

Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimentoda Kullanılma Stratejileri

Bahar DEMİREL^{1*}, Sema NASIROĞLU²

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye
bdemirel@firat.edu.tr

(Geliş/Received:09.01.2017;Kabul/Accepted:10.02.2017)

Özet

Bu çalışmada bor madeni, mineralleri ve atıklarının çimentoda kullanım şekilleri (yöntemleri) araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada borlu çimentonun potansiyel kullanım alanlarını ortaya koymak amacıyla ulusal ve uluslararası literatür incelenmiştir. Çalışma kapsamında özellikle kolemanit, borik asit, boraks, tinkal, belit gibi bor mineralleri ve atıklarının çimentonun priz süresine, betonun basınç dayanımına ve yalıtım endüstrisine etkileri vurgulanmıştır. Bu çalışmanın bor mineralleri ve atıklarının değişik sektörlerde değerlendirmesi ve özellikle inşaat ve çimento sektöründe yapılacak çalışmalara ışık tutması ümit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bor minerali, Tinkal, Kolemanit, Borlu çimento.

Strategies for the Use of Boron Minerals and Wastes in the Cement

Abstract

In this study, the use of boron mines, mineral sand boron wastes in cement for various purposes was investigated. Potential areas of use of cement that containing boron were determined in the study. It was tried to investigate the past researches in the world and Turkey. At the end of these investigations, it was emphasized that the effect of the boron minerals such as colemanite, boric acid, borax, tincal, belite on the cement set period, compressive strength of the cement, isolation industry. Moreover, this literature survey shows that boron cement is used for concrete roads, dam body concretes, high structures and viaducts. It is hoped that this study will evaluate boron mineral sand wastes in various sectors, and that it will shed light on the work to be done, particularly in the construction and cement sector.

Keywords: Boron Mineral, Tincal, Colemanite, Boron Cement.

1.Giriş

Bor elementi, çok az miktarlarda olmak üzere yer kabuğunda, dolayısıyla bitki, hayvan ve insanların yaşadığı ortamlarda bulunan, metal olmayan bir elementtir. Doğal koşullarda serbest element olarak bulunmayan bor, oksijenle bileşik halde (bor oksit olarak) bulunur. Dünyada en çok bulunan bor mineralleri boratlardır. Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcut olup ticari öneme sahip bor mineralleri; tinkal, kolemanit, kernit, üleksit, pandermit, borasit, szaybelit ve hidroborasittir [1].

Dünya bor üretiminin %90'ını ise Türkiye ve ABD yapmaktadır. Türkiye'de kolemanit, üleksit ve boraks mineralleri ve borik asit, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, sodyumperborat monohidrat ve susuz boraks ticari olarak

üretilmekte ve üretimin büyük bir bölümü ihraç edilmektedir. ABD'de kernit minerali ve borik asit, boraks pentahidrat, susuz boraks, bor oksit, sodyum metaborat, sodyum pentaborat, potasyum pentaborat gibi bor ürünleri ticari amaçlarla üretilmektedir [2].

Dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye % 72'lik pay ile ilk sıradadır. Bor konsantresi üretimi; Eti Holding Eti Bor A.Ş' ye ait Kütahya-Emet, Eskişehir-Kırka, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek işletmelerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tesislerde konsantre bor üretimi yıkama işlemi sonunda dağıtma ve sınıflandırma sonucunda killi malzemenin uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Çağımızın gereği olan hızlı üretim ve tüketim artışı beraberinde birçok sorun getirmiştir. Bu nedenle mevcut hammadde kaynaklarına alternatif

olabilecek ikincil hammadde kaynağı olarak görülen atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar gündeme gelmiştir [3].

Bor elementinin; inşaat ve çimento sanayi, cam sanayi, kimya sanayi, enerji sektörü, metalürji, seramik sanayi, ilaç ve kozmetik sanayi, kağıt sanayi, ahşap malzemelerinde koruyucu, makine sanayi, nükleer sanayi, tarım sektörü, otomobil sanayi gibi pek çok kullanım alanı bulunmaktadır.

