyle oluşan kimyasal reaksiyonlarda çimentonun kimyasal bileşiminin kontrolü kadar, betonun geçirimsizliği de önem kazanmaktadır [15].

Bu çalışmada, bor minerallerinden kolemanit minerali ve endüstriyel atıklardan uçucu kül kullanılarak hazırlanan harçların bazı taze ve sertleşmiş hal özellikleri araştırılmıştır.

yumuşamalar meydana gelir. Genellikle puzolan eklenmesiyle çimento pastasının kalsiyum hidroksit miktarı azalır ve betonun geçirimsizliği gelişir. Bu durum betonun sülfat saldırısına ve zararlı solüsyonlara karşı dirençli olmasına yardımcı olur [13]. Yazıcı tarafından yapılan çalışmada çimento yerine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yüksek fırın cürufu kullanılmış ve hazırlanan karışımların 26 hafta sonraki genişleme değerleri belirlenmiştir. Çalışmaya göre, sürekli sülfat çözeltisinde 26 hafta bekletilen, bağlayıcı olarak sadece Portland çimentosu içeren karışımın genişleme mertebesinin ASTM C 1157' de tariflenen sınırları aştığı, yüksek fırın cürufu kullanımı ile gelişmelerin azaldığı ve standart limitlerinin sağlandığı görülmüştür [14]. Sudaki, zemindeki ve deniz suyundaki sülfat iyonları beton yapılarda bozulmaya yol açabilir. Sülfat saldırısının zararlı etkisi, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli (C<sub>3</sub>A) ve kalsiyumlu (Ca(OH)<sub>2</sub> bileşenlerle kimyasal reaksiyona girerek, hacmi çok artan etrenjit ve alçı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ürünleri, sertleşmiş betonda genişleme yaratarak agrega-çimento hamuru aderansının olumsuz yönde etkilenmesine, çatlak oluşumuna ve geçirimsizliğin artmasına yol açar. İleri derecedeki etkilenmelerde ise betonun tamamen dağılması söz konusudur.

Taze hal deneylerinden priz süresi ve Le Chatelier genişleme deneyleri yapılmıştır. Mekanik deneylerden ise eğilme sonrası basınç dayanım sonuçları belirlenmiştir. Ayrıca hazırlanan harçların durabilite açısından sülfat etkilerine karşı dayanıklılıkları incelenmiştir. ASTM C1012' ye göre 25×25×285 mm boyutunda hazırlanan örnekler 6 ay boyunca sülfat çözeltisinde bekletilmiş ve bu örneklerin belirli periyotlarla boy değişimleri ölçülmüştür. Ayrıca sülfat çözeltisinde bekletilen bazı örneklerde mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Çalışmayı özgün kılan ve geçmişte yapılan çalışmalardan ayıran kısım, özellikle kolemanit ve uçucu külün bir arada kullanılmasıyla elde edilen harçların sülfat etkisine karşı etkileri ve bazı örneklerde yapılan mikroyapı incelemeleridir. Ayrıca geçmişte yapılan pek çok çalışmada bor, klinkere atık

olarak eklenmiş ya da kolemanit atığı çimentoya puzolan eklenmeden katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada bor, mineral halinde çimentoya eklenmiş olup uçucu kül ile birlikte kullanılarak hazırlanan örnekler üzerinde deneyler yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Malzemeler

Deneylerde kullanılan CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu (PÇ) Batı Anadolu Çimento Fabrikasının' dan (İzmir, Türkiye) temin edilmiştir. Soma Termik Santrali'nden ASTM C 618'e [16] uygun C sınıfı uçucu kül (Manisa, Türkiye), kolemanit minerali Eti Maden Kütahya, Emet tesisinden temin edilmiştir. Uçucu kül için TS EN 450' ye [17] uygun olarak puzolanik aktivite deneyi yapılmış olup elde edilen deney sonuçlarına göre 28. gündeki aktivite endeksi % 94 olarak bulunmuştur. Harçların üretiminde 4 mm elekten elenmiş kırma kum kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kırma kumun granülometri eğrisi Şekil 1' de verilmektedir. Hazırlanan harçlarda karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimentonun, uçucu külün ve kolemanit mineralinin fiziksel ve kimyasal analizleri sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3' te verilmiştir.

Tüm kolemanit katkı oranları (%2, %4, %6, %8 ve %10) ve %10 uçucu kül içeren karışımların priz süreleri TS EN 196-3' e uygun olarak yapılmıştır. Aynı karışımların hacim genleşme değerleri de TS EN 196-3' e göre Le Chatelier cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [20].

Tüm kolemanit ve uçucu kül katkılı harç örnekleri TS EN 196-1' e göre 40×40×160 mm boyutunda kalıplar kullanılarak hazırlanmıştır. Bu örnekler

### 2.2 Karışımların Hazırlanması ve Yapılan Deneyler

Tüm karışımlar TS-EN-196-1 standardına uygun olarak hazırlanmıştır [18]. Çimentoya ikame olarak uçucu kül (UK) %10, %20 ve %30 oranlarında, kolemanit minerali ise %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında eklenmiştir. Harç karışımları yayılma değeri  $120 \pm 10$  mm olacak şekilde hazırlanmıştır ve karışımların su/bağlayıcı oranları yayılma değeri sabit tutularak belirlenmiştir. Harçların karışım oranları, kodları, yayılma çapı ve su/bağlayıcı oranları Tablo 4' te verilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi için 40×40×160 mm boyutlarında prizmatik kalıplar kullanılmıştır. ASTM C1012' ye göre harçların sülfat dirençleri belirlenmiştir. Sülfat etkisiyle oluşan genleşmelerin tespiti amacıyla 25×25×285 mm boyutlu prizmatik harç çubuğu örnekleri hazırlanmıştır [19].

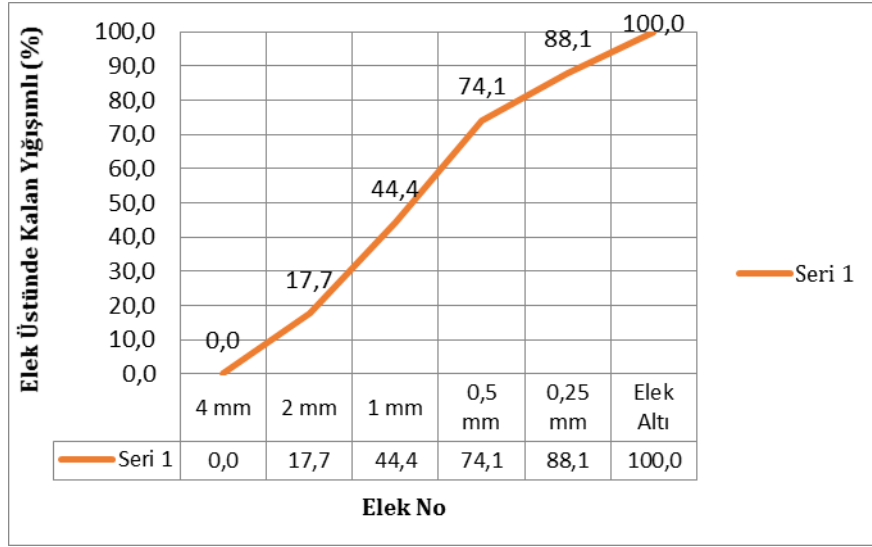
üzerinde eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyleri yapılmıştır [18].

Sülfat çözeltisine maruz kalan harç örneklerinin boy değişimlerinin incelenmesinde ASTM C 1012 standardından yararlanılmıştır. Bu deney yönteminde, sülfat çözeltisinde bekletilen 25×25×285 mm boyutundaki harç çubuklarının boy değişimleri ölçülmektedir. Bu standarda göre kum/çimento oranı 2.75, su/çimento oranı 0.485 olup Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi %5'lik

olarak hazırlanmıştır. Bunun için her 1 litre çözelti, 900 ml saf suda çözülmüştür ve 50 g sodyum sülfat kullanılmıştır. Normal sulu kür ortamında bekletilen harçlar, basınç dayanımları 20 MPa ulaştığı anda sudan çıkarılarak sülfat çözeltisi bulunan ortama bırakılmış ve bu ortamda 6 ay

boyunca boyları ölçülerek % değişim miktarları belirlenmiştir [19].

Çalışma kapsamında elde edilen harç örneklerinden bazıları üzerinde iç yapıda oluşan ürünleri belirlemek amacıyla SEM: Scanning Electron Microscope analizi yapılmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan kumun granülometri eğrisi

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan Cem I 42,5 R çimentosun fiziksel, kimyasal ve mekanik analizi

<b>Kimyasal Özellikler</b>	<b>Değer</b>	<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Değer</b>	<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Değer</b>
K.Kayı (%)	4,44	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,08	2 Gün (Mpa)	27,4
S.CaO (%)	1,46	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3938	7 Gün (Mpa)	44,6
Ç.Kalıntı (%)	5,57	32μ üzeri (%)	23,5	28 Gün (Mpa)	50,2
CaO (%)	61,74	45μ üzeri (%)	11,8		
SiO <sub>2</sub> (%)	18,95	90μ üzeri (%)	1,2		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,78	Priz Başlangıcı (dak.)	170		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,18	Priz Sonu (dak.)	225		
MgO (%)	1,41	Hacim Genleşmesi (mm)	1,0		
SO <sub>3</sub> (%)	3,85	Su/Çimento (%)	28,8		
Na <sub>2</sub> O (%)	0,22				
K <sub>2</sub> O (%)	0,93				
Cl <sup>-</sup> (%)	0,0081				

**Tablo 2.** Deneylerde kullanılan uçucu külün fiziksel ve kimyasal analizi

<b>Kimyasal Özellikler</b>	<b>Değer</b>	<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Değer</b>
K.Kayı (%)	0,96	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	2850,1
Ç. Kalıntı (%)	33,05	45μ üzeri (%)	39,22
CaO (%)	37,71	90μ üzeri (%)	18,78
SiO <sub>2</sub> (%)	33,48		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	15,11		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,85		
MgO (%)	1,73		
SO <sub>3</sub> (%)	4,89		
Na <sub>2</sub> O (%)	0,47		
K <sub>2</sub> O (%)	1,2		
TiO <sub>2</sub> (%)	0,38		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,37		
Toplam Alkali	1,26		
S.CaO (%)	11,86		

**Tablo 3.** Deneylerde kullanılan kolemanit mineralinin kimyasal analizi ve tane boyut dağılımı

<b>Kimyasal Analiz</b>	<b>Değer</b>
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	40,00
CaO (%)	27,00
SiO <sub>2</sub> (%)	5,75
SO <sub>4</sub> (%)	0,60
As (%)	35 ppm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,40
MgO (%)	3,00
SrO (%)	1,50
Na <sub>2</sub> O (%)	0,35
Kızdırma Kaybı (%)	24,60
Nem (%)	1,00

**Tablo 4.** Hazırlanan örneklerin karışım oranları, kodları, su/bağlayıcı oranları ve yayılma çapları

Karışım Kodları	Karışım Oranları	Su/Bağlayıcı	Yayılma Çapı(cm)
K	Kontrol (%100 PÇ)	0,5	12,5
U10	%10 UK+%90 PÇ	0,5	12,6
U20	%20 UK+%80 PÇ	0,5	12,4
U30	%30 UK+%70 PÇ	0,5	12,8
B2	%2 Bor minerali	0,5	12,9
B4	%4 Bor minerali	0,5	12,8
B6	%6 Bor minerali	0,5	13
B8	%8 Bor minerali	0,5	12,8
B10	%10 Bor minerali	0,5	12,7
B2U10	%2 Bor minerali+%10 UK+%88 PÇ	0,5	12,8
B2U20	%2 Bor minerali+%20 UK+%78 PÇ	0,5	13,0
B2U30	%2 Bor minerali+%30 UK+%68 PÇ	0,5	12,9
B4U10	%4 Bor minerali+%10 UK+%86 PÇ	0,5	12,4
B4U20	%4 Bor minerali+%20 UK+%76 PÇ	0,5	13,0
B4U30	%4 Bor minerali+%30 UK+%66 PÇ	0,5	13,0
B6U10	%6 Bor minerali+%10 UK+%84 PÇ	0,5	12,9
B6U20	%6 Bor minerali+%20 UK+%74 PÇ	0,5	12,65
B6U30	%6 Bor minerali+%30 UK+%64 PÇ	0,5	12,5
B8U10	%8 Bor minerali+%10 UK+%82 PÇ	0,475	13,0
B8U20	%8 Bor minerali+%20 UK+%72 PÇ	0,475	12,7
B8U30	%8 Bor minerali+%30 UK+%62 PÇ	0,475	12
B10U10	%10 Bor minerali+%10 UK+%80 PÇ	0,5	13
B10U20	%10 Bor minerali+%20 UK+%70 PÇ	0,5	12,4
B10U30	%10 Bor minerali+%30 UK+%60 PÇ	0,475	12,6

### 3. Bulgular

#### 3.1 Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Sonuçları

Çimento yerine %2, %4, %6, %8 ve %10 oranında kolemanit minerali ve %10 oranında uçucu kül içeren hamurların kıvam suyu miktarları, priz süreleri ve hacim genleşme değerleri Tablo 5' te verilmektedir. Çalışmada yüksek katkı oranında priz süreleri çok uzadığından

dolayısı, %20 ve %30 uçucu kül içeren karışımlar için priz süresi deneyi yapılmamıştır. En yüksek kolemanit oranına sahip B10U10 örneğinin kontrol örneğine kıyasla priz başlangıç süresi 2 saat 30 dakika priz tamamlanma süresi ise 7 saat gecikmiştir. Bu durum geçmişte

yapılan çalışmalara benzer sonuçlar göstermektedir. Erdoğmuş vd. tarafından yapılan çalışmada kolemanit atığı %3.5, uçucu kül %16 oranında kullanılmıştır. Çalışmada kontrol örneğine göre priz başlangıç süresi %210 oranında, priz tamamlanma süresi %257 oranında artmıştır. Bu durum kolemanit mineralinin bor trioksit içeriğiyle ilişkilendirilmiştir [21]. Pehlivanoglu vd. tarafından yapılan çalışmada B2O3 konsantrasyonu arttıkça, çimento hidrasyonunun yavaşladığı ve hatta durduğu, buna bağlı olarak priz süresinin de uzadığı belirtilmiştir. Hidratasyon reaksiyonu esnasında, kalsiyum oksit (CaO), su (H<sub>2</sub>O) ile kalsiyum hidroksit (Ca[OH]<sub>2</sub>) oluşturmak için tepkir. Bu tepkime sırasında gözenek suyu hızla alkali bir çözeltiliye dönüşür. Alkali çözeltiliye dönüşen gözenek suyunda kalsiyum (Ca<sup>+2</sup>) katyonları ve hidroksil (OH<sup>-</sup>) anyonlarının konsantrasyonu artarken B[OH]<sub>3</sub> hızla çözünür. Karışımındaki B[OH]<sub>3</sub> iyonları ile OH<sup>-</sup> anyonları reaksiyona girerek B[OH]<sub>4</sub><sup>-</sup> bileşiğini oluşturur. Sonrasında Ca<sup>+</sup> katyonları B[OH]<sub>4</sub><sup>-</sup> ile tepkir. Oluşan kalsiyum di borat (CBH<sub>6</sub>) bileşiği bir kısım çimento partikül yüzeyinin tamamı ya da bir bölümü üzerine çökerek kaplar. Yüzeyin tamamı ya da bir bölümü geçirimsiz CBH<sub>6</sub> tabakası ile kaplanan çimento partiküllerinin hidrasyon reaksiyonu ya tamamen durur veya oldukça gecikir. Bu durum partiküllerin topaklaşmasına (kesilmesine-pıhtılaşmasına) neden olur ve yalancı prizlenme oluşur. Gözenek solüsyonunda CH ve CBH<sub>6</sub> oluşumundan dolayı Ca<sup>+2</sup> da

azalma meydana gelir. Ancak çimento hidrasyonunun bir sonucu olarak alkaliler (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O vd.) serbest kaldığında gözenek solüsyonunda sodyum (Na<sup>+</sup>), potasyum (K<sup>+</sup>) katyonları oluşur ve paralel olarak OH<sup>-</sup> anyonları yeniden artar. OH<sup>-</sup> anyonlarının artışına gözenek suyunun pH değeri de yeniden artarken, bir süre sonra Ca<sup>+2</sup> katyonu oluşturmak için CBH<sub>6</sub> yeniden çözünebilir. Çimento partikül yüzeyini gözenek suyu mevcutsa, bu tersinir tepkimeler çimento hidrasyonu tamamlanıncaya kadar sürecektir. Ortamda çözünebilir B2O3 konsantrasyonu arttıkça başlangıçta CaO çözünürlüğü de artar. Ancak bir süre sonra CBH<sub>6</sub> bileşiği oluşturmak için gözenek solüsyonunda Ca<sup>+2</sup> katyonlarının ve OH<sup>-</sup> anyonlarının konsantrasyonu azalır. Sonuçta CBH<sub>6</sub> bileşiği çimento partiküllerinin yüzeyini hızlı bir şekilde kaplar ve hidrasyon durur. Artan B2O3 konsantrasyonuna bağlı olarak CBH<sub>6</sub> bileşiğinin çözünürlüğü de gecikir. Bu fenomen bağlayıcı taneler arasında bağ oluşumunu zayıflatır. Dolayısıyla hidrasyon reaksiyonu sonrası sertleşme süresi B2O3 konsantrasyonuna bağlı olarak uzarken, çimento matrisinin dayanımı azalır [22]. Davraz, bor bileşiklerini kullanarak yaptıkları çalışmada yine B2O3/çimento içeriğinin artmasıyla priz başlangıç ve bitiş sürelerinin arttığını belirtmişlerdir [23]. Bu çalışmada örneklerin Le Chatelier hacim genişleme değerleri de daha önce yapılan literatür çalışmalarıyla uyum içerisinde.



**Tablo 5.** %10 oranında uçucu kül ve kolemanit minerali içeren karışımların kıvam suyu, priz süresi ve hacim genişmesi değerleri

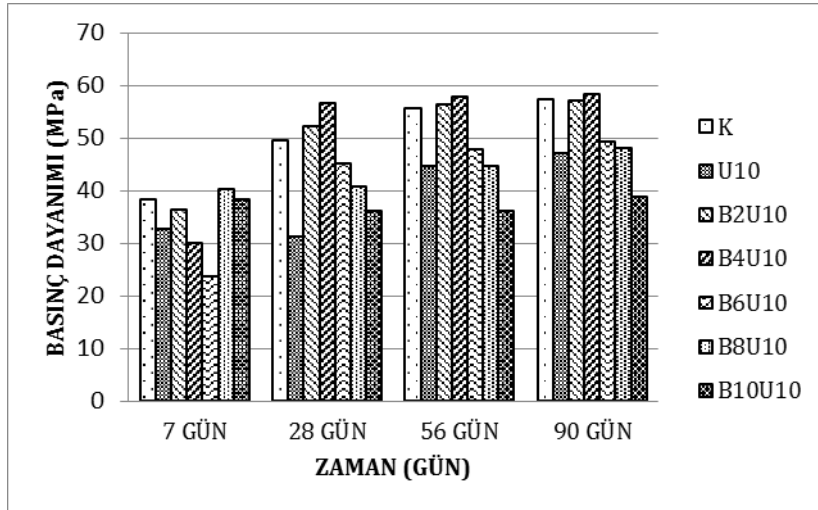
Karışım	Kıvam Suyu(%)	Priz Başlangıç Süresi (dk)	Priz Bitiş Süresi (dk)	Hacim Genleşmesi (mm)
K	31	170	225	1,00
U10	32	175	285	1,00
B2U10	32,2	185	360	2,50
B4U10	32,4	190	435	2,50
B6U10	33	200	480	3,00
B8U10	32,6	215	570	3,00
B10U10	32,6	320	645	3,00

### 3.2 Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları

Hazırlanan örneklerin 7, 28, 56 ve 90. günlerdeki basınç dayanımı sonuçları Şekil 2 ile Şekil 4 arasında gösterilmektedir.

Şekil 2’de gösterildiği gibi çimentoya %10 sabit uçucu kül oranında %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında kolemanit minerali eklenmesi durumunda 90. günde en yüksek basınç dayanımına sahip olan örnek %4 kolemanit içeren B4U10 örneğidir. Bu örneğin basınç dayanımı değeri 58.32 MPa ‘dır ve 90. günde kontrol örneğine göre az bir artış göstermiştir. 7 günlük yaşta kontrol

örneğine göre düşük değerler gösteren B2U10 ve B4U10 örneklerinin ilerleyen yaşlarda basınç dayanımları kontrol örneğine çok yakın sonuçlar sergilemiştir. Kolemanit miktarındaki artışla birlikte basınç dayanımlarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Mutuk vd. tarafından yapılan çalışmada bor atığı ve pirinç kabuğu külü bir arada kullanılmıştır. Basınç dayanımı testi sonuçlarına göre bor atığı miktarındaki artışla birlikte basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmiş ancak sonuçlar Türk Standartları içerisinde yer almıştır. Aynı zamanda çalışmada, %5’ e kadar bor atığı kullanımının beton endüstrisi için uygun olduğu öngörülmüştür [24].



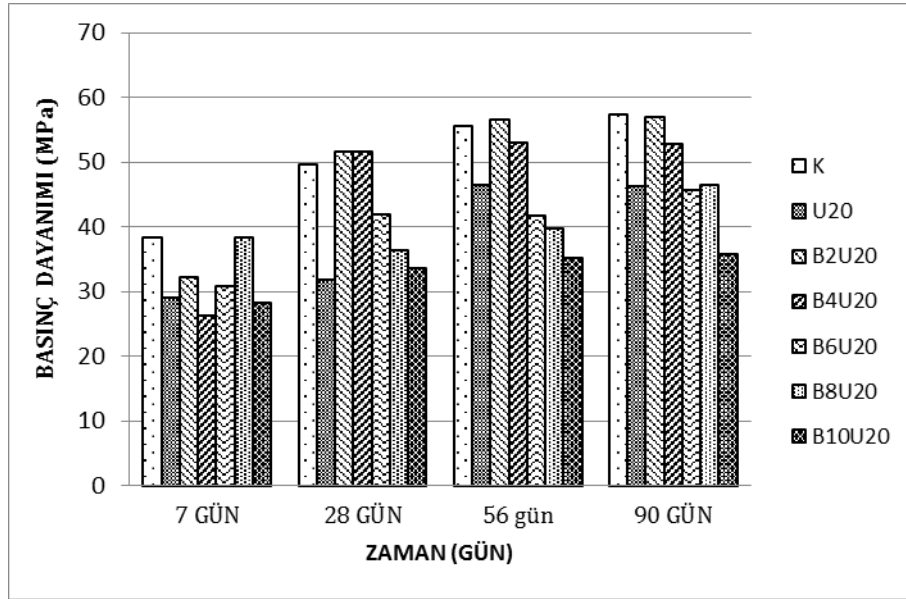
**Şekil 2.** %10 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren harçların basınç dayanımı sonuçları

Şekil 3' te %20 uçucu kül ve tüm kolemanit katkı oranlarındaki harç örneklerinin basınç dayanımları görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 7 günlük yaşta en yüksek basınç dayanımına sahip olan örnek kontrol örneğidir. Ancak ilerleyen yaşlarda B2U20 ve B4U20 örnekleri de kontrol örneğine yakın sonuçlar sergilemişlerdir. %10 kolemanit katkısı içeren B10U20 örneği tüm yaşlarda düşük basınç dayanımları göstermiştir.

