

ÇEVRESEL ATIKLARIN YAPI MALZEMESİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayşe MURATHAN¹, Abdurrahman ASAN², Taha A. ABDULKAREM¹

¹Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, ANKARA

²Hitit Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, ÇORUM

amurathan@gazi.edu.tr, abdurrahmanasan@hitit.edu.tr

(Geliş/Received: 10.07.2012; Kabul/Accepted: 25.04.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye’de yeralan bazı çevresel atıklar tuğla kilinde kullanılarak kompozit malzeme üretilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde ana hammadde Reşadiye kili; dolgu malzemeleri ise Kütahya- Emet Bor İşletmesi bor atığı, Seyitömer Termik Santral uçucu külü ve Ankara-Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurudur. Değişik kaynaklardan elde edilen numuneler önce öğütülmüş daha sonra değişik oranlarda iyice karıştırılmış, nemlendirilmiş ve kalıplara dökülmüştür. Deneylerde kütle temel alınmak üzere kompozitlerde bor atığı % 2,5-20; uçucu kül % 2,5-10; arıtma çamuru % 0-10 ve tuğla kili % 75-85 oranında kullanılmıştır. 50x50x50 mm ebadındaki küp numuneler sırasıyla oda sıcaklığında 24 saat, daha sonra 105±1 °C’de 12 saat kurutulmuştur. Birim hacim ağırlığı, kuruma küçülmesi, su emme, basınç dayanımı ve kütle kaybı deneyleri sonunda, TS EN 771-1 standardı olan tuğla fiziksel parametrelerine kısmen yaklaşıldığı tespit edilirken aynı zamanda enerji tasarruflu ve çevre dostu kompozit malzeme üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kompozit malzeme, tuğla kili, bor atığı, uçucu kül, arıtma çamuru, basınç dayanımı, birim hacim ağırlığı

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL WASTES IN BUILDING MATERIAL

ABSTRACT

In this study, it was produced composite material by using environmental waste sources of Turkey in brick clay. It was selected Reşadiye Clay as main material and boron waste of Kütahya-Emet Boron Works, fly ash of Seyitömer Power Plant and wastewater treatment sludge of Ankara- Tatlar Wastewater Treatment Plant as filling materials. Obtained samples from various resources were firstly grinded, then well mixed in different ratios, moistened and poured into the molds. In the experiments mass percent of boron waste, fly ash and treatment sludge were changed in composites respectively between (2.5-20%), (2.5-10%) and (0-10%) and brick clay was used between 75-85%. Shaped samples which have 50x50x50 mm dimension were dried at room temperature for 24 hours and after that at 105±1 °C for 12 hours respectively. Specific bulk density, drying shrinkage, water absorption, compressive strength and loss of mass tests were carried out. At the end of the tests, it has been concluded approach to the TS EN 771-1 brick standard physical parameters partly also, it has been produced energy conservative and environmentally friendly composite material.

Key Words: Composite material, brick clay, boron waste, fly ash, treatment sludge, compressive strength, specific bulk density

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel atıklar dünyada olduğu gibi ülkemizde de küçümsenemeyecek boyutlarda çevresel problemlere neden olmaktadır. Bu atıkların çeşitli alanlarda değerlendirilmesiyle çevre kirliliğine bir miktar

çözüm sağlanabileceği gibi ülke ekonomisine de girdi sağlanacağı düşünülmektedir. Dünyada ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Türkiye’de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik

santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimi ortalama 13 milyon ton kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir. Bu atığın değerlendirilmesi durumunda enerji tasarrufu sağlanması, daha ucuz ve kaliteli malzeme üretilmesi, atık malzemenin geri dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanmasının yanı sıra hem doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması hem de çevre kirliliğinin önlenmesi mümkün görünmektedir [1, 2].

Borik asit üretimi sırasında proseste oluşan atık su ve çamurlar filtrelerden geçirildikten sonra mekanik olarak kazınmakta ve su ile akıcı hale getirilmek sureti ile dışarı taşınmaktadır. Böylece filtre kekinde uzaklaştırılması çok daha zor olan atık çamur elde edilmekte ve bu çamur karışım tankına beslenmektedir. Atık olarak nitelendirdiğimiz sodyum borat kökenli mineraller su ile birlikte bir şlam oluşturacak şekilde tesis içerisindeki göletlerde depolanmakta, bir kısım katı atık ise tekrardan cevher zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmak üzere buldukları göletten tekrardan üretim çevrimine dahil edilmektedir. Kolemanitten elde edilen borik asit üretim kapasitesi Kütahya-Emet konsantratör tesislerinde 100 000 ton/yıl'dır. Bu atıkların B₂O₃ içeriği % 20-25 gibi son derece yüksek değerlerde olup büyük oranda montmorillonit, illit ve vermikülit gibi başlıca kil mineralleri atıklarından oluşmaktadır [3].

