

# TÜRKİYE'DEKİ ÇİMENTO FABRİKALARININ EMİSYON FAKTÖRLERİ

B. R.Canpolat\*, A. T.Atımtay\*, İ. Munlafalıoğlu\*\*,E. Kalafatoğlu\*\*\*, E. Ekinci\*\*\*\*

\*ODTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

\*\*T.Ç.M.B. Eskişehir Yolu, 9.Km, 06530 Ankara

\*\*\*TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi, P.K.21, 41470 Gebze, Kocaeli

\*\*\*\*İTÜ, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

## ÖZET

Partikül Madde (PM), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve CO emisyonları, 1997 yılından beri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından standart cihaz ve teknikler kullanılarak ölçülmektedir. Bu veriler kullanılarak Türkiye'deki çimento sektörü için emisyon faktörleri (EF) bulunmuştur. Emisyon faktörleri çimento ve öğütme-paketleme fabrikaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler uluslararası emisyon faktör değerleri ile karşılaştırılmıştır. Türk Çimento Sektörünün partikül madde ve SO<sub>2</sub> Emisyon Faktörleri A.B.D., Almanya, Avusturya ve Hollanda çimento sektörleri ile karşılaştırıldığında, PM için emisyon faktörü yüksek ve SO<sub>2</sub> için düşük bulunmuştur. NO<sub>2</sub> ve CO emisyon faktörleri ise uluslararası emisyon faktörlerinin minimum ve maksimum değerleri arasında hesaplanmıştır. Sonuçlar, çimento fabrikalarındaki partikül madde emisyonlarının, özellikle emisyon ölçümlerinin düzenli olarak yapıldığı son üç sene içerisinde, azalmakta olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çimento fabrikalarından kaynaklanan emisyonun % 90'dan fazlasının, diğer kaynaklara göre sayıca az olan birincil kaynaklardan yayıldığı tesbit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER** : Emisyon faktörleri, çimento üretimi, emisyonlar

## SUMMARY

PM, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and CO emissions were measured by Turkish Cement Manufacturers' Association (TCMA) in cement plants by using standard techniques and equipment since 1997. Emission factors (EF) were calculated by using these available data for the cement sector. The emission factors were found both for cement and grinding-packing plants separately. The results of the study were compared with international emission factors. It was observed that Turkish Cement Sector's particulate matter emission factors are higher and SO<sub>2</sub> emission factors are lower than the values determined for USA, German, Austrian and Netherlands cement sectors. As NO<sub>2</sub> and CO emission factors were considered, they are between minimum and maximum values of International emission factors. The results showed that there is a decrease in dust emissions especially in last three years during the period of regular measurements. Also, it was found that more than %90 of air pollution is emitted from primary sources of each plant which are few in number.

**Keywords:** Emission factors, cement production, emissions,

## GİRİŞ

Emisyon faktörleri (EF), hava kalitesi yönetiminde önemli yer tutmaktadırlar. Emisyon faktörleri, emisyon kontrol stratejilerinin geliştirilmesinde, izin ve kontrol programlarının uygulamalarının belirlenmesinde, kaynakların etkilerinin ve uygulanabilir önlem stratejilerinin anlaşılmasında kullanılmaktadır. Emisyon faktörü birim üretim başına atmosfere atılan kirletici miktarının ortalama değeridir. Emisyon faktörleri güvenilirlik ve hassasiyetlerine göre sınıflandırılırlar. Sınıflandırma A dan E ye kadar değişir. Bu çalışmada hesaplanan emisyon faktörleri partikül madde, CO ve NO<sub>2</sub> için A-sınıfı, SO<sub>2</sub> için B-sınıfı olarak sınıflandırılabilir.

Türkiye çimento sanayi emisyon faktörlerinin hesaplanması için bugüne kadar yapılan ilk

çalışma Ekinci ve diğlerleri (1995) tarafından gerçekleştirilmiştir.

## **YÖNTEM**

Çimento fabrikaları ve öğütme-paketleme tesislerinin emisyon ölçümleri 1990 yılından beri yapılmaktadır. Ancak, emisyon ölçümlerinin TÇMB tarafından düzenli ve sistematik şekilde, standart teknikler ve cihazlar kullanılarak yapılması 1997 yılında başlamıştır. Bu çalışmada, 1997 yılında başlatılan emisyon ölçümleri ile ilgili değerlendirmeler daha önemle ele alınmış ve bu verilere dayalı yeni emisyon faktörleri de hesaplanmıştır.

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **Çimento fabrikaları için emisyon faktörleri**

Bu çalışmada, ülkemizde faaliyet gösteren çimento fabrikalarından 28'i incelemeye alınmıştır. Diğer fabrikaların emisyon ölçümlerine ilişkin yeterli veri bulunmamaktadır. Ayrıca, 9 adet çimento öğütme-paketleme tesisinin emisyon ölçüm sonuçları irdelenmiştir. İncelemeye alınan 28 fabrikanın 19'unda düzenli emisyon ölçümleri mevcut olduğu için (1997 sonrasında emisyon ölçümü yapılan fabrikalar) emisyon faktörü hesabı dışında kalan detaylı çalışmalarda diğer 9 fabrika kullanılamamıştır. Ekinci ve diğlerleri (1995)'nin yaptığı çalışmada, emisyon faktörleri hesabına çimento fabrikaları ile birlikte öğütme-paketleme tesisleri de dahil edilmiştir. Fakat, bu çalışmada çimento fabrikaları ve öğütme-paketleme tesisleri birbirlerinden ayrılmışlardır.

Emisyon faktörleri ölçüm anındaki üretim (tonaj) değerinin emisyon miktarına bölünmesiyle bulunmaktadır. *Ulusal emisyon faktörü*, her fabrika için hesaplanan emisyon faktörünün kapasiteye göre ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanmaktadır.

*Ulusal emisyon faktörleri* ; PM için 0.190 kg/t çimento, CO için 1.861 kg/t çimento, NO<sub>2</sub> için 1.390 kg/t çimento ve SO<sub>2</sub> için 0.053 kg/t çimento olarak bulunmuştur. TÇMB'nin 19 farklı fabrika için hazırladığı emisyon ölçüm raporlarından toplam çimento üretiminin 3 560 t/saat ve buna tekabül eden toplam klinker üretiminin 2 936 t/h olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitten çimento üretimi ile klinker üretimi arasındaki oranın 1.21 olduğu bulunmuştur. Böylece, klinker üretimine dayalı emisyon faktörleri de bulunabilmiştir. Klinkere dayalı emisyon faktörleri, PM için 0.230 kg/t klinker, CO için 2.252 kg/t klinker, NO<sub>2</sub> için 1.682 kg/t klinker ve SO<sub>2</sub> için 0.064 kg/t klinker olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Alman, Avusturya ve Hollanda emisyon faktörleri ile Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

**Tablo 1.** Ulusal EF'nin bazı ülkelerin emisyon faktörleri ile karşılaştırılması

	PM	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Almanya <sup>a</sup> (kg/t klinker)	0.170	-	2.000	0.600
Türkiye (kg/t klinker)	0.230	2.252	1.682	0.064
Avusturya <sup>b</sup> (kg/t çimento)	0.029	2.209	1.296	0.191
Hollanda <sup>c</sup> (kg/t çimento)	0.100	0.400	1.400	0.258
Ekinci ve diğerleri (kg/t çimento)	0.337	1.609	0.596	0.060
Türkiye (kg/t çimento)	0.190	1.861	1.390	0.053

<sup>a</sup> Kroboth, 1990

<sup>b</sup> Lorber, 1997

<sup>c</sup> Corinair, 1996

Not: Bu çalışmada elde edilen sonuçlar gri alandaki değerlerdir.

**PM:** Hesaplanan ulusal emisyon faktörü olan 0.190 kg/t çimento diğer ülkelerin emisyon faktörlerinden daha yüksektir. Fakat, bu çalışmada bulunan emisyon faktörü değeri, 1995 yılında Ekinci ve diğerleri (1995) tarafından bulunan 0.337 kg/t çimento değerinden oldukça düşüktür. Bu durum çimento fabrikalarının toz tutma teknolojisinde son yenilikleri takip etmeleri ile açıklanabilir.

**CO:** Ulusal emisyon faktörü olarak bulunan 1.861 kg/t çimento Avusturya emisyon faktör

değerinden düşük, fakat Hollanda'nın ulusal değerinden yüksektir. Ulusal CO emisyon faktörü, Ekinci ve diğerleri (1995) tarafından bulunan 1.609 kg/t çimento değerine oldukça yakın olarak hesaplanmıştır.

