

Atık Kazan Altı Külü ile Üretilen Betonların Peyzaj Konstrüksiyonlarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Gülbin ÇETİNKALE DEMİRKAN^{1*}

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 51240, Niğde

¹<https://orcid.org/0000-0003-2283-3460>

*Sorumlu yazar: gulcetinkale@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.07.2022

Kabul tarihi:30.10.2022

Online Yayınlanma: 05.07.2023

Anahtar Kelimeler:

Peyzaj konstrüksiyonu

Atık kazan altı külü

Beton

Yeniden kullanım

ÖZ

Kömürün yanması sonucunda kazan tabanında biriken küllerin atık olarak sahalarda biriktirilmesi ciddi bir çevre sorununu da beraberinde getirmektedir. Depo sahalarında biriktirilen bu küller doğal kaynakların kirlenmesine neden olabilmektedir. Miktarları her geçen gün artan atık küllerin bertarafının sağlanabilmesi amacıyla alternatif kullanım alanlarının artması gerekmektedir. Atık küller inşaat sektöründe özellikle çimento yerine ya da katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Bu çalışmada da Niğde/Bor Şeker Fabrikasına ait atık kazan altı külünün beton üretiminde kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda kazan altı külü (kak), çimentoya farklı oranlarda karıştırılmıştır (% 0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60). Hazırlanan karışımlardan 4*4*16 cm ebatlarında beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri (basınç, eğilme ve su emme yüzdesi) belirlenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda atık kazan altı külünün hacimce % 70-50 oranlarında karıştırıldığı peyzaj konstrüksiyonlarında betonların detay malzemesi ve düşey kaplama malzemesi olarak, bordür taşı yapımında, bitki kasalarında, kent mobilyalarında, üst yüzeylerinde kaplama yapılarak beton taş döşemelerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Investigation of Usability of Concrete Produced with Waste Bottom Ash in Landscape Construction

Research Article

Article History:

Received: 05.07.2022

Accepted: 30.10.2022

Published online: 05.07.2023

Keywords:

Landscape constructions

Waste bottom ash

Concrete

Reuse

ABSTRACT

As a result of the burning of coal, the ashes accumulated on the bottom of the boiler accumulate as waste. This situation brings with it a serious environmental problem. These ashes accumulated in storage areas can cause pollution of natural resources. Alternative usage areas should be increased in order to ensure the disposal of waste ashes, the amount of which is increasing day by day. Waste ashes are used in the construction industry, especially instead of cement or as an additive material. In this study, it is aimed to determine the usability of waste bottom ash from Niğde/Bor Sugar Factory in concrete production. Bottom ash was mixed with cement at different ratios (0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60%). Concrete samples of 4*4*16 cm dimensions were produced from the prepared mixtures. The physical and mechanical properties (pressure, bending and water absorption percentage) of the produced samples were determined. It has been concluded that it can be used as a detail material and vertical coating material of concrete in landscape constructions where waste bottom ash is mixed at the rate of 70-50% by volume, in the construction of curbstones, in plant boxes, in urban furniture, in concrete pavements by coating their upper surfaces.

1. Giriş

Bulduğumuz yüzyıl içerisinde teknolojinin insanlara sunduğu olanaklar, doğal kaynakların sömürülmesine ve doğal dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan da nüfus artışına paralel olarak artan ihtiyaçların karşılanması için ormanlık alanların tahribatı söz konusu olmuştur. Orman alanlarının neredeyse yarısını kaybetmiş olan dünya, bunun etkilerini küresel boyutta yaşamaktadır. Bu doğrultuda doğal, yapay ve sosyal faktörlerin bir arada ve etkileşim halinde bulunduğu çevrede ekolojik dengenin bozulduğu görülmektedir. Bu nedenle çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi ve doğa tahribatının önlenmesinde, kullanımı mümkün olan geri kazanılabilir atıkların hammadde ya da katkı malzemesi olarak kullanılması çözüm niteliği taşımaktadır. Atıkların çevreye verdiği zararın minimuma indirilebilmesi için kaynağında yok etme ya da yeniden kullanılabilirliğinin sağlanması gerekmektedir.

Çimento ve çimento esaslı beton üretiminde kül, cüruf, odun talaşı, cam kırıkları gibi endüstriyel katı atıkların kullanılması, atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin ve çimento üretim maliyetinin azaltılması ile çimento üretimi kaynaklı karbondioksit salınımının azaltılmasına yardımcı olacaktır (Kara ve Bekem, 2018). Günümüzde yeniden kullanılabilen atık materyallerin yapı elemanlarında kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmakta (Cheng – Fang ve ark., 2006; Algin ve Turgut, 2008; Luciana, ve ark., 2011; Ahmari ve Zhang, 2012; Raut, ve ark., 2015; Taurino ve ark., 2017; Bekem Kara, 2020), elde edilen sonuçlar doğrultusunda atık materyallerin kullanımı ile ilgili alternatif sahalar yaratılmaktadır. Aynı zamanda bertarafı konusunda ciddi sıkıntılar yaşanan atıkların yeniden kullanılmasıyla çevreye verdiği zarar azaltılmakta, doğal kaynaklar korunmakta, atıkların toplanması ve uzaklaştırılması için oluşan maliyetin düşürülmesi de sağlanmaktadır (Kaseva ve Gupta, 1996; Seik, 1997; Kaseva ve ark., 2002; Hanay ve Koçer, 2006; Akat ve ark., 2015a; Akat ve ark., 2015b). TUİK (2021) verilerine göre 2020 yılında Türkiye’de oluşan atık miktarı 104.8 milyon tondur. Bu atıkların 23.8 milyon tonu imalat sanayi işyerlerinden, 24.3 milyon tonu termik santrallerden, 27.5 milyon tonu maden işletmelerinden, 279 bin tonu organize sanayi bölgelerinden, 109.6 bin tonu sağlık kuruluşlarından ve 28.6 milyon tonu ise hane halkı tarafından oluşturulmuştur (Tablo 1). Atık hizmeti veren belediyelerde 32.3 milyon ton atık toplanmıştır. Bu atıkların % 69.4’ü düzenli depolama tesislerine, % 17’si belediye çöplüklerine ve % 13.2’si geri kazanım tesislerine gönderilirken, % 0,4’ü ise açıkta yakılarak, gömülerek, dereye veya araziye dökülerek bertaraf edilmiştir (Şekil 1). Belediyelerce toplanan atık miktarı günlük kişi başı ortalama 1.13 kg olarak belirlenmiştir (TUİK, 2021).

Tablo 1. 2018 ve 2020 yıllarında oluşan atık miktarı (TUİK, 2021)

	Toplam Atık Miktarı		Tehlikeli Atık Miktarı		Tehlikesiz Atık Miktarı	
	2018	2020	2018	2020	2018	2020
Toplam	94 870 818	104 848 864	15 078 573	30 876 658	79 792 245	73 972 206
İmalat Sanayi İşyerleri	22 881 144	23 867 866	3 677 320	4 597 274	19 203 824	19 270 593
Termik Santraller	26 127 134	24 375 356	13 805	10 012	26 113 329	24 365 343
Maden İşletmeleri	17 387 029	27 581 875	11 176 581	26 044 730	6 210 448	1 537 144
Organize sanayi Bölgeleri	286 843	279 067	111 733	116 720	175 110	162 347
Sağlık Kuruluşları	89 454	109 683	86 916	106 570	2 538	3 113
Hane halkı	28 099 214	28 635 018	12 218	1 352	28 086 996	28 633 665



Şekil 1. 2018 ve 2020 yıllarında belediyelerce toplanan atık miktarı (TUİK, 2021)

Toplanan atıkların büyük bir çoğunluğu sahalarda biriktirilmekte ve zamanla artan atık miktarıyla, büyüyen bir çevre sorununu beraberinde getirmektedir. Bu atıklardan biri olan kazan altı külü, kömürün yanması ile açığa çıkan endüstri kaynaklı, genellikle küresel olmayan 0.1-10 mm boyutlarında, belirgin koyu gri renkli ve gözenekli yapıdadır. Çoğunlukla silikat, karbonat, alüminat, demir, çeşitli metal ve metaloitlerden oluşmaktadır (Yüksel ve ark., 2006; Siddique, 2010; Jayaranjon ve ark., 2014; Doğan Sağlamtimur ve ark., 2016; Doğan Sağlamtimur ve ark., 2016a; Doğan Sağlamtimur ve ark., 2018; Doğan Sağlamtimur ve Bilgil, 2018). Çevreye zararı yüksek olan kazan altı külünün depolama alanına götürülmesi, depolama alanında biriken külün de alçıtaşı, çimento, alçıpan gibi sanayi sektöründe hammadde olarak kullanımı mümkün olmaktadır. Taban külünün beton üretiminde ince agrega yerine, yapı dolgu ve yollarda temel malzemesi olarak, toprak farklılaştırma gibi alanlarda kullanıldığı görülmektedir (Syahrul ve ark., 2010; Ramzi ve ark., 2016; Ibrahim ve ark., 2015; Cihan ve ark., 2021). Bu nedenle kazan altı külünün yeniden kullanılabilmesi çevreye zararlı olan bu atığın bertarafı açısından oldukça önemlidir. Ayrıca gayri safi milli hasıla içerisindeki payının % 30'larda olduğu inşaat sektöründe (İntes, 2014) bu atık materyalin kullanılmasının ülke ekonomisine olan katkısı da değerlendirilmelidir.

Kazan altı külünün yeniden kullanıldığı bu çalışmanın temel amacı; piyasaya göre geliştirilmiş teknik özelliklere sahip atık kül esaslı dayanıklı yapı elemanı üretirken, endüstriyel atık kül problemini çözmek, endüstri sonucu açığa çıkan küllerin çevreye vermiş olduğu veya vereceği zararı azaltmak ya da yok etmek ve külün bünyesel hafifliği ile yapı elemanına getireceği avantajları kullanmaktır. Ayrıca, mevcut yapı malzemesi cinslerini geliştirerek ülkemize katma değer yaratacak yeni üretimlere teşvik etmek, atık kül sorunu olan firmaların yanı sıra birçok firmaya da endüstriyel simbiyoz yapma ihtimali sunmak, ekonomik değeri olan bir ürün geliştirmek amaçlanmıştır. Belirtilen amaçlar doğrultusunda çalışmada, farklı sahalarda kullanılabilirliği birçok çalışma ile belirlenmiş olan atık kazan altı külünün peyzaj mimarlığı çalışmalarında döşemelerde, duvar kaplamalarında, strüktürel elemanlarda ve bazı şehir mobilyalarında kullanılan betonun iskeletinde değerlendirilebilirliği araştırılmıştır.