Kentsel ve endüstriyel arıtma tesisi çıkışında yer alan arıtma çamurları Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) kapsamında değerlendirilmektedir. Yüksek hacim oluşturmaları sebebiyle çevre kirliliği oluşturduğundan arazi gereksinimi ve yüksek maliyetli bertaraf sözkonusudur [4].

Binici vd. [5] termik santral atığı olan ve aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturan uçucu külün, yüksek mukavemetli tuğla üretiminde kullanılması ile yapısında yüksek oranda silisyum içeren pomza taşlarının da tuğla üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi hususunu incelemişlerdir. F tipi uçucu küllerdeki CaO oranı %10'dan daha düşük olup puzolanik özellik göstermektedir.

Fırat ve Cömert [6] yaptıkları çalışmada, F sınıfı uçucu kül ve çimento katkısı ile stabilize edilen iki zeminin taşıma oranları ve dayanım değerleri üzerindeki 1, 7, 28 ve 56 günlük kür etkilerini incelemişler ve dayanım parametreleri, dane çapı dağılımı ve bağıl yoğunlukları belirlemişlerdir.

Bu çalışmada; Reşadiye yöresine ait tuğla kili, Kütahya-Emet Borik asit fabrikası atığı, Seyitömer Termik Santralin uçucu külü ve ASKİ-Tatlar Atık Su Arıtma Tesisi arıtma çamuru belirli oranlarda kompozit haline getirilerek enerji tasarruflu ve çevre dostu yeni inşaat malzemesi üretimi değerlendirilmiştir.

2. MATERİYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Kullanılan malzemeler (Used materials)

2.1.1. Kil (Clay)

Çalışmada kullanılan tuğla kili Reşadiye-Tokat yöresine ait olup fiziksel özellikleri sırasıyla; plastisite % 31,0 ; kuruma küçülmesi % 5,04; pişme küçülmesi % 0,1; kuru mukavemet 98,2 kg/cm², pişmiş mukavemet 193,8 kg/cm², su emme değeri % 22,91 dur. Tuğla kilinin kimyasal analizi Çizelge 1'de verilmiştir. Kil hamuru deneylerde kullanılmadan önce bilyalı değirmende öğütülerek 0,2 mm ortalama partikül çapına getirilmiş ve etüvde 105±1 °C' de, 8 saat süre tutularak kurutma işlemi yapılmış ve sabit tartıma getirilmiştir.

2.1.2. Bor atığı (Boron waste)

Eti Holding Eti Bor A.Ş.'ye ait Kütahya-Emet konsantratör ve bor türevleri tesislerinin atık baraj gölünden temin edilen bor atığı fiziksel özellikleri sırasıyla; nem %5-8; ortalama tane boyutu 11,11 µm; yoğunluk 2,24 gr/cm³ 'dür. Bor atıkları kil hamuruna katılmadan önce bilyalı değirmende öğütülerek 0,2 mm ortalama partikül çapına getirilmiş ve etüvde 105±1 °C' de 10-12 saat süre ile kurutularak sabit tartıma getirilmiştir. Bor atığının kimyasal bileşimi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Reşadiye Kilinin Kimyasal Analizi [8] (Chemical Analysis Of Reşadiye Clay)

Bileşi m	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	C O ₂	Ti O ₂	S	Toplam su
%	18,00	61,40	0,66	0,80	0,80	1,62	1,90	0,30	0,08	0,35	0,07	12,36

Çizelge 2. Kütahya-Emet Borik Asit Fabrikası Atığının Kimyasal Analizi [9] (Chemical Analysis Of Boron Waste of Kütahya-Emet Boron Works)

Bileşim	B ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	LiO	TiO ₂	Kız K.
%	4,07	22,88	25,2	10,85	0,6	1,62	0,12	1,66	0,08	0,21	32,71

Çizelge 3. Seyitömer Uçucu Külünün Kimyasal Analizi [10] (chemical analysis of Seyitömer fly ash)

Bileşim	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O (eşd)	Serbest CaO
%	52,34	7,47	5,75	9,30	18,91	0,88	2,17	2,25	2,31	0,20

Çizelge 4. Arıtma Çamurunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (physical and chemical properties of treatment sludge)

Parametre	Miktar	TKKY/EK 1B-Sınır değerleri ¹ , mg/kg fırın kuru madde	EKAÇTKY/EK 1B-Sınır değerleri ² , mg/kg fırın kuru madde
pH	5,00		
Özgül Kütle	1,4 g/ml		
Nem	43g/100 g		
Partikül Boyu	200,0 µm		
Sabit Madde	56 g/100 g		
N	2,28 %		
P	0,98 %		
K	0,37 %		
C/N	10		
Fe	2800 ppm		
Cu	307 ppm	1750	1000
Zn	4000 ppm	4000	2500
Ni	65 ppm	400	300
Cr	221 ppm	1200	1000
Cd	0,70 ppm	40	10
Pb	180 ppm	1200	750