**NO<sub>2</sub>** : Ulusal emisyon faktörü olarak hesaplanan 1.390 kg NO<sub>2</sub>/t çimento değeri Hollanda ve Avusturya EF değerlerine oldukça yakındır. Almanya emisyon faktörü ise ulusal emisyon faktörü olarak bulunan değerden yüksektir. Fakat, Ekinci ve diğerleri (1995) tarafından bulunan 0.596 kg/t çimento değeri, son 4 yıl içerisinde NO<sub>2</sub> emisyonlarında % 133'lük bir artış olduğu sonucunu göstermektedir. Döner fırınlardaki yüksek sıcaklık (1400-1600 °C) ortamının termal NO<sub>x</sub> oluşumuna neden olduğu bilinmekle beraber, %133 gibi bir artış oldukça dikkat edilmesi gereken bir durum ortaya çıkarmıştır. Çünkü, NO<sub>x</sub> emisyonlarının kontrolü PM emisyonlarına göre çok daha zordur.

**SO<sub>2</sub>**: SO<sub>2</sub> için elde edilen veri sayısı diğer parametrelere oranla daha azdır. Hesaplanan emisyon faktörü 0.053 kg/t çimento olup, diğer Avrupa ülkeleri değerlerinden düşüktür. Bu değer Ekinci ve diğerleri (1995) tarafından bulunan 0.060 kg/t çimento değerine oldukça yakındır. SO<sub>2</sub> emisyon verileri diğer parametrelere göre daha az sayıda olduğu için, hesaplanan EF değerinin kalitesini etkilemiştir. Bu yüzden SO<sub>2</sub> için hesaplanan EF B-sınıfı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, yakıt tipi ve ham madde SO<sub>2</sub> emisyonlarını oldukça etkilemektedir. SO<sub>2</sub> emisyon faktörünün diğer ülke değerlerinden daha düşük olmasının önemli sebeplerinden birisi ölçüm metodudur. Elektro kimyasal sensörler SO<sub>2</sub> emisyonlarına karşı çok hassas değildirler ve fabrikalardaki emisyon ölçümleri bu tip sensörlerle yapılmıştır.

## **Öğütme-paketleme tesisleri emisyon faktörleri**

Gerek çimento fabrikalarına ait öğütme-paketleme üniteleri, gerekse müstakil öğütme-paketleme tesisleri birlikte düşünülmüş ve yarı mamul klinkerden çimento üretimine kadar olan süreçteki Emisyon Faktörü bulunmuştur. 26 tesis için emisyon faktörü, PM için 0.013 kg/t çimento olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Avrupa'nın çimento öğütme-paketleme tesisleri için bulunduğu 0.100 kg/t çimento değerinin çok altında, hemen hemen %10'udur (Corinair, 1996).

### **Emisyonlar için ana ve tali kaynaklar**

Çimento fabrikalarında emisyonu neden olan kaynaklar *ana* (Döner Fırın Bacaları, Klinker Soğutucuları, Çimento Değirmeni Bacaları, Kömür Değirmeni Bacaları, By-Pass Bacaları) ve *tali kaynaklar* (Silo Üstü Bacaları, Ham Madde Değirmeni Bacaları, Kırıcı Bacaları, Öğütme ve Paketleme Bacaları vb.) olarak iki gruba ayrılabilir. Yapılan çalışmalar sonucunda, ana kaynaklardan çıkan emisyonunun toplam PM emisyonuna göre oranı % 91.4 olarak bulunmuştur. Bu oran gaz emisyonlarında %100'dür.

### **Klinker ve çimento üretim proseslerinden kaynaklanan emisyonlar**

Çimento fabrikalarındaki emisyonlar, *klinker* ve *çimento üretim proseslerinden* kaynaklanan emisyonlar olarak ikiye ayrılabilir. *Klinker prosesi* ham maddeden klinker üretimine kadar olan süreçteki işlemleri kapsamaktadır. *Çimento üretim prosesi* ise klinkerin öğütülmesinden çimentonun paketlenmesine kadar olan süreçtir. Klinker üretim prosesinden kaynaklanan PM emisyonu toplam emisyonun % 88.4'üdür. Geriye kalan % 11.6 ise çimento üretim prosesinden kaynaklanmaktadır. Gaz emisyonlarının tamamı ise klinker üretim prosesinden gelmektedir.

### **Emisyon faktörlerinde yıllara göre değişim**

Emisyon verileri yeterli olan 14 çimento fabrikası irdelendiğinde fabrikaların % 71'inin durumu, son

yapılan 1999 ölçümlerinde önceki yıllara göre daha iyi çıkmış ve daha düşük emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Ayrıca, fabrikaların % 57'sinde CO ve % 75'inde SO<sub>2</sub> emisyon faktörleri daha düşük olmakla birlikte, fabrikaların sadece % 21'inde NO<sub>2</sub> emisyonları bir önceki ölçüm sonuçlarına göre daha düşük bulunmuştur. %79 unda ise NO<sub>2</sub> emisyonlarında artış vardır. Özellikle PM emisyonlarındaki düşüşler, son teknolojilerin kullanılmasına bağlanmaktadır.

*Ulusal emisyon faktörünün* hesaplanmasında 1997 yılından önce yapılan emisyon ölçümleri de dikkate alınmıştır. Eğer bu değerler dikkate alınmayıp, ölçümlerin düzenli olarak yapıldığı 1997 ve sonrası için emisyon değerleri alınırsa, aşağıda verilen emisyon faktörleri bulunmaktadır:

- PM Emisyon faktörü 0.152 kg/t çimento
- CO Emisyon faktörü 2.132 kg/t çimento
- NO<sub>2</sub> Emisyon faktörü 1.652 kg/t çimento
- SO<sub>2</sub> Emisyon faktörü 0.032 kg/t çimento

Burada 0.152 kg/t çimento olarak bulunan PM emisyon faktörü, daha önce ulusal emisyon faktörü olarak hesaplanan 0.190 kg/t çimento değerinden daha düşüktür. Fakat, CO ve NO<sub>2</sub> emisyon faktörleri daha yüksek çıkmıştır.

## **SONUÇLAR**

Bu çalışmada, Türk Çimento Sektörü için *emisyon faktörleri* hesaplanmıştır. Bulunan değerler uluslararası değerlerle karşılaştırılmıştır. Ulusal emisyon faktörleri PM için 0.190 kg/t çimento, CO için 1.861 kg/t çimento, NO<sub>2</sub> için 1.390 kg/t çimento ve SO<sub>2</sub> için 0.053 kg/t çimento olarak bulunmuştur. Ulusal PM emisyon faktörünün Avusturya ve Hollanda emisyon faktörlerinin 2

katı olduğu görülmüştür. Fakat, klinker üretimine dayanan emisyon faktörleri irdelendiğinde, 0.230 kg/ t klinker olarak bulunan PM emisyon faktörü Alman emisyon faktörüne göre sadece % 35 daha yüksektir. Avusturya'nın CO emisyon faktörü, ulusal emisyon faktöründen 1.2 kat daha yüksektir. NO<sub>2</sub> için bulunan 1.390 kg/t çimento değeri, 1.296 kg/t çimento olan Avusturya ve 1.400 kg/t çimento olarak hesaplanan Hollanda emisyon faktörleri değerleri arasındadır. Ulusal SO<sub>2</sub> emisyon faktör değeri ise diğer ülkelere göre en düşük değere sahip olan Avusturya'dan bile 3.6 kat daha düşüktür.

Bu çalışmanın önemli sonuçlarından biri, çimento fabrikasındaki toplam emisyonların ağırlıkça % 90'dan fazlasının ana kaynaklardan geldiğidir.

## KAYNAKLAR

Bromberg, S., 1998. *Emission Inventory Workshop*, EPA, USA.

Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, 1985. USEPA, Vol 1-2.

Corinair Inventory, Default Emission Factors Handbook, 1996, Commission of European

Community.

Ekinci, E., Munlafalıoğlu, İ., Tırıs, M., and Pekin, A.V., 1995. "Characterisation of Cement Plants Emissions in Turkey", *Water, Air and Soil Pollution* 106:83-95, 1998, Kluwer Academic Publishers.

Lorber, K.E., 1997. "Air Quality Control Measures for Cement Industry", *Environmental Research Forum* Vols. 7-8, pp.197-202.

Von Kroboth, K., Kuhlmann, K., Xeller, H., 1990. *Current State Emission-Reduction Technology in Europe*, ZKG International, Nr. 3/1990.

Ekinci, E., Munlafalıoğlu, İ., Tırıs, M., and Pekin, A.V., 1995. "Characterisation of Cement Plants Emissions in Turkey", *Proceedings of II. National Air Pollution Modelling and Control Symposium*, pp. 161-169, İstanbul.