

Makale Gönderim Tarihi: 20.11.2021

Yayına Kabul Tarihi: 29.12.2021

Şekillendirilmiş Hafif Agregalı Duvar Elemanı Üretimi ve Fiziko-mekanik Özellikleri

Production and Physicomechanical Properties of Shaped Light Aggregate Wall Elements

* Atila Gürhan ÇELİK¹, İbrahim GÜNEŞ¹, Kadir AKGÖL¹, Eren KÖMÜRLÜ¹, Hayri Metin NUMANOĞLU¹

¹ Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun/Türkiye

* Sorumlu yazar, e-mail: atila.celik@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4659-0571

Özet

Bu çalışmada, duvar dolgu elemanı üretiminde ana hammadde geliştirilmiş kil karışımına bağlayıcı olarak bor katkısı ile daha hafif, yüksek mukavemette ürün elde edilmesi ve inşaat sektörüne yeni bir ürün kazandırılması hedeflenmiştir. Genleştirilmiş kil ve bor (Na₂B₄O₇·10H₂O) içeren katkıları kullanılarak farklı karışımlar hazırlanmıştır. Bağlayıcı olarak bor(tinkal) kullanılmıştır. Karışım optimize edilmiş ve 5x10x20cm ebadında kalıp ile şekillendirilmiştir. Bu karışım 600-800oC aralığında pişirilerek teknik özellikleri belirlenmiştir. Duvar elemanları üzerinde fiziksel, mekanik ve teknolojik deneyler yapılmıştır. Üretilen duvar elemanında çimento kullanılmaması ile hem maliyet azaltılmış hem de düşük yoğunlukta hafif ve depreme dayanıklı bir ürün geliştirilmiştir. Bor kullanılması ile enerji tasarrufu, ülke ekonomisine katkı, çevreyi koruma ve doğal kaynakların daha verimli kullanılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş Kil, Bor, Duvar Elemanı, Sinterleme, Karakterizasyon, XRD, SEM.

Abstract

In this study, it is aimed to obtain a lighter, high-strength product with the addition of boron as a binder to the main raw material expanded clay mixture in the production of wall fillers, and to bring a new product to the construction sector. Different mixes were prepared by using additives containing expanded clay and boron (Na₂B₄O₇·10H₂O). Boron (tincal) was used as a binder. The mixture was optimized and shaped with a 5x10x20cm mold. This mixture was heated at 600-800oC and its technical properties were determined. Physical, mechanical and technological experiments were carried out on the wall elements. By not using cement in the produced wall element, both the cost is reduced and a light and earthquake-resistant product with low density has been developed. With the use of boron, energy-saving, contribution to the country's economy, environmental protection and more efficient use of natural resources have been achieved.

Keywords: Expanded Clay, Boron, Wall Element, Sintering, Characterization, XRD, SEM.

1. Giriş

Türkiye’de bulunan bor tesislerinde Emet’te Ca boratlardan Kolemanit ve Üleksit, Kırka’da ise Na boratlarda Boraks(Tinkal) minerali üretilmektedir. Beton, hafif beton ve tuğla gibi yapı malzemelerinin üretiminde bor mineralleri kullanılarak çalışmalar yapılmış olup çoğunlukla olumlu sonuçlara ulaşılmıştır[1,2-3]. Yapılan çalışmaların ortak özelliği bor katkılı numunelerin kontrol numunelerine göre mukavemetinin %5-10 arttığı ve birim hacim ağırlığının %10-20 azaldığı ifade edilmiştir. Ayrıca, bor atıklarının % 5-30 arasında kil tuğlaya katılması ile numuneler üretilmiştir. İlgili çalışmaların sonucunda %5-10 bor atığı katkısının mukavemet bakımından olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir [4]. Benzer çalışmalarda ana hammaddenin pomza ve bağlayıcı olarak bor kullanımı ile üretilen tuğlaların üstün özellikleri bakımından inşaat sektöründe kullanılabileceği belirlenmiştir [5-7].

Pomza taşı, volkanik tüf ve volkanik cüruf ülkemizde yaygın olarak kullanılan hafif agregalardır. Özellikle pomza taşının, Orta ve Doğu Anadolu’da oldukça büyük rezervleri olduğu bilinmektedir [8,9]. Ancak doğal hafif agregalarla taşıyıcı malzeme üretimi yüksek oranda çimento kullanımı gerektirmektedir. Bu durum maliyet artışına ve betonda segregasyon problemlerine neden olmaktadır [10]. Daha az çimento miktarı ile daha yüksek dayanımlı beton üretimine imkân sağlayan yapay agregaların üretimi ülkemizde henüz yapılamamaktadır. Genleştirilmiş kil agregası (GK) birçok ülkede üretilmekte ve yapay agrega olarak kullanılmaktadır. GK’nın dayanımı pomza, volkanik tüf ve cüruf gibi doğal agregalara göre oldukça yüksektir [11]. Ancak, duvar elemanı üretiminde genleştirilmiş kil ile birlikte bağlayıcı olarak bor türevlerinin kullanıldığı bir araştırmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışma kapsamında, duvar dolgu elemanı üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun ürünü ağırlaştırdığı, fiziksel ve kimyasal özelliklerini (ses, ısı iletimi vb.) kötüleştirdiği belirlenmiştir. Bu amaçla, çimento yerine bağlayıcı olarak bor minerali ile birlikte ana hammadde genleştirilmiş kil (GK) kullanarak tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Bor minerali genleştirilmiş kil agregası bünyesine %3-12 oranlarında katılarak kullanılmıştır. Sonuçlar optimize edilerek nihai ürünlere ulaşılmıştır. Ayrıca, elde edilen ürünlerin XRD, SEM analizleri yapılarak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Duvar dolgu elemanı üretiminde ana hammadde olarak genleştirilmiş kil agregası(GK) kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan kil, Ankara-Kalecik bölgesinden temin edilmiştir. Çalışmalarda tane iriliği 0-4 mm olan GK agregası kullanılmıştır. Çalışmada, doğal bağlayıcı olarak Kırka Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen ve tane iriliği 75 mikrometreye kadar öğütülmüş tinkal($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri Çizelge 1, 2 ve 3’de verilmiştir.

Çizelge 1. Genleştirilmiş kil mineralinin kimyasal analizi.

GK	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO+MGO	Diğer
(%)	56,11	18,16	0,98	3,73	6,89	5,58	6,0

Çizelge 2. Tinkal minerali kimyasal analizi.

Kimyasal İçerik	
B ₂ O ₃	% 36,47 min
Na ₂ O	% 16,24 min
SO ₄	135 ppm max
Cl	70 ppm max
Fe	15 ppm max
A.Za.	% 46,77

Ayrıca çalışmalarda ön bağlayıcı olarak kullanılan malzemelerden birisi de karboksimetilselüloz (CMC) dır. Hafif yapı malzemesi üretiminde CMC üretilen malzemenin pres sonrası ayakta durabilmesi amacıyla kullanılmış olup özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Karboksimetilselüloz (CMC) analizi

Kimyasal İçerik(Toz Malzeme)		
Analizler	Min. Değer	Max. Değer
Nem, (%)	6	10
Aktif Madde Oranı, (%)	60	65
NaCl+Sodyum Silikat,%)	35	40
Viskozite, %2, 25 °C	100 cP	200 cP
pH, %1’lik	7,5	10,5

2.2. Metod

Duvar dolgu elemanı imalatında ana hammadde için 4 mm altı GK kullanılmıştır. Buna göre yapılan çalışmalarda B₂O₃ oranı (2-4) olacak şekilde Tinkalden %3,6, 9-12 katılarak kuru karışım hazırlanmıştır. Optimum karışım her bir numune için 700 g kuru karışım olacak şekilde karıştırıcıda 15dk karıştırılmıştır. Kuru karışımın %20’si kadar su ve %1’i kadar CMC (karboksimetilselüloz) katılarak dört farklı reçetede karışım elde edilmiş ve 5x10x20cm kalıpta preslenmiştir (Çizelge 4). Presleme sonucu basılan elemanlar 12 saat boyunca etüvde kurutulmuş ve 750°C sıcaklıkta 10 dk süre ile pişirilerek üretilmiştir(Şekil 1).



Şekil 1. Duvar dolgu elemanı üretimi

3. Deneysel Sonuçlar

3.1. Fizikomekanik Deneyler

Çalışma kapsamında; tinkal katkısı ile üretilen duvar dolgu elemanlarının 5 farklı reçetede fizikomekanik (basınç dayanımı, birimi hacim ağırlık, ısı iletkenlik katsayısı, porozite, su emme vb.) özelliklerini belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır (Çizelge 5). Ayrıca, analizler ile doğal bağlayıcı olarak bor katkısının etkisi araştırılmıştır. Her bir deneyde 10 adet numune kullanılmış ve aritmetik ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Deneyler TS 1477 EN ISO 266[12] ve TSE EN 771-1[13] standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 5. Tuğla mekanik ve fiziksel özellikleri.

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	BHA (kg/m ³)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Su Emme (%)	Porozite (%)
Kontrol	1,12±0,06	682±0,02	0,1970±0,06	37,7±0,20	38,5±0,19
A1	2,78±0,04	698±0,01	0,1975±0,11	32,5±0,19	34,1±0,22
A2	3,06±0,01	709±0,05	0,1881±0,09	29,8±0,23	31,7±0,33
A3	3,20±0,05	716±0,04	0,1804±0,05	26,1±0,33	29,9±0,19
A4	2,94±0,07	730±0,02	0,1772±0,12	33,2±0,25	33,8±0,24

Deney sonuçlarına göre A3 numaralı karışımlardan üretilen elemanların basınç mukavemeti değerleri en iyi sonuçları vermiştir (3,2 MPa). Bununla birlikte ısı iletim katsayısı, su emme ve porozite değerlerine göre en iyi sonuçlar yine A3 numaralı reçetelerden elde edilmiştir.

Isı iletkenlik katsayısı bakımından en düşük değer A4 numunelerinde (0,1772 W/mK) elde edilmiştir. Bor katkı miktarı arttıkça ısı iletkenlik değeri doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu durum bor katkısının duvar elemanı bünyesindeki gözenekliliği arttırdığı şeklinde değerlendirilmektedir. Su emme ve porozite deney sonuçlarına göre A3 numaralı karışımlar en iyi sonuçları(%26,1-%29,9) vermiştir. Çalışmaların bundan sonraki aşaması ve teknoloji deneyleri en iyi sonuçların belirlendiği A3 kodlu karışımlardan elde edilen duvar elemanı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.2. Kimyasal Analizler

Çalışma kapsamında; kontrol ve tinkal ile üretilen tuğlalarda kimyasal analizler, XRD ve SEM gibi teknolojik deneyler gerçekleştirilmiştir. Üretilen duvar elemanlarının pişme sonrası kimyasal bileşim oranları XRF analizi yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup değerler Çizelge 6'da sunulmuştur.

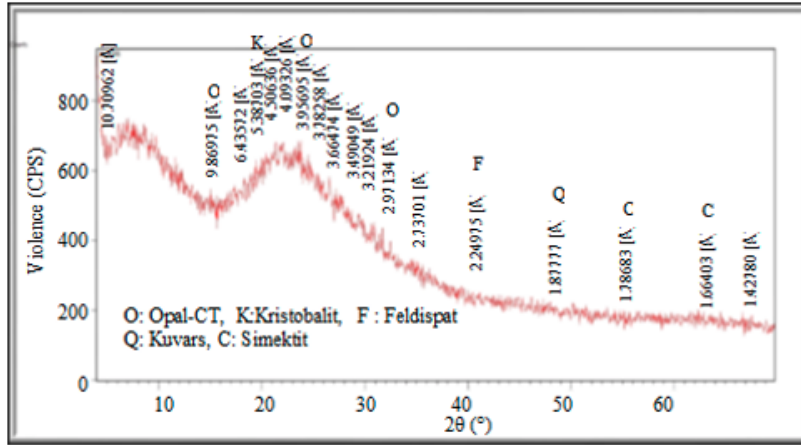
Tablo 6. Duvar elemanları kimyasal analizi

Numune	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	B ₂ O ₃ (%)	CaO+MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	A.Za (%)
A3	57,6	19,1	3,1	3,7	1,8	4,7	5,0	2,15
Kontrol	60,8	15,5	-	1,6	1,5	4,5	6,4	5,35

Kimyasal analiz sonucunda, tuğla yapımında taneler arası bağ oluşturarak mukavemet artışı sağlayan Al_2O_3 (>10) varlığı görülmektedir. Ayrıca yapılan analizlerde tüm malzemelerde SiO_2 içeriğinin %55-62 arasında olduğu belirlenmiştir. Deneylerde üretilen A3 numaralı ürünlerin bor içeriği (%3,1 B_2O_3) bulunmuştur.

3.3. XRD Analizi

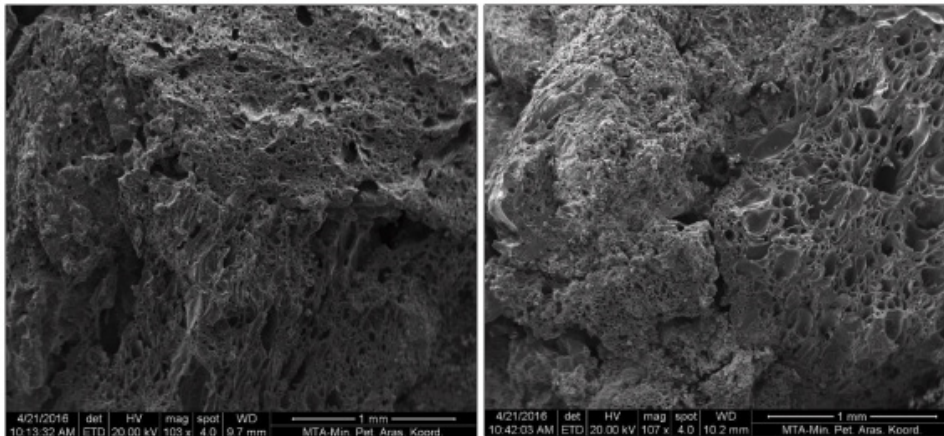
Duvar dolgu elemanlarının XRD analizleri Şekil 2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda elemanlarda amorf bir yapı bulunmuştur. A3 kodlu numunelerde az miktarlarda kristobalit ve feldspat grubu mineraller belirlenmiştir. Ayrıca A3 kodlu duvar elemanlarında kristobalit ve feldspat grubu minerallerin yanında, kuvars ve kil grubu mineraller görülmüştür. Bulunan kil grubu simektit mineralidir.



Şekil 2. A3 kodlu duvar elemanlarının XRD analizi.

3.4. SEM Analizi

Tuğla üzerinde SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizleri yapılmıştır. SEM analizleri, numuneler gümüşle kaplandıktan sonra FEI Quanta 400 MK2 model taramalı elektron mikroskop altında toplam 11 adet ikincil elektron dedektör SE (görüntü analiz sistemi) ile incelenerek görüntüsü alınmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Duvar elemanı SEM görüntüsü: a)kontrol, b)tincal katkılı(A3)

SEM görüntülerine göre; Tinkal katkılı üretilen elemanlar kontrol numunesine göre en homojen yapıyı göstermektedir. Duvar elemanı yapısını tinkal katkısı gözenekli hale getirmekte ve ısı iletim değerini iyileştirmektedir. Bu durum önceki çalışmalarla da desteklenmektedir[6,7].

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Ana hammadde genişletilmiş kil, doğal bağlayıcı olarak Bor (tinkal) katılarak 5 ayrı reçetede üretilen tuğlaların fizikomekanik ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Bu reçeteler içinde kontrol ve tinkal katkılı olarak üretilen tuğlaların özellikleri belirlenmiş olup en iyi mukavemet ve en düşük birim hacim ağırlık değerini veren aralık tespit edilmiştir.

- Genleştirilmiş kil ve bor katkılı (A3) üretilen elemanların mukavemet değerleri (3,2 MPa) en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca, bor katkılı elemanların birim hacim ağırlık değerleri (716 kg/m³) oldukça düşüktür.
- Duvar elemanı üretiminde bağlayıcı katkı miktarı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlık değerleri artmakta, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Bununla birlikte ısı iletim katsayısı, su emme ve porozite değerlerine göre en iyi sonuçlar yine A3 reçeteli tuğlalardan elde edilmiştir.
- Isıl iletkenlik değeri bakımından en düşük değer katkısız kontrol numunelerinden (0,1970 W/mK) elde edilmiştir. Bor katkısı ısı iletkenlik değerini iyileştirmektedir.
- XRD analizinde A3 kodlu duvar elemanlarında kristobalit ve feldspat grubu minerallerin yanında, kuvars ve kil grubu mineraller görülmüştür. Bulunan kil grubu simektit mineralidir.
- SEM görüntülerine göre; bor katkılı üretilen elemanlar en homojen yapıyı göstermektedir.
- Bu yöntemle benzer ürünlerde karşılaşılan üretim sorunlarının (çimento ve kimyasal kullanımı, stoklama, üretim verimi, kapasite artışı..vb) giderilebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, genişletilmiş kil ile üretilen duvar elemanlarının sektörde kullanılan benzer ürünlere kıyasla üstün özelliklerinin olduğu belirlenmiştir.
- Hafif yapı malzemeleri, bina yükünü önemli oranda azaltmaktadır (%6 civarında). Büyük deprem riski taşıyan ülkemizde bu alanda yapılan çalışmaların ve verilen desteklerin artması oldukça önemlidir.

Teşekkür

Gerçekleştirilen bu çalışma, Giresun Üniversitesi, FEN-BAP-A-250221-18 no'lu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Giresun Üniversitesi'ne ve Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Çelik A.G., Bor Katkılı Perlit Karışımlardan Hafif Tuğla Üretimi ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, 317 s., Adana 2010.
- [2] Uslu T, Arol A İ. Use of waste as an additive in red bricks. *Waste Manage*;24:217–20 (6) 2004.
- [3] Yamık, A., Uçar, A., Demir, U., Şahbaz, U., Bor Atığının Tuğla Sanayinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 2. Uluslar Arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, s; 419-421 2004.
- [4] Kavas, T., Use of Boron Waste as a Fluxing Agent in Production of Red Mud Brick, *Building and Environment*, Vol.41, pp.1779-1783 2006.
- [5] Celik A. G., Cakal G.Ö, Characterization of Espey Colemanite and Variation of Its Physical Properties with Temperature," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52(1), 66–76 pp., 2016.
- [6] Celik A.G, Depci T, Kılıç A. M, New Lightweight Colemanite-Added Perlite Brick and Comparison of Its Physicomechanical Properties with Other Commercial Lightweight Materials ", *Construction and Building Materials*, "62", 59-66 pp., 2014.
- [7] Celik A. G, Investigation on Characteristic Properties of Potassium Borate and Sodium Borate Blended Perlite Bricks , *Journal of Cleaner Product.*, "102", 88-95 pp., 2015.
- [8] Sancak, E., Şimşek, O., "Effect of high temperature on the lightweight structural pumice aggregate concrete with silica fume" 7th International Congress Concrete: Construction's Sustainable Option, *Concrete Fire Engineering Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 3, 2009* 567 Section, pp.89-102, Dundee, Scotland, July 8-10, 2008.
- [9] Mouli M., Khelafi H., "Performance characteristics of lightweight aggregate concrete containing natural pozzolan", *Building and Environment*, 43, 31–36, 2008.
- [10] Al-Khaiat, H., Haque, M.N., "Effect of Initial Curing on Early Strength and Physical Properties of Lightweight Concrete", *Cement And Concrete Research*, No. 28, 859-866, 1998. 12.
- [11] Lo T. Y., Tang W. C., Cui H. Z., "The effects of aggregate properties on lightweight concrete" *Building and Environment*, 42, 3025–3029, 2007.
- [12] TS 1477 EN ISO 266, 2000. Akustik- Tercih Edilen Frekanslar, TSE, Ankara.
- [13] TS EN 771-1, Kâgir birimler-Özellikler-Bölüm1:Kil kâgir birimler (tuğlalar), 2005