

ATIK KİL PESTİLİ VE ATIK PET ŞİŞE KIRIKLARININ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Semiha AKÇAÖZOĞLU^{*1}, Kubilay AKÇAÖZOĞLU²

¹Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye
²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye

Geliş / Received: 02.06.2016

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 29.06.2016

Kabul / Accepted: 30.06.2016

ÖZ

Bu çalışmada Kütahya Emet Kolemanit Borik Asit İşletmesinde bor üretimi sırasında ortaya çıkan ve “kil pestili” olarak adlandırılan katı atıklar ve İskenderun Demir Çelik Fabrikası’nın atığı olan öğütülmemiş cüruf agregalar, atık PET şişe kırıkları çeşitli oranlarda karıştırılarak kompozit bir malzeme üretimi amaçlanmıştır. Sadece atık PET kırıkları içeren şahit karışım, dere kumu agregalı 4 karışım, cüruf agregalı 4 karışım ve kil pestili agregalı 4 karışım olmak üzere toplam 13 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışımlarda agregalar, atık PET şişe kırıkları ile ağırlıkça % 20, 40, 60 ve 80 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Karışımlar 70x70x70 mm boyutlarında kalıplara dökülerek 300°C sıcaklıktaki fırında 140 dakika süreyle ısıtılarak küp numuneler elde edilmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen birim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda, cüruf agreganın ve atık kil pestilinin kompozit yapı malzemesi üretimi amacıyla % 40-60 oranları arasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bor üretimi sırasında ortaya çıkan atık kil pestilinin ve demir çelik fabrikası atığı olan cürufların atık PET’lerle karıştırılarak geri dönüşümlü kompozit üretiminde değerlendirilmesinin; sözü edilen atıkların depolanma sorunun ortadan kaldırılması ve çevresel zararların azaltılmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bor, kil pestili, cüruf agrega, atık PET, basınç dayanımı

EVALUATION OF WASTE BORON CLAYS AND PET BOTTLE FRACTURES IN COMPOSITE MATERYAL PRODUCTION

ABSTRACT

In this study, a composite material production was aimed by mixing solid wastes at various rates such as clay pulp which is formed during boron production in Kütahya Emet Colemanite Boric Acid Plant, unground slag aggregates obtained from Iskenderun Steel Factory and waste PET bottles granules. Thirteen different mixtures were prepared (the control mixtures containing only waste PET granules, four natural sand aggregate mixtures, four unground slag aggregate mixtures and four clay pulp aggregate mixtures). Aggregates were replaced with waste PET granules, in amount of 20, 40, 60 and 80% by weight. The mixtures were placed into molds of 70x70x70 mm in size and fired for 140 minutes at 300 °C. It was concluded as a result of unit weight and compressive strength tests performed on the specimens, unground slag aggregate and waste clay pulp has the potential to be used in the production of composite material on the ratios between 40-60%. Evaluation of waste clay pulp formed during boron production and unground slag obtained from iron and steel plants by mixing with waste PET to produce recycled composite materials; can contribute to elimination the storage problem of mentioned wastes and reduction of environmental damages.

Keywords: Boron, clay pulp, slag aggregate, waste PET, compressive strength

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 533 642 19 91; e-mail/e-posta: sakcaozoglu@nigde.edu.tr

1. GİRİŞ

Son yıllarda, yapı imalat süreçlerinde doğal kaynak kullanımını azaltmak amacıyla, atık malzemelerin alternatif kullanım alanlarında değerlendirilmesi konusu dünyada ve ülkemizde önem kazanmıştır. Atık malzemelerin yapı sektörünün farklı alanlarında kullanılması ile öncelikle doğal kaynakların hızlı tüketiminin önlenmesi, büyük miktarda atık malzemenin geri dönüşümünün sağlanması ve atıkların sebep olduğu çevre problemlerine çözüm getirilmesi amaçlanmaktadır.

Dünyadaki bor yataklarının % 72'si ülkemizde bulunmaktadır [1]. Büyük stratejik öneme sahip doğal bir kaynak olan bor cevherlerinin verimli şekilde üretimi ve açığa çıkan atıklarının da etkili şekilde değerlendirilmesi ülkemiz açısından önem taşımaktadır. Bor tesislerinde cevherin zenginleştirilmesi işlemi sırasında kil pestili, slam gibi atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Her yıl milyonlarca ton civarında ortaya çıkan bu atık malzemeler genellikle tesislerin yakınında oluşturulan katı ve sıvı atık depolama alanlarında depolanmaktadır [2, 3]. Bor üretimi sırasında ortaya çıkan bu atıkların biriktirilmesi sonucunda, özellikle toprak ve su kirliliği sorunu ortaya çıkmaktadır [4].

Maden yataklarının yakınına depolanan ya da akarsu ve denizlere boşaltılan bu maddelerin değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır [5]. Bor atıklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar içinde, öncelikle bor atıklarının tekrar kazanılmasının veya geriye kalan kil içerikli minerallerin uygun sektörlerde kullanılabilir hale getirilmesinin ele alındığı görülmektedir. Yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesinden dolayı, bor atıklarının, esas ham maddesi kil olan inşaat ve seramik sektörlerinde kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar yaygındır [6]. Bor atıkları seramik sanayinde (sır, çini hamuru, döküm çamuru yapımı, yer ve duvar karosu üretiminde), yapı sektöründe (çimento, hazır beton, hafif yapı elemanı, dolgu malzemesi, tuğla ve kiremit üretiminde), ayrıca cam, emaye ve silika refrakterler için hammadde veya katkı maddesi olarak kullanılabilir [7-12]. Atık killerin tuğla sanayinde değerlendirmesi ile tuğla üretiminde ek hammadde kaynağı sağlanmaktadır [13, 14].

Bor atıklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalardan elde edilen sonuçlar olumlu olmakla birlikte, hala atık yığınlarını azaltacak düzeyde değildir [15]. Bu sebeple atık kil pestilinin büyük miktarlarda kullanılabileceği yeni alanlar araştırılmaktadır. Bu çalışmada, mevcut çalışmalardan farklı olarak, atık kil pestilinin atık PET'lerle karıştırılıp eritilmesiyle elde edilen, kompozit bir yapı malzemesi üretimi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında agrega olarak kullanılan diğer bir malzeme olan öğütülmüş cüruf, yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında endüstriyel bir yan ürün olarak elde edilmektedir. Fırından çıkarıldığında yaklaşık olarak 1400-1600°C sıcaklıkta olan cüruf soğutulmuş kullanılmaktadır. Cüruf, uygulanan soğutma tekniklerine bağlı olarak farklı özellikler kazanmaktadır. Cüruf hızlı bir şekilde soğutulduktan sonra uygun incelikte öğütülerek bağlayıcı bir malzeme haline getirilmektedir. Bu şekilde çimento ve beton katkısı olarak kullanılmaktadır. Cürufun yavaş bir şekilde soğutulması durumunda ise, bağlayıcılık değeri olmayan kristal bir yapı ortaya çıkmaktadır [16]. Taş gibi sert bir malzemeye dönüşen gri renkli ve kristal yapıya bu cüruflar, kırılarak agrega haline getirildiğinde, hidrolik bağlayıcılık özellikleri bulunmadığından, yol dolgu malzemesi ya da beton agregası olarak kullanılabilir. Cüruf inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmakla birlikte, hala işletmelerde tüketilmeyi bekleyen büyük miktarlarda cüruf atığı bulunmaktadır. Geri kazanımı gerçekleştirilemeyen cüruflar çevre sorunu oluşturmakta ve depolama alanlarının büyüklüğü nedeniyle ek maliyet gerektirmektedir.

