

## Kalsine Edilmiş Bor Atığının Puzolanik Aktivite Potansiyelinin Belirlenmesi

Emrah TURAN<sup>1\*</sup> ve Meral OLTULU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Türkiye

\*(emrah.turan@atauni.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

(Geliş Tarihi: 29 Temmuz 2023, Kabul Tarihi: 09 Ağustos 2023)

(1st International Conference on Modern and Advanced Research ICMAR 2023, July 29-31, 2023)

**ATIF/REFERENCE:** Turan, E. & Oltulu, M. (2023). Kalsine Edilmiş Bor Atığının Puzolanik Aktivite Potansiyelinin Belirlenmesi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(7), 105-108.

**Özet** – Bor üretimi sonucu çevresel açıdan olumsuz etki potansiyeli taşıyan bor atıklarının bertaraf edilmesi veya kullanılabilir bir ürüne dönüştürülmesi, sürdürülebilir çevre yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu işlemler hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanmasında hem de atıkların ekonomiye kazandırılmasında önemli bir adımı oluşturmaktadır. Bu çalışmada, bor atıklarının kalsinasyon işlemi sonrasında harç numuneler üzerindeki etkisine odaklanılmıştır. Kalsinasyon işleminin etkinliğini tespit etmek için farklı sıcaklık (500 °C, 600 °C ve 700 °C) ve sürelerde (1, 2 ve 3 saat) kalsine edilen bor atığı, daha sonra puzolanik aktivite deneyine tabi tutulmuştur. Belirtilen parametreler için elde edilen deney sonuçlarına göre çimento esaslı harç numunelerinde priz geciktirme etkisinin yanı sıra basınç dayanımında da düşüslere neden olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, kalsine edilmiş bor atıklarının erken dönemde çimento harcıyla tamamen uyumlu olmadığını göstermektedir

**Anahtar Kelimeler** – Bor Atığı, Kalsinasyon, Basınç Dayanımı, Puzolanik Aktivite

### I. GİRİŞ

Günümüzde, çevresel sürdürülebilirlik, inşaat sektörünün temel önceliklerinden biri haline gelmiştir. Yapı malzemeleri üretimindeki artan talep, doğal kaynakların hızla tükenmesine ve çevresel etkilerin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, literatürdeki çalışmalar çevre dostu ve yenilikçi çözümler arayarak, atıkları geri dönüştürme ve yeniden kullanma yöntemlerini geliştirmeye odaklanmışlardır. Bu bağlamda, bor endüstrisi, çeşitli uygulamalardan kaynaklanan önemli miktarda bor atığı oluşturan bir sektördür. Bor atığı, doğal olarak yüksek alkali özelliklere sahip olabilir, bu da çevresel olarak zararlı etkiler doğurabilir ve uygun bir bertaraf yöntemi gerektirir. Ancak, son yıllarda yapılan araştırmalar, bu bor

atığının potansiyel bir yapı malzemesi olarak kullanılması fikrini ortaya atmıştır [1–7].

Literatürdeki çalışmalarda Seydişehir kırmızı çamuru ve Kırka bor atığı killerin farklı oranlarda karıştırılarak yüksek dayanımlı ve düşük su emmeli kaliteli tuğlalar üretildiği gösterilmiştir [8]. Bor atığının tuğla üretiminde kullanılabilirliği %15'e kadar araştırılmış ve bor atığı katkısının tuğla pişme sıcaklığında önemli bir düşüşe ve mekanik performansta artışa neden olduğu görülmüştür [9]. Ayrıca, bor içeren kil atıklarının çimento üretiminde %10'a kadar katkı maddesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [10]. Başka bir araştırmada, atık kalsine tıncal kullanılarak çevre dostu bir sıva malzemesi geliştirilmiştir ve ısı geçirgenlik direnci ile mukavemet değeri artışı