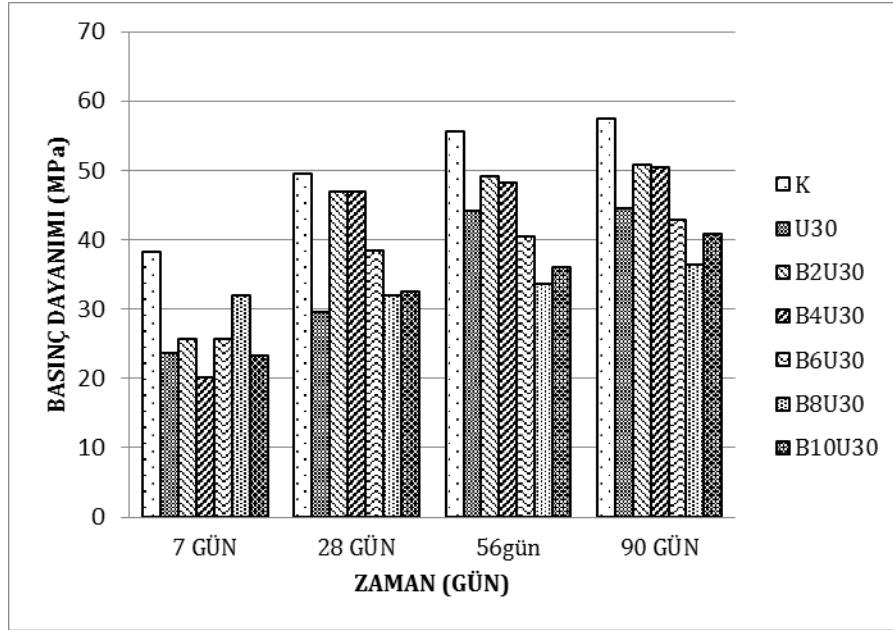
Şekil 4' te %30 uçucu kül ve tüm kolemanit katkı oranlarındaki harç örneklerinin basınç dayanımları görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, erken yaşlarda kolemanit minerali

içeren örneklerin basınç dayanımı değerleri kontrol örneğine göre oldukça düşüktür ancak ilerleyen yaşlarda aradaki fark biraz kapanmıştır.

Yalnız uçucu kül içeren harç örneklerinin basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, erken yaşlarda %20 ve %30 oranında uçucu kül içeren harç örneklerinin basınç dayanım değerleri düşük iken ilerleyen yaşlarda artış göstermiştir. 90. günde yalnız uçucu kül içeren harçlardan en yüksek basınç dayanımına sahip olan örnek 47.12 MPa değeriyle U10 örneği olmuştur. Ayrıca yalnız uçucu kül içeren harç örneklerinin tüm yaşlarda basınç dayanım değerleri kontrol örneğinden düşük değerler göstermiştir.



Şekil 3. %20 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren harçların basınç dayanımı sonuçları



Şekil 4. %30 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren harçların basınç dayanımı sonuçları

Yalnızca kolemanit minerali içeren örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları Şekil 5' te gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 7 ve 28 günlük yaşlarda %2

Hazırlanan harç örneklerinin eğilme dayanımı sonuçları Şekil 6 ile Şekil 8 arasında gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre yalnız uçucu kül içeren örneklerin eğilme dayanımı sonuçları 28

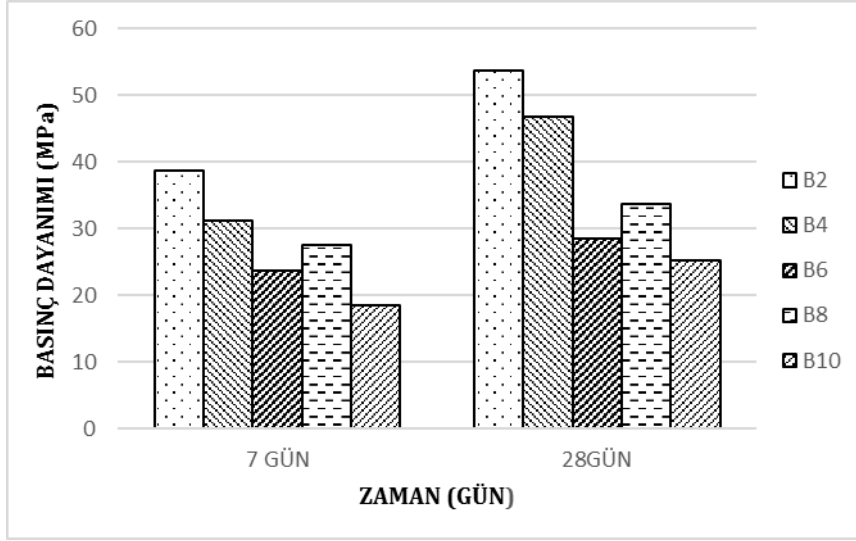
Şekil 6' da görüldüğü gibi 28 günlük kür süresinden sonra en yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnek U10 örneğidir. 90. yaşta kontrol örneğinden daha yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnek 8.76 MPa değeriyle B4U10 örneği olmuştur. Aynı zamanda 90. günde B2U10 örneği de 8.47 MPa değeriyle kontrol örneğine göre daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir.

Şekil 7' de gösterildiği gibi %20 sabit uçucu kül oranında 90. günde kontrol örneğinden daha yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnekler B2U10,

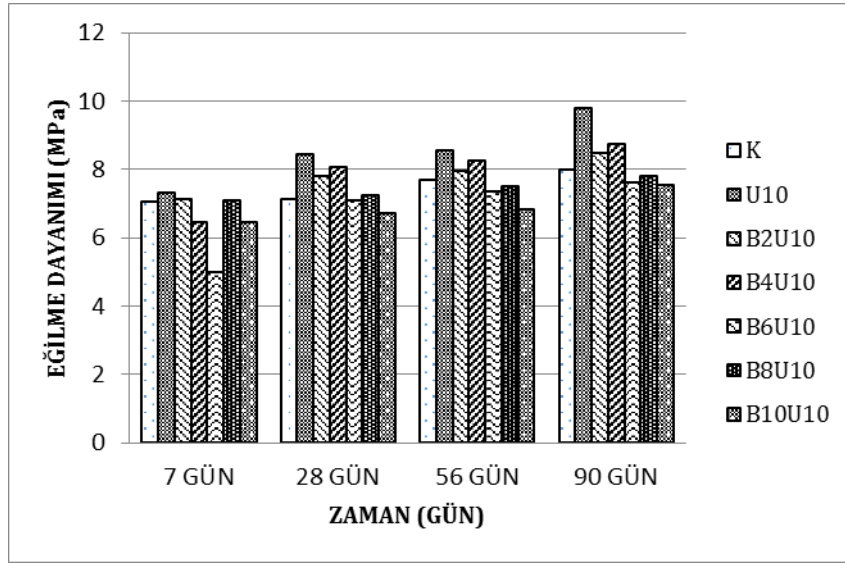
kolemanit katkısı içeren B2 örneği en yüksek basınç dayanımına sahip olan örnek olmuştur. Kolemanit katkısının %10 oranında kullanılması ise basınç dayanımını oldukça düşürmüştür.

günlük kür süresinden sonra en yüksek değerleri göstermiştir. Basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi kolemanit katkılı örneklerden en yüksek eğilme dayanımı gösteren örnekler %2 ve %4 kolemanit içeren örnekler olmuştur.

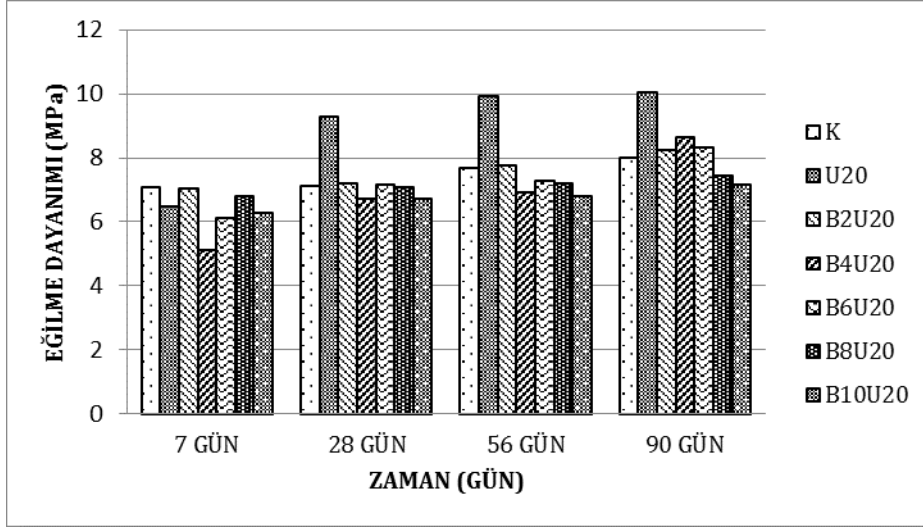
B4U10 ve B6U10 örnekleri olmuştur. Ancak U20 örneği 90. günde 10.04 MPa değeriyle diğer tüm karışımlardan yüksek eğilme dayanımı sergilemiştir. Targan vd. tarafından yapılan çalışmada bentonit ile kolemanit atığı bir arada kullanılmıştır. Çalışmaya göre erken yaşlarda dayanımlarda etkileyici bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durum kolemanitin bu yaştaki düşük puzolanik katkısıyla ve kolemanitin bor içeriğiyle açıklanmış, kolemanit çimentonun sertleşmesine engel olmuştur. Ancak sonraki yaşlarda numunelerin dayanımları yavaş yavaş artmıştır [25].