1.Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

2.Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik

2.1.3. Uçucu kül (Fly ash)

Çalışmada kullanılan uçucu kül; Seyitömer Termik Santralinden (STS) elde edilen ve yığın yoğunluğu 0,88 g/cm³; özgül ağırlığı 1,58; özgül yüzey alanı 0,115 m²/g ve pH'ı 8,3 olan ve diğer uçucu küllere göre daha hafif bir yapı gösteren F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün kimyasal bileşimi Çizelge 3'de verilmiştir

2.1.4. Arıtma çamuru (Treatment sludge)

Çalışmada, ASKİ-Tatlar Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamuru kullanılmıştır. Kullanılan arıtma çamuru

özümlemiş olup 2010 yılı verisine göre bant filtre presi sonunda çamur kekindeki kuru madde % 30 olup çıkış debisi 869 m³/gün'dür. TS 6166 [11] standardına göre yapılan pH tayininde 30 gram kurutulmuş çamur tekrar 60 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra oda sıcaklığına getirilmiş, 75 mL suda oda sıcaklığında 6 saat bekletildikten sonra pH değeri 5,0 olarak okunmuştur.

Deneylerde kullanılan atık çamurda bulunabilecek patojenlerin giderilmesi amacıyla pH değerinin 11,0'e çıkartabilmek için kurutulmuş çamura sönmüş kireç katılarak karıştırılmış ve kompozit malzemede kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan arıtma çamurunda ağır metal analizi MTA-Ankara

laboratuvarında Perkin-Elmer marka ICP-OES cihazında yapılarak elde edilen sonuçlar ve ağır metallerin yönetmelik sınır değerleri Çizelge 4’de verilmiş, analiz sonuçlarının ağır metallerin yönetmelik sınır değerlerini aşmadığı görülmüştür.

2.2. Deneysel Yöntem (Experimental method)

Laboratuvar ortam şartları $23,0 \pm 2,0$ °C sıcaklık, 690 mmHg basınç ve 55 ± 5 bağıl nem olup numunelerin hazırlanması sırasında; kil (K), bor atığı(B), uçucu kül(K) ve arıtma çamuru(Ç) farklı oranlarda karıştırılarak hazırlanmıştır. Bu karışımların kütlece yüzde oranları Çizelge 5’de verilmiştir.

Değişik oranlarda kil, bor atığı, uçucu kül ve arıtma çamuru kullanılarak yapılan karışımlar sonucunda kompozit numuneler hazırlanmıştır. Karışımların üretimi için kil, bor atığı, uçucu kül ve arıtma çamuru kuru halde bilyalı değirmende homojen bir biçimde karıştırılmış daha sonra bu karışımlara plastik kıvam elde edilecek biçimde (%5-10) su ilavesiyle homojenlik sağlanıncaya kadar 20-30 dakika daha karıştırılmıştır. Hazırlanmış olan karışımlar 50 mm x 50 mm x 50 mm boyutundaki küp şeklinde ahşap kalıplara (Gazi Ün. Teknolojik Fakültesi Yapı Malzemesi Lab.’dan temin edilen) doldurulmuş ve hidrolik preste 2 bar basınç altında sıkıştırılmıştır.

2.2.1. Kurutma İşlemi (Drying procedure)

Çizelge 5’te verilen oranlara göre altı farklı seri olacak şekilde hazırlanan kompozit karışımlar kalıplanmadan önce kalıba bir miktar vazelin sürülerek kalıptan kolay ayrılması sağlandıktan sonra, önce 24 saat oda sıcaklığında; daha sonra etüvde 105 ± 1 °C sıcaklıkta 12 saat süreyle kurutulmuştur. Ayrıca bir kısım numunede basınç dayanımındaki sıcaklık artışının etkisini tespit etmek için 200 °C kurutma yapılmıştır.

2.2.2. Kompozitlerin hazırlanması (Preparation of composites)

% 100 tuğla kili öğütme işleminden sonra 0,2 mm partikül büyüklüğünde olacak şekilde plastik kıvam için uygun miktarda suyla şekillendirilmiş ve kalıplanmıştır. Kalıptan çıkarıldıktan sonra yukarıda anlatılan kurutma işlemlerinden geçirilmiştir. Kontrol numunesi ve Çizelge 5’te verilen karışımlarda aşağıda verilen fiziksel parametrelerde TS EN 771-1[12] esas alınmış; her bir parametre için üç adet paralel numune hazırlanmış ve sonuçlar aritmetik ortalama cinsinden verilmiştir.