Çalışma kapsamında sentetik bağlayıcı olarak kullanılan diğer bir atık malzeme ise atık PET şişe kırıklarıdır. Bir termoplastik türü olan PET şişelerin doğada parçalanma süresi çok uzundur. Bu nedenle plastiklerin mümkün olduğunca ayrı biriktirilip geri kazanılmaları sağlanmalıdır. Birçok ülkedeki geri dönüşümle ilgili kanunlarda, çevre kirliliğini ve kaynak israfını önlemek amacıyla, plastik atıkların yeniden kullanılarak geri kazanılması, diğer kaynaklar arasında öncelikli olarak belirlenmiştir. İnşaat sektörü, doğal kaynak kullanımını azaltmak amacıyla plastiklerin ve diğer katı atıkların büyük miktarlarda kullanılabildiği alanlardan biridir. Atık plastiklerin alternatif bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, doğal kaynak kullanımının azaltılmasının yanı sıra, enerji tasarrufunun sağlanması, plastik atıkların güvenli bir şekilde geri dönüşümünün sağlanması ve katı atıkların sebep olduğu çevre kirliliğinin önlenmesi gibi açılardan da yarar sağlayacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Numunelerin üretiminde sentetik bağlayıcı olarak atık PET şişe kırıkları kullanılmıştır. Agrega olarak ise kum, cüruf agrega ve atık kil pestili kullanılmıştır.

S. AKÇAÖZOĞLU, K. AKÇAÖZOĞLU

2.1.1. Sentetik bağlayıcı

Karışımlarda sentetik bağlayıcı olarak kullanılan ve maksimum tane büyüklüğü 4 mm olan atık PET şişe kırıkları kullanılmıştır (Şekil 1). Atık PET kırıklarının özgül ağırlığı $1,27 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Atık PET agreganın granülometrik dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Atık PET şişe kırıkları

Tablo 1. Atık PET şişe kırıklarının eleklerden geçen miktarları

Elek Genişliği (mm)	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Yığılımlı Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
4,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	138,50	13,85	13,85	86,15
1,000	726,00	72,60	86,45	13,55
0,500	115,50	11,55	98,00	2,00
0,250	16,00	1,60	99,60	0,40
0,125	3,50	0,35	99,95	0,05
0,063	0,50	0,05	100,00	0,00
Tava	0,00	0,00	100,00	0,00
TOPLAM	1000			

2.1.2. Agregası

Karışımlarda agrega olarak kullanılan dere kumunun özgül ağırlığı $2,45 \text{ g/cm}^3$, su emme kapasitesi ise %2,5'tir [17]. Maksimum tane çapı 4 mm olan agreganın elekten geçen miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dere kumunun eleklerden geçen miktarları

Elek Genişliği (mm)	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Yığılımlı Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
4,00	0	0,00	0,00	100,00
2,00	1357	33,93	33,93	66,07
1,00	1022	25,55	59,48	40,52
0,50	646	16,15	75,63	24,37
0,25	460	11,50	87,13	12,87
Tava	515	12,87	100,00	0,00
TOPLAM	4000			

Karışımlarda agrega olarak kullanılan öğütülmemiş yüksek fırın cürufu İskenderun Demir Çelik Fabrikası'nın atığıdır (Şekil 2). Cüruf agreganın kuru özgül ağırlığı $2,29 \text{ g/cm}^3$, doymun yüzey özgül ağırlığı ise $2,49 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Su emme kapasitesi ise % 8,7'dir. Öğütülmemiş cüruf agreganın elekten geçen miktarları Tablo 3'te verilmiştir.

Karışımlarda agrega olarak kullanılan diğer bir atık ise Kütahya Emet Kolemanit Borik Asit İşletmesi tesislerinden alınan kil pestilidir (Şekil 3). İşletmeden getirilen atık kil pestili serilerek kurutulmuştur. Bu şekilde karışımlarda kullanılmaya hazır hale getirilen atık kil pestilinin özgül ağırlığı $2,12 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Kil pestilinin kimyasal özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

ATIK KİL PESTİLİ VE ATIK PET ŞİŞE KIRIKLARININ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 2. Öğütülmemiş cüruf agrega

Tablo 3. Öğütülmemiş yüksek fırın cürufu agreganın eleklerden geçen miktarları

Elek Genişliği (mm)	Elek Üstünde Kalan (g)	Elek Üstünde Kalan (%)	Yığılımlı Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
4,000	0,0	0,00	0,00	100,00
2,000	144,0	14,40	14,40	85,60
1,000	383,0	38,30	52,70	47,30
0,500	304,0	30,40	83,10	16,90
0,250	127,0	12,70	95,80	4,20
0,125	28,5	2,85	98,65	1,35
0,063	9,0	0,90	99,55	0,45
Tava	4,5	0,45	100,00	0,00
TOPLAM	1000,0			



Şekil 3. Kil pestili

Tablo 4. Kil pestilinin kimyasal özellikleri [15]

Oksit Bileşenler	(%)
B ₂ O ₃	8,78
CaO	22,86
MgO	18,26
SiO ₂	15,47
Na ₂ O	5,13
Al ₂ O ₃	2,55
Fe ₂ O ₃	1,74
K ₂ O	1,33
Kızdırma kaybı	23,88

S. AKÇAÖZOĞLU, K. AKÇAÖZOĞLU

2.2. Metot

2.2.1. Karışım Oranları

Atık PET bağlayıcı ve agregalar çeşitli oranlarda karıştırılarak 70x70x70 mm boyutlu küp kalıplara dökülmüştür (Şekil 4). Numunelerin karışım oranları Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Kalıplara dökülen karışımlar

Tablo 5. Karışımların içerikleri

Karışım Numarası	Atık PET (%)	Agrega (%)		
		Kum	Cüruf	Kil Pestili
1	100	-	-	-
2	80	20	20	20
3	60	40	40	40
4	40	60	60	60
5	20	80	80	80

Hazırlanan harç karışımları 300°C sıcaklıktaki fırına yerleştirilerek 140 dk süreyle pişirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numuneler kalıplardan çıkarılmıştır (Şekil 5, 6).



Şekil 5. Fırına yerleştirilmiş numuneler

ATIK KİL PESTİLİ VE ATIK PET ŞİŞE KIRIKLARININ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 6. Kıl pestili agregalı numuneler (soldan sağa kontrol, % 20, 40, 60 ve 80 oranlı)

2.2.2. Numuneler Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

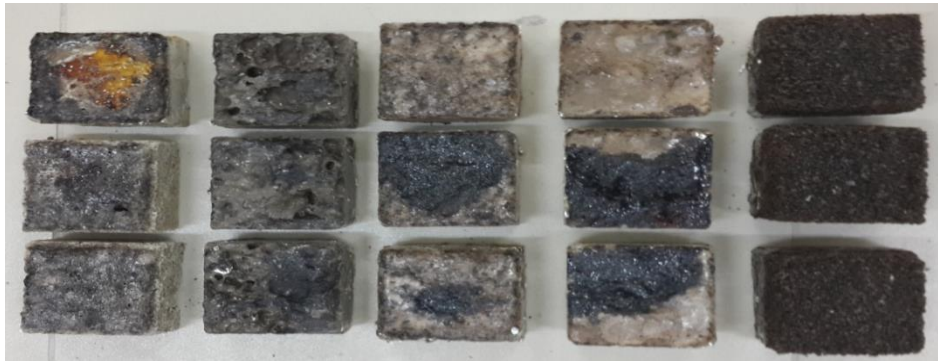
Numunelerin hava kuru birim ağırlıklarını tespit etmek amacıyla her bir karışım için üç tartım yapılarak ortalama değerler alınmıştır. Numunelerin basınç dayanımlarının tespiti TS EN 1015-11 [18]'e uygun olarak tek eksenli basınç deneyi ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler 200 KN kapasiteli tek eksenli basınç aleti ile yürütülmüştür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında üretilen kompozit numunelerin hava kuru birim ağırlık değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde, sadece PET içeren şahit numunenin birim ağırlık değerinin $1,180 \text{ g/cm}^3$ olduğu görülmektedir. Numunelerdeki kum, cüruf ve kıl pestili miktarları arttıkça, genel olarak birim ağırlık değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu durumun sebebi, kullanılan agregaların özgül ağırlık değerlerinin atık PET'e göre daha yüksek olmasıdır. Bununla beraber, % 80 oranında cüruf agregası içeren numunenin birim ağırlık değerinin diğerlerinin aksine azaldığı görülmektedir. Bu numunede PET miktarı oldukça az olduğundan dolayı, eriyerek bağlayıcılık görevini tam olarak yerine getirememiş, sıcaklık etkisiyle numune genişerek hacmi artmış ve boşluklu bir yapıya sahip olmuştur. Bu sebeple birim ağırlığının azaldığı kanaatine varılmıştır (Şekil 7).

Tablo 6. Numunelerin birim ağırlıkları

Numune Numarası	Karışımın İçeriği (%)		Birim Ağırlık (g/cm^3)		
	PET	Agrega	Kum	Cüruf	Kıl Pestili
1	100	-	1,180	1,180	1,180
2	80	20	1,304	1,446	1,187
3	60	40	1,652	1,452	1,330
4	40	60	1,723	1,609	1,470
5	20	80	1,732	1,503	1,598



Şekil 7. Cüruf agregalı numuneler (soldan sağa kontrol, % 20, 40, 60 ve 80 oranlı)

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin basınç dayanım değerleri Tablo 7’de sunulmuştur. Atık agrega miktarının numunelerin basınç dayanımına etkisi ise Şekil 8’de yer alan grafikte gösterilmiştir.

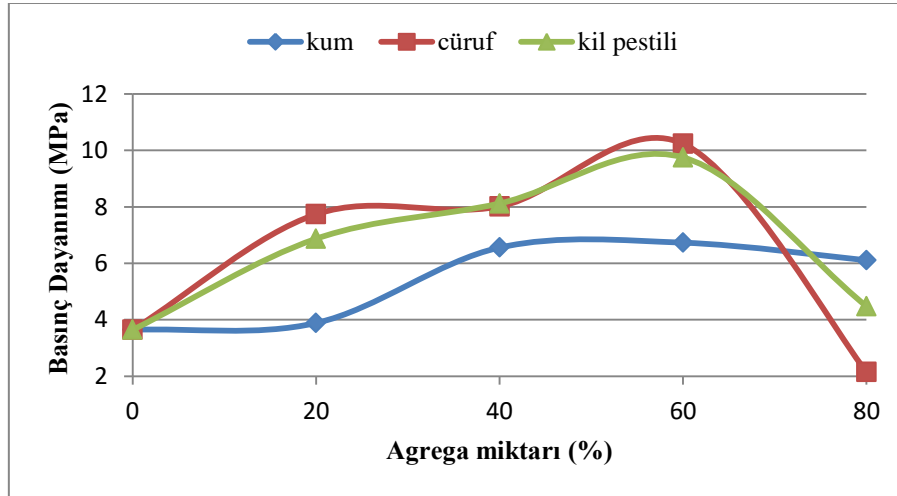
Tablo 7. Numunelerin basınç dayanımları

Numune Numarası	Karışımın İçeriği (%)		Basınç dayanımı (MPa)		
	PET	Agrega	Kum	Cüruf Agregası	Kil Pestili
1	100	-	3,64	3,64	3,64
2	80	20	3,89	7,74	6,87
3	60	40	6,56	8,02	8,12
4	40	60	6,73	10,24	9,75
5	20	80	6,11	2,15	4,48

Tablo 7’den görüldüğü üzere, sadece atık PET şişe içeren şahit numunenin basınç dayanımı 3,64 MPa olarak bulunmuştur. Numuneye ağırlıkça % 20 oranında kum ilavesi ile basınç dayanımı 3.89 MPa seviyesine yükselmiştir. % 20 oranında cüruf agrega ve kil pestili içeren numunelerde ise basınç dayanımları sırasıyla 7,74 ve 6,87 MPa olmuştur.

Karışımlardaki agrega miktarları arttıkça basınç dayanım değerleri de artmıştır. Bu artış % 60 agrega oranına kadar devam etmiştir. % 60 oranında agrega içeren cüruf ve kil pestili içerikli karışımların basınç dayanımları sırasıyla 10,24 MPa ve 9,75 MPa seviyelerine yükselmiştir.

Agrega içeriği % 80’e çıktığında, bütün karışımların basınç dayanım değerleri azalmıştır. Bu durumun, karışımda sentetik bağlayıcılık görevini gören PET miktarının karışımdaki bütün agregaları bağlayacak miktarda olmamasından (% 20 oranında) kaynaklandığı düşünülmektedir. Numuneler uygun bir karışım oranına sahip olmadığı için oldukça boşluklu yapıya sahip olmuş ve düşük dayanımlar sergilemişlerdir. Bütün karışımlarda, en uygun basınç dayanım değerlerinin % 40 ve 60 oranında agrega içeren numunelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Agregasyon miktarının basınç dayanımına etkisi

Şekil 8’de yer alan basınç dayanım eğrileri incelendiğinde, karışımdaki agrega miktarları arttıkça, numunelerin basınç dayanımlarının arttığı, ancak % 80 agrega oranında dayanımların tekrar azaldığı görülmektedir. En yüksek basınç dayanımları % 60 oranında agrega içeren numunelerde görülmektedir.

Karışımlardaki cüruf agrega ve kil pestili içeren karışımlarda, karışımlardaki agrega miktarı arttıkça basınç dayanımlarında görülen değişimler, birbirine benzer şekilde gelişmektedir. Kum agregalı numunelerin basınç dayanım değişiminin ise diğerlerinden farklı olduğu görülmektedir. Kum agregalı numunelerde % 40, 60 ve 80 oranında kum içeren numunelerin basınç dayanımları birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Cüruf agrega ve kil pestili içeren numunelerde ise % 80 oranında agrega içeren numunelerin basınç dayanım değerleri oldukça düşük çıkmıştır.

Numunelerin basınç dayanım değerleri genel olarak incelendiğinde, belirli dayanımda sentetik bağlayıcılı bir kompozit üretilmek amacıyla; % 40-60 oranları arasında cüruf agrega ve kil pestilinin kum yerine kullanılabilirliği görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Karışımlardaki agrega miktarları arttıkça genel olarak numunelerin birim ağırlık değerleri de artmaktadır.
- PET bağlayıcılı bütün karışımlara % 60 oranına kadar agrega ilavesiyle, numunelerin basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı, % 60 oranında cüruf agrega içeren numunede gözlenmiştir.
- Belirli dayanımda PET bağlayıcılı kompozit malzeme üretmek amacıyla, % 40-60 oranlarında cüruf agrega ve kil pestili kullanımının mümkün olduğu görülmüştür.
- Çalışma sonucunda; demir-çelik fabrikası atığı olan öğütülmemiş cürufun ve bor üretimi sırasında ortaya çıkan atık kil pestillerinin atık PET kırıkları ile karıştırılarak eritilmesi suretiyle, tamamen atıklardan elde edilmiş bir kompozit üretilebileceği sonucuna varılmıştır.
- Üretilen kompozit malzemelerin düşük birim ağırlıkları ve belirli bir seviyedeki basınç dayanımları göz önüne alınarak, dış mekânlarda zemin kaplama malzemesi olarak kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır.
- Atık kil pestilinin, atık PET şişe kırıklarının ve endüstriyel bir atık olan cürufun geri dönüşümlü yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi; doğal kaynak kullanımının azaltılmasının yanı sıra, enerji tasarrufunun sağlanması, atıkların güvenli bir şekilde geri dönüşümünün sağlanması, atık depolama sorununun ortadan kaldırılması ve katı atıkların sebep olduğu çevre kirliliğinin azaltılması gibi açılardan yarar sağlayacaktır. Geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilen kompozit yapı malzemesi kullanılan yapılar; kaynak etkinliği, enerji etkinliği ve sürdürülebilirlik gibi önemli çevresel özelliklere sahip olacaktır.
- Bununla beraber çalışma kapsamında üretilen geri dönüşümlü kompozit yapı malzemesinin yapı üretiminde kullanılması için, dayanıklılık özelliklerinin ve çevresel koşullar etkisi altındaki performansının belirlenmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.etimaden.gov.tr/dunyada-bor-rezervi-55s.htm>, 2015 (erişim tarihi: 31.05.2016).
- [2] KAVAS, T., Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıkları Kullanılarak Kaliteli Yapı Malzemesi Üretim İmkanlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye, 1997.
- [3] ELBEYLİ, F.Y., Boraks ve Borik Asit Üretiminde Ortaya Çıkan Katı Atıkların Çimento Sanayinde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1997.
- [4] TANER, C.V., SPARKS, L.D., "Chemical Relaxation and Double Layer Model Analysis of Boron Adsorption on Alumino", Soil Science Society of American Journal, 59, 395-404, 1995.
- [5] ERDOĞMUŞ, E., Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, Türkiye, 2006.
- [6] BAYCA, S.U., BATAR, T., SAYIN, E., SOLAK, O., KAHRAMAN, B., "The Influence of Coal Ash and Tincal (Boron Mineral) Additions on the Physical Properties and Microstructures of Ceramic Bodies", Journal of Ceramic Processing Research, 9, 118-122, 2008.
- [7] AKYILDIZ, A., Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 2012.
- [8] AKSU, C., Eti Bor A.Ş. Kırka Boraks İşletmesi Atık Göletlerindeki Killerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2003.
- [9] BENTLİ, İ., ÇAKI, M., "Kırka Boraks İşletmesi DSM Atık Kilinin Çini Hamuru Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 10.Ulusal Kil Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, 502-511, Konya, Türkiye, 2001.
- [10] KARASU, B., KAYA, G., KARALAR, M., "Use of Concentrator Wastes of Etibor Kırka Borax Company in Soft Porcelain Opaque Glazes as an Alternative Fluxing Agent", Euro Ceramics VIII, Key Engineering Materials, 264, 2497-2500, 2004.
- [11] UĞURLU, A., Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2004.
- [12] EDİZ, N., TOPÇU, İ.B., "Kırka Boraks Tesis Atıklarının Tuğla Malzemesi Olarak Kullanımı", İMO Endüstriyel Atıkların İnşaat Sanayinde Kullanımı Sempozyumu, 141-150, Ankara, Türkiye, 1995.
- [13] KAVAS, K., EMRULLAOĞLU, Ö.F., "Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıklarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı", I. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 216-225, İzmir, Türkiye, 1999.

S. AKÇAÖZOĞLU, K. AKÇAÖZOĞLU

- [14] UĞURLU, A., Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Puzolanik Malzemeler ile Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2009.
- [15] NEWMAN, J., CHOO, B.S., Advanced Concrete Technology Processes, Butterworth-Heinemann, An Imprint of Elsevier, Oxford, UK, 2003.
- [16] ÖZDEMİR, M., ÖZTÜRK, N.U., “Utilization of Clay Waste Containing Boron as Cement Additives”, Cement and Concrete Composites, 33, 1659-1661, 2003.
- [17] TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2002.
- [18] TS EN 1015-11, Kâgir Harcı Deney Metotları, Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımlarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.