Şekil 5. Yalnız kolemanit minerali içeren harçların basınç dayanımı sonuçları



Şekil 6. %10 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren harçların eğilme dayanımı sonuçları



Şekil 7. %20 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren harçların eğilme dayanımı sonuçları

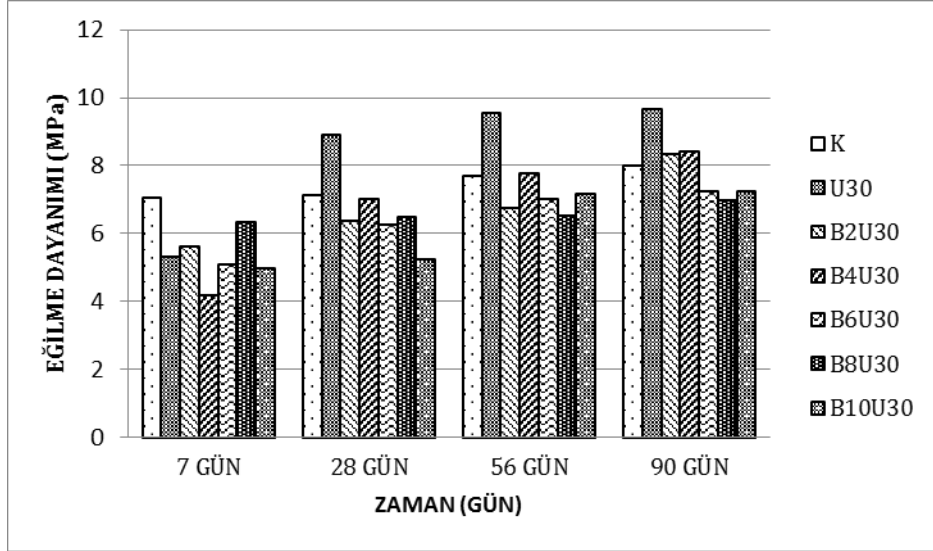
Şekil 8'de %30 uçucu kül ve tüm kolemanit katkı oranlarındaki harç örneklerinin eğilme dayanımları görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 28 günlük yaştan sonra en yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnek, 90. günde 9.65 MPa değeriyle U30 örneğidir. Erken yaşlarda düşük dayanımlara sahip olan B2U30 ve B4U30 numuneleri 90. günde kontrol örneğine yakın değerler göstermişlerdir. Bu durum geçmişte yapılan çalışmalarla uyum sağlamaktadır.

Kolemanit ve üleksitin çimentoda kullanılabilirliği konusunda Ustabaş tarafından yapılan bir çalışmada, çimentoya ikame olarak kolemanit ve üleksit mineralleri %0.5, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre basınç ve eğilme dayanımlarında kayda değer bir artış meydana gelmemiştir [26]. Targan vd. tarafından yapılan çalışmada %4 oranında kolemanit atığı ve %5-%30 oranında doğal puzolan bir arada kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, 60 günlük kür süresi ve sonrasında sabit kolemanit miktarında ve %10-%15 seviyelerinde doğal puzolanın kullanılmasıyla karışımların eğilme dayanımları artmıştır.

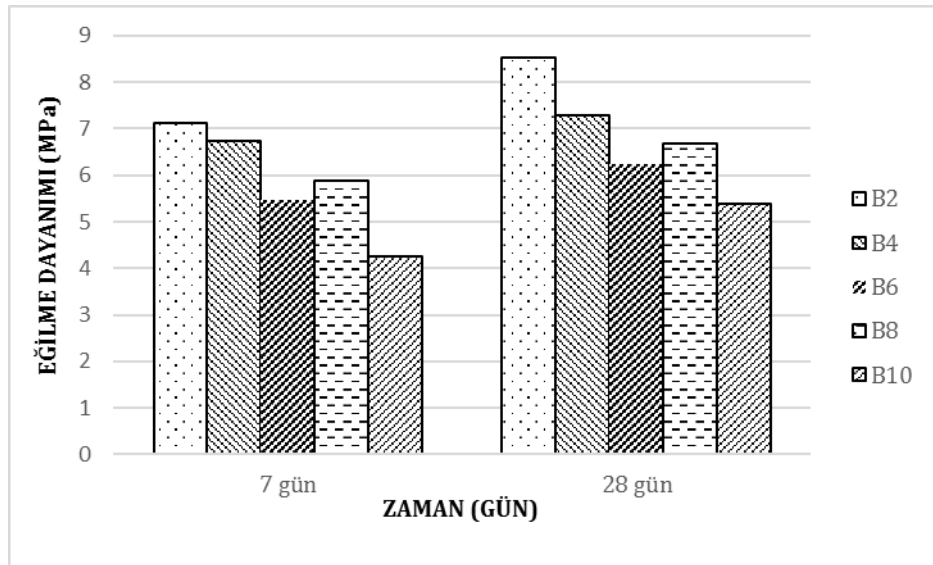
Dayanımdaki gelişmenin bor içeren kolemanit atığından kaynaklandığı, borun etrenjit yapının içerisine dahil olmuş olabileceği ve bu durumun da dayanım gelişmesine katkı sağladığı belirtilmiştir [27].

Yalnız uçucu kül içeren harç örneklerinin eğilme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında; erken yaşlarda kütlece %10 oranında uçucu kül içeren U10 örneği en yüksek eğilme dayanımını sergilerken, 28 günlük kür süresinden sonra kütlece %20 oranında uçucu kül içeren U20 örneği en yüksek eğilme dayanımını göstermiştir. Bu örneğin 28. günde eğilme dayanımı değeri 9,3 MPa'dır. Yalnızca kolemanit minerali içeren örneklerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım sonuçları Şekil 9'da gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 7 ve 28 günlük yaşlarda %2 kolemanit katkısı içeren B2 örneği en yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnek oluştur. Kolemanit katkısının artması harçların eğilme dayanımında düşüşe neden olmuştur. Basınç dayanımına düşük oranlarda kolemanit ikamesinin olumlu etkisi gözlenirken, eğilme dayanımında bu etkinin net olarak gözlenememesinin nedeni, eğilme

dayanımında agrega-bağlayıcı hamuru ile agrega arasındaki aderansı yeterince sağlamadığından eğilme dayanımlarının düşük kolemanit oranı bağlayıcı hamuru olumsuz etkilendiği düşünülmektedir.



Şekil 8. %30 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren örneklerin eğilme dayanımı sonuçları

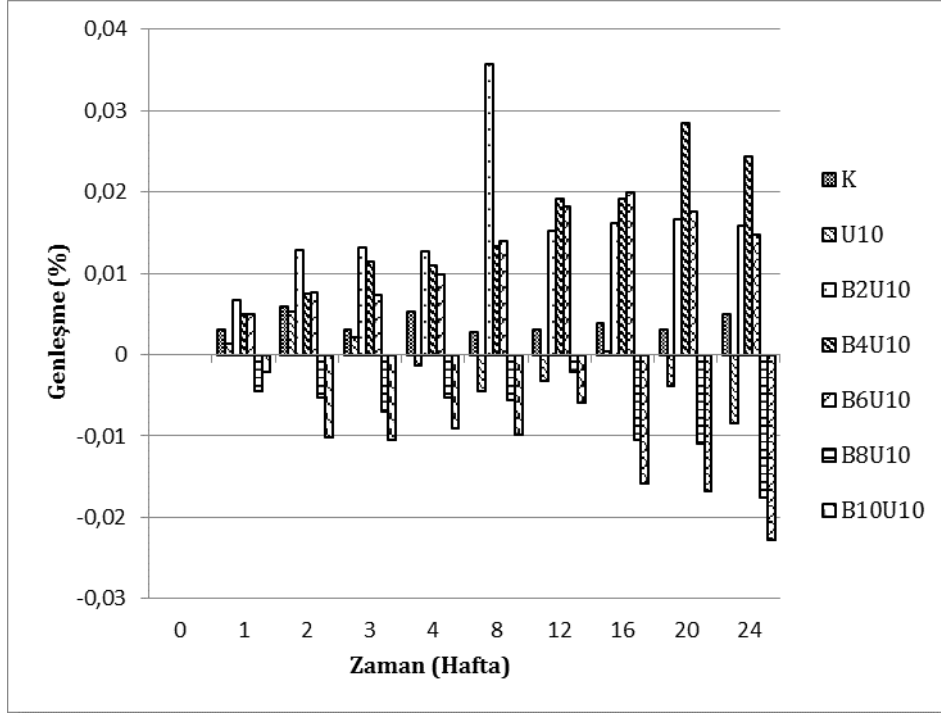


Şekil 9. Yalnız kolemanit minerali içeren örneklerin eğilme dayanımı sonuçları

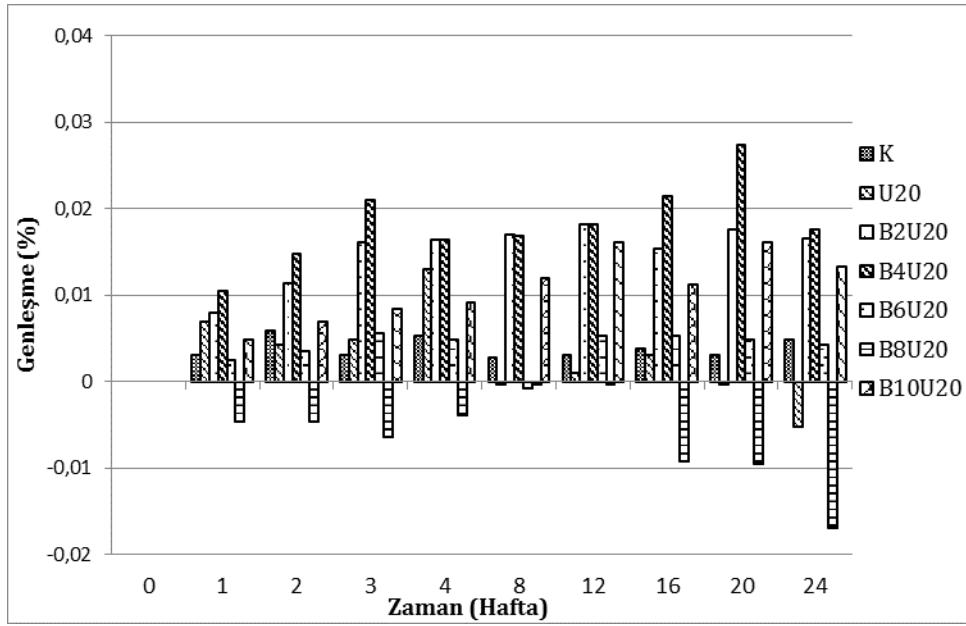
### 3.3. Sülfata Dayanıklılık Sonuçları

Sülfat dayanıklılığının belirlenmesi amacıyla hazırlanan örneklerin zamana bağlı boy değiştirme değerleri Şekil 10 ile Şekil 12 arasında gösterilmektedir. Şekil 10' da %10 sabit uçucu kül oranında %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında kolemanit içeren örneklerin 24 hafta boyunca sülfat çözeltisinde bekletilmeleri sonucu oluşan boy değişimi miktarları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 6 ay boyunca  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  çözeltisinde bekletilen örneklerden %4 kolemanit içeren B4U10 örneği en yüksek genleşme değerine sahip olan örnek olmuştur. B4U10 örneğinin genleşme miktarı %0.024 oranındadır. Kontrol örneğine bakıldığında ise 6 ay sonraki genleşme miktarı %0.005 değerindedir. Ayrıca yalnız uçucu kül içeren U10 örneği ile B8U10 ve B10U10 örnekleri 6 aylık süre sonunda büzölmeye uğramışlardır. ASTM C 1157 standardında 6 aylık genleşme limiti, sülfata yüksek derecede dayanıklılık için %0.05, orta derecede dayanıklılık için %0.1 olarak verilmektedir. Söz konusu genleşmeler 50 g/l  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  çözeltisi için tanımlanmıştır [14]. Buna göre, %10 sabit uçucu kül oranında tüm karışımların yüksek derecede sülfat

direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 11' de %20 sabit uçucu kül oranında ve %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında uçucu kül içeren örneklerin 6 aylık boy değişimi miktarları verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, %4 kolemanit oranına sahip B4U20 örneği 6 ay sonra en fazla genleşme miktarı gösteren örnek olmuştur. Kontrol örneğine en yakın değeri gösteren örnek ise B6U20 örneğidir. Erdoğan vd. tarafından yapılan çalışmada %6 ve %16 oranlarında uçucu kül çimentoya eklenmiştir. %6' dan %16' ya uçucu kül oranı arttıkça sülfat direnci artmıştır [21]. Yapılan bu çalışmada da B4U10 örneğinin 6 ay sonraki sülfat genleşmesi %0.024 iken B4U20 örneğinin sülfat genleşmesi %0.017' dir. Portland çimentosuna %3.5 oranında kolemanit katılarak elde edilen numunelerin hazırlandığı çalışmada yalnızca kolemanit içeren örneklerin 6 ay sonraki sülfat genleşmeleri kontrol örneğine göre %100 oranında fazla iken, kolemanit ve uçucu külün bir arada kullanıldığı numunelerin sülfat genleşmesi %35 oranında düşük çıkmıştır [21]. Yalnız uçucu kül içeren U20 örneği ile B8U20 örneği 6 aylık süre sonunda büzölmeye uğramışlardır.

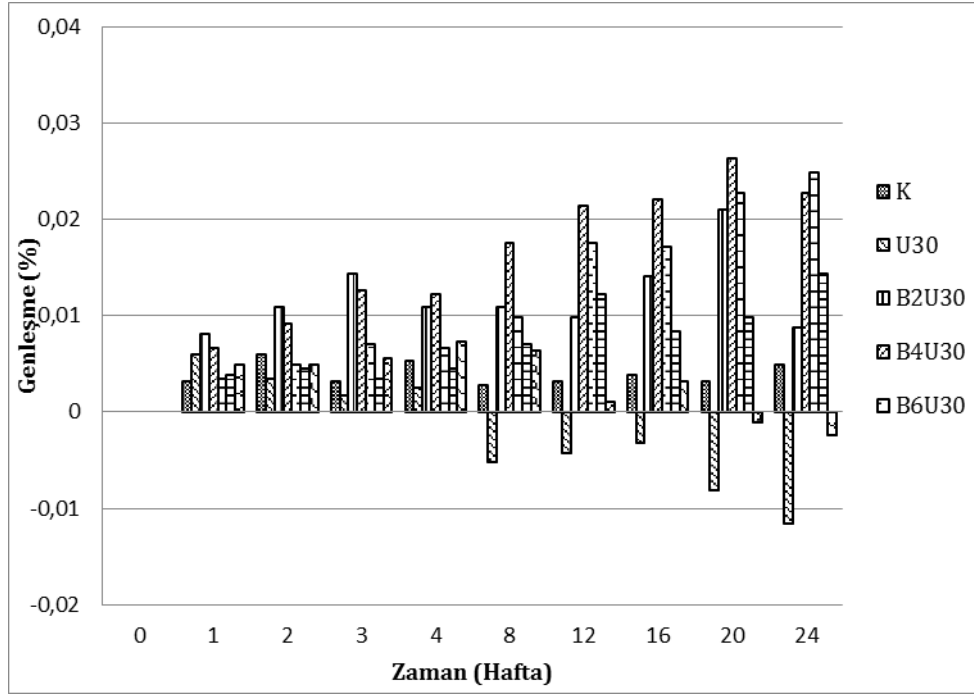


Şekil 10. %10 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren örneklerin sülfat genleşmeleri



Şekil 11. %20 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren örneklerin sülfat genleşmeleri





Şekil 12. %30 uçucu kül ve kolemanit minerali içeren örneklerin sülfat genleşmeleri