2.2.3. Birim hacim ağırlığı (Specific bulk density)

Küp numuneler, sıcaklığı 105 ± 1 °C’ye ayarlanmış etüve yerleştirilerek 12 saat değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. Bu şekilde kurutulan numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra boyutları 0,01 mm. duyarlılıkta kumpasla ve kütleleri hassas terazi ile ölçülerek birim hacim ağırlığı belirlenmiştir[12]

2.2.4. Kuruma küçülmesi (Drying shrinkage)

Şekillendirme işlemi tamamlanmış küp numuneler kurutma aşamasına alınmadan önce boy, genişlik ve yükseklikleri ölçülerek kaydedilmiş; kurutma işlemi bitirdikten sonra oda sıcaklığına getirilen numunelerde boyutlar tekrar ölçülmüştü

2.2.5. Su emme (Water absorption)

Deneyden önce kurutularak sabit tartıma getirilmiş numunelerin oda sıcaklığında kütleleri hassas terazide alınmıştır. Daha sonra numuneler uygun büyüklükteki bir kaba, 20 ± 1 °C ‘de, tamamen su içerisinde kalacak şekilde su ilave edilmiştir. Numuneler, 24 saat ve 48 saat süreyle suda bekletildikten sonra yüzeyleri kabaca kurulanmış ve bekletilmeden tartılarak doygunluk kütlesi ölçülmüştür [12].

Çizelge 5. Karışımların kütlece yüzde oranları,%, m/m, (mass ratios of mixtures,% m/m)

Malzeme	Karışımlar (%)					
	10B5K	10K5B	5BKÇ	10B4K1Ç	20B4K1Ç	10Ç2,5BK
Kil(%)	85	85	85	85	75	85
Bor atığı(%)	10	5	5	10	20	2,5
Uçucu kül(%)	5	10	5	4	4	2,5
Arıtma Çamuru(%)	—	—	5	1	1	10

2.2.6. Basınç dayanımı (Compressive strength)

Küp şeklinde hazırlanan numunelerin yüzeyleri düzleştirildikten sonra 5 kN'luk Shimadzu marka AG-1 cihazında basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. 200 ±2 °C 'de 12 saat daha ilave kurutma yapılarak basınç dayanımında sıcaklığın etkisi araştırılmıştır [12].

2.2.7. Kütle kaybı (Loss of mass)

Hazırlanan numuneler önce oda sıcaklığında, daha sonra sıcaklığı 105±1 °C' ye ayarlanmış etüve yerleştirilerek 24 saat değişmez kütleyle kadar kurutulmuştur. Bu şekilde kurutulmuş numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra hassas terazide kütle ölçülmüştür [12].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA(FINDINGS AND DISCUSSION)

Uçucu kül, bor atığı ve arıtma çamurunun değişik oranlarda katılmasıyla üretilen kompozit malzemelerde birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, kuruma küçülmesi ve su emmede değişim sonuçları verilmiştir.

3.1. Birim Hacim Ağırlığı (Specific bulk density)

Kompozit yapı malzemelerinin hesaplanan birim hacim ağırlık değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, üretilen kompozitlerde BHA değerlerinin TS EN 771 standardı min değeri olan 1601 kg/m³ değerine yakın olduğu görülmektedir [12]. Atık çamur yüzdesinin daha yüksek olduğu malzemede 1647 kg/m³ en yüksek, atık bor oranının yüksek olduğu malzemede ise ikinci büyüklükte BHA değerinin elde edilmiştir. Bor atığının içeriğindeki kalsiyum oksit miktarının yüksek olması nedeniyle

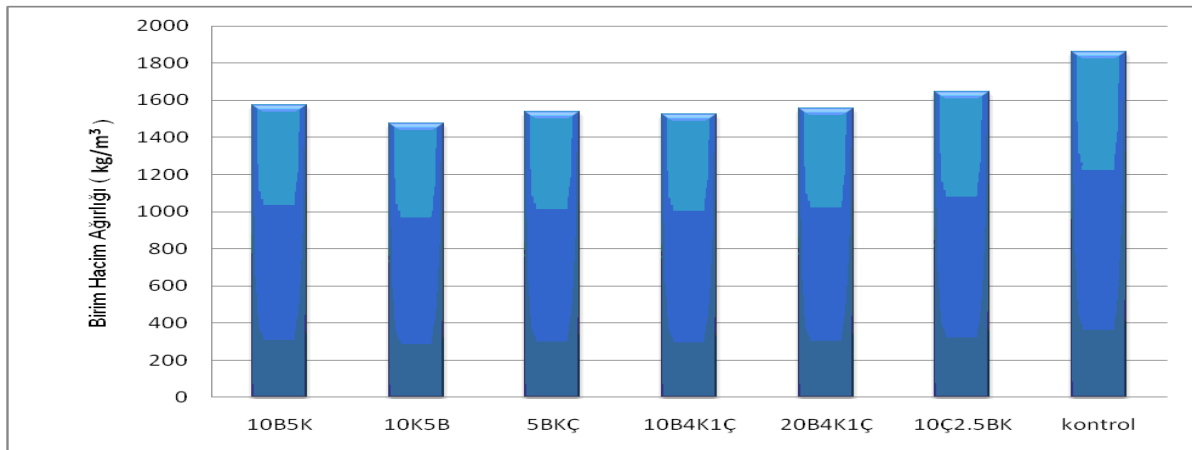
suyla etkileşime girmesi; ayrıca kullanılan arıtma çamur yoğunluğunun yüksekliği sebebiyle BHA değerlerinin daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Uçucu kül miktarının artmasıyla BHA'da azalma gözlenmesi de uçucu kül yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

3.2. Kuruma Küçülmesi (rötre) (Drying shrinkage)

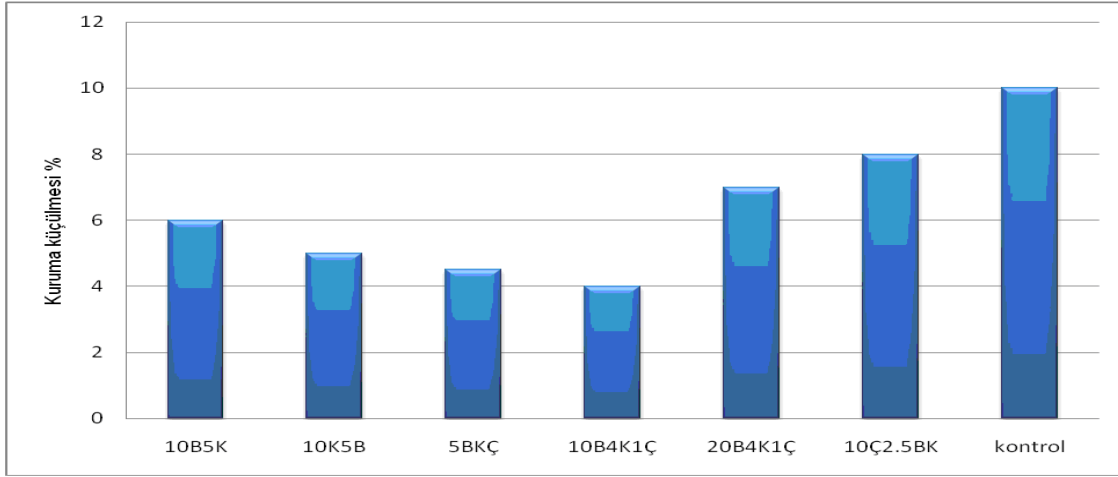
Kuruma küçülmesi gözlenen kompozit numunelerde herhangi bir deformasyona rastlanılmamış olup elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir.

Kompozit karışımlarda arıtma çamurunun artırılmasıyla kuruma küçülmesi artmıştır. Bu sonuç çamurda bulunan bağlı suyun uçurulmasıyla açıklanabilir. Arıtma çamurunun bulunmadığı ve daha az bulunduğu karışımlarda daha düşük kuruma küçülmesi değerleri elde edilmiştir. Diğer taraftan kompozit içinde uçucu külün boşluklu yapıyı doldurduğu, atık borun ise suyu absorbe etmesiyle kuruma küçülmesinde değerlerin biraz daha yükseldiği tespit edilmiştir. % 1 arıtma çamuru, % 10 bor atığı ve % 4 uçucu kül kullanılan karışımda en düşük kuruma küçülmesi değeri bulunmuştur. Düşük sıcaklıkta kurutmaya tuğla kilinde %10 kuruma küçülmesi elde edilirken, hazırlanan kompozitlerdeki en yüksek değer % 8, en düşük değer ise % 4'tür. Bu nedenle kontrol numunesine göre daha iyi bir sonuç alındığından yapı malzemesinde değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Deneylerde kullanılan uçucu kül, partikül büyüklüğü 300 nm dolayında olup F sınıfı (CaO % 10'dan az) kül tipidir. Karışımlarda uçucu külün artmasıyla kuruma küçülmesinin azalması malzemede gözenek yapısına nüfuz etmesi ve puzolanik etkiyle açıklanabilir.