Çimento üretiminde bor kullanılması çok sayıda araştırmacı tarafından düşünülmüş ve çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Endüstriyel çapta çimento üretimi ise BOREN Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü ve Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB)'nin ortaklaşa yürüttüğü çalışmalar ile Denizli ve Gölaş çimento fabrikalarında gerçekleştirilmiştir [4].

Çimento üretiminde bor (B_2O_3)'un kullanılması yeni değildir. Araştırmacılar saf B_2O_3 kullanarak ürettikleri çimentonun özelliklerinde önemli sayılabilecek iyileşmeler sağladığını tespit etmişlerdir. Bu zamana kadar yapılmış çalışmalar incelendiğinde, B_2O_3 yüzdesi aynı bor atıkları, çimento içerisine ağırlıkça farklı oranlarda katılmış ve hazırlanan katkılı çimentolara dayanım ve dayanıklılık deneylerinin yapıldığı görülmüştür. Mineral katkıların çimento üretiminde kullanımının çevreye olumlu etkisinin yanı sıra doğal ham maddelerden, yakıt ve elektrik enerjisinden tasarruf sağlayarak maliyetlere de olumlu etkisi olmaktadır. Ayrıca endüstriyel atıklar da dünyada olduğu gibi ülkemizde de küçümsenmeyecek çevresel problemlere neden olmaktadır. Bu atıkların çeşitli alanlarda değerlendirilmesi hem çevresel sorunları ortadan kaldıracak hem de ülke ekonomisine girdi sağlayacaktır. Bu doğrultuda ülkemizde ve dünyada bu tür çalışmalar başlatılmış; kolemanit gibi minerallerin ve bor atıklarının çimento üretimi için uygun olabileceği belirlenmiştir. Yapısında çimento özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek herhangi zararlı bir bileşenin olmaması bor atıklarının çimento üretiminde kullanımı açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır [3].

Çimento üretiminde özellikle kolemanit kullanımı, atmosfere salınan karbon dioksit miktarını % 25-30 oranında düşürmektedir. Borlu çimento üretimi, Kyoto protokolünün getirdiği

sorumluluklar çerçevesinde sektör için can simidi olabilecek potansiyeli taşımaktadır.

Bu çalışma, bor mineralleri ve atıklarının çimento sektöründe değerlendirilmesine yönelik Türkiye gerçekleştirilen çalışmaların incelenmesiyle oluşturulan bir derleme niteliğindedir.

2. Bor Mineralleri ve Bor Atıklarının Çimento Kullanılma Stratejileri

2.1. Borlu çimento ve kullanım alanları

Son zamanlarda çimento üretiminde, bor kullanımı betonun dayanıklılığını artırmaktadır. Borlu çimento, özellikle "beton yol" ve "baraj" inşaatında tercih edilmektedir. Borlu çimentonun beton yol yapımında kullanılabilirliğini ve yol performansına etkisini araştırmak üzere, 1000 metresi Karadeniz Bölgesinde olmak üzere 1600 m beton yol yapılmıştır [2].

Borlu çimentonun yüksek dayanıma sahip olmasından dolayı beton yollarda; düşük hidratasyon ısısı nedeniyle baraj gibi kütle betonlarda ve tüp geçitlerde kullanıldığı yapılan bazı çalışmalarda vurgulanmaktadır [2].

Çimento üretiminde borun kullanılması yeni bir uygulama değildir. Saf B_2O_3 kullanılarak üretilen çimentonun özelliklerinde önemli sayılabilecek iyileşmeler gözlenmiştir. Bu doğrultuda ülkemizde de bu tür çalışmalar başlatılmış ve kolemanitin en uygun mineral olabileceği belirlenmiştir. Bir bor minerali olan kolemanit, %8 oranında çimento üretiminde kullanılması durumunda klinker pişirme sıcaklığını düşürmekte ve çimentonun özelliklerini iyileştirmektedir.

Borlu çimento; mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidratasyon ısısı gibi parametreler açısından portland çimentosuna göre daha iyi özellikler sergilemektedir. Hidratasyon ısısının düşük olması özellikle kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır. Kalsiyum boratlar, çimento üretimi esnasında döner fırın içindeki eriyiğin viskozitesini ve yüzey gerilimini düşürdükleri için oldukça faydalı akışkanlaştırıcı maddelerdir [5].

Dünya bor yatakları arasında sayılı ülkeler arasında bulunan Türkiye toplam rezervin %72'sine sahip olup birinci sırada yer almaktadır. Özellikle kolemanit minerali ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$)

sadece Türkiye ve ABD’de bulunmaktadır. Kolemanit cevherinin kimyasal yapısında % 28 CaO, % 6.5 SiO₂, % 42 B₂O₃ ve % 23.5 H₂O bulunmakta ve çimento üretimi için gerekli olan hammaddeleri de bünyesinde barındırmaktadır [4].

Bu mineralde, çimento özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek hiçbir kimyasal bileşen bulunmamaktadır. Çimentonun dört ana fazından (C₃S, C₂S, C₃A ve C₄AF) hidratasyon ısısı yüksek ve oldukça reaktif olan C₃S fazının olmaması ve düşük sıcaklık nedeniyle C₃A oranının da % 7’den daha az oluşması bu çimentonun hidratasyon ısısının çok düşük olmasına yol açmaktadır. Böylelikle kütle betonu yapılarında bu tip bir çimentonun ideal bir çimento olarak kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır [3].

Farklı mineralojik yapısı nedeniyle borlu çimento portland çimentolarına göre daha düşük hidratasyon ısısına sahiptir. 2 ve 7 günde borlu çimentonun hidratasyon ısısı portland çimentosuna oranla %50 daha düşüktür. Borlu çimento ile yapılan betonlar daha geçirimsiz ve dış etkilere karşı daha dayanıklı olmaktadır. Bu tür betonların su emmeleri ve klor geçirgenliği de portland çimentosundan yapılan betonlara göre %30 daha azdır [4].

Hidrolik bir bağlayıcı olan borlu aktif belit çimentosu (BAB)’nın ince öğütülmüş inorganik bir malzeme olduğu ve su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ile priz alan ve sertleşen bir pasta oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bu çimento pastası hidratasyondan sonra oluşan kararlı hidrate fazlar sayesinde dayanım ve kararlılığını korur. Çimento pastası tanımı TS EN 197-1’ de yer alan çimento tanımına aynen uymaktadır. BAB çimentosu ve çok düşük hidratasyon ısısı çimentoların özellikle düşük yüzey/hacim oranına sahip yapı elemanları gibi kütle betonlarında kullanılması daha uygundur. BAB çimentosunun çok düşük hidratasyon ısısına sahip olma özelliği, sıcaklıkla oluşabilecek çatlakların daha kolay kontrol edilmesine, yüksek dayanıma ve yüksek akışkanlığa sahip beton yapımı ve sıcaklık yükselmesinin kontrolü hususlarında avantaj yaratacaktır [3].

Borlu çimento bor katkısının ve mineralojik bileşiminin bir sonucu olarak normal portland çimentosundan farklı dayanım özellikleri göstermektedir. 2 günlük erken dayanımı düşük olmasına rağmen 28 gün ve sonraki dayanımlarda

portland çimentosuna göre %20 oranında daha yüksek dayanım kazanmaktadır [4]. Bu özelliği sayesinde yüksek dayanımlı beton yapıların inşa edilmesine ve yapı elemanlarının kesitlerinde küçülmeye gidilmesine imkân sağlamaktadır.

BAB çimentosu kullanılan beton ile CEM-1 kullanılan betonların su geçirgenliklerinin karşılaştırılması sonucunda, yaklaşık 275 kg/m³ dozajlı BAB çimentosu kullanılan beton suya ve kimyasallara karşı geçirimsizlik sağladığı CEM-1 kullanılan betonda bu özelliğin sağlanması için en az 400 kg/m³ dozajının kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Bu özellikler, BAB çimentolu betonun dayanıklılık ve zararlı etkiye sahip ortamlarda daha düşük dozajlarda kullanılması ve uzun servis ömrü sağlanması ile önemli derecede üstünlüğe sahip olduğunu göstermektedir [3].

Binici ve arkadaşlarının [6] yaptığı bir çalışmada pomza, barit, kolemanit ve yüksek firm cürufu katkılı çimento harçları oluşturulmuş ve 7, 28 ve 180 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. 7 günlük tüm katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça dayanım azalmaktadır. Ancak 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde kolemanit katkılı numunede katkı oranı arttıkça dayanımında arttığı gözlenmiştir. Bu durumun kolemanitin dayanım kazanma süresinin daha uzun olmasından kaynaklanmıştır.

Bor bileşiklerinin çimento ve beton üretiminde katkı maddesi olarak yaygın kullanımı çimentolu kompozitlere ilave yangın dayanımı, radyasyon geçirimsizliği gibi teknolojik özellikler kazandırmaktadır [7].

Yapılan bir çalışmada öncelikle farklı B₂O₃ konsantrasyonuna sahip çimentolu bileşiklerde priz gecikmesini engelleyebilecek kimyasal katkı tipi ve kullanım oranlarını belirleyebilmek amacıyla, 56 farklı çimento harç örneğinden ikişer adet hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir çimento harç örneğinin öncelikle priz başlama ve priz sonu süreleri TS EN 196-3 standardına uygun olarak, otomatik vikat cihazı ile ölçülmüştür. B₂O₃’ten beklenen teknolojik yararın priz gecikmesi ve dayanım problemleri çözümüne katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bu çalışmada bor bileşiklerinin kalsiyum alüminatlı çimento (KAC)’nın priz süresini CEM-1’e göre çok daha fazla geciktirdiği gözlenmiştir [7].

Tüm bu nitelikleriyle uygulama esnasında açığa çıkardığı ısı, su ve gaz geçirgenliği düşük, kimyasallara karşı da geçirimsiz bir beton elde

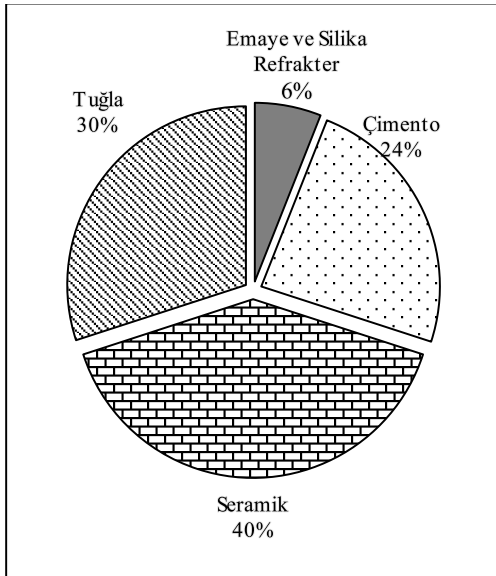
edilen borlu çimento, yapı ve inşaat alanında önemli uygulama alanlarına sahiptir. Ayrıca borlu çimentodan üretilen betonun uzun yaşlarda normal betona kıyasla kırılması veya deforme olması daha zordur, bu sayede yüksek binaların inşası için çok uygundur [8].

Bor atıklarının uygun yöntemlerle çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi sonucunda;

-Atıkların stoklanmasından doğan sorunlar ve stoklama maliyeti azalacak,

- Çevreyi kirleten unsurlar en az düzeye indirilecek,

- Bor atıklarının değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünler ülke ekonomisine ek kazanç sağlayacaktır [9].



Şekil 1. Bor atıklarının sektörel bazda dağılımı, [9]

Son yıllarda çimento endüstrisinde atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmış, uygun miktarda atık malzeme kullanımıyla hem çevresel hem de ekonomik fayda sağlanabileceği görülmüştür. Birçok araştırmacı, çimentoda katkı maddesi olarak uçucu kül, taban külü, kolemanit konsantratör atığı, tinkal konsantratör atığı ile bunların ikili veya üçlü karışımlarını kullanarak aynı anda farklı türde atık malzemelerin çimento üretiminde değerlendirilebilirliğini incelemişlerdir [9].

Targan ve arkadaşları [10], kolemanit atığını, Kula cürufu ve bentonit karışımına ayrı ayrı ilave etmişler ve farklı oranlarda kolemanit atığının çimento üretiminde değerlendirilebileceğini ve klinker üretiminde enerji tasarrufu sağlanacağını belirtmişlerdir.

Bor cevherinin üretimi sırasında her yıl milyonlarca ton kalker ve kil dekapaj ve atık olarak Emet'teki borik asit fabrika sahasında depolanmaktadır. Kolemanit mineralinin zenginleştirme işlemleri sonrasında atık olarak ortaya çıkan borlu kil "Bant altı atık kil" olarak adlandırılmakta ve ayrı yığınlar halinde depolanmaktadır. Bu kil içerisinde %10-13 arasında B_2O_3 bulundurmaktadır. Borlu kil ile normal kil karıştırılarak hazırlanan farin numuneler kullanılarak yapılan bir laboratuvar deneyinde borlu kil ile elde edilen bir farinin pişme endeksi oldukça düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç da atık borlu kil ile endüstriyel üretim yapıldığında pişme sıcaklığının düşeceğini ve yakıt tasarrufu yapılacağını göstermektedir [4].

Boncukçuoğlu ve arkadaşları [11], tinkalden boraks üretimi esnasında meydana gelen tromel elek atığını (TEA) çimentoda kullanımı araştırılmıştır. Buna göre TEA ile üretilen çimentolardan elde edilen betonlar geleneksel çimentolardan elde edilen betonlara nazaran daha iyi mekanik özellik sergilediği, çimento priz süresini kısalttığı ve çimento bünyesine bor ilavesi klinker birim maliyetinin azalmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

Kalsiyumlu bor bileşiği olan kolemanitten borik asit üretimi sırasında atık bir madde oluşmakta ve oluşan bu atığa borojips adı verilmektedir. Yüksek bor içerikli bu atık malzemenin çimento ve beton üretiminde değerlendirilmesine yönelik çalışmalar olumlu neticeler vermiş ve borojipsin çimento bünyelerinde diğer alçıtaşlarının (fosfojips, fluorjips) yerine alternatif bir madde olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir [9].

Yapılan bir diğer çalışmada tinkal üretimi sırasında boraks minerali konsantre hale getirilirken ortaya çıkan ve kil pestili olarak adlandırılan katı atıkların çimento içerisinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Boraksın saflaştırılması sırasında her yıl binlerce ton katı atık ortaya çıkmakta ve bunların depolanması ekonomik ve teknik yönden ciddi sorunlar yaratmaktadır. Boraks atıkları, kil minerali ile aynı bileşenleri içermesi nedeniyle hafif bir puzolanik karakter taşımaktadır.

Çimento inceliğinde öğütülen kil pestili atığı Portland Çimentolu harç içerisine değişik oranlarda katılarak numuneler hazırlanmıştır. Elde edilen harç numuneler üzerinde taze beton

ve sertleşmiş beton deneyleri yapılarak kil pestilinin çimento içerisindeki davranışı ve çimentolu harç numuneler üzerindeki etkisi incelenmiştir [12]. Bulunan sonuçlar şahit numuneler ve Türk Standartları (TS) ile karşılaştırılmıştır. Buna göre boraks içerikli kil pestili atığı çimento, harç ya da beton içerisinde yapısındaki jips nedeniyle geciktirici olarak işlev görmektedir. Özellikle sıcak bölgelerdeki harç ya da beton uygulamalarında teknik ve ekonomik yönden daha kullanılabilir bir yapı malzemesi için kil pestili katkılı malzemeler üretilebildiği görülmüştür. Harç içerisine düşük yüzdelerde (%1.5) kil pestili atığı katılması sonucu basınç ve çekme dayanımında az da olsa artışlar meydana geldiği görülmüştür. Borik oksit yüzdesi düşük katkıların kullanımı ile harca katılan katı miktar da (% 2,5 gibi) arttırılabilir. Bu durum ekonomik ve teknik yönden daha doğru bir seçim olacaktır [12].

Erdoğmuş ve arkadaşları [13], büyük oranda çevre kirliliğine ve ekonomik kayba sebep olan kolemanit konsantratör atıklarının ve Karabük çürufunun birlikte farklı karışımlarının portland çimentoya ilavesinin çimentonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Kolemanit konsantratör atığı, Kula çürufu, alçı taşı ve klinkerin kimyasal analizleri XRF metodu ile yapılmıştır.

Çalışmalar neticesinde kolemanit konsantratör atıklarının ve Karabük çürufunun farklı karışımlarının çimentoda değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Yine bor atıkları üzerine yapılan bir çalışmada bor konsantratör tesislerinden çıkan kil içerikli atıkların, inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi olarak, yol, baraj ve köprü yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir [14].

Sancak [15], yaptığı bir çalışmada borlu aktif belit çimentolu (BAB-TS 13353)harçların mekanik özelliklerini ve içerisine gömülü betonarme çeliğinin korozyona karşı korunmasını incelemiştir. Bu amaçla, CEM I 42.5 içeren BAB içeren harçları karşılaştırmıştır. Araştırmada mekanik özelliklerin belirlenmesine yönelik 40x40x160 mm harç çubuğu numuneleri üzerinde 7. ve 28. günlük kür süreçleri sonunda basınç ve eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Ayrıca ϕ 50x100 mm. silindirik donatılı harç örnekleri üzerinde korozyon deneyleri için %5 NaCl içeren

çözeltiye 60 gün maruz bırakıldıktan sonra elektrokimyasal testler uygulanmıştır. Her deney için iki seride de 5'er numune üretilmiştir. Elde edilen bulgulara göre BAB çimentolu harç örneklerinin basınç dayanımları 7. Günde 14.5MPa iken CEM I 42.5 içerenlerde ortalama 26.8 MPa bulunmuştur. 28 günlük basınçdeneyleri sonucunda BAB çimentolu harçlarda ortalama 55.2MPa, CEM I çimentoluda ise 50.0 MPa değerleri bulunmuştur. Elektrokimyasal testler sonucunda iki çimento türü ile üretilen betonarme çelik donatılı harç örneklerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdikleri görülmüştür. Buna göre, genel olarak, 60 günlük%5 NaCl çözeltisinde korozyona maruz bırakılması sonucunda CEM I 42.5 çimentosunun çelik donatıyı korozyona karşı koruma etkinliği bakımından, BAB ile üretilen harç örneklerinden bir üstünlüğünün olmadığı belirlenmiştir.

Koumpouri ve Angelopoulos [16], bir çalışmalarında düşük enerjili belit içeren çimento üretiminde bor oksit ve bor atığı ilavesinin etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonuçları bor oksitin kontrollü miktarlarda ilavesinin belit çimentosu üretiminde faydalı olabildiğini göstermiştir.

Yine bir başka çalışmada [17], çimento katkı maddesi olarak bor içeren kil atıklarının(kil atığı-clay waste) kullanımı araştırılmıştır. Buna göre klinker ve alçıtaşına CW eklenerek hazırlanan çimentonun mekanik ve kimyasal özellikleri araştırılmış, elde edilen sonuçlar portland çimento özellikleri ve Türk Standartları (TS) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Birinci kil atığı (CW1) ikinci kil atığı (CW2) 'nin sırasıyla %5 ve %10 kadar çimento katkısı olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Mutuk ve Mesci [18], bor atıkları (BW) gibi endüstriyel atıkların ve pirinç kabuğu kültü (RHA) gibi tarımsal atıkların betonda kullanımını araştırmışlardır. Buna göre, RHA ve BW farklı oranlarda çimento örneklerine ayrı ayrı ve birlikte eklenerek, 28 günlük numunelerin basınç dayanımı analizleri yapılmıştır. (BW) ve (RHA) içeren çimentonun mekanik özelliklerinin optimizasyonunda 24 tam faktöriyel kullanılmıştır. Bu atıkların ikisinin de inşaat sektöründe belirlenen yüzdeler ile kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada, çimento ayarlama işlemi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle

borik asit ve saf emayenin birlikte beton koruma özelliklerinin geliştirilmesine uygun olmadığı belirtilmiştir [19].

3.Sonuç

Bor atıklarının değerlendirilmesine yönelik ülkemizde ve dünyada yapılan araştırmalar, bor atıkları için en uygun değerlendirme şeklinin atıktaki borun tekrar kazanılarak geriye kalan malzemenin uygun sektörlerde kullanılabilir hale getirilmesi olduğunu göstermiştir. Kolemanit, borlu atık killer ve atık dekapaj kalkerleri gibi malzemelerin değerlendirilmesi ile borlu ve normal çimento üretimi yapma imkânı bulunmaktadır. Bu şekilde bir yandan atık hammaddeler kullanılarak yakıt tasarrufu ile düşük maliyetli, sürdürülebilir ve yeşil çimento üretilecek; diğer yandan da atıkların katma değerli bir sanayi ürününe dönüştürülmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlanmış olacaktır.

4. Kaynaklar

1. Yılmaz, A., (2004), “Enerji Tasarrufunda Bor ve Perlit”, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü.
2. Yenialaca, Ç.,(2009), “Bor ve Kullanım Alanları”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 35s.
3. Eyyüboğlu, S., (2013), “Kolemanit Konsantrör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 130s.
4. Şahin, M. ve Yıldırım, M.K., (2016). Borlu Çimento, CemenTürk Dergisi, <http://www.cementurk.com.tr/Index/ArticleDetails/76>
5. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, BOREN, “Bor ve Kullanım Alanları”, <http://www.boren.gov.tr/tr>
6. Binici, H., Sevinç, A.H., Durgun M.Y., (2011), “Pomza, Barit, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cüvfu Katkılı Harçların Dayanımı ve Sülfat Direnci”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 39-51.
7. Pehlivanoğlu, H. E., Davraz, M., Kılınçarslan, Ş., (2013), “Bor Bileşiklerinin Çimento Priz Süresine Etkisi ve Denetlenebilirliği”, SDU International Technologic Science, Vol.5, No 3, pp.39-48.
8. Ünal, F., (2016), “Yapı Sektöründe Geleceğin Stratejik Ürünü: Borlu Çimento”, http://ticaretgazetesi.com.tr/index.php?l=1&sayf_a_id=666&id=367794
9. Oruç, F., Sabah, E., Erkan Z.E., (2004), “Türkiye’de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri”, 2.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
10. Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., (2002), *Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Termik Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi*, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 259-266.
11. Boncukçuoğlu, R., Yılmaz, M.T., Kocakerim, M.M., Tosunoğlu, V., (2002), “Utilization of Trommel Sieve Waste as an Additive In Portland Cement Production”, Cement and Concrete Research, Volume 32, 35-39.
12. Uğurlu, A., Özdemir, M., Topçu, İ., (2004), “Bor İçeren Kil Atıkların Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi”, 2.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
13. Erdoğmuş, E., Yılmaz, B., Erdoğan, Y., Avcıata, U., (2004), “Sodyum Karbonat’ın Kolemanit Konsantrör Atığı + Karabük Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi”, 2.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
14. Bentli, T., Özdemir, O., Çeçik, M.S., Ediz, N., (2002), “Bor Atıkları ve Değerlendirilme Stratejileri”, The First International Boron Symposium, Kütahya.
15. Sancak, E., (2015), “Borlu Aktif Belit (Bab) Çimentosu İle Üretilen Harçlarda Kısa Süreli Donatı Korozyonu Davranışının Araştırılması”, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 19 (1), 89-98.
16. Koumpouri, D., Angelopoulos, G.N., (2016), “Effect of boron waste and boric acid addition on the production of low energy belite cement”, Cement and Concrete Composites, 68, 1-8.
17. Özdemir, M., Öztürk, N.U., (2003), “Utilization of clay wastes containing boron as cement additives”, Cement and Concrete Research, 33, 1659–1661.
18. Mutuk, T., Mesci, B., (2014), “Analysis of mechanical properties of cement containing boron waste and rice husk ash using full factorial design”, Journal of Cleaner Production, 69, 128-132.
19. Kharita, M.H., Yousef, S., Al Nassar, M., (2011), “Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete”, Progress in Nuclear Energy, 53, 207-211.