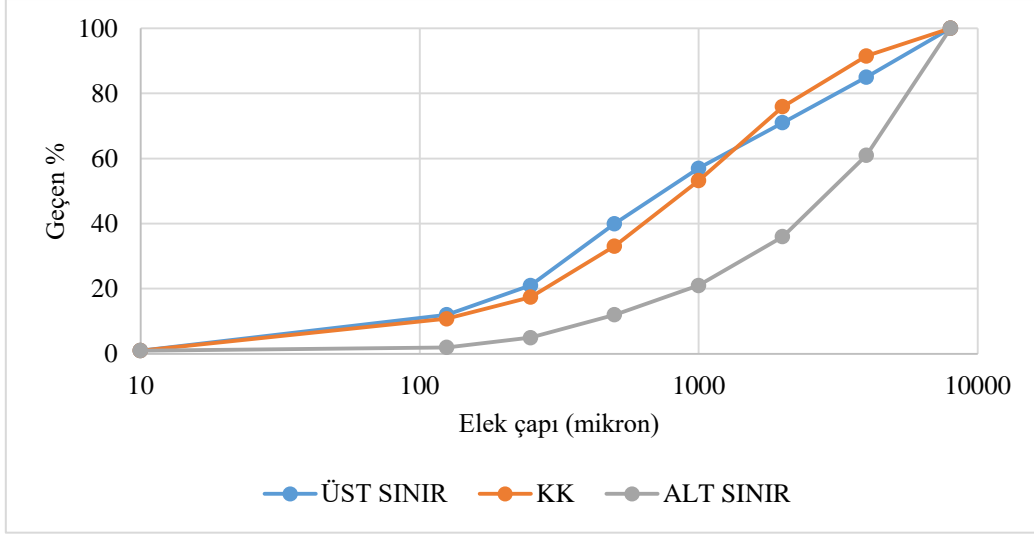
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmanın materyalini Bor Şeker Fabrikasının kazan altı atık külleri oluşturmaktadır. Bor Şeker Fabrikasından yılda 17.000-19.000 ton arasında atık kül çıkmaktadır ve atık küller artık tesiste depolanamaz duruma gelmiştir. Bu nedenle yeniden kullanım amacıyla Bor Şeker Fabrikasından alınan 0.2 m³ kazan altı külü, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Laboratuvarına getirilerek, 8 mm kare gözlü elekten elendikten sonra birim hacim ağırlıkları bulunmuş (Şekil 2), Panalytical/Zetium XRF, EPA 3051 A (Şekil 3) cihazında kimyasal kompozisyon analizleri yapılmıştır (Tablo 2). Şekil 2'deki alt ve üst sınırlar, beton üretiminde kullanılan agregaların alt ve üst sınırlarını ifade etmektedir. Özellikle kazan altı külünün bünyesinde bulunan Silisyum dioksit (SiO₂) ile Alüminyum oksit (Al₂O₃) bileşikleri çimento ile reaksiyona girerek uygun karma oksitleri oluşturabilecek miktarlardadır. Ancak kazan altı külünün içerisinde yanmamış kömür fazla miktarda bulunmaktadır.

Tablo 2. Kazan altı külü elemental analizi

Oxid (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	LOI
Bor KAK	33.95	14.87	19.63	21	0.37	1.75	1.44	5.85	1.25	0
Yanıcı madde miktarı (%)	23									
Gevşek-Sıkışık hava kurusu ağırlıkları (g/cm ³)	0.72 – 0.84 g/cm ³									
Gevşek-Sıkışık etüv kurusu ağırlıkları (g/cm ³)	0.67 – 0.80 g/cm ³									



Şekil 2. Kazan altı külü elek analizi



Şekil 3. Kazan altı küllerinin kimyasal analizinde kullanılan XRF (Panalytical/Zetium)

Numune üretimlerinin yapılabilmesi için kalsiyum esaslı bağlayıcılar sınıfında değerlendirilen Çimento (CEM I 42.5 R portland çimentosu) bağlayıcı olarak kullanılmıştır. CEM I 42.5 R portland çimentosu Niğde ilinde faaliyet gösteren Çimsa AŞ. firmasından temin edilmiş ve kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri üzerinde herhangi bir çalışma yapılmamış olup firma tarafından etiketlenmiş değerler kabul edilmiştir (Şekil 4).

ÇİMENTO DENEY RAPORU

EC Certificate of Conformity
Certificate No.

NUMUNE : CEM I 42.5 R			STANDARD : EN 197-1:2011CEM I 42,5 R			
NUMUNE TARİHİ (Tipik analiz)						
RAPOR TARİHİ : 28.01.2020						
KİMYASAL ÖZELLİKLER	Sonuç %	Method	FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Sonuç %	Method	
SiO ₂	19,80	XRF	Yoğunluk gr/cm ³	3,17	EN 196-3,6	
Al ₂ O ₃	5,27		Setting Time (Minute) (Vicat)	Başlangıç		145
Fe ₂ O ₃	3,30			Bitiş		198
CaO	62,34			% Su İhtiyacı		28,5
MgO	2,37		Hacim Genleşmesi (mm) (Le Chatelier)	2,0		
SO ₃	3,20		Özgül Yüzey (Blaine)cm ² /gr	3575		
Na ₂ O	0,35		KLİNKER ÖZELLİKLERİ	C ₃ S*	59,00	Bogue Formülü
K ₂ O	0,80			C ₂ S	12,25	
Kızdırma Kaybı	2,00			C ₃ A	8,39	
Toplam Katkı	2,20			C ₄ AF	10,04	
Klorür Cl	0,0131	EN 196-2	Basınç Dayanımı	2 Gün N/mm ²	31,2	EN 196-1
Eşdeğer Alkali, Na ₂ O	0,88			7 Gün N/mm ²	42,9	
SCaO	1,00			28 Gün N/mm ²	52,0	

Şekil 4. CEM I 42.5 R Portland çimentosu fiziksel ve kimyasal özellikleri

2.2. Yöntem

Çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Her iki aşamada da karışıma giren malzemelerin birim hacim ağırlıkları farklı olduğu için ağırlık esas yerine hacim esasına göre karışım oranları (%) belirlenmiştir. Birinci aşamada; Tablo 3'te verilen karışım oranlarına göre 7 farklı karışım oranı ile her birinden 3 örnek olacak şekilde numuneler üretilmiştir. Elde edilen karışımların şekillendirilmesinde 4x4x16 cm boyutlarındaki çimento deney kalıpları kullanılmıştır (Şekil 5).

Tablo 3. Kazan altı külü örneklerinin karışım oranları

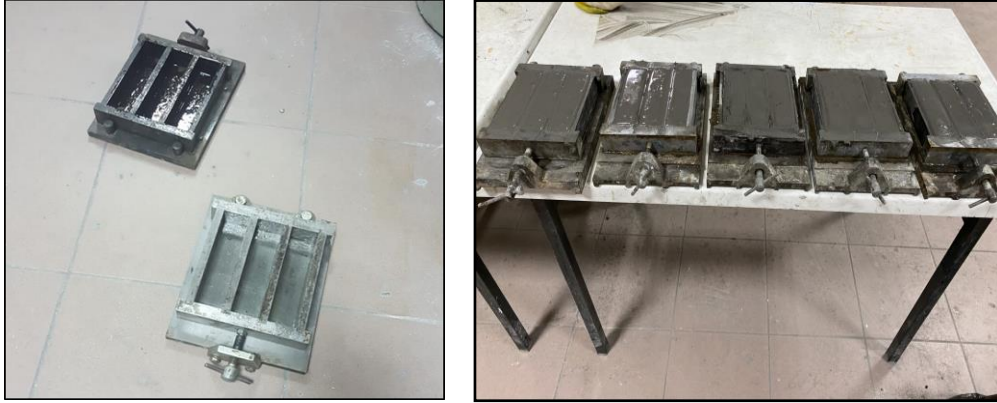
Numune	Hacimce (%)		Hacimce (%)		Ağırlıkça (G)		Su g	Ağırlıkça CEM I/KAK	Hacimce CEM I/KAK
	CEM I	KAK	CEM I	KAK	CEM I	KAK			
N1	20	80	461	1843	600	1236	448	0.49	0.25
N2	25	75	576	1728	750	1158	626	0.65	0.34
N3	30	70	692	1613	900	1080	714	0.83	0.43
N4	35	65	806	1498	1048	1004	695	1.04	0.54
N5	40	60	922	1383	1100	928	658	1.19	0.67
N6	45	55	1037	1267	1348	850	746	1.59	0.82

N7	50	50	1152	1152	1498	772	734	1.94	1
----	----	----	------	------	------	-----	-----	------	---

NOT: Tablodaki değerler 3 gözlü 4*4*16 cm çimento kalıbı için hesaplanmıştır.

Kül Hacimce=6 Numune=1536*0.8*1.5= 1843 cm³ Ağırlıkça=1843*0.67=1236 g

Cem I Hacimce=6 Numune=1536*0.2*1.5= 461 cm³ Ağırlıkça=461*1.3=600 g



Şekil 5. Çimento deney kalıpları ve numune örnekleri

Karışım oranlarının çimento miktarları farklı olduğundan dolayı kıvamları da birbirinden farklı olmaktadır. Kıvamlarını sabit tutabilmek için yayılma tablası kullanılmış ve su ilave edilerek sabit hale getirilmiştir. Kazan altı külü daha ince dağılım içerdiğinden dolayı 3 adet 4*4*16 cm'lik numune kalıplarının doldurulması için daha fazla, karışıma giren malzemeye ihtiyaç duyulmuştur. Numune karışımları masa tipi mikserde 3 dakika süreyle karıştırıldıktan sonra 2 dakika sürede kalıplara yerleştirilerek ortam şartlarında 24 saat süre ile kürlenmesi sağlanmıştır. Kürlenmeden sonra numune kalıplarına dökülerek 24 saat hava kuru ortamda kurumaları beklenmiştir. Kuruyan numuneler deney gününe kadar $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içinde bekletilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise kürlenmiş numuneler kalıplardan söküldükten sonra her bir numunenin üzerinde birim hacim ağırlıkları (BHA), su emme %'si, eğilmede-çekme ve eksenel basınç gerilmesi değerleri belirlenmiştir. Eğilmede çekme dayanımını tespit etmek için numuneler yükleme deneyine tabii tutulmuştur. Basınç gerilmesi tespiti ise tek eksenli basınç deneyi ile belirlenmiştir. Numunelere ait deneylerin birim hacim ağırlığı için TS EN 12350-6, su emme için TS EN 12390-7, eğilmede çekme için TS EN 12390-6 ve eksenel basınç gerilmesi için TS EN 12390-3 esas alınmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde ise TS 2824 EN 1338 ve TS 436 EN 1340'dan da faydalanılmıştır.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Birim Hacim Ağırlığı

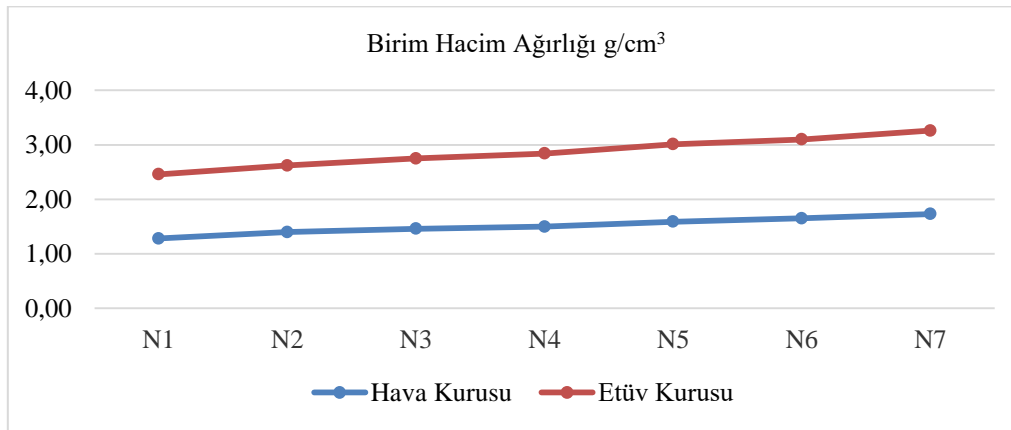
Numunelerin birim hacim ağırlıkları hem etüv kuru hem de ortam şartlarındaki hava kuru olarak ayrı ayrı hesaplanmış olup Tablo 4'te ve Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Numunelerin birim hacim ağırlığı

Numune	Hacimce (%)		Numune kütlesi (g)			BHA g/cm ³	
	CEM I	KAK	Hava kütlesi	kurusu	Etüv kütlesi	Hava kuru	Etüv kuru
N1	20	80	328.7		301.2	1.28	1.18
N2	25	75	359.4		312.8	1.40	1.22
N3	30	70	373.3		330.1	1.46	1.29
N4	35	65	384.1		343.9	1.50	1.34
N5	40	60	406.0		364.3	1.59	1.42
N6	45	55	423.2		370.4	1.65	1.45
N7	50	50	443.9		390.4	1.73	1.53

Not: Numunelerin hacimsel ölçüleri standart olarak 256 cm³ alınmıştır.

Birim hacim ağırlıklarına göre numunelerin sınıflandırılması yapıldığı takdirde, inşaat teknolojisinde genel olarak 1.6 g/cm³'ten büyük numuneler ağır yapı malzemesi, bu değerden küçük olan numuneler ise hafif malzemeler olarak kabul edilmektedir. Böylelikle, bu çalışmada elde edilen kül karışımı numunelerin hafif yapı malzemesi sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ancak hava kuru durumda olan N6 ve N7 (45:50 ve 50:50, Cem I: KAK) karışımı numunelerin birim hacim ağırlıkları sınır değerden bir miktar yüksek çıkmıştır. Çimentonun birim hacim ağırlığının kül dolgu malzemesinden yüksek olması nedeniyle karışımlarda kullanılan çimento miktarının artması ile birim hacim ağırlığının da arttığı görülmektedir.

**Şekil 6.** Numunelerin birim hacim ağırlığı

3.2. Eksenel Basınç Gerilmesi

Yapı teknolojisinde basınç dayanımı, özellikle betonarme sistemin yapısal bütünlüğü için hayati öneme sahiptir. Gelişen teknolojiye paralel, standartların ve yönetmeliklerin değiştirilmesi ile malzeme basınç dayanımının bilinmesi daha da önemli hale gelmiştir. "Basınç dayanımı" mühendislik uygulamalarında en sık kullanılan kriter olup, mühendislik yaklaşımında hemen tüm yapı tasarımlarının temelini oluşturmaktadır. Böylece malzeme teknolojisinde, malzeme üzerindeki en

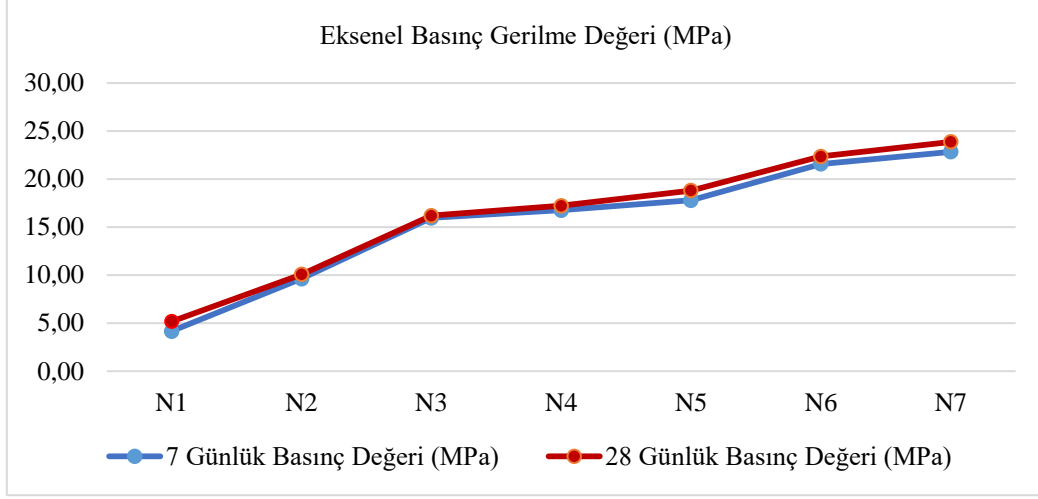
önemli yükün basınç gerilmesi olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada da numuneler Şekil 7’de verilen pres yardımıyla ölçülmüş, elde edilen 7 ve 28 günlük eksenel basınç gerilmeleri değerleri Tablo 5’te ve Şekil 8’de verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde basınç gerilmeleri, N3 numunesi itibariyle konstrüktif amaçlı detay betonları için kabul edilen 28 günlük eksenel basınç gerilmesinin (14 MPa) üstünde çıkmıştır. Özellikle N7 numunesi olan % 50 dozda KAK’nde, basınç değerinin taşıyıcı sistemde kullanılan betonun 28 günlük eksenel basınç gerilme değerine (25 MPa) yaklaştığı da görülmektedir.



Şekil 7. Ölçüm yapılan pres makinesi

Tablo 5. Numunelerin eksenel basınç gerilme değerleri

Numune	Hacimce (%)		7 Günlük Basınç Değeri (MPa)	28 Günlük Basınç Değeri (MPa)
	CEM I	KAK		
N1	20	80	4.14	5.17
N2	25	75	9.62	10.07
N3	30	70	15.94	16.18
N4	35	65	16.74	17.21
N5	40	60	17.77	18.79
N6	45	55	21.56	22.35
N7	50	50	22.83	23.86



Şekil 8. 7 ve 28 günlük eksenel basınç gerilme değerleri

3.3. Eğilmede Çekme Gerilmesi

Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kopmaya karşı, betonun gösterebileceği gerilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak beton çekme dayanımına doğrudan maruz bırakılmamaktadır. Ancak, beton üzerine yüklenen eğilme dolaylı da olsa bir çekme kuvvetine neden olmaktadır. Kiriş üzerindeki eğilme yükleri bir moment oluşturmaktadır. Bu doğrultuda da çekme ve kayma gerilmeleri oluşmakta ve çekme kuvvetiyle eğik düzlem üzerinde çatlaklar oluşmaktadır.