Şekil 1. Kompozit malzemelerde birim hacim ağırlığı (Specific bulk density in composite materials)



Şekil 2. Kompozit malzemelerde kuruma küçülmesi (drying shrinkage in composite materials)

3.3. Su Emme (Water absorption)

Üretilen kompozit malzemelerde % 85 kil ile %5 oranında uçucu kül, çamur atığı ve bor atığı kullanılan karışımda oda sıcaklığındaki suda 24 saat ve 48 saat bekletme sonunda yaklaşık % 25 ve % 28 su emme değerleri elde edilirken, diğer karışımlarda çözünme olduğu tespit edilmiştir. Tuğla malzemesinde kütleli olarak % 5-10 oranında uçucu külün kullanılmasının mekanik testlerin yanısıra su emme sonuçlarına olumlu etki sağladığı ve %15 bor atığının kullanıldığı kırmızı kil malzemesinde en iyi sonuçların alındığı çalışma sonuçlarıyla paralel sonuçlar elde edilmiştir [9,13,14]. Diğer bir önemli husus ise bahse konu çalışmalarda 1100 °C pişirme sıcaklığında çalışılırken bu çalışmada kurutma sıcaklığının 105 °C'de tutulmasıdır. Arıtma çamuru, bor atığı ve uçucu külün kütleli olarak % 5-10 oranında daha düşük su emme gösterdiği; arıtma çamurunun değişik oranlarda bulunduğu ve arıtma çamurunun katılmadığı kompozitlerde ise çözünme tespit edildiğinden diğer karışımlarda olduğu gibi tuğla kilinde yapılan düşük sıcaklıktaki kurutmanın yetersiz olduğu anlaşılmıştır.

3.4. Basınç Dayanımı (Compressive strength)

Üretilen kompozitlerin basınç dayanım değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Üretilen kompozitlerde karışım içerisindeki arıtma çamuru yüzdesinin artırılmasıyla 105 °C'de 12 saat ve 200 °C'de 3 saat kurutmayla % 5 çamur içeriğinde basınç dayanımı 1,5 MPa iken % 10 çamur içeriğinde 3,5 MPa değerine ulaşılmıştır. Karışımdaki çamur miktarı artışına paralel olarak, basınç dayanımı artmış ancak su emme değerlerinde olumsuzluk tespit edilmiştir. Diğer taraftan literatürde kil ve atık çamurun kullanıldığı malzemede 100 kPa dolayında basınç dayanımı elde edilirken [15], bu çalışmada 3500 kPa değeri elde edildiğinden çamurda oluşabilecek metal oksitlerin basınç dayanımına olumlu etkisinden söz edilebilir.

Ayrıca evsel arıtma çamurunun kullanıldığı tuğla üretiminde çamur içeriğinin artırılmasının basınç

dayanımı değerinde azalmaya sebep olduğu belirtilirken [16], bu çalışmada kullanılan çamur endüstriyel ve evsel atıksu arıtma çamuru olup, bor atığı ve uçucu kül atıkları ile birlikte kullanıldığından daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Çamurun bulunmadığı % 85'lik kil içeriğinde uçucu kül miktarının artırılmasıyla bu değer 0,86 MPa'dan 3,06 MPa değerine yükselmiştir. Uçucu kül yoğunluğunun düşük ve partikül boyutunun küçük olması ile por yapısına girerek daha sıkı bir yapı oluşturduğu şeklinde yorumlanmıştır [9, 13,14]

TS EN 771-1 standardı[12] değerlerinde geçen 8 MPa değerine ulaşamamasının bir nedeni de tuğla pişirme sıcaklığı olan 1100 °C gibi pişirme değerlerine çıkılmamasıdır. 200 °C'de kurutmanın basınç dayanımında olumlu etki göstermediği tespit edilirken, daha yüksek sıcaklıkta pişirme yapılmamasının bir nedeni de arıtma çamurunda bulunan organik maddelerin yanmasıdır [17]. Sıcaklık parametresi düşük tutularak enerji tasarruflu ve çevre dostu kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir.

3.5. Kütle Kaybı (Loss of mass)

Kompozit numunelerde tespit edilen kütle kayıpları Şekil 4'de gösterilmiştir. Üretilen kompozitlerde, karışımdaki arıtma çamurunun artırılmasıyla kütle kaybının azaldığı; bor atığının artırılmasıyla kütle kaybının arttığı tespit edilmiştir. Borlu yapıdaki kütle kaybının artışı, borlu yapının daha fazla su absorbe etmesi ile açıklanabilir. Arıtma çamurunun artırılmasıyla kütle kaybının azalması ise çamur içeriğindeki nemin de bağlandığına işaret olarak yorumlanabilir. Kompozitlerde en düşük kütle kaybı her üç atığın eşit oranlarda kullanıldığı (%5'er) karışımda yaklaşık % 7,17 olarak tespit edilmiştir [12, 13].

