

BAKIR ENDÜSTRİSİ ATIKLARININ BETON KATKI MADDESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Başak MESCI

Öğr.Gör.Dr.
Ondokuz Mayıs Üniv.
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği
Böl.
Samsun, Türkiye

Osman Nuri ERGUN

Prof.Dr.
Ondokuz Mayıs Üniv.
Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği
Böl.
Samsun, Türkiye

Mehmet ÇAKIROĞLU

Prof.Dr.
Ondokuz Mayıs Üniv.
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği
Böl.
Samsun, Türkiye

ÖZET

Sürdürülebilir ve yaşanabilir bir çevre oluşturmak, diğer pek çok faktörün yanında çeşitli endüstrilerden oluşan ikincil ürünlerin rasyonel olarak kullanımına bağlıdır. Yapı materyallerinin özelliklerinin pek çoğu, endüstriyel atıkların doğal ve/veya yapay katkı malzemeleri olarak kullanımı ile geliştirilebilmektedir.

Bakır flotasyon atıkları, bakır endüstrilerinden oluşan atıklardır. Büyük miktarlarda oluşan bakır endüstrisi flotasyon atıkları genellikle herhangi bir ön işleme tabi tutulmaksızın tesis çevresindeki alanlara gelişigüzel bir şekilde depolanmaktadır. Çoğu zaman atıkların depolandığı arazi zemininde sızdırmazlık sağlayabilecek herhangi bir örtü tabakası kullanılmadığından, atıkta bulunan ağır metaller zamanla yağış sularının da etkisiyle toprak, yeraltı ve yüzey sularına karışarak insan sağlığını ve çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada Samsun Eti Bakır İşletmeleri bakır flotasyon atıklarının betonda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk aşamada, çimentoya % 2.5, % 5, % 7.5, % 10, % 12.5 ve % 15 oranlarında flotasyon atıkları

ilave edilerek çimentonun basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. İkinci aşamada, karışımlar beton üretiminde kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, Türk Standartları ve referans değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bakır endüstrisi flotasyon atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, çimento, bakır flotasyon atığı, basınç mukavemeti.

GİRİŞ

Nüfus artışı, hızlı ekonomik gelişme ve şehirleşmenin sonucu olarak inşaat sanayi gelişmekte, buna bağlı olarak beton, çimento üretimi ve çeşitleri de artmaktadır. Beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun ana bileşenlerinden olan çimento önemli bir işleve sahiptir. Çimento ve betonda, malzemelerin etkili kullanımı, düşük enerji gerektiren materyallerin gelişmesi, yapıların ve kentsel altyapının servis ömürlerinin uzatılması, geri kazanım ve çeşitli atık malzemelerin kullanımı ile çevreye verilen zararların azalacağı beklenmektedir. Günümüzde çimentonun çeşitli puzolanik malzemelerle yer değiştirilerek hem daha ekonomik, hem de çevreye karşı daha duyarlı bir beton üretimi gündemdedir. Yüksek fırın curufu, uçucu kül, bakır endüstrisi flotasyon atığı ve silis dumanı bağlayıcı ve puzolanik özelliklerinden dolayı çimento ve betonda en fazla kullanılan atık malzemeler arasında yer almaktadır (1, 2, 3).

Bakır endüstrisi flotasyon atıkları, bakır endüstrilerinden oluşan ve Zn, Co ve Pb gibi toksik metallerin eser miktarları yanında önemli miktarda Cu içeren atıklardır. Proseste 1 ton bakır üretiminden yaklaşık 2.2 ton bakır flotasyon atığı oluşmaktadır. Dünyada, bakır üretiminden her yıl yaklaşık 24.6 milyon ton bakır flotasyon atığının oluştuğu bilinmektedir. Büyük miktarlarda oluşan bakır atıkları genellikle herhangi bir ön işleme tabi tutulmaksızın tesis çevresindeki alanlara gelişigüzel bir şekilde depolanmaktadır (4, 5, 6).

Samsun'da kurulu bulunan Eti Bakır İşletmelerine ait izabe tesislerinde cevherden metalik bakır üretilmektedir. İzabe tesislerde yaklaşık olarak %5-7 bakır içeren Murgul, Küre gibi bir çok yerden gelen ve Kalkoprit (CuFeS_2), Bornit (Cu_5FeS_4), Kovelin (CuS) ve Kalkozin (Cu_2S) gibi bakır mineralleri işlenmektedir. Proses sonucu ortaya çıkan curuf ise açık havada bekletilerek soğutulmakta ve içerisinde kalan bakır kazanmak için flotasyon ünitesine gönderilmektedir. Flotasyon ünitesinde bakırın % 1-2'lik bir kısmı geri kazanıldıktan sonra kalan kısım fabrika çevresindeki araziye flotasyon atığı olarak depolanmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu flotasyon atığının fabrika

sahası içinde yaklaşık 140.000 m²'lik bir alanı işgal ettiği belirlenmiştir. Çoğu zaman atıkların depolandığı arazi zemininde sızdırmazlık sağlayabilecek herhangi bir örtü tabakası kullanılmadığından, atıkta bulunan ağır metaller zamanla yağış sularının da etkisiyle toprak, yeraltı ve yüzey sularına karışarak insan sağlığını ve çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir (7).

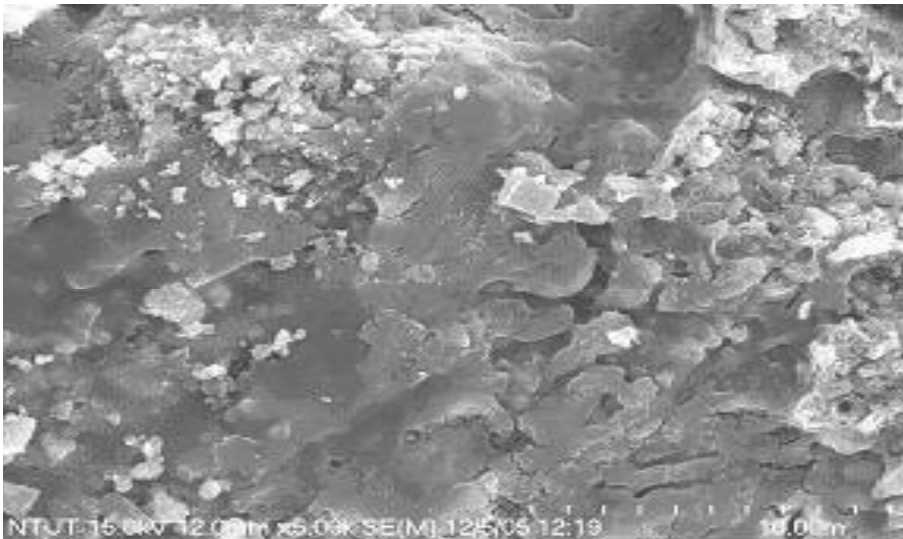
AMAÇ

Bu çalışmada, Samsun Eti Bakır İşletmeleri İzabe Tesisi flotasyon atıklarının çimento katkı maddesi olarak kullanıldığında betonun basınç mukavemeti üzerine etkisi araştırılmıştır. İlk aşamada çimentoya, % 2.5, % 5, % 7.5, % 10, % 12.5 ve % 15 oranlarında flotasyon atıkları ilave edilerek çimentonun basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. İkinci aşamada, karışımlar beton üretiminde kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, Türk Standartları ve referans değerle karşılaştırılmıştır.