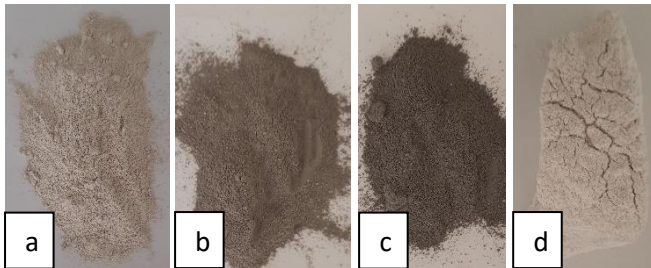
sağlanmıştır [11]. Bor mineralinin çimento hidratasyonu üzerindeki etki mekanizması incelenmiş ve bor bileşiğinin hidratasyonu yavaşlattığı ve priz süresini uzattığı belirtilmiştir [12]. Ayrıca, bor atıkları, çimento klinkerine eklenerek çimento harcının özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmış ve %3 borojips kullanımının optimum değer olarak belirlenmiştir [13]. 600°C'de ısı işlem görmüş %25'e kadar bor atığının çimento harcı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Referans harç 51 MPa iken %5 bor atığı kullanımında 90 günlük basınç dayanımı 52 MPa olarak bulunmuştur. Bor atığı arttıkça basınç dayanımı azalmıştır. Ancak test sonuçlarına göre çimento harcı üretiminde %25'e kadar bor atığı kullanılabilir [14].

Sonuç olarak, bor ve bor atıklarının çimento ve yapı malzemeleri üretiminde çeşitli alanlarda kullanılabilirliği ve potansiyeli oldukça dikkat çekicidir. Bu atıkların çevre dostu ve ekonomik olarak değerlendirilebileceği ve yapı malzemeleri endüstrisi için önemli bir alternatif olabileceği dikkat çekmiştir. Literatür incelendiğinde özellikle farklı sıcaklıklarda farklı bekleme sürelerinde bu atık malzemenin davranışını belirlemek amacıyla yapılacak çalışmalara daha fazla ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu amaçla, bor atığının 500°C, 600°C ve 700°C sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat süreyle kalsine edilerek puzolanik aktivitesi belirlenmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Materyal

Bor endüstrisinden kaynaklanan atık malzeme, X Bölgesi'nde bulunan bir bor üretim tesisinden temin edilmiştir. Bor atığı, çeşitli proseslerden elde edilen doğal bor mineralinin atık ürünüdür ve içerdiği bor bileşikleri nedeniyle yüksek alkali özelliklere sahiptir. Atık, Eti Maden Kırka Bor işletmesinden temin edilmiştir.



Şekil 1. Bor atığı (a), 500 °C (b), 600°C (c) ve 700°C (d) kalsine edilmiş bor atığı

Bu çalışmada, ticari olarak mevcut bir portland çimentosu (CEM I 42.5R) kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimento kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	%
SiO <sub>2</sub>	19,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,04
CaO	63,08
MgO	1,78
SO <sub>3</sub>	2,89
Cl <sup>-</sup>	0,0116
Eşdeğer alkali (Na <sub>2</sub> O cinsinden)	0,76
Kızdırma Kaybı	3,93
Çözünmeyen Kalıntı	0,98

Kum TS EN 196-1 standardına uygun norm kumu kullanılmıştır. Deneylerde, içme suyu kullanılmıştır.

### B. Yöntem

Bor atığı, laboratuvar fırınında 500°C, 600°C ve 700°C sıcaklıkta 1, 2 ve 3 saat boyunca kalsine edilmiştir. Kalsinasyon işlemi, bor atığının fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmeye yönelik bir ön işlemdir.

Tablo 2. Kalsine edilen bor atığı grupların kodlaması

Kodlama	Sıcaklık, °C	Süre, saat
BW-5-1	500	1
BW-5-2	500	2
BW-5-3	500	3
BW-6-1	600	1
BW-6-2	600	2
BW-6-3	600	3
BW-7-1	700	1
BW-7-2	700	2
BW-7-3	700	3

Deneyler için farklı oranlarda kalsine edilmiş bor atığı kullanılarak TS EN 197-1 dikkate alınarak harç karışımları hazırlanmıştır. Şekil 2'de verilen mikser kullanılarak 1 dk önce kuru malzemeler daha sonra suyun yarısı karıştırılarak 1 dk ve son olarak diğer su eklenerek 1 dk karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmiştir.