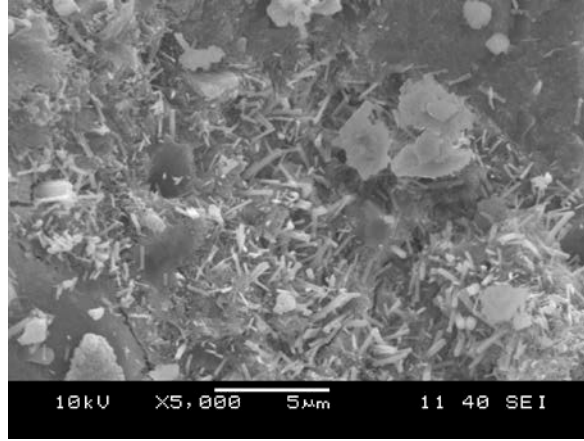
Şekil 12’de %30 sabit uçucu kül oranında ve %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında kolemanit katkılı örneklerin boy değişim miktarları gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 6 ay sonra en yüksek sülfat genleşmesine sahip olan örnek B6U30 örneğidir. B6U30 örneğinin sülfat genleşme miktarı %0.025 olarak elde edilmiştir. Yalnız uçucu kül içeren U30 örneği ve B10U30 örnekleri ilk haftalarda genleşme daha sonraki haftalarda büzülme yapmışlardır. Tüm karışımların 6 ay sonraki genleşme miktarları %0.05’ ten düşük olduğu için sülfat dirençleri yüksektir. Sonuçlar geçmişte yapılan çalışmalarla uyum içerisinde olup, Erdoğmuş vd. tarafından yapılan çalışmaya göre çimento klinkerine %3.5 oranında kolemanit atığı ve %16 oranında uçucu kül eklenmiştir. Karışımların 6 ay sonraki sülfat

genleşmesi değeri %0.05’ ten düşük çıkmış ve karışımlar yüksek sülfat dirençli olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda yapılan çalışmada kolemanit konsantratör atıklarının sülfatlı ortama karşı direnci arttırmada katkı sağladığı belirlenmiştir [28]. Elde edilen sonuçlara göre kolemanit minerali sülfatlı ortama karşı direnci arttırmış olup mekanik dayanım açısından iyi sonuçlar gösteren örneklerin genleşme miktarının da yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bazı karışımlarda oluşan büzülme nedeni ise; çimentonun hidrasyonu sırasında oluşan hidrasyon ürünlerinin hacminin giren ilk ürün hacminden az olması, çimento içerisinde büzülme sebepleri olmakta bunun yanında betonun bünye suyunun sıcaklığa bağlı olarak kaybı da büzülme için temel olarak etkileyen etmenlerden olmaktadır.

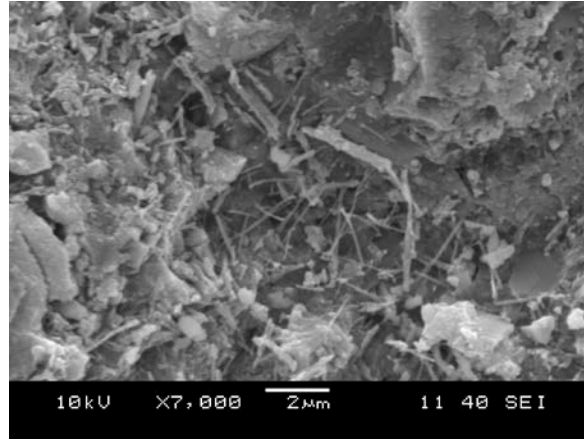
### 3.4. SEM Analizi Sonuçları

En düşük katkı oranına sahip B2U10 örneği, en yüksek katkı oranına sahip B10U30 örneği ve %10 uçucu kül içeren U10 örneği için SEM analizi yapılmıştır. Belirlenen örnekler 6 ay boyunca  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  çözeltisi içerisinde bekletilmiş ve bu süre sonunda basınç dayanım testine tabi

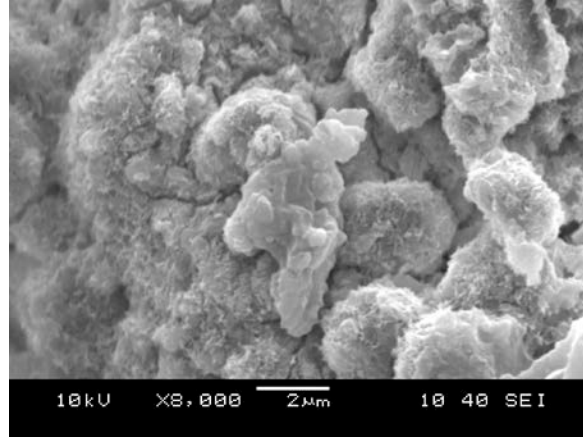
tutulmuşlardır. Basınç dayanımı testi sonucu elde edilen örnekler üzerinde SEM analizi yapılmıştır. İncelemeler kırık yüzeyler üzerinde yapılmıştır. Şekil 13 ile Şekil 15 arasında sırasıyla B2U10, U10 ve B10U30 örneklerine ait mikroyapı incelemeleri verilmektedir.



Şekil 13. B2U10 örneğine ait SEM görüntüsü



Şekil 14. U20 örneğine ait SEM görüntüsü



Şekil 15. B10U30 örneğine ait SEM görüntüsü

Mikroyapı incelemelerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında, harçların oldukça karmaşık bir mikroyapıya sahip olduğu görülmüştür. Örnekler sülfat çözeltisi sonrası basınç dayanım testine tabi tutulduğu için mikroyapıda oldukça fazla çatlaklara rastlanılmıştır. Örneklerde iğneye benzer oluşumlar görülmüştür. Bunların etrenjit olduğu tahmin edilmektedir. Etrenjit oluşumlarının kırık yüzeyde matrise yayıldığı gözlemlenmiştir. 6 ay boyunca sülfat çözeltisinde bekletilen B2U10 ve B10U30 örneklerinin dayanım kaybı %22 olarak belirlenmiştir. Etrenjitin boşlukları doldurduktan sonra boşlukta içsel gerilme yaratması, büyük ihtimalle hasarın temel nedenidir. Bunun yanında karşılaştırma amacıyla yalnızca %20 oranında uçucu kül içeren U20 örneğinde de SEM analizi yapılmıştır. Bu örnekte 6 ay sonra %27 oranında dayanım

gelişmesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum uçucu külün sülfat saldırısına karşı olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca etrenjit yapının boşlukları doldurma işlevi de etkili olmuş olabilir. İç yapı görüntülerindeki bu durum Olgun vd. tarafından yapılan çalışmayla benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada, klinkere alçıtaşı ve %5 oranında kolemanit atığı eklenmiştir. Yalnız alçıtaşı kullanılan numune ile alçıtaşı ve kolemanit atığının bir arada kullanıldığı numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. Buna göre iki numunenin mikroyapısı birbirinden oldukça farklı çıkmıştır. Kolemanit atığı ilaveli numunede kolemanitin puzolanik katkısından dolayı mikroyapı gelişiminin geciktiği ve iğneye benzer hidratasyon ürünlerinin oluştuğu gözlemlenmiştir [29].

#### 4. Tartışma ve Sonuç

1.Çimento yerine kullanılan uçucu kül oranı %10' da sabit tutulduğunda kolemanit oranının artmasıyla birlikte karışımların priz başlangıç ve bitiş sürelerinin uzadığı görülmüştür.

2.%10 uçucu kül ve tüm kolemanit katkısı oranlarında karışımların Le Chatelier hacim genleşme değerlerinin standardın (TS EN 196-3) öngördüğü limitler içinde kaldığı belirlenmiştir.

3.Uçucu kül ve kolemanit mineralinin bir arada kullanıldığı karışımların basınç dayanımları erken yaşlarda kontrol örneğine göre düşük olmasına rağmen ilerleyen yaşlarda basınç dayanımlarında gelişme görülmüştür. Özellikle kütlece %2 ve %4 oranlarında kolemanit içeriğine sahip örneklerin basınç dayanımları ilerleyen yaşlarda kontrol örneğinden büyük ya da kontrol örneğine yakın sonuçlar sergilemişlerdir.

4.Yalnız kolemanit minerali içeren örneklerin basınç ve eğilme dayanımları kolemanit mineralinin yüksek oranlarda kullanılmasıyla düşmüştür. %2 ve %4 oranında kolemanit minerali kullanımı eğilme ve basınç dayanımı açısından en iyi sonuçları gösteren örnekler olmuştur. Bu sonuçlar borlu çimento standardı TS 13353'te belirtilen %5 sınırının içerisinde bulunmaktadır.

5.Yalnızca uçucu kül içeren örneklerin eğilme dayanımı değerleri ilerleyen yaşlarda en yüksek eğilme dayanım değerlerini göstermiştir. Ayrıca 90 günlük yaşta %2 ve %4 kolemanit içeren örneklerin eğilme dayanım değerleri kontrol örneğine göre daha iyi sonuçlar sergilemişlerdir.

6.Elde edilen sonuçlara göre hem eğilme hem de basınç dayanımları açısından %2 ve %4 kolemanit katkı oranının çimento katkı maddesi olarak kullanılabilceği önerilmektedir.

7.Yalnız uçucu kül içeren örneklerden ilerleyen yaşlarda en yüksek basınç dayanımına sahip olan örnek %10 uçucu kül içeren U10 örneği olmuştur. Eğilme dayanımları açısından ise, en yüksek eğilme dayanımına sahip olan örnek 90. günde U20 örneği olmuştur. Ayrıca yalnız uçucu kül içeren örneklerin ilerleyen yaşlarda eğilme dayanımı değerleri

kontrol örneğine göre büyük değerler göstermiştir.

8.Örneklerin 6 aylık sülfata dayanıklılık deneyi sonuçlarına göre, genleşme değerleri %0,05' ten düşük çıktığı için sülfata karşı yüksek derecede dayanıklıdır. Kolemanit ve uçucu külün bir arada kullanıldığı örneklerin sülfat genleşme değerleri yalnızca uçucu kül içeren örneklerin sülfat genleşmesine göre daha büyüktür. Ayrıca %4 kolemanit katkı oranına sahip örnekler mekanik dayanım bakımından oldukça iyi olmasına rağmen sülfat etkisi altında daha fazla genleşme yapmışlardır. Yalnız uçucu kül içeren örneklerde büzülme gözlemlenmiştir. Aynı şekilde uçucu kül ile kolemanit mineralinin birlikte kullanıldığı örneklerde de kolemanit miktarının artması karışımların büzülme davranışı göstermesine yol açmıştır. Bu durum kolemanit mineralinin sülfata karşı dayanıklılığı arttırmada olumlu bir etki oluşturmasıyla açıklanmıştır. Ayrıca çimento yerine uçucu kül ve kolemanit mineralinin yüksek oranda kullanılması, karışımların C<sub>3</sub>A miktarını azaltmıştır. Bu durum, sülfata karşı dayanıklılığın gelişmesine neden olmuştur.

9.Bazı örneklerin mikroyapı incelemeleri sonuçlarına göre, harçlarda sülfat çözeltisi ya da basınç testi sonucu oluşan çatlaklar bulunduğu belirlenmiştir. Deneyler kırık yüzey üzerinde yapıldığı için boşluk yapısından söz edilememektedir. Genel olarak Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde bekletilen örneklerde etrenjit bakımından yoğun bir mikroyapı görülmektedir. Yalnızca uçucu kül içeren örnekte etrenjit yapı dayanım gelişmesine yol açarken kolemanit içeren örneklerde dayanım kaybı görülmektedir. Kolemanit etkisinin daha net anlaşılabilmesi için daha çok örnekle daha ayrıntılı bir inceleme yapılması önerilmektedir.

### Kaynakça

- [1] Erdoğan E. 2014. Combined Effect of Waste Colemanite and Silica Fume on Properties of Cement Mortar, *Science and Engineering of Composite Materials*, Cilt. 21, No. 3, s.369-375.
- [2] Topçu İB, Boğa AR. 2010. Effect of Boron Waste on the Properties of Mortar and Concrete, *Waste Management & Research*, Cilt. 28, s.626-633.
- [3] Kavas T, Olgun A, Erdoğan Y. 2005. Setting and Hardening of Borogypsum-Portland Cement Clinker- Fly Ash Blends. Studies on Effects of Molasses on Properties of Mortar Containing Borogypsum, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 35, s.711-718.
- [4] Çelik RS, Kocabeyle MF, Tunç E, Sağlık A, Sümer O. 2009. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve DSİ Projelerinde Uygulanabilirliği, *DSİ Teknik Bülten*, No. 105, s.1-23.
- [5] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü(ETİ)[<http://www.etimaden.gov.tr/>], 2016, Erişim Tarihi: 20.06.2016.
- [6] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), [<http://www.boren.gov.tr/>], 2012, Erişim Tarihi: 12.05.2016.
- [7] Erdoğan Y, Zeybek MS, Demirbaş A. 1998. Cement Mixes Containing Colemanite from Concentrator Wastes, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 28, No. 4, s.605-609.
- [8] Boncukoğlu R, Yılmaz MT, Kocakerim MM, Tosunoğlu V. 2002. Utilization of Borogypsum as Set Retarder in Portland Cement Production, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 32, s.471-475.
- [9] Sevim UK, Tümen Y. 2013. Strength and Fresh Properties of Borogypsum Concrete, *Construction and Building Materials*, Cilt. 48, s.342-347.
- [10] Kula I, Olgun A, Erdoğan Y, Sevinç V. 2001. Effect of Colemanite Waste, Cool Bottom Ash, and Fly Ash on the Properties of Cement, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 31, s.491-494.
- [11] Özdemir M, Öztürk NU. 2003. Utilization of Clay Wastes Containing Boron as Cement Additives, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 33, s.1659-1661.
- [12] Gencil O, Brostow W, Özel C, Filiz M. 2010. An Investigation on the Concrete Properties Containing Colemanite, *International Journal of Physical Sciences*, Cilt. 5, No. 3, s.216-225.
- [13] Chindaprasirt P, Kanchanda P, Sathonsaowaphak A, Cao HT. 2007. Sulfate Resistance of Blended Cements Containing Fly Ash and Rice Husk Ash, *Construction and Building Materials*, Cilt. 21, s.1356-1361.
- [14] ASTM C1157/C1157M-11. *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*, USA: American Society for Testing and Materials, 2011.
- [15] Yazıcı H. 2006. Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi, *Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt. 8, No. 1, s.51-58.
- [16] ASTM C618-5. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, USA: American Society for Testing and Materials, 2015.
- [17] TS EN 450. *Uçucu Kül – Betonda Kullanılan Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1998.
- [18] TS EN 196-1. *Çimento Deney Metotları Bölüm 1: Dayanım Tayini*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
- [19] ASTM C1012/C1012M-13. *Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution*, USA: American Society for Testing and Materials, 2013.
- [20] TS EN 196-3. *Çimento Deney Metotları Bölüm 3: Priz süresi ve genleşme tayini*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
- [21] Erdoğan E, Erdoğan Y, Gencil O, Targan S, Avciata U. 2012. Influence of Colemanite Admixture on Portland Cement Durability, *Advances in Cement Research*, Cilt. 24, No. 3, s.155-164.

- [22] Pehlivanoglu HE, Davraz M, Kılınçarslan Ş. 2013. Bor Bileşiklerinin Çimento Priz Süresine Etkisi ve Denetlenilebilirliği, *SDU International Technologic Science*, Cilt. 5, No. 3, s.39-48.
- [23] Davraz M. 2010. The Effects of Boron Compounds on the Properties of Cementitious Composites, *Science and Engineering of Composite Materials*, Cilt. 17, No. 1, s.1-17
- [24] Mutuk T, Mesci B. 2014. Analysis of Mechanical Properties of Cement Containing Boron Waste and Rice Husk Ash Using Full Factorial Design, *Journal of Cleaner Production*, Cilt. 69, s.128-132.
- [25] Targan Ş, Olgun A, Erdoğan Y, Sevinç V. 2002. Effect of Supplementary Cementing Materials on the Properties of Cement and Concrete, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 32, s.1551-1558.
- [26] Ustabaş I. 2011. Kolemanit ve Üleksitin Çimentoda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Hazır Beton Kongresi Bildirileri*, No. 417501, s.367-375.
- [27] Targan Ş, Olgun A, Erdoğan Y, Sevinç V. 2003. Influence of Natural Pozzolan, Colemanite Ore Waste, Bottom Ash and Fly Ash on the Properties of Portland Cement, *Cement and Concrete Research*, Cilt. 33, s.1175-1182.
- [28] Erdoğan E. 2006. Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.239.
- [29] Olgun A, Kavas T, Erdoğan Y, Önce G. 2007. Physico-Chemical Characteristics of Chemically Activated Cement Containing Boron, *Building and Environment*, Cilt. 42, s.2384-2395.