



Endüstriyel Yan Ürünlerin Yeniden Değerlendirilmesi

Birkan Gökpinar^{1*}, Semir Gökpinar²

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

² Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

E-Posta: birkangkp@gmail.com, semir.gokpinar@iste.edu.tr

Özet: Günümüzde endüstrileşmenin hızla gelişmesi ile birlikte enerji ve hammadde ihtiyacı artmaktadır. Bu ihtiyaçlar sonucunda oluşan atıklar çevresel sorunların artmasına neden olmaktadır. Hem maliyeti azaltmak hem de yüksek performans elde etmek amacıyla (betonda, çimento vs.) birçok sektörde yan ürünlerin değerlendirilmesi cazip hale gelmiş ve birçok kuruluş araştırma yapmaya başlamıştır.

Yan ürünlerin en fazla açığa çıktığı sektörlerin başında demir-çelik ve enerji sektörleri gelmektedir. Üretimde girdi olarak kullanılan malzemenin yarısından çoğu gaz ve katı atık/yan ürün haline dönüşmektedir, bu sebeple hem doğal malzemelerin kullanımını azaltmak hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelebilecek problemleri en aza indirmek için uçucu kül, cüruf, tufal ve EAF baca tozu gibi yan ürünler değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışmasında ortaya çıkan başlıca yan ürünlerin direkt olarak yeniden değerlendirme süreçleri ve yeniden hammaddeye dönüştürülme süreçleri araştırılmış. Kullanılan yan ürünlerin, ürünler üzerindeki etkileri incelenmiş ve özellikle yapı sektöründe malzeme dayanımı konusu irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, tufal, cüruf, EAF baca tozu, Waelz Proses, yan ürünler

Industrial By-products and Re-evaluation

Abstract: Demand of the energy and raw material is being increased with development of industrial, nowadays. The wastes generated as a result of these requirements increase the environmental problem. In order to reduce costs and increase high performance (concrete, cement, etc.) evaluation of the by-products in many sectors has become attractive and many organizations have started to do research about this topic.

Iron-steel and energy sectors are those which the by-products are most produced. More than half of the material is used as input in production is transformed into gas and solid waste/by-product, so by-products such as fly ash, slag, oxide layer and EAF dust are evaluated in order to reduce the use of natural materials and to minimize the problems that may occur in the environment if the materials are storage for disposal.

In this thesis, the process of re-evaluation of the mainly by-products and the process of re-conversion to raw materials were investigated. The effects of the used by-products on the products have been searched and especially in the construction sector, the resistance of materials is examined.

Key Words: Fly ash, oxide layer, slag, EAF dust, Waelz Process, By-Products

GİRİŞ

Yan ürünler, endüstriyel üretim tesislerinde gerçekleşen proseslerin belli aşamalarında açığa çıkan ve atık sınıfına giren ancak günümüzde farklı tesislerde hammadde yerine kullanılabilen ürünlerdir. Yan ürünlerin kullanımları ile ilgili araştırmalar çok eski yıllara dayanmaktadır. İlk olarak Amerika Birleşik Devletlerinde 1830 yılında demir yollarında, 1875'te yol yapımında kullanılmaya başlanmıştır^[1].

Yan ürünler bazen nihai ürün eldesin de hiç bir işlemde geçmeden direkt olarak üretime girerken, bazı durumlarda ayrıştırma işlemlerine tabi tutulurlar. Demir-çelik atığı olan baca tozu ayrıştırma işlemlerine tutularak çinko eldesi sağlanırken, termik santral atığı olan uçucu kül hiç bir işlemde geçmeden direkt olarak çimento ve betonda kullanılmaktadır.

Dünya genelinde tüketim değerlerinin artmasıyla doğru orantılı olarak sanayi üretimleri de artmış, buda daha fazla atığın oluşmasına neden olmuştur. 2017 yılında yayınlanan TÜİK verilerine göre termik santrallerde 17 milyon ton uçucu kül açığa çıktığı gösterilmektedir. Bu külün 2,8 milyon tonu

*İlgili E-posta: birkangkp@gmail.com

Bu çalışma ISESER 2019 'da (25-27 Mayıs 2019) Sözlü Bildiri olarak sunulmuştur.

direk beton katkısında kullanılabilir [2]. Bu miktarın hem atıkların tekrardan kullanımı açısından hem de doğal kaynakların daha az tüketilmesi açısından önemli bir yeri vardır.

Demir-çelik üretim süreçlerinde açığa çıkan baca tozu ise belirli işlemlerden geçtikten sonra üretimde kullanılan yan ürünlerdir. İçerisinde bulunan metaller ayrıştırma işlemlerine tabi tutularak külçeler halinde tekrardan çelik üretiminde kullanılır. Ayrıştırma süreçlerinde baca tozunun içerisindeki yaklaşık %15-20 çinko yeniden üretime kazandırılır [3]. Çinkonun değerli bir metal olması ve doğal kaynakların giderek azalıyor olması yan ürün kullanımında baca tozunu tıpkı uçucu kül gibi önemli bir yere koymaktadır.

Yine demir-çelik üretim süreçlerinde çok fazla açığa çıkan yan ürünlerden cürufun bugün çok fazla kullanım alanları vardır. Beton üretiminde agrega olarak, dolgu malzemesi olarak ve tarımda toprağın verimini artırmakta kullanılmaktadır [4]. En önemli kullanım alanı ise CEM III çimentosu üretiminde %35-64 oranında katkı malzemesi olarak eklenebilmektedir [5]. Çimento üretimindeki cüruf kullanımı ayrıca klinker üretimini %15 artırabildiği gibi, baca gazı emisyonlarında düşümü sağlayabilmektedir [6].

Bu çalışmada Hatay-Adana bölgesinde üretim yapan enerji tesislerinde açığa çıkan uçucu külün beton katkısı üzerine araştırmalar yapılmıştır, daha sonra betonun performansının irdelenmesi için üretilen numuneler basınç dayanım testi, eğilme dayanım testi, yarmada çekme dayanım testi, boşluk ve su emme testlerine belirli periyodlarla testlere tabi tutulmuşlardır.

MATERYAL VE YÖNTEMLER

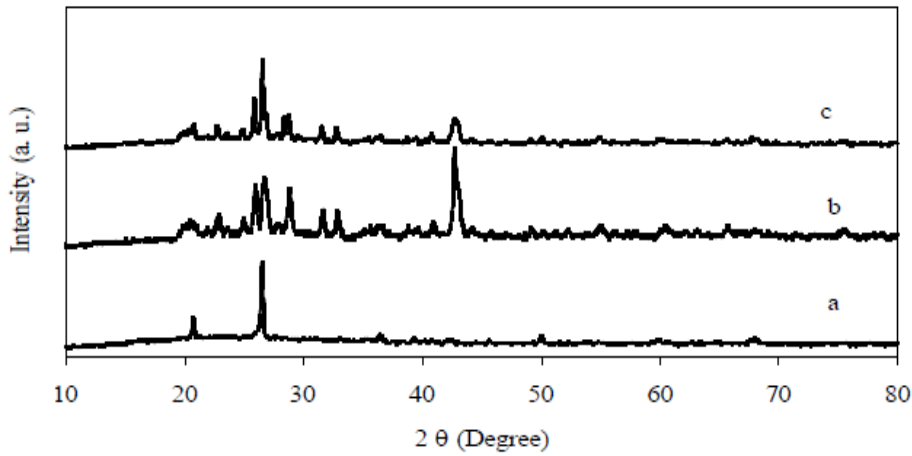
Materyaller

Çimento

Adana Hatay bölgesinde üretimi gerçekleştirilen özgül ağırlığı 3,15 gr/cm³ olan CEM I 42,5 R çimentosu, deney çalışmalarında kullanılmıştır. Yüksek klinker katkısı bulunan çimento, uçucu küller ile birlikte kullanımında hem ekonomik olarak hem de erken nihai mukavemet olarak yapı sektörüne katkı sağlamaktadır. TS EN 197-1:2012 standartlarına uygun olarak üretilen çimento, genel kullanıma uygundur [7].

Uçucu Kül

ASTM C618 (1998)'e göre $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%70$ ve $CaO < \%10$ koşulunu sağlayan yüksek puzzolanik etkili F sınıfı uçucu kül eklentisiyle test yapılmıştır. Kolombiya kaynaklı olan 6200 kCal ısı değere sahip C tipi Bitümlü ithal taş kömüründen elde edilen kül, yapı sektöründe büyük öneme sahiptir.



Şekil 1. Uçucu küle ait XRD grafiği [8].

Agrega

İskenderun Bölgesinden elde edilen kalker agregası test sürecinde kullanılmıştır. Çalışmada beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı 32 mm'dir. Agregalar; ince agrega, ince çakıl ve iri çakıl olmak üzere 3 grupta incelenebilir. İnce agregalar 0-4 mm ve yoğunlukları $2,65 \text{ kg/dm}^3$, ince çakıllar 4-16 mm ve yoğunlukları $2,80 \text{ kg/dm}^3$ ve iri çakıllar 16-32 mm çapında ve $2,80 \text{ kg/dm}^3$ yoğunluğundadır.



Şekil 2. İnce agrega, ince çakıl, iri çakıl (soldan sağa sırasıyla)

Numune Kalıpları

Presleme yöntemiyle üretilen kalıplar 150x150x150 mm boyutunda, TS12390-1 standartına uygun numune kaplarıdır. Deney süreci tamamlanan kalıplar, Fore marka ASTM C684 - BS 1881:112 standartlı tam donanımlı kür havuzunda bekletilmektedir. Bir sonraki deney işlemine kadar, $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde (veya % 95 nemli ortamda) kürlenmektedir.



Şekil 3. Kür havuzu ^[9].



Şekil 4. Numune kalıbı

Akışkanlaştırıcı

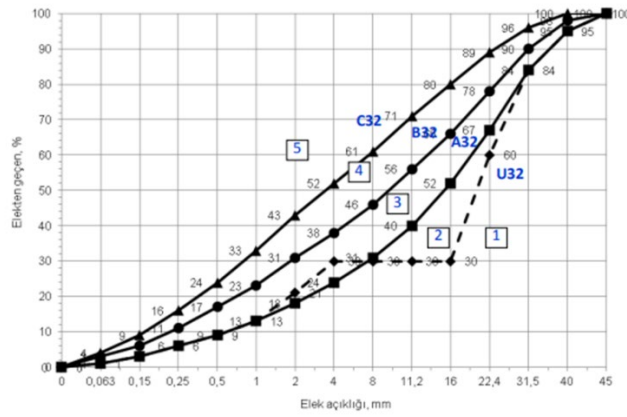
Akışkanlaştırıcılar genel olarak kimyasal katkı maddeleridir. Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu kül çimento ağırlığının %1'i i kadar eklenmiştir. Yoğunluğu 1,048 gr/cm³ ve pH değeri 6,5 dan büyük olan bağlayıcı maddedir [10].

Yöntem

Betona ait ilgili standartlar çerçevesinde, uçucu külün beton üzerindeki etkisini incelenmek üzere yapılan testler; basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve su emmedir.

Beton Karışımları

İri çakıllar 16-32 mm arasında olduğundan D_{max}= 32 mm'dir. Numune kapları 150x150x150 mm boyutlarındadır. İstaş Madencilik Kalker Agrega tanecik boyutu dağılımı grafiğe göre belirlenmiştir. Buna göre ince agrega %47, ince çakıl %25 ve iri çakıl %28 oranındadır.



Şekil 5. Tanecik boyutu dağılım grafiği [11].

Su-Çimento Oranı Belirleme

Hatay ili 1.sınıf deprem bölgesi olduğu için C30/37 beton kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Ayrıca zorlu koşullar için seçilen XF3 beton sınıfına ait deney çalışması için ilgili grafikten yararlanılarak; Su / çimento: 0.5, en az çimento miktarı: 320 kg ve içermesi gereken en az hava içeriği %4 olarak hesaplanmıştır [12].

	Korzyon veya zararlı etki tehlikesi yok	Karbonatlaşma nedeniyle korzyon			Klorürün sebep olduğu korzyon									Donma/çözülme etkisi				ZARARLI KİMYASAL ORTAM ^c		
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
En büyük su/çimento oranı	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45		
En küçük dayanım sınıfı	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	
En az çimento içeriği(kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360		
En az hava içeriği (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^a	4,0 ^b	4,0 ^b	-	-	-		
Diğer şartlar												Pr EN 12620 : 2000'e uygun donma/çözülme dayanıklılığında sahip agrega				Sülfatlarla dayanıklı çimento				

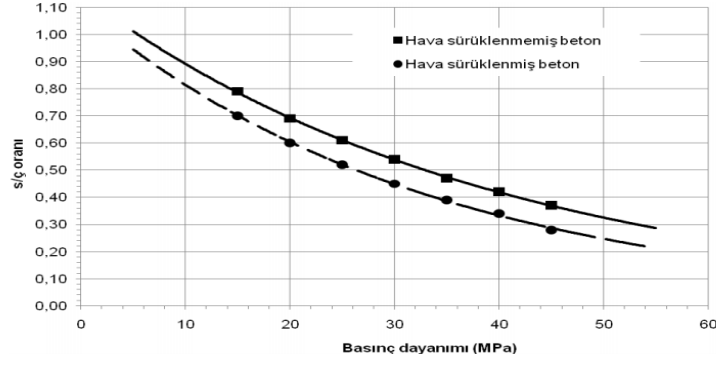
^a Beton sınıfları 15/30 cm standart silindire ve 15 cm ayrıtlı küp örnek ile tanımlanmıştır.

^b Hava sürüklenmemiş betonda, beton performansı ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla kıyas için uygun deney metoduna göre belirlenmelidir.

^c XA2 ve XA3 etki sınıfında basınç etkisinin SO₂⁻ den kaynaklanması halinde sülfatlarla dayanıklı çimento kullanılması zorunludur. Sülfatlarla dayanıklılık bakımından çimentonun sınıflandırılması halinde orta ve yüksek dayanıklı olarak sınıflandırılan çimento XA2 etki sınıfında (uygulanabiliyorsa XA1 etki sınıfında) ve yüksek dayanıklı çimento ise XA3 etki sınıfında kullanılmalıdır. (Dünya)

Şekil 6. Beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler [11].

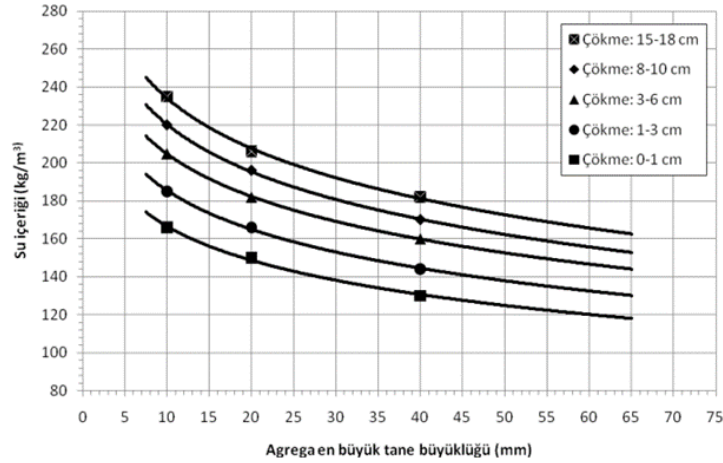
Agrega büyüklükleri ve su azaltıcı etkenlere göre değişen hava sürüklenmiş beton basınç dayanımı ve s/ç oranı hesaplanmıştır. Buna göre s/ç=0,36 ve basınç dayanımı 37 MPa'dır.



Şekil 7. Hava sürüklenmiş ve sürüklenmemiş betonda basınç dayanımı ile su çimento oranı ilişkisi ^[11].

Çimento Oranı ve Su Miktarı

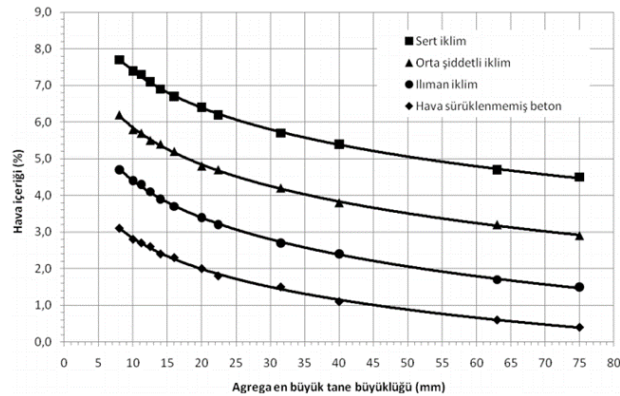
Hatay bölgesinde üretimi yapılan çimentoların çekme değerleri yaklaşık olarak 0-1 cm ve buna bağlı olarak çimento ağırlığının %15'i kadar su azaltır. Katkı maddesinde su kullanımını azaltmaktadır. Buna göre grafik üzerinden bulunanlara göre su miktarı 135 kg/m²'dir.



Şekil 8. Kırma taş agregaya kullanılan en büyük agregata tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerlerine sahip kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları ^[11].

Hava İçeriği

Araştırma yapılan bölge ılıman iklim şartlarında olduğu için ve en büyük agregata tane boyutu 32 mm olduğuna göre hava içeriği %2,6'dır.



Şekil 9. Agregata tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesaplarında kullanılacak toplam hava içerikleri ^[11].

Karışım Hesaplamaları

Karışım hesapları genel olarak yoğunluk formülünden hesaplanmaktadır.

$$d = m/V$$

(Eşitlik 1)

d: Yoğunluk (kg/m³)

m: Kütle (kg)

V: Hacim (m³)

Tablo 1. Beton Karışım Oranları

Karışım Numarası	Çimento (kg/m ³)	Uçucu Kül (kg/m ³)	Su (kg)	Agrega (kg/m ³)	Katkı Malzemesi (kg/m ³)
K1	320	0	135	1993	4,5
K2	300	20	135	2011	4,5
K3	280	40	135	2030	4,5

Agrega, çimento, uçucu kül ve akışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan karışım numune kapları içerisine dökülerek 7, 14, 28 ve 90 gün kür havuzunda bekletilerek nihai sonuçlar elde edilmektedir.

Basınç Dayanım Testi

Uçucu külün beton üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı oranlarda testleri yapılarak karşılaştırılmıştır. İlk karışım külsüz, ikinci karışım da 20 kg ve son karışım da 40 kg olmak üzere üç farklı duruma göre 150x150x150 mm boyutunda küp numune kaplarıyla test yapılmıştır. Numunelere ait basınç dayanımındaki farklılığı araştırmak için 90 günlük değişimler saptanmıştır.

Eğilme Dayanım Testi

K1, K2 ve K3 numunelerine ait eğilme dayanım testi TS 12390-5:2000 standardına göre yapılmaktadır ^[13]. Testler 7, 14, 28 ve 90 günlük periyotlarla tekrarlanmaktadır. Test numune kapları 100x100x500 mm'lik silindirikdir.

Yarmada Çekme Dayanım Testi

Testler, TS EN 12390-6 sayılı standarda uygun yapılmıştır. 28 günlük periyotlarla yapılan testler 150x150x150 mm'lik numune kaplarıyla tekrarlanır ^[14].

Boşluk ve Su Emme Testi

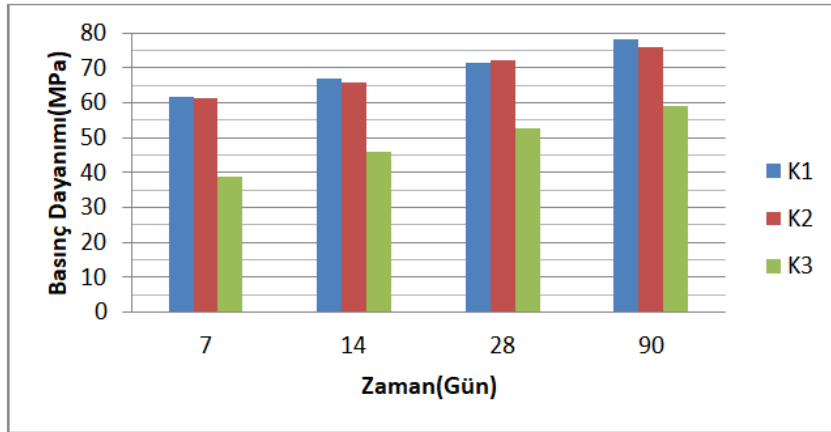
Sertleşmiş betonlarda boşluklu yapının ve su emme oranı tespiti için 28 gün bekletilmek zorundadır. Sonrasında ise suda bekletilmiş 71 mm'lik küp şeklinde kalıp yardımıyla, numuneler etüv fırınlarında kurutulur. Küp biçimindeki bu numunelerin etüv sonrası ve kür havuzu sonrası ıslak ağırlıkları karşılaştırılıp suya doygunluğu saptanır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Test süresince 7, 14, 28 ve 90 gün kür havuzu bekletilme süresine göre basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve boşluk-su emme testleri yapılmıştır.

Basınç Dayanım Testi Sonuçları

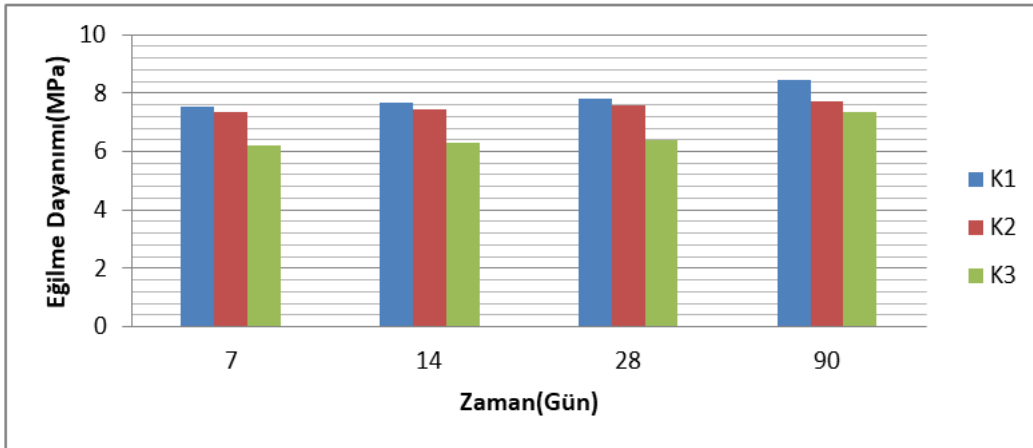


Şekil 9. Basınç dayanım-zaman grafiği

Grafikte beton katkılı uçucu küle ait beton basınç dayanımının 28 günlük nihai sonuçlara göre büyük oranda artışı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak çimentonun az kullanımında betonda oluşabilecek olumsuz etkisi giderilmiştir. CEM I 42,5 R Portland çimentosu, saf klinker yapısı sebebiyle bu fark gözlemlenebilir. Ayrıca çimentonun puzolanik özelliği uçucu kül katkısı ile artmaktadır.

Eğilme Dayanım Testi Sonuçları

Zamana bağlı eğilme indeksi grafikte görüldüğü gibi eğilme dayanımındaki artış basınç dayanımındaki artıştan daha azdır. Eğilme dayanım test sonuçlarına göre, yaklaşık 7. günde %11, 28. günde %10, 90. günde %9'a yakın değerler görülmüştür. Zamana bağlı eğilme dayanımlarının basınç dayanımına etkisinin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 10. Eğilme dayanım-zaman grafiği

Yarmada Çekme Dayanım Testi Sonuçları

Nihai sonuçların elde edilmesi için 28 gün sonundaki test verileri karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarına göre küp yarma çekme sonuçları silindirik yarma çekme sonuçlarından %4 daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür ^[15].

Tablo 2. Yarmada Çekme Dayanım Testi Sonuçları

Uçucu Kül (%)	Küp (MPa)
0	4,11
6	4,13
12	4

Boşluk ve Su Emme Testi Sonuçları

Katkılı betonlarda boşluk ve su emme oranları tabloda gösterilmiştir. İçerdiği kül miktarı arttıkça boşluk ve su emme değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Tablo 3. Boşluk ve Su Emme Testi Sonuçları

Uçucu Kül (%)	Boşluk (%)	Su Emme Oranı (%)	Kapiler Su Emme Katsayısı ($\times 10^{-3}$ cm/sn ⁻¹)
0	7,09	2,86	0,209
6	6,87	2,84	0,380
12	7,69	3,08	0,407

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada yüksek uçuculu C sınıfı bitümlü 6200 kCal'ye sahip ithal taş kömürü kullanan Adana-Hatay bölgesinde kurulu olan termik santrallere ait uçucu külün beton katkısı olarak kullanımı araştırılmıştır.

Hatay ili 1. Sınıf deprem bölgesinde yer almaktadır. Bundan dolayı depreme dayanıklı C30/37 sınıfı beton elde edilerek test yapılmıştır. Deney sürecinde CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmış olup elde edilen beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve boşluk-su emme testi yapılmıştır. Test süreci için üç farklı beton numunesi elde edilmiştir. K1 olarak adlandırılan ilk numune külsüzdür. K2 olarak adlandırılan ikinci tip karışım 20 kg uçucu kül içermektedir. Üçüncü karışım olan K3 ise 40 kg kül katkılıdır. Belirlenen oranlara göre elde edilen betonlar numune kaplarına dökülerek 7. güne kadar bekletilmiştir 7. günün sonunda tüm testler uygulanmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre basınç dayanım testinde en yüksek dayanım K1 numunesinde elde edilmiştir. K2 numunesi basınç dayanım testinde K1 karışımına yakın değerdedir. Fakat K3 numunesi basınç dayanım değeri %30-35 oranında düşük çıkmıştır.

Eğilme dayanım testinde K1 ve K2 için test sonuçları yakın değerler gözlemlenmiş, K3 numunesi değeri yaklaşık %10 oranında daha düşük olarak sonuçlanmıştır. 14. ve 28. günlerde yapılan basınç dayanım ve eğilme testlerinde üç numune için değerlendirilmiştir. Dayanım değerleri çok az miktarda yükselmiştir.

7. ve 14. gün testleri tamamlandıktan sonra 28.gün sonunda nihai dayanım testleri yapılmıştır. Yapılan basınç dayanım testlerinde K2 karışımı ile K1 karışım değerleri birbiriyle yakın çıkmıştır. Bunlara ek olarak yapılan yarmada çekme dayanım ve boşluk-su emme testlerindeki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yarmada dayanım ve su emme testinden çıkan sonuçlar üç karışım da yakın olarak gözlemlenmiştir. Yalnızca yarmada çekme dayanım testinde K2 numunesi K1'den kısmen büyük çıkmıştır.

90 gün sonrasında yapılan testlerden basınç dayanımı ve eğilme dayanımları sonucunda K1 ve K2 7. güne %20 civarı artış göstermiştir. K3 ise en büyük artışla %52 artmıştır. 90 günlük eğilme dayanım testi sonuçlarına göre ise K1 %13, K2 %6 ve K3 %17 oranında artış göstermiştir.

Yapılan dört farklı test sonucuna göre beton içerisindeki kül takviyesi arttıkça basınç dayanım testleri ve eğilme dayanım testlerindeki değerlerin düştüğü saptanmıştır. Fakat konuyla ilgili standartlara göre kül katkısı olan betonların su emme ve yarmada çekme dayanım değerleri çok fazla etkilenmemiştir. Ayrıca buna ek olarak priz süreleri kısalmıştır.

Yapılan karışım oranları değiştirilerek üretimi yapılan betonların deney sonuçları değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuca göre %12 oranından daha fazla uçucu kül takviye edilerek üretim yapıp mukavemet değerleri incelenebilir. Ayrıca farklı çimento tipleri ile farklı mukavemet değerleri de elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Alosman M.S., Kopulev B.A. 1986, Sanayi Atıklarının ve Doğal Kaynaklı Atıkların Değerlendirilmesi Tekniği, Kimya Sanayi Dergisi, s: 18-47, Moskova.
- [2] TÜİK, 2017, Termik Santral Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri web sayfası: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24873> , erişim tarihi: 08.05.2019.
- [3] Antrekowitsch, J., Rösler, G. 2015, Steel Mill Dust Recycling In The 21st Century, Christian Doppler Laboratory For Optimization And Biomass Utilization In Heavy Metal Recycling / Chair Of Nonferrous Metallurgy Montanuniversitaet Leoben Franz-Josef Str. 18 / 8700 Leoben, Austria.
- [4] Altan, E., 2000, Çelikhane Cürufu İçerisindeki Hurdaların Değerlendirilmesi, I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu Ve Sergisi, Zonguldak.
- [5] TS EN 197-1,2002, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri.
- [6] Dündar, H. 2006, Farklı Sogutma Hızlarında Sogutulan Çelikhane Cüruflarının Öğütme Parametrelerinin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [7] Engin, Y., 2015, Çimento Cinsleri, [online] web sayfası: <http://www.betonvecimento.com/cimento/cimento-cinsleri> erişim tarihi:10.04.2019.
- [8] SGM, 2019,Termik Santralden Alınan Uçucu Kül Element Analizi, XRF Uçucu Kül İçeriği, Uçucu Küle Ait Sem Görüntüleri, Uçucu Küle Ait XRD Grafiği, SGS Mineral Services.
- [9] Foreas, 2019 ,Beton Numune Test Cihazı. [online] web sayfası: <http://www.foreas.com/urunler/beton-test-cihazlari-yapi-malzemeleri-test-cihazlari/beton-kur-havuzu> , erişim tarihi:16.05.2019.
- [10] BASF-YKS, 2018, [online] web sayfası: <http://www.ezberler.com.tr/urun/beton-katkilari/basf-yks-glenium-51/> erişim tarihi: 11.03.2019.
- [11] Baradan ve ark ,2012, Baradan, İ. E., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu B., Felekoğlu, K. T., 2012, Beton Hesapları [online], Dokuz Eylül Üniversitesi, web sayfası: http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/YM-II%2315_BETON_KARISIM_HESABI.pdf, erişim tarihi:18.05.2019.
- [12] Uçar, S., 2018, Yeni Deprem Yönetmeliği'nin Beton ile İlgili Getirdiği Düzenlemeler, Mart-Nisan 2018, Y. İnş. Müh. Selçuk Uçar.
- [13] TSE, 12390-5, .Beton-Sertleştirilmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini.
- [14] TSE, 2002, 12390-6, 2002).Beton-Sertleştirilmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini.
- [15] UTEST, 2019, Otomatik çekme & basma deney cihazı, 2018, web sayfası: [http://www.utest.com.tr/tr/20815/Otomatik Cekme Basma-Deney-Cihazı](http://www.utest.com.tr/tr/20815/Otomatik%20Cekme%20Basma-Deney-Cihazı), erişim tarihi:14.05.2019.