Şekil 2. Mikser

Numuneler, 50x50x50 mm boyutlarında küp dökülmüş ve 24 saat boyunca kalıpta bekletilmiştir. Ardından, deney numuneleri 28. günde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

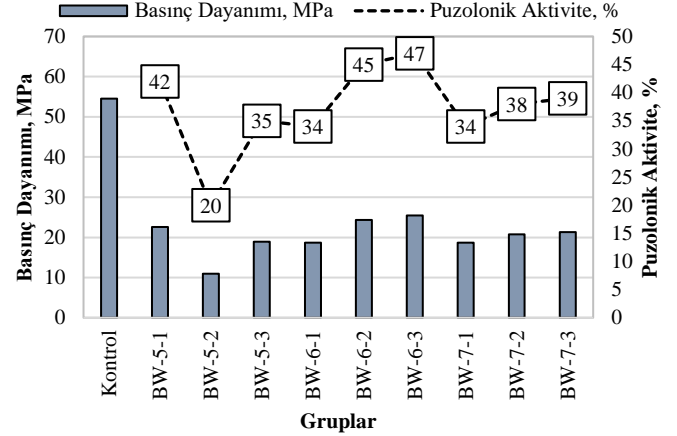
### III. BULGULAR

Deneyler sonucunda elde edilen basınç dayanımları ve puzolanik aktivite değerleri Tablo3 ve Şekil 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Puzolanik deney sonuçları

Gruplar	Basınç Dayanımı	Puzolanik aktivite
Kontrol	54,5	-
BW-5-1	22,62	42
BW-5-2	10,96	20
BW-5-3	18,94	35
BW-6-1	18,66	34
BW-6-2	24,36	45
BW-6-3	25,43	47
BW-7-1	18,72	34
BW-7-2	20,77	38
BW-7-3	21,35	39

Kalsine edilmiş bor atığı, katkı maddesi olarak kullanıldığında, basınç dayanımını azaltmıştır. 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonucunda, kalsine edilmiş bor atığı içeren numunelerin kontrol numunelerine göre düşük dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Puzolanik aktivite %20 ile %47 arasında değerler aldığı, en düşük puzolanik aktivite değerinin BW-5-2 grubunda %20 ile en yüksek puzolanik aktivite %47 oranında BW-6-3 grubunda görülmüştür.



Şekil 3. Puzolanik deney sonuçları

Kalsinasyon işlemi sonucunda, bor atığının fiziksel ve kimyasal özelliklerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Kalsine edilmiş bor atığı, TS EN 197-1 standartına göre puzolanik şartını karşılamadığı tespit edilmiştir.

### IV. TARTIŞMA

Kalsine edilmiş bor atığının yapı malzemelerinde kullanımı, çevresel açıdan da önemli avantajlar sunmaktadır. Bor atığının geri dönüşümü ve yeniden kullanımı, atık bertarafı için alternatif ve çevre dostu bir çözüm sağlamaktadır. Bu da, inşaat sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunma potansiyeline sahip önemli bir bulgu olarak değerlendirilmelidir.

Bununla birlikte, kalsine edilmiş bor atığının optimum oranlarının belirlenmesi ve yapı malzemeleri performansını en üst düzeye çıkaracak en uygun katkı miktarlarının tespit edilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, kalsine edilmiş bor atığının diğer yapı malzemeleriyle olan etkileşimleri ve uzun dönemli performansı üzerine daha kapsamlı analizler yapılmalıdır.

### V. SONUÇLAR

Bu çalışma, kalsine edilmiş bor atığının beton üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmasının etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kalsine edilmiş bor atığı, potansiyel bir puzolanik katkı maddesi olarak değerlendirilmiştir ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleriyle değerlendirilmiştir.

- Elde edilen sonuçlar, kalsine edilmiş bor atığının betonun basınç dayanımını azalttığını göstermiştir. Kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında, kalsine edilmiş bor

atığı içeren numunelerin daha düşük dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, kullanılan kalsine edilmiş bor atığının betonun mekanik performansını olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

- Puzolanik aktivite sonuçları da dikkate alındığında, kalsine edilmiş bor atığının farklı bileşimlerinin farklı puzolanik aktivite değerleri gösterdiği gözlemlenmiştir. En düşük puzolanik aktivite değeri BW-5-2 grubunda %20 iken, en yüksek puzolanik aktivite oranı %47 ile BW-6-3 grubunda elde edilmiştir. Bu sonuçlar, kalsine edilmiş bor atığının bileşimi ve özelliklerinin, betonun mekanik özellikleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığını vurgulamaktadır.

Bu sonuçlara ilaveten farklı bor atıklarının kalsine edilmesi sonucu elde edilen malzemelerin de puzolanik aktivite analizleri yapılarak bor atıklarının farklı alanlarda kullanımı ile daha detaylı bilgiler elde edileceğinden sonraki çalışmalarda kalsine edilmiş farklı bor atıklarının araştırılmasına çevresel ve ekonomik yönden ihtiyaç duyulmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] T. Kütük-Sert, S. Kütük, Physical and Marshall Properties of Borogypsum Used as Filler Aggregate in Asphalt Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*. 25 (2013) 266–273. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000580](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000580).
- [2] Y.Y. Çelen, A. Evcin, I. Akkurt, N. Bezir, K. Günoğlu, N. Kutu, Evaluation of boron waste and barite against radiation, *International Journal of Environmental Science and Technology*. 16 (2019) 5267–5274. <https://doi.org/10.1007/S13762-019-02333-3>.
- [3] M.M.S. Mohd Sabe, Z. Itam, S. Beddu, N.M. Zahari, N.L. Mohd Kamal, D. Mohamad, N.A. Zulkepli, M.D. Shafiq, Z.A. Abdul Hamid, Flame Retardant Coatings: Additives, Binders, and Fillers, *Polymers (Basel)*. 14 (2022). <https://doi.org/10.3390/POLYM14142911>.
- [4] M. Ozturk, U.K. Sevim, O. Akgol, E. Unal, M. Karaaslan, Investigation of the mechanic, electromagnetic characteristics and shielding effectiveness of concrete with boron ores and boron containing wastes, *Constr Build Mater*. 252 (2020). <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119058>.
- [5] A. Kilicarslan, Y. Kurttepe, M.N. Saridede, Using of boron wastes in red brick production, *Adv Mat Res*. 699 (2013) 223–227. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/A MR.699.223>.
- [6] U.K. Sevim, M. Ozturk, S. Onturk, M. Balcikanli Bankir, Utilization of boron waste borogypsum in mortar, *Journal of Building Engineering*. 22 (2019) 496–503. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.01.015>.
- [7] C. Gürer, G.Ş. Selman, Investigation of properties of asphalt concrete containing boron waste as mineral filler, *Medziagotyra*. 22 (2016) 118–125. <https://doi.org/10.5755/J01.MS.22.1.12596>.
- [8] T. Kavas, Ö. Emrulloğlu, Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıklarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı, I. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. (1999) 216–225.
- [9] T. Kavas, Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick, *Build Environ*. 41 (2006) 1779–1783. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2005.07.019>.
- [10] M. Özdemir, N.U. Öztürk, Utilization of clay wastes containing boron as cement additives, *Cem Concr Res*. 33 (2003) 1659–1661. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00138-8).
- [11] T. Batar, N.S. Köksal, Atık Bor, Atık Kâğıt ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu., *Ekoloji Dergisi*. 18 (2009).
- [12] M. Davraz, The effects of boron compounds on the properties of cementitious composites, *Science and Engineering of Composite Materials*. 17 (2010) 1–17. <https://doi.org/10.1515/SECM.2010.17.1.1>.
- [13] S. Eyyüboğlu, Kolemanit konsantratör atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [14] D. Över Kaman, L. Köroğlu, E. Ayas, Y. Güney, The effect of heat-treated boron derivative waste at 600 °C on the mechanical and microstructural properties of cement mortar, *Constr Build Mater*. 154 (2017) 743–751. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.209>.