

TÜRKİYE'DE BİR ÇİMENTO FABRİKASI İÇİN HAVA KALİTESİ MODELLEME ÇALIŞMASI

Barış R.CANPOLAT*, **Aysel T.ATIMTAY***, **Ismet MUNLAFALIOĞLU****, **Ersan KALAFATOĞLU*****

*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

Özet: Bu çalışmada, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) tarafından bir çimento fabrikası için yapılan emisyon ölçüm sonuçları kullanılarak ortam havası kalitesi için bir modelleme çalışması yapılmıştır. Modelleme çalışması sonunda bulunan yer seviyesi konsantrasyonları ile emisyon ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Matematiksel model olarak Industrial Source Complex-ISC Version 3.0 kullanılmıştır. Çimento fabrikası için bir yıllık hava kalitesi ölçüm sonuçları TÇMB tarafından sağlanmıştır. Model sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki farkın nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bundan sonra yapılacak hava kalitesi ölçümleri yapılmadan önce nelere dikkat edilmesi konusunda öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Emisyonlar, modelleme, çimento fabrikası toz dağılımı, ISC modeli

1. GİRİŞ

Çimento endüstrisi, tüm dünyada hava kirliliğine sebep olan en önemli endüstrilerden biri olarak düşünülmüştür. Yüksek enerji tüketimi ve partikül madde emisyon potansiyeli açısından hava kirliliği kaynakları arasında öncelikli listeye girmesine neden olmuştur. Bugün Türkiye çapında 40 çimento fabrikası ile 16 öğütme-paketleme fabrikası mevcuttur. Çimento fabrikaları 1998 yılı sonu itibarı ile 29 148 000 ton/yıl klinker ve 37 488 000 ton/yıl çimento üretme kapasitesine sahiptir . Fabrikaların üretim kapasiteleri ortalama 600 000-650 000 ton/yıl'dır. Çimento sektöründe sadece üretim açısından değil, çevresel kirliliği önleme

açısından da en son teknoloji takip edilmektedir. Çimento fabrikaları HKKY’de verilen toz emisyon değerlerinden çok daha düşük emisyon değerlerini sağlamaktadır. Türk çimento

sektörü çimento üretiminde son yıllarda Avrupa’da birinci ve dünyada 8. sırada gelmektedir. Kapasite açısından da İtalya ve Almanyadan sonra Avrupada 3. sıradadır.

Çalışmanın amacı, seçilen bir çimento fabrikası için yapılmış emisyon ve imisyon ölçümlerinden yararlanarak model çalışması yoluyla yer konsantrasyonlarını hesaplamak ve bulunan değerleri ölçüm sonuçları ile karşılaştırmaktır. Hava kirlenmesine katkı değerlerinin hesaplanmasında pahalı ve zaman alıcı ölçüm sürecinin model sonuçları ile bulunmasının ne kadar olası olduğu da bu çalışmanın amaçları arasındadır.

2. KULLANILAN MATEMATİKSEL MODEL

Kısa dönemli Industrial Source Complex (ISCST) modeli, tipik bir endüstriyel kaynaktan yayılan emisyonların geniş bir alanda dağılımını hesaplayabilmektedir. Modelin temeli **Gauss Dağılımına** dayanmaktadır (1). Emisyon kaynakları 4 ayrı grupta toplanmaktadır. Bunlar; nokta kaynaklar, hacimsel kaynaklar, alansal kaynaklar ve açık alan kaynaklarıdır. Hacimsel ve alansal kaynak opsiyonları çizgisel kaynakların simülasyonu için kullanılabilir.

Kısa dönemli ISC modeli, dumanın yükselmesi, taşınması, difüzyonu ve çökmesi ile ilgili koşulların tanımı için saatlik meteorolojik verilere ihtiyaç duymaktadır. Model her kaynak (source) ve alıcı (receptor) kombinasyonu için çökme veya konsantrasyon değerlerini, meteorolojik girdilerin verildiği her saat için hesaplamaktadır. Ayrıca, kullanıcı tarafından belirlenen zaman aralıklarındaki ortalama konsantrasyonu da hesaplayabilmektedir. Model, nokta kaynakların yakın civarındaki binaların partikül maddeler üzerindeki aerodinamik etkilerini belirleyebilmek, partikül maddelerin birim alandaki kuru ve yaş çökme hızlarını ve ayrıca toplam çökme hızını hesaplamak için değişik algoritmalara sahiptir. Model, birden fazla emisyon kaynağını da (nokta, alan ve yer seviyesindeki açık kaynak olarak) kullanabilir. Modelde ele alınan kaynaklardan çıkan emisyonların hızı sabit kabul edilebileceği gibi ay, mevsim, ya da başka bir zaman periyodu için değişken olarak alınabilir. Emisyon kaynakları, tek olarak, ya da grup olarak belirlenebilir. Kısa dönemli model (ISCST) için kullanıcı, bazı emisyon kaynakları veya kaynakların tamamı için saatlik emisyon hızı da tanımlayabilir (1).

Uzun dönemli ISC Modeli (ISCLT) için uzun süre içinde toplanmış meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Uzun dönem için kullanılan ISC modelinin kısa dönem için kullanılan modelden tek farkı, kullanılan meteorolojik verilerdedir. ISCST saatlik meteorolojik veriler, ISCLT yıllık meteorolojik veriler kullanılmaktadır.

Alıcıların Belirlenmesindeki Opsiyonlar

ISC Modelinin, alıcıların yerlerinin belirlenmesinde önemli bir esnekliği vardır. Kullanıcı, model çalışması için çok sayıda alıcı noktasından oluşan bir grid sistemi belirleyebildiği gibi, grid sisteminde alıcıların yerlerinin belirlenmesinde kartezyen ve polar koordinatları aynı sistem içerisinde kullanılabilir (1).

Meteorolojik Opsiyonlar

Kısa dönemli model (ISCST3), ön işlemcisi tarafından oluşturulan formatlanmamış sıralı dosyaları kullanabilmektedir. Bu durum, çökeltme algoritmalarının kullanılmadığı durumlar için geçerli değildir. Kısa dönemli model, kuru ve yağ çökeltme algoritmalarını içermektedir. Kuru çökeltme algoritması, ISCST3 ön işlemcisi tarafından sağlanabilecek Monin-Obukhov uzunluğu ve yüzey sