

miktarının azaltılarak klinker üretimi esnasında ve kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan CO₂, NO₂ ve SO₂ gazları salınımının da dolayısı ile azaltılması, sonucu ise klinker üretimi esnasında kullanılan enerji miktarının klinker miktarını azaltmak yolu ile düşürülmesidir.

İki metot ile üretilen çimentoların; fiziksel, mekanik, durabilite ve mikro yapı incelemeleri yapılacaktır. Çimentonun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; incelik, elek analizi, özgül ağırlık, prizi süresi ve genleşme deneyleri, mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, çekme ve basınç dayanımı (7, 28, 90 gün), durabilite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da, sülfatlara dayanıklılık (sodyum ve magnezyum sülfat), alkali silika reaksiyonu (ASR), yüksek sıcaklıklara dayanıklılık deneyleri yapılacaktır. Durabilite özellikleri test edilen numunelerin mikro yapısı, elektron mikroskobu ve XRF deneyleri ile incelenecektir.

2. Problemin Tanımı

Çevreye zararlı etkileri bulunan ve Dünya'da yılda 135 milyon, Avrupa'da 12 milyon ve ülkemizde 3 milyon ton ÇÇ atığı ortaya çıkmaktadır. Dünya'da kullanılan miktarı konusunda kesin bir rakam bulunmamaktadır. En iyimser tahmin ile 50 milyon tonluk kısmı doğada depolanmaktadır. Bu malzemenin yeni bir kullanım alanı ve şeklinin araştırılması ve sonrasında kullanılabilirliğinin sağlanması yıllık en iyi tahmin ile depolanan 50 milyon tonluk atığın yeniden değerlendirilmesini sağlayacaktır. Bu projenin gerçekleştirilmesi sonrasında; en büyük kazanım çevrenin olacaktır.

İkinci kazanım, ülkemizde yıllık 40 milyon ton klinker üretimi yapılırken kalkerin pişirilmesi için kullanılan 6,5 milyon ton fosil yakıttan ve klinker hammaddesinin %40' ı oranında klinker üretiminden ortaya çıkan CO₂, sanayi tarafından ortaya çıkan CO₂'nin %12 sini oluşturmaktadır. Dünyanın emisyon oranını %5 düşürmeye çalıştığı bir dönemde sadece klinker üretimi için ortaya çıkan bu değer klinker yerine alternatif puzolanların klinker olarak kullanılması gerektiğini ifade etmektedir.

Üçüncü kazanım, çimento üretimi için 6,5 milyon ton fosil yakıt ve 250 milyon dolardan fazla enerji ithalatına para harcanmaktadır. 40 milyon ton klinker üretiminin yerine hali hazırda üretilmiş olan bir malzemenin kullanılması ile bahsettiğimiz enerji miktarı farklı sanayi kollar için kullanılabilir. 6,5 milyon ton fosil yakıt ve 250 milyon dolar enerji (elektrik, doğalgaz vb.) için harcanan para ülkemiz için önemli bir değer oluşturmaktadır.

Çalışmamızda elde edilen sonuçlardan, ülkemizin çimento sanayi ve demir çelik sanayi azami şekilde faydalanabilecektir.

2.1. Neden Pittsburgh

Pittsburgh bölgesi Demir Çelik Üretiminde Dünya'da önemli bir yere sahiptir. University of Pittsburgh İnşaat Mühendisliği Bölümü farklı alanda çalışan birçok merkezi bünyesinde tutmaktadır. Bu merkezlerden oluşturulan çalışma ekibi yaptığı toplantılarda yeni projeleri tartışmakta ve ekipler kurarak projeleri yönetmektedir. Bu merkezler şu şekilde sıralanabilir; "Sustainability and Green Design", "Sustainable Transportation Infrastructure", "The Watkins-Haggart Structural Engineering Laboratory" Bu merkezlerden oluşan ekip ise PENN-DOTT (Pensilvanya Karayolları) adına araştırmalar yapmaktadır. Çalışmanın başında University of Pittsburgh akademik koordinatörü Dr. Amir Koubaa