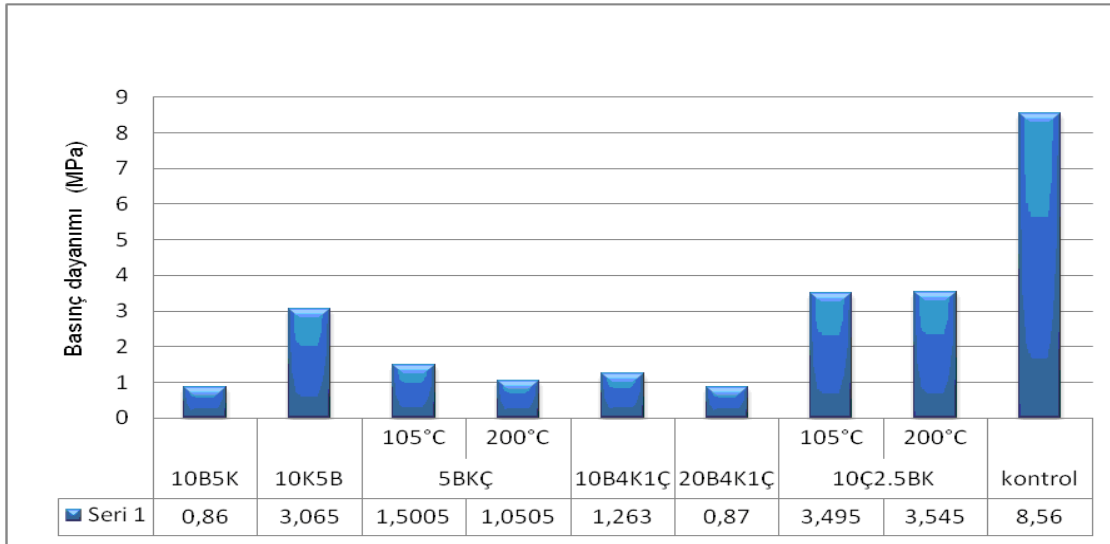
Bu sonuçlarla kütle kaybının artması veya azalması malzemenin kullanılacağı yere göre

önem arz ettiğinden (izolasyon veya taşıyıcı malzeme gibi) bu hususun malzeme seçiminde öne çıkacağı belirtilebilir. Ayrıca %100 tuğla kilinin kullanıldığı kontrol numunesinde basınç dayanımı 8,56 MPa elde edilirken, %10 arıtma çamuru + %2,5 uçucu kül+%2,5 bor atığının kullanıldığı karışımda 3,5 MPa değerine ulaşılmıştır. İlave kurutmanın etkisi bulunmamakla birlikte düşük sıcaklık uygulaması kontrol numunesinde de su emmede çözünmeye yol açmıştır.

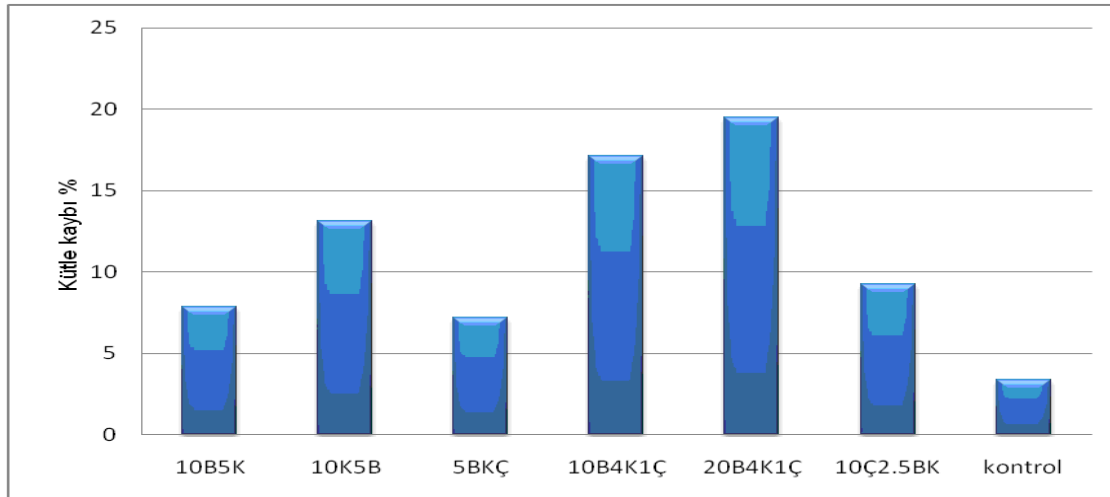
4. SONUÇLAR (RESULTS)