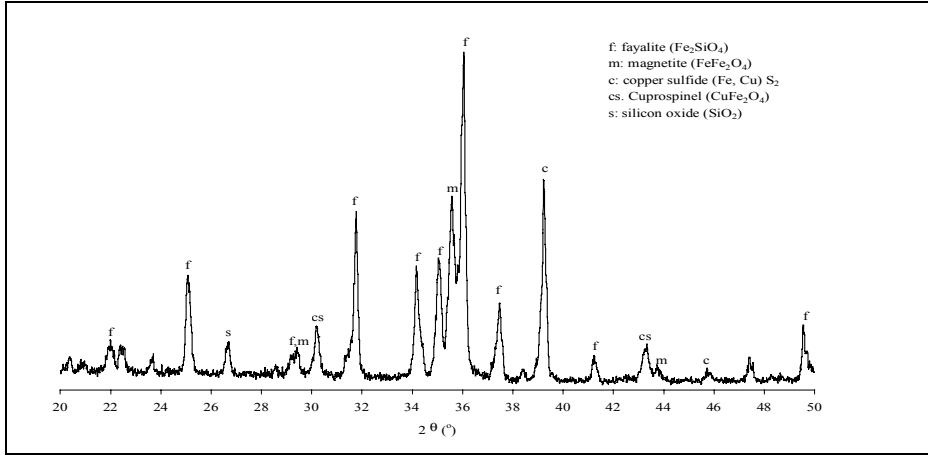
MATERYAL VE METOD

Flotasyon Atıkları

Flotasyon atıkları, Eti Bakır İşletmesi İzabe Tesisleri'nde mekanik bakır eldesi sırasında ortaya çıkan curuflar içerisinde kalan bakırın geri kazanılması için, uygulanan flotasyon ünitesinden temin edilmiştir. Flotasyon atığının SEM fotoğrafı Şekil 1'de, XRD spektrumu Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Bakır Flotasyon Atığının SEM Görüntüsü



Şekil 2. Bakır Flotasyon Atığının XRD Spektrumu

Flotasyon atığının yaklaşık % 68'i Fe_2O_3 , % 25'i SiO_2 ve geri kalan % 10'luk bir bölümü ise, ZnO , CuO , PbO , Cr_2O_3 ve CaO 'dan oluşmaktadır. Flotasyon atığının kimyasal bileşimi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Eti Bakır İşletmesi İzabe Tesisi Flotasyon Atığının Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşim	Bakır Flotasyon Atığı (%)
SiO_2	24.93 ± 0.04
Al_2O_3	0.88 ± 0.01
Fe_2O_3	67.72 ± 0.03
CaO	0.72 ± 0.01
MgO	0.43 ± 0.02
CuO	1.01 ± 0.01
ZnO	2.82 ± 0.02
PbO	0.31 ± 0.01
BaO	0.11 ± 0.01
MnO	0.89 ± 0.01
K_2O	0.46 ± 0.01
SO_3	2.16 ± 0.01
Diğerleri	0.4

DeneySEL çalışmalarında kullanılan bakır flotasyon atıkları, saha içerisinde farklı noktalardan alınmış ve çalışmalar süresince aynı örnekler kullanılmıştır. Flotasyon atığı tesisten öğütülmüş olarak açığa çıkmış olduğu için herhangi bir boyut analizi yapılmamıştır. Örnekler $103^\circ C$ 'de 2 saat bekletildikten sonra deneylerde kullanılmıştır.

Çimento

Deneysel çalışmalarda kullanılan çimento örnekleri Yibitaş-Lafarge Samsun Çimento Fabrikasından temin edilmiştir. Çalışmalarda kullanılmak üzere seçilen çimento örneği TS EN 197-1'e göre CEM I 42,5 R tip çimento deneylerde kullanılmıştır. Bu ürünü kullanım amacı katkısız tip bir çimento kullanım ihtiyacındandır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. CEM I 42.5 R Tip Çimentonun Kimyasal Analizi

Kimyasal Bileşim	CEM I 42.5 R Tip (%)
SiO ₂	19.57
Al ₂ O ₃	5.58
Fe ₂ O ₃	2.94
CaO	63.11
MgO	1.95
SO ₃	2.73
Kızdırma Kaybı	3.35
Çözünmeyen Kalıntı	0.62
Diğerleri	0.15

Çimento Denemelerinin Oluşturulması

Çalışmada, değişik miktarlarda bakır endüstrisi flotasyon atıkları CEM I tip çimento ile karıştırılarak altı deneme oluşturulmuş ve çimentoda basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Denemelerin karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çimento Denemelerinin Oluşturulması

Deneme No	Karışım Oranları
B1	% 2.5 bakır atığı + % 97.5 CEM I
B2	% 5 bakır atığı + % 95 CEM I
B3	% 7.5 bakır atığı + % 92.5 CEM I
B4	% 10 bakır atığı + % 90 CEM I
B5	% 12.5 bakır atığı + % 87.5 CEM I
B6	% 15 bakır atığı + % 85 CEM I

Çimento harcı oluşturulurken numuneler, kütlece bir kısım çimento, üç kısım standart kum ve 0.50 su/çimento oranında olacak şekilde hazırlanmıştır. Kullanılan kalıplar üç adet prizma biçimli numunenin aynı

anda hazırlanabilmesi için, en kesiti 40mm x 40mm ve uzunluğu 160mm olan üç yatay bölümden oluşmaktadır. Bu kalıpların et kalınlığı en az 10mm olan çelik levhadan yapılmıştır (8).

Çimentonun basınç dayanım deneyleri yapılmak üzere hazırlanan harç, üç deney prizmasına yetecek kadar, (420 ± 2) gr çimento karışımı, (1350 ± 5) gr kum ve (225 ± 1) gr sudan oluşmaktadır. Deneylerde, daha önceden karıştırılmış ve (1350 ± 5) gr'lık plastik torbalarda deneye hazır hale getirilmiş CEN Referans kumu kullanılmıştır. Kırılma günü gelinceye kadar 2, 7, 28 ve 90 gün bekletilmek üzere, su sıcaklığı 20°C'ye ayarlanmış kür havuzlarına konulmuştur (9, 10).

Beton Denemelerinin Oluşturulması

Bu aşamada, çimento deneylerinin gerçekleştirildiği B1, B2, B3 ve B4 karışımları ile beton oluşturularak basınç dayanım deneyleri yapılmıştır.

Beton oluşturulurken ise su / çimento oranı (W/C) 0.95 olacak şekilde ayarlanmıştır. 1 m³'lük beton üretmek için toplam ağırlık 2292 kg olarak alınmış ve 969 kg (% 53) kırma kum, 445 kg (% 24) 08 / 16 mm'lik agrega, 428 kg (% 23) 16 / 31.5 mm'lik agrega kullanılmıştır.

Hazırlanan beton karışımları, 15 x 15 x 15 cm'lik PVC kalıplara dökülerek 1 gün bekletilmiş ve kalıplardan çıkarılmıştır. Kırılma tarihleri gelinceye kadar, 2, 7, 28 ve 90 gün kür havuzunda bekletilmiştir (11, 12).

Basınç Dayanım Testleri

Çimentoda basınç dayanım testleri yapılırken, bekleme süresi dolan numuneler kırılarak ikiye bölünerek her yarım prizma cihazın plakaları arasına ±0.5 mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezi ayarlanmış ve prizmanın arka yüzü plakadan 10mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilmiştir. Basınç, (2400 ± 200) N/s hızda olmak üzere prizmalar kırılana kadar arttırılmıştır. Basınç dayanımı deneyinin sonucu, 3 prizmalık takımdan tayin edilen 6 adet sonucun aritmetik ortalaması olarak ifade edilmiştir (8).

Betonda basınç dayanım testleri yapılırken her beton karışımından iki adet numune hazırlanmış ve iki numunenin beton dayanım değerinin ortalaması alınmıştır. Küp şeklindeki numunelerin basınç dayanımı preste kırılarak ölçülmüştür.

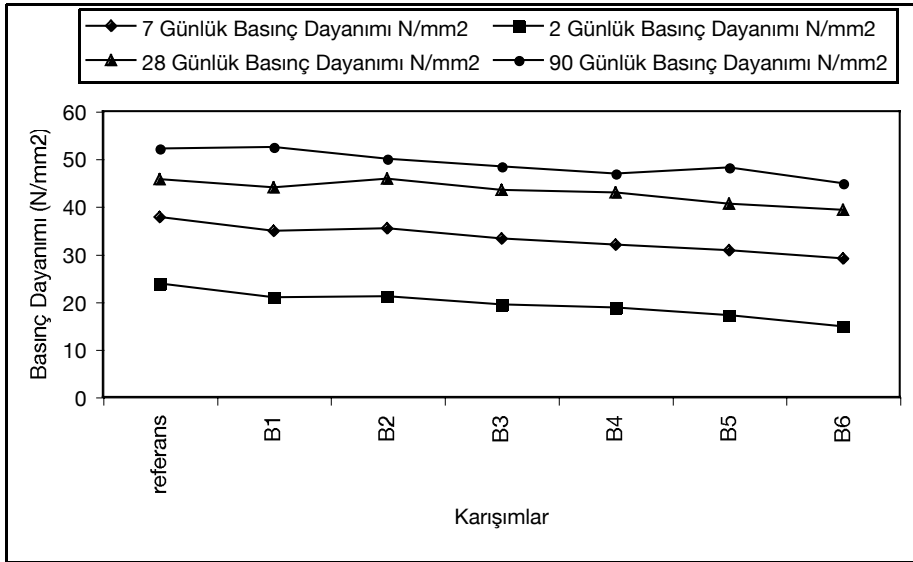
BULGULAR VE DEĞERLENDİRME**Bakır Endüstrisi Atığı Katkılı Çimentonun Basınç Dayanım Sonuçları**

Katkı maddesi olarak bakır atığının çimento ve betonda davranışını tespit edebilmek amacıyla hazırlanan karışımlara farklı oranlarda ilave edilmiştir. Bakır atığı ilave edilerek oluşturulmuş karışımlarla yapılan basınç dayanımı testlerinde 2 ve 7 günlük basınç dayanımları referans çimento için 23.8 N/mm² ve 37.8 N/mm² olarak bulunmuştur. Bu oranlar referans çimentoya göre düşme göstermiştir. 28 günlüklerde ise bu düşme değeri biraz daha azalmıştır. Bu değerler ilave edilen bakır atığı miktarına göre, atık miktarı arttıkça 2, 7, 28 ve 90 günlük değerlerde basınç dayanım kaybı gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar Zain (2004) tarafından yapılan deneylerde de elde edilmiştir. Zain bakır atıklarının güvenli bertarafı için çimentoya katılması gereken optimum dozu % 5 olarak belirlemiştir. Çünkü bu orandan sonra dayanımlarda azalma görülmüştür. Zain (2004) azalmanın nedenini bakır atığında bulunan puzolanik özelliğin, çimentoda bulunanla kıyasladığında düşük olduğundan kaynaklandığını ifade etmiştir. Değerler bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir (13).

% 2.5 bakır atığı katkılı çimentonun 2 günlük basınç dayanım değeri referans çimentoya oranla % 12 oranında basınç kaybına uğrarken, bu oran 7 günlükte % 7.6, 28 günlükte % 3.7 bulunmuştur. 90 günlük karışım ise referans ile yaklaşık olarak aynı değerdedir. Bakır endüstrisi atık miktarı % 10'a çıkarıldığında basınç dayanım değerlerinde sürekli düşme gözlenmiştir. Bu oran referansla karşılaştırıldığında 2, 7, 28 ve 90 günlük değerler için basınç dayanımlarındaki azalma oranları sırasıyla %21, %16, % 6 ve %10 olarak belirlenmiştir. Bakır endüstrisi atığı miktarı % 15 olduğunda referans çimentoya göre 2 günlük dayanımlarda % 37 dayanım kaybı olmuştur. 7, 28 ve 90 günlük dayanımlarda ise bu değer % 15'lere ulaşmıştır. Yapılan çalışmalar ilave edilen tüm oranlarda bakır atığı katkılı çimentonun basınç dayanım değerlerini düşürdüğünü göstermiştir.

Tablo 4. Bakır Endüstrisi İzabe Tesisi Atığı Katkılı Çimentolardan Elde Edilen Karışımların Basınç Dayanımları

Sembol	Çimento Karışımları	Basınç Dayanımı (N/mm ²)			
		2 gün	7 gün	28 gün	90 gün
CEM I 42.5 R	Portland Çimentosu (Referans)	23.8	37.8	45.7	52.2
B1	% 2.5 bakır atığı + % 97.5 CEM I	20.9	34.9	44.0	52.5
B2	% 5 bakır atığı + % 95 CEM I	21.1	35.4	45.8	50.0
B3	% 7.5 bakır atığı + % 92.5 CEM I	19.4	33.3	43.5	48.4
B4	% 10 bakır atığı + % 90 CEM I	18.8	32.0	42.9	46.9
B5	% 12.5 bakır atığı + % 87.5 CEM I	17.2	30.8	40.6	48.2
B6	% 15 bakır atığı + % 85 CEM I	14.8	29.1	39.3	44.9



Şekil 3. Bakır Endüstrisi Atığı ve CEM I Tip 42.5 Karışımından Oluşan Çimentonun Basınç Dayanımlarındaki Değişimi

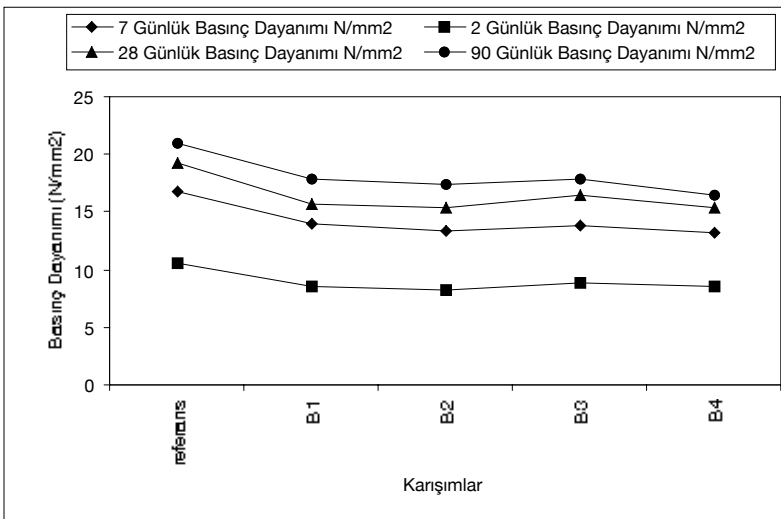
Şekil 3'den de görüldüğü gibi 2 ve 7 günlük değerler için basınç dayanımlarındaki düşme paralellik göstermiştir. 28 günlük değerlerde % 5 bakır atığı katkılı çimento referans çimento değerine ulaşmış ancak katkı ilave oranı arttıkça dayanım düşmüştür. 90 günlük değerlerde ise % 2.5 bakır atığı katkılı çimento referans değerine ulaşmıştır.

Bakır Endüstrisi Atığı Katkılı Betonun Basınç Dayanım Sonuçları

Bakır endüstrisi izabe tesisi atığı katkıli çimentolardan elde edilen betonların basınç dayanımları Tablo 5'de verilmiştir. Referans çimento ile hazırlanan 2 günlük betondaki basınç dayanımı 10.5 N/mm^2 iken, % 2.5 bakır atığı katkıli karışımda 8.5 N/mm^2 ve % 10'luk karışımda 8.2 N/mm^2 bulunmuştur. Beton basınç dayanım testlerinde referans çimentoya oranla düşme gözlenmiştir. 2 günlük değerlerde bakır atığı miktarı arttıkça çimentoda % 16 ve betonda ise ortalama % 20 oranında kayıp bulunmuştur. 7 günlük çimento deneylerinde basınç dayanımı % 10 civarında düşerken bu değer beton deneylerinde % 20, 28 günlüklerde çimento deneylerinde basınç dayanım değerleri % 4 civarında düşerken betonda ise % 20 civarında olmuştur. 90 günlük çimento deneylerinde ise basınç dayanımlarındaki düşme % 5 iken betonda % 17 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Bakır Endüstrisi İzabe Tesisi Atığı Katkılı Çimentolardan Elde Edilen Betonların Basınç Dayanımları

Sembol	Çimento Karışımları	Basınç Dayanımı (N/mm^2)			
		2 gün	7 gün	28 gün	90
CEM I 42.5 R	Portland Çimentosu (Referans)	10.5	16.7	19.3	21.0
B1	% 2.5 bakır atığı + % 97.5 CEM I	8.5	14.0	15.7	17.9
B2	% 5 bakır atığı + % 95 CEM I	8.2	13.4	15.3	17.4
B3	% 7.5 bakır atığı + % 92.5 CEM I	8.9	13.8	16.5	17.9
B4	% 10 bakır atığı + % 90 CEM I	8.2	13.2	15.4	16.5



Şekil 4. Bakır Endüstrisi İzabe Tesisi Atığı Katkılı Çimentolardan Elde Edilen Betonların Basınç Dayanımlarındaki Değişimi

SONUÇ

Beton ve çimento katkı maddesi olarak atık materyallerin kullanılması son yıllarda artış göstermiştir. Yapılan çalışmada Samsun Eti Bakır İşletmelerinden blister bakırın eldesi esnasında ortaya çıkan ve çevresel problemlere neden olan flotasyon atığının beton ve çimentoda katkı maddesi olarak kullanımı araştırılmıştır.

Bakır atığı katkılı karışımların beton deney sonuçları, basınç dayanımı değerleri göz önünde bulundurularak irdelendiğinde, %7.5 bakır atığı + %92.5 CEM I karışımıyla yapılmış olan betonun, bakır oranları değiştirilerek yapılan karışımlara oranla daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Farklı oranlarda bakır atığı katkılı çimentoların 2,7,28 ve 90 günlük basınç dayanımları referans çimento değerleriyle karşılaştırıldığında artan bakır atığı ilavesiyle basınç dayanımlarının düştüğü gözlenmiştir. Ancak % 2.5 bakır atığı ilavesi ile yapılan deney sonuçlarının referans değerlerle uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir. Beton deney sonuçları incelendiğinde bakır atığı miktarının artmasının basınç dayanımları üzerinde azalan bir etki göstermediği bulunmuştur. Bununla birlikte referans değerlerle karşılaştırıldığında basınç dayanım oranlarında bir miktar düşme olduğu gözlenmiştir.

Daha önce yapılmış çalışmalarda hiçbir işlen uygulanmamış bakır flotasyon atığına TCLP leaching yöntemi uygulandığında atıktan çözeltiliye geçen bakır konsantrasyonları yaklaşık 150-160 mg/l arasında bulunmuştur. Bulunan bu değer deşarj standartlarının oldukça üzerindedir. Bu atığın çimentoda katkı maddesi olarak kullanıldıktan sonra yapılan leaching test sonuçlarında değerlerin 0.01mg/l' nin altında olduğu gözlemlenmiştir. Bakır flotasyon atığının katkı maddesi olarak kullanılmasıyla aynı zamanda atığın güvenli bir şekilde bertarafı da gerçekleşmektedir (14).

Sonuç olarak bakır endüstrisi atıklarının çimento ve beton üretiminde kullanımı ile atığın zararlı etkilerinin zararsız hale getirilmesi sağlanmakta aynı zamanda bu teknolojinin giderek artan hammadde gereksiniminin bir kısmı karşılanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Hårdtl, R., "High Quality Concrete Containing Fly Ash According to New European Standards", Cement and Concrete Technology in the 2000s, Mineral Admixtures, Second International Symposium, Turkish Cement Manufacturers Association, Proceedings Volume:1, Ed. A. Yeğinoğlu, Ankara, 2000, pp 350-358.

2. Okucu, A., “Volkanik Tüflerle Birlikte Cürufun Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği”, 6. Ulusal Beton Kongresi, Türkiye Mühendisler Mimarlar Odası Birliği, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul, 2005, pp 73-80.
3. Turanlı, L., Erdoğan, T.Y., ve Karaer, K., “Çayırhan Uçucu Külünün Portland Çimentosu-Uçucu Kül Hamur ve Harçlarının Özelliklerine Etkisi”, Endüstriyel atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3 Bildiriler Kitabı, 1-2 Ekim, Eskişehir, 1997, pp 283-293.
4. Wei, M.S. and Huang, H.H., 2001. “Recycling and Reuse of Industrial Wastes in Taiwan”, Waste Management, 21, pp 93-97.
5. Shi C., Qian J., “High Performance Cementing Materials from Industrial Slags”, Resources Conservation & Recycling, 29, 2000, pp195-207.
6. Gorai, B., Jana, R.K., and Premchand, “Characterisric and Utilization of Copper Slag”, Resources, Conservation and Recycling, 2003, pp 1-15.
7. Çoruh, S., Bakır Endüstrisi Atıklarının Vitrifikasyon Yöntemi İle Bertarafı ve Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, 2003, 135 sayfa.
8. TSE, Çimento-Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini, (TS EN 196-1), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, Ankara.
9. TSE, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, (TS EN 197-1), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, Ankara.
10. TSE, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıpların Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, (TS N 12390), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, Ankara.
11. TSE, Çimento-Deney Metotları-Bölüm 7: Çimentodan Numune Alma ve Hazırlama Metotları, (TS 23 EN 196-7), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, Ankara.
12. TSE, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, (TS 500), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
13. Zain, M.F.M., Islam, M.N., Radin, S.S. and Yap, S.G., “Cement-Based Solidification for the Safe Disposal of Blasted Copper Slag”, Cement and Concrete Composites, No.26, 2004, pp 845-851.
14. Mesci, B., Bakır Endüstrisi Flotasyon Atıkları ve Zeolitlerin Beton Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, 2007, 122 sayfa.