Doç.Dr. Ömer ÖZKAN Yurt Dışı Çalışma Raporu

bulunmaktadır. Bunun yanında Sustainable Design merkezinden Dr. Melissa Bilec, Sustainable Transportation Infrastructure bölümünden Dr. Julie M. Vandenbossche ve Dr. Piervincenzo Rizzo çalışmalara katılacaklardır. Ekip sürdürülebilir malzemeler üzerine çalışmakta ve bu üç merkezde bu konuda yeterli donanım bulunmaktadır. Yaptıkları çalışmalarda atıkların beton, çimento ve yol at ve üst yapısında kullanılması üzerine çok önemli çalışmalar yapmaktadırlar. Bizim çalışmamız onların çalışmaları ile kombine edilecektir.

Ülkemizde beton ve çimento alanında birçok çalışma yapılmakta ve gerçekten bu alanda dünyada önemli bir yere sahip bulunmaktayız. Çalışmamızda, Çelikhane (ÇC) ve Yüksek Fırın Cürufunun (YFC) öncelikle kuru olarak karıştırılması ve sonra ise ergimiş halde karıştırılması gerekmektedir. Kuru olarak karıştırılması Üniversitemiz ve ülkemiz imkanları ile yapılabilmektedir. Ancak Ergimiş karışımın yapılabilmesi için oksijensiz ortamda cürufların eritilmesi gerekmektedir. Bu da yeni bir laboratuvarın kurulmasını gerektirmektedir. Ülkemiz imkanları ile Sakarya Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliği bölümü döküm laboratuvarı kullanılarak bu iki atık malzemenin eritilmesi için çalışma yapılmış ancak oksijensiz bir eritme ortamı oluşturulamadığından mevcut imkanlar ile bu sağlanamamıştır. Araştırmacı tarafından bu imkanlara sahip donanım alınması için 1001 projesine başvurulmuş ancak sonuç alınamamıştır. Bu laboratuvarın kurulmasının büyük projeler tarafından mümkün olacağı ifade edilmiştir. Daha önce hiç uygulanmamış olan bu yöntem ile ilgili laboratuvarın kurulması mümkün olmamaktadır. Ancak ergimiş halde karışım için gerekli imkânlar University of Pittsburgh "Sustainability and Green Design" Laboratuvarında mevcut bulunmaktadır. Bu imkânlarla sahip olan merkezde yapılacak çalışmalarla erimiş karışım ile puzzolanların karıştırılması mümkün olacaktır. Ergimiş halde ÇC ve YFC'nin karıştırılması ve bu karışımın %80 düzeylerinde klinker ile yer değiştirmesi çok büyük bir başarı olacaktır. Bunun gerçekleşmesi halinde ülkemizde büyük projelerden destek alınarak bu laboratuvarın kurulması gerçekleşebilecektir.

TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Dairesi Başkanlığı 2219 Doktora Sonrası Yurt Dışı Araştırma Bursu 12 ay ve maksimumu 2.000 USD/ay destek vermektedir. Bir yıllık çalışmalar için verilecek destek yol harcamaları dahi 25.000 USD'yi geçmemektedir. Bu laboratuvarın ülkemize kurulması ise 200.000 USD yakın bir tutara mal olmaktadır. Araştırmacıya 25.000 USD vererek bu laboratuvarı kurmadan başarılı olma şansı sağlanabilmektedir.

3. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada, demir çelik fabrikaları atığı olan yüksek fırın cürufu ve çelikhane cürufunun tekrar kullanılarak atık malzemelerin değerlendirilmesine yönelik kullanım alanı oluşturulacaktır. Bu amaçla her iki atık malzemenin iki farklı metot ile (Kuru ve erimiş halde) karışımı sağlanacaktır. Elde edilen karışım öğütülerek çimento da klinker yerine kullanılacaktır.

Çalışmada çevreye ve ekonomiye ciddi etkileri olan malzemelerin değerlendirilmesine yönelik iki temel unsur bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi demir çelik fabrikaları atığı olan YFC ve özellikle hiç kullanım alanı bulunmayan ÇC'nin değerlendirilmesidir. Diğer unsur ise bu atık malzemenin çimentoda klinker yerine kullanılması, klinker üretiminde ortaya çıkan enerjinin bu şekilde azaltılması ve klinker üretilirken çevreye verilen zararların ortadan kaldırılmasına yöneliktir.