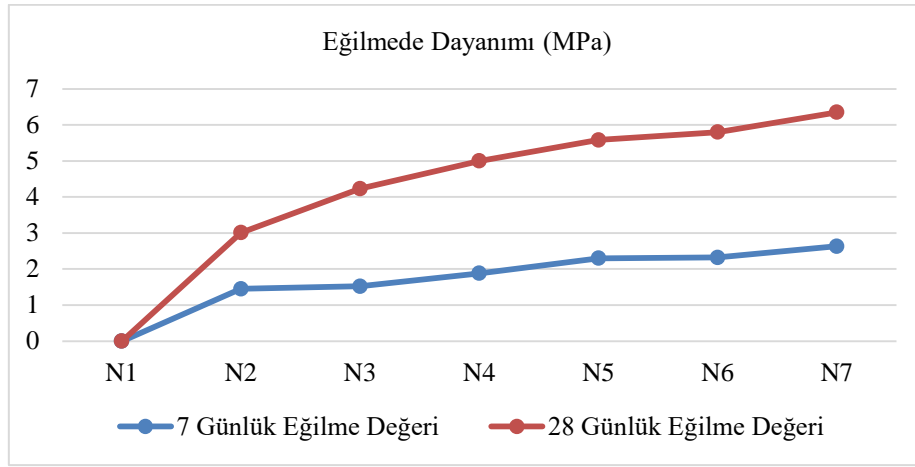
Çalışmada 4*4*16 cm'lik numunelerin eğilme gerilmeleri tek eksen yüklü ölçülmüş (Şekil 9), elde edilen değerler Tablo 6 ve Şekil 10'da verilmiştir. Basınç dayanımı sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde eğilmede çekme gerilmesi değerlerinin basınç dayanımının N2, N3, N4, N5, N6 ve N7 numunelerinde sırasıyla % 15, % 17, % 18, % 17, % 15, % 15 oranında olduğu belirlenmiştir. Genel olarak betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının % 9 - % 10'u kadar kabul edilmekle birlikte, bu oran % 7- % 17 arasında da değişebilmektedir (Güven, 2015).



Şekil 9. Eğilmede çekme testi

Tablo 6. Numunelerin eğilmede-çekme gerilmesi

Numune	Hacimce (%)		7 Günlük Eğilme Değeri (MPa)	28 Günlük Eğilme Değeri (MPa)
	CEM I	KAK		
N1	20	80	0	0
N2	25	75	1.45	1.56
N3	30	70	1.52	2.71
N4	35	65	1.88	3.12
N5	40	60	2.3	3.28
N6	45	55	2.32	3.48
N7	50	50	2.63	3.72

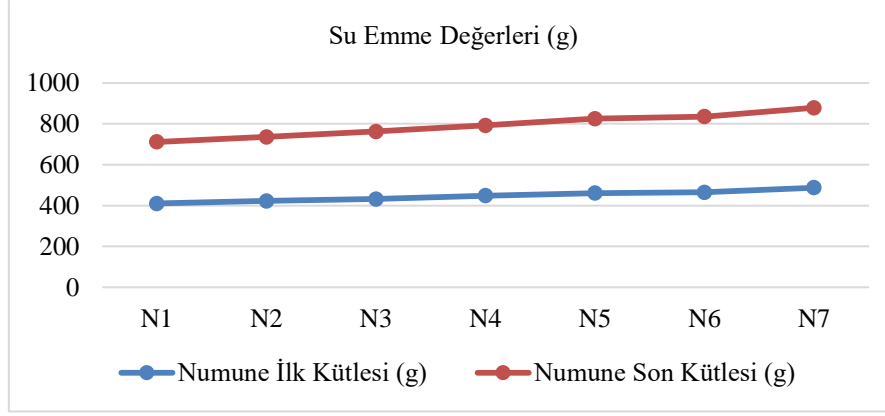
**Şekil 10.** 7 ve 28 günlük numunelerin eğilmede çekme gerilmesi

3.4. Su Emme Deneyi

Numunelerin 7 ve 28 günlük su emme değerleri Tablo 7’de ve Şekil 11’de verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde karışım içerisinde KAK miktarı arttıkça su emme miktarının da arttığı görülmektedir. Malzemenin su emmesi ile içine giren su, nem içeriği ile ısının değişmesine neden olmakta ve devamında malzeme bozulmalar görülmektedir. Dış etmenlere maruz kalan malzemelerde tamamen bozulmalar da olabilmektedir.

Tablo 7. Numunelerin su emme değerleri

Numune	Hacimce (%)		Numune kütlesi (g)		Su emme (%)
	CEM I	KAK	İlk kütlesi	Son kütlesi	
N1	20	80	410.1	301.2	36.2
N2	25	75	422.6	312.8	35.1
N3	30	70	432.2	330.1	30.9
N4	35	65	448.5	343.9	30.4
N5	40	60	460.6	364.3	26.4
N6	45	55	465.1	370.4	25.6
N7	50	50	487.6	390.4	24.9



Şekil 11. Numunelerin ilk ve son kütlesi su emme değerleri

4. Tartışma ve Sonuç

Atık kazan altı külünü endüstriye kazandırabilmek ve peyzaj mimarlığında kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Birim hacim ağırlıklarına göre atık kazan altı külü katkılı beton numuneleri 1.6 g/cm^3 'ten küçük olduğunda hafif yapı malzemesi sınıfında yer almaktadır. Bu çalışmada da atık kazan altı külünden üretilen numunelerin de hafif yapı malzemesi grubunda olduğu belirlenmiştir. Ancak hava kurusu durumunda olan N6 (% 45:55 Cem I:KAK) ve N7 karışımli numunelerin birim hacim ağırlıkları sınır değerden bir miktar yüksek çıkmıştır. Çimentonun birim hacim ağırlığının kül dolgu malzemesinden yüksek olması nedeniyle karışımlarda kullanılan çimento miktarının artması ile birim hacim ağırlığının da arttığı görülmektedir. Benzer şekilde kazan altı külünün briket üretiminde kullanılabilirliğini araştıran Yüksel ve ark., (2006), çalışmalarında kazan altı külü birim hacim ağırlığının, ince agrega birim hacim ağırlığından daha düşük olması nedeniyle hafif beton üretilmesine olanak verdiğini belirtmiştir. Doğan Sağlamtimur ve Bilgil'de (2018), kazan altı külünü kullanarak ürettikleri geopolimer yapı malzemesinin hafif yapı malzemesi olduğunu belirlemiştir.

İnşaat teknolojisi taşıyıcı sistemde kullanılan betonun 28 günlük eksenel basınç gerilme değerinin 25 MPa ve üzerinde bir değere sahip olması istenmektedir. Bunun yanında konstrüktif amaçlı detay betonlarının 28 günlük eksenel basınç gerilmesinin 14 MPa a kadar olması kabul edilebilmektedir. Çalışmada elde edilen eksenel basınç gerilme değerlerine göre çimento esaslı atık kül dolgulu betonlar detay malzemesi olarak kullanılabilir niteliktedir. Bu betonların eksenel basınç gerilme değerlerine göre peyzaj mimarlığında % 70-50 atık kül dolguya sahip ürünlerin düşey kaplama malzemesi olarak kullanılabilir nitelikte (17.21-23.86 MPa) olduğu görülmüştür. Yine aynı karışıma sahip ürünlerin yüksek oranda aşınmaya maruz kalmayan alanlarda yatay malzeme olarak (bordür taşı vb.) kullanılabilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Tınmaz ve ark., (2013), çalışmalarında taban külünü çimento ile ağırlıkça farklı oranlarda (% 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 ve 50) karıştırarak beton üretiminde kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda % 20 oranına kadar olan karışımların dayanımının uygun olduğu ve yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Benzer şekilde Ullah ve

ark., (2020), yaptıkları çalışmalarında kazan altı külünün yüksek dayanıklılığa sahip olması nedeniyle otoyollar, baraj bentleri gibi farklı inşaat projeleri için uygun bir yapı malzemesi olduğunu belirtmiştir. Singh ve Siddique (2016), çalışmalarında kömür taban külünü kumun yerine yine farklı oranlarda (% 0, 20, 30, 40, 50, 75 ve 100) karışımlar oluşturarak kullanmıştır. Çalışmada taban külünün, farklı oranlarla betonda karışım olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır. İşlenebilirliğin sorun olmadığı beton uygulamalarında (bordürler, drenaj olukları vb.) % 100 taban külünün kullanılabilmesi de belirtilmiştir. Basirun ve ark., (2017), kazan altı külünün kaba ve ince taneli olması nedeniyle beton içerisinde kuma alternatif olarak kullanılabilmesini, kazan altı külünün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin betonun kullanıldığı yapı materyalleri içerisinde değerlendirilebileceğini bildirmiştir.

Betonlardaki çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasında bir ilişki bulunmaktadır. Yapı tasarım hesaplarında genellikle betonun basınç dayanımı esas alınmaktadır. Ancak betonun çekme direncine dayanımı düşük olduğundan betonda çatlaklar oluşabilmektedir. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının % 7 ile % 17'si arasında kabul edilebilmektedir. Eğilmeye çekme gerilmesinin ölçüldüğü numuneler arasında % 65 kazan altı külünün kullanıldığı örnekte bu değer aşıldığı belirlenmiştir (% 18). Eğilmeye maruz kalan numunelerde yer alan kırılma, betonun oldukça düşük çekme dayanımına sahip olması nedeniyle eksenel yükün altında kalmıştır.

Çalışmada kullanılan numuneler içerisinde kazan altı kül miktarı arttıkça su emme miktarının da arttığı belirlenmiştir. Atık kül dolgulu ürünlerin yüksek oranda porozite ve su emme miktarlarına sahip olması sebebiyle suyla temasın yüksek olacağı alanlarda drenaj sisteminin iyi bir şekilde çözülmesi gerekmektedir. Kazan altı külünün beton özellikleri üzerine etkisini araştıran Bai ve ark., (2005), % 30, 50, 70 ve 100 oranlarında kazan altı külünü doğal kum yerine kullanmıştır. İlk dönemde basınç dayanımının düşük, ilerleyen dönemlerde ise normal olduğunu ve su emmenin arttığını bildirmiştir.

Çalışmadan elde edilen veriler ile kazan altı külü ile üretilen numunelerin hafif yapı malzemesi sınıfında olduğu belirlenmiştir. Çimento ile % 70, % 65, % 60, % 55 ve % 50 atık kül dolguya sahip ürünlerin düşey kaplama malzemesi olarak, aşınmaya maruz kalmayan yüzeylerde yatay malzeme olarak, kent mobilyalarının inşasında, park ve bahçe yürüyüş yollarında endüstride kullanılan kaldırım parke taşı üretiminde olduğu gibi üst yüzeylerinin farklı malzeme ile kaplanarak kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye % 100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Ahmari S., Zhang L. Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization. *Construction and Building Materials* 2012; 29(9): 323-331.
- Algin HM., Turgut P. Cotton and limestone powder wastes as brick material. *Construction and Building Materials* 2008; 22(6): 1074-1080.
- Akat H., Çetinkale Demirkan G., Akat Ö., Yokaş İ. *Limonium sinuatum* yetiştiriciliğinde farklı ortamlara ilave edilen atık su arıtma çamurunun süs bitkisi yetiştirme materyali karışımı olarak kullanımı. *Tekirdağ Ziraat Fak. Derg.* 2015a; 12(1): 81-90.
- Akat H., Çetinkale Demirkan G., Akat Saraçoğlu Ö., Yağmur B., Yokaş İ. Arıtma çamuru uygulamalarının *Limonium sinuatum* Compindi White çeşidinde bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerine etkileri. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 2015b; 52(1): 107-114.
- Bai Y., Darcy F., Basheer PAM. Strength and drying shrinkage properties of concrete containing furnace bottom ash as fine aggregate. *Construction and Building Materials* 2005; 19(9): 691-697.
- Basirun NF., Wan Ibrahim MH., Jamaludin N., Jaya RP. A review: The effect of grinded coal bottom ash on concrete. *MATEC Web of Conferences*, 2017; 103: 01007.
- Bekem Kara İ. Çay endüstrisi atık küllerinin beton üretiminde değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 8(1): 983-992.
- Cheng-Fang L., Chung-Hsin W., Hsiu-Mai H. Recovery of municipal waste incineration bottom ash and water treatment sludge to water permeable pavement materials. *Journal of Waste Management* 2006; 26: 970-978.
- Cihan MT., Güneş E., Günay G. Trakya bölgesi atık taban küllerinin beton üretimi için karakterizasyonu. *European Journal of Engineering and Applied Science* 2021; 4(2): 50-56.
- Doğan Sağlamtimur N., Bilgil A. Atık kazan altı külü ve pomza elek altı atığından geopolimer yapı malzemesi üretimi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 7(2): 590-599.
- Doğan-Sağlamtimur N., Bilgil A., Cila T., Dursun M., Yıldırım G., Akbulut H., Doğuç Ü., Erkekli K., Yıldırım S. Gökür AŞ. Niğde fabrikası kazan altı küllerinden çimento bağlayıcılı hafif yapı elemanı üretimi. *Çevre Bilim ve Teknoloji* 2016; 1: 50-57.
- Doğan-Sağlamtimur N., Bilgil A., Demir M., Yılmaz ML., Polat S., Özen E., Dördü H. A reuse study from Niğde, Turkey: The conversion of industrial ash to geopolymer. *Desalination and Water Treatment* 2016a; 57: 2604-2615.
- Doğan-Sağlamtimur N., Güven A., Bilgil A. Physical and mechanical properties of new produced cemented ash-based lightweight building materials with and without pumice. *Advances in Materials Science and Engineering* 2018; 1-12.

- Güven H. Denizli ve çevresindeki traverten atıklarının betonda katkı malzemesi olarak kullanılması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:49, Denizli, Türkiye, 2015.
- Hanay Ö., Koçer N. Elazığ kenti katı atıkları geri kazanım potansiyelinin belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2006; 18: 507-511.
- Ibrahim MHW., Hamzah AF., Jamaluddin N., Ramadhansyah PJ., Fadzil AM. Split tensile strength on self-compacting concrete containing coal bottom ash. Procedia - Social Behavior Science 2015; 195: 2280–2289.
- İntes, 2014. İnşaat Sektörü Raporu. <http://www.intes.org.tr/content/MArt-2014.pdf> (Erişim: 27.01.2022)
- Jayaranjan MLD., Van Hullebusch ED., Annachhatre AP. Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 2014; 13: 467-486.
- Kara C., Bekem İ. Endüstriyel atıkların beton dayanımına etkisi üzerine bir çalışma: çay fabrikası kömür külü örneği. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi 2018; 7(2): 75-85.
- Kaseva ME., Gupta SK. Recycling an environmentally friendly and income generating activity-towards sustainable solid wastes management, a case study-dar es salaam city, Tanzania. Resources Conservation and Recycling 1996; 17: 299-309.
- Kaseva ME., Mbugliwe S., Kassenga G. Recycling inorganic domestic solid wastes: results from a pilot study in dar es salaam city, Tanzania. Resources, Conservation and Recycling 2002; 35: 243-257.
- Luciana CSH., Carla EH., Miria HMR., Nora DM., Celia RGGT., Rosangela B. Characterization of ceramic bricks incorporated with textile laundry sludge. Ceramic International 2011; 28: 951-959.
- Ullah A., Kassim A., Abbil A., Matusin S., Rashid ASA., Yunus NZM., Abuelgasim R. Evaluation of coal bottom ash properties and its applicability as engineering material. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2020; 498(1): 012044.
- Ramzi NIR., Shahiron S., Maarof MZ., Ali N. Physical and chemical properties of coal bottom ash (cba) from tanjung bin power plant. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2016; 160: 1-10.
- Raut A., Patel MS., Jadhwar NB., Khan U., Dhengare SW. Investigating the application of waste plastic bottle as a construction material-a review. Journal of Advance Research in Mechanical and Civil Engineering 2015; 2(3): 73-83.
- Seik FT. Recycling of domestic waste: early experiences in Singapore. Habitat International 1997; 21(3): 29-277.
- Siddique R. Utilization of coal combustion by-products in sustainable construction materials. Resources, Conservation and Recycling 2010; 54: 1060-1066.

- Singh M., Siddique R. Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on workability and strength properties of concrete. *Journal of Cleaner Production* 2016; 112: 620-630.
- Syahrul M., Sani M., Muftah F., Muda Z. The properties of special concrete using washed bottom ash (wba) as partial sand replacement. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology* 2010; 1(2): 65–76.
- Taurino R., Karamanova E., Barbieri L., Atanasova-Vladimirova S., Andreola F., Karamanov A. New fired bricks based on municipal solid waste incinerator bottom ash. *Waste Management & Research* 2017; 35(10): 1055-1063.
- Tınmaz Köse E., Akyıldız A., Yıldız A. Recycling of coal ash as a building material via a stabilization/solidification method. *Global Nest Journal* 2013; 15(4): 485-493.
- TS 2824 EN 1338. Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - gerekli şartlar ve deney metotları
- TS 436 EN 1340. Zemin döşemesi için beton bordür taşları - gerekli şartlar ve deney metotları
- TS EN 12350-6. Beton - taze beton deneyleri - bölüm 6: yoğunluk
- TS EN 12390 -7. Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 7: sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini
- TS EN 12390-3. Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 3: deney numunelerinde basınç dayanımının tayini
- TS EN 12390-6. Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 6: deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini
- TUİK 2021. Atık istatistikleri, 2020. [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198#:~:text=Belediyelerde%2032%2C3%20milyon%20ton%20at%C4%B1k%20topland%C4%B1&text=Belediyelerde%20toplanan%20ki%C5%9Fi%20ba%C5%9F%C4%B1%20g%C3%BCnl%C3%BCK,ar%C4%B1tma%20%C3%A7amuru%20olu%C5%9Ftu%C4%9Fu%20tespit%20edildi.\(Erişim Tarihi, 04.02.2022\)](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198#:~:text=Belediyelerde%2032%2C3%20milyon%20ton%20at%C4%B1k%20topland%C4%B1&text=Belediyelerde%20toplanan%20ki%C5%9Fi%20ba%C5%9F%C4%B1%20g%C3%BCnl%C3%BCK,ar%C4%B1tma%20%C3%A7amuru%20olu%C5%9Ftu%C4%9Fu%20tespit%20edildi.(Erişim%20Tarihi,%2004.02.2022))
- Yüksel İ., Özkan Ö., Bilir T. Kazanaltı külü ile briket üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2006; 21(3): 527-532.