Ülkemizin yüksek tonajlı atıkları olan termik santral uçucu külü, borik asit göletlerinden alınan bor atığı ve atıksu arıtma tesisi çıkışından alınan çamurun ham tuğla kili ağırlıklı kompozit malzemede değişik oranlarda kullanılmasıyla elde edilen sonuçların inşaat sektörü yanısıra değişik sektörlerde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada; literatürde elde edilen sonuçların üzerinde sonuçlar elde edilirken (basınç dayanımı, BHA, kütle kaybı ve kuruma küçülmesi) su emmede daha yüksek değerler ve çözünme tespit edilmiştir. Kil ağırlıklı malzemede arıtma çamuru

kullanılmasıyla basınç dayanımı artmış; %10 atık çamur,% 2,5 uçucu kül ve % 2,5 bor atığı karışımında kütle kaybı azalırken BHA artış göstermiştir. Ancak su emme değerlerinin yüksek çıkması nedeniyle su ile temas halindeki inşaat malzemesinde kullanılmaması gerektiği düşünülmektedir. Elde edilen verilerle tuğla pişirme sıcaklığı olan 1100 °C'de pişirme yerine 105 °C sıcaklıkta kurutmayla enerji tasarruflu ve çevre dostu kompozit malzeme üretilebilirliği yanı sıra birim hacim ağırlığında hedeflenen sonuca ulaşılabildiği tespit edilmiş olup ayrıca ilave kurutmanın basınç dayanımında etkisinin olmadığı görülmüştür. Basınç dayanımında ilave kurutmanın etkisinin olmaması sebebiyle sabit tartıma getirilmiş numunede 3,5 MPa değerinin tespit edilmesi ile üretilen kompozit malzemenin hafif iç yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği ve ilerideki çalışmalarda biraz daha yüksek pişirme sıcaklığına ilaveten döküm kumu atıkları ve pomza taşı gibi malzemelerin kullanımında blok tuğla değerlerinin yakalanabileceği önerilebilir.



Şekil 3. Kompozit malzemelerde basınç dayanımı (compressive strength in composite materials)



Şekil 4 Kompozit numunelerde kütle kaybı (loss of mass in composite materials)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, **Türkiye'deki Uçucu Kül Sınıflandırılması ve Özellikleri**, Yayın-TÇMB/AR-GE/Y03.03 Ağustos 2004, 2.Baskı.
2. Aruntaş, H.Y., Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ**, 21(1), 193-203, 2006
3. Kurttepel, Y., **Bor Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği, 2006, Sakarya.
4. Yaman, K., Kentsel Arıtma Çamurunun Tarımda Kullanımı Konusundaki Türkiye, AB ve ABD Yasal Düzenlemelerin Karşılaştırmalı Analizi, **Katı Atık ve Çevre Dergisi**, 75 :18-26, 2009.
5. Binici H., Temiz H., Aksoğan O., Ulusoy, A., Tekstil Fabrikası Atık Külü Ve Bazaltik Pomza Katkılı Tuğlaların Mühendislik Özellikleri, **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ**. 24(3), 485-498, 2009.
6. Fırat S., Cömert A.T., Uçucu Kül, Kireç ve Çimento ile İyileştirilmiş Kaolinde Kür Süresinin CBR Üzerine Etkileri, **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ**. 26(4) , 719-730, 2011.
7. Özdemir Ö. , **Kayseri Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Uygulamaları**, 2.Atık Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul ,190-192, 2010.
8. Toton C, Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel ve Kimyasal İncelemelerine Katkı, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1973.
9. Koçak H. Ş., **Kütahya Emet Borik Asit İşletmesi Bor Atıklarının Alçı Levha Üretiminde Kullanılması**, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Müh. Anabilim Dalı, 2010.
10. Bayat O. , “Characterisation of Turkish Fly Ashes”, **Fuel**, 77(9): 1059-1066, 1998.
11. TS 6166, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyle: Kimyevi Deneyle -Zeminde pH Değerinin Ölçümü”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1988.
12. TS EN 771-1, “**Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar)**”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
13. Kavas T. , “ Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick”, **Building and Environment**, 41 (12): 1779-1783, 2006.
14. Binici H. , Aksoğan O. , Temiz H. , Kaplan, H. , Ulusoy A. , “ The use of fly ash and basaltic pumice as additives in the production of clay fired brick in Turkey”, **International Journal of Materials Research**, 101 (7): 887-893 2010.
15. Weng C. , Lin D. , Chiang P. , “Utilization of sludge as brick materials”, **Advances in Environmental Research**, 7 :679–685 2003.
16. Tay J. H. , “Bricks manufactured from sludge”, **Journal of Environmental Engineering**, 113 (2): 278-284 1987.
17. Ekmekyapar, T. ve Özüng, İ., İnşaat Malzeme Bilgisi, Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 145, 22-36 1997.