Demir çelik üretimi esnasında 1 ton çelik üretiminden yaklaşık 0,3 ton YFC, 0,1 ton ÇÇ ortaya çıkmaktadır. 2007 yılında dünyada 1345 milyon ton, ülkemizde ise 27,6 milyon ton ham demir çelik üretimi gerçekleştiği düşünüldüğünde oraya çıkan atığın boyutu daha iyi anlaşılacaktır. Bu iki atıktan YFC inşaat sektöründe yoğun olarak kullanılmakta ve ortaya çıkan atığın büyük bir bölümü tekrar kullanılmaktadır. Bu durum ÇÇ için geçerli değildir. YFC'ye göre daha az miktarda ortaya çıkmasına karşılık pratikte kullanım alanının ülkemizde olmaması atığın depolanmasını zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde yıllık 3 milyon tona yakın ÇÇ açığa çıktığı düşünülürse bu atığın kullanım alanının gerekliliği önemli hale gelmektedir.

2008 yılı itibarı ile ülkemizde 52 milyon ton çimento üretimi yapılmıştır. Bunun yanında klinker üretim miktarı 44 milyon ton olmuştur. Klinker üretimi esnasında üç hususa dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlardan bir tanesi klinker üretiminde kullanılan kalker ve kilin ısıtılması (1400 °C) esnasında kullanılan enerji miktarı, diğeri kullanılan yakıtların özellikle fosil yakıtların ve üretim esnasında havaya salınan CO₂, NO₂ ve SO₂ gazlarının çevre etkisi, bir diğeri ise klinker üretimi kalker ve kilin pişirilmesi esnasında ortaya çıkan CO₂ gazının çevre etkisidir.

1 ton klinker üretiminde 750-900 kcal/ton enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır, bu değer 0,2 ton kömüre tekabül etmektedir. 2008 yılında 1,1 milyon ton yerli linyit, 1,4 milyon ton petrokok, 1,5 milyon ton ithal linyit, 900.000 ton taş kömürü kullanılmıştır. Yıllık 44 milyon ton klinker üretiminde 6,5 milyon ton linyit kömürüne ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde yıllık olarak klinker üretiminde ithal edilen enerji miktarı 250.000.000 \$ bulunmaktadır. Çimento üretimi sera gazının oluşmasına sebep olan en önemli kaynaklarından biridir. Yalnızca ABD'de 2005 yılı çimento üretimi atmosfere 50,7 milyon metrik ton karbon dioksit salmıştır. Ana bileşeni kalsiyum silikatlar olan çimento, normalde kireçtaşının ve diğer bileşenlerin 1400 °C'ye ısıtılması yoluyla elde edilmektedir ($\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Klinkerin üretimi esnasında çevreye verilen zararlardan bir tanesi, kullanılan sıvı ve katı yakıtlardan salınan CO₂, NO₂ ve SO₂ gazlarının etkisidir. Yıllık 44 milyon ton klinker üretimi için 7 milyon ton fosil yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer çevreye zararlı faktöre ise klinker üretimi esnasında ortaya çıkan karbon dioksittir. Dünya çapındaki karbondioksit salınımının en önemli üçüncü kaynağı klinker üretimi esnasında ortaya çıkmaktadır. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nin yapmış olduğu bir araştırma'da çimento üretiminin sanayi üretiminden kaynaklanan sera gazının %11,2 oranına sebep olduğu gösterilmektedir.

Çalışmamızda iki temel amacı vardır. Demir çelik fabrikaları atıklarının tekrar değerlendirilmesini sağlamak ve çimento üretiminde kullanılan klinker miktarını bu şekilde azaltarak çevre ve enerji miktarında kazanımlar sağlamaktır.

Erişilecek Çıktılar

Bu çalışma daha önce proje yürütücüsü öncülüğünde başlanmış olan ÇÇ ve YFC'nin çimento sektöründe kullanılması çalışmasının bilgi birikimi ile yürütülecektir. Daha önceki çalışmalarımızda iki atık malzemenin kuru olarak karıştırılması ile elde edilen karışımın klinker ile yer değiştirmesi sağlanmıştı. Bu çalışmamızda ise kuru karışıma ilave olarak erimiş halde karışım yapılacaktır. Daha önce kuru karışımda yapılan çalışmalarda %70 YFC - %30 ÇÇ ile oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Karışımın daha homojen

olması için iki atık malzemenin erimiş halde karıştırılması sağlanacak ve bu şekilde karışımdaki ÇÇ oranı arttırılabilecektir. Dolayısı ile;

- ÇÇ'nin çimento içerisinde kullanılabilirliği sağlanarak doğada atık olarak depolanan ÇÇ mevcut halinde kuru olarak YFC ile karıştırılarak çimento sanayinde kullanılabilir. Bu dönem sonrasında da fabrika üretim evresinde erimiş halde bulunan bu iki atık soğutulmadan karıştırılacak ve karıştırılması sonrasında soğutulacaktır. Çalışma sonrasında üretimden çıkan atıkların herhangi bir işleme tabii tutulmadan karıştırılarak çimento katkısı olarak kullanılabilirliği sağlanacaktır.
- Çimento üretim sürecinde kalker ve kilin pişirilmesi ile elde edilen klinker çimentoda % 95 düzeylerinde kullanılmaktadır. Bu kullanım oranı % 20 düzeylerine düşürülerek portland çimentosu özelliklerinde YFC-ÇÇ katkılı çimento üretilecektir. Böylece klinker üretimi sırasında ortaya çıkan enerji kullanımı ve zararlı çevre etkileri azaltılacaktır.

4. Araştırma Sorusu ve/veya Hipotezler

Çevreye zararlı etkileri bulunan ve Dünya'da yılda 135 milyon, Avrupa'da 12 milyon ve ülkemizde 3 milyon ton ÇÇ atığı ortaya çıkmaktadır. Dünya'da kullanılan miktarı konusunda kesin bir rakam bulunmamaktadır. En iyimser tahmin ile 50 milyon tonluk kısmı doğada depolanmaktadır. Bu malzemenin yeni bir kullanım alanı ve şeklinin araştırılması ve sonrasında kullanılabilirliğinin sağlanması yıllık en iyi tahmin ile depolanan 50 milyon tonluk atığın yeniden değerlendirilmesini sağlayacaktır. Bu projenin gerçekleştirilmesi sonrasında; en büyük kazanım çevrenin olacaktır.

İkinci kazanım, ülkemizde yıllık 40 milyon ton klinker üretimi yapılırken kalkerin pişirilmesi için kullanılan 6,5 milyon ton fosil yakıttan ve klinker hammaddesinin %40' ı oranında klinker üretiminden ortaya çıkan CO₂, sanayi tarafından ortaya çıkan CO₂'nin %12 sini oluşturmaktadır. Dünyanın emisyon oranını %5 düşürmeye çalıştığı bir dönemde sadece klinker üretimi için ortaya çıkan bu değer klinker yerine alternatif puzolanların klinker olarak kullanılması gerektiğini ifade etmektedir.

Üçüncü kazanım, çimento üretimi için 6,5 milyon ton fosil yakıt ve 250 milyon dolardan fazla enerji ithalatına para harcanmaktadır. 40 milyon ton klinker üretiminin yerine hali hazırda üretilmiş olan bir malzemenin kullanılması ile bahsettiğimiz enerji miktarı farklı sanayi kollar için kullanılabilir. 6,5 milyon ton fosil yakıt ve 250 milyon dolar enerji (elektrik, doğalgaz vb.) için harcanan para ülkemiz için önemli bir değer oluşturmaktadır.

Çalışmamızda elde edilen sonuçlardan, ülkemizin çimento sanayi ve demir çelik sanayi azami şekilde faydalanabilecektir.

5. Dizayn- Yöntem ve Prosedürler

Çalışma yöntemi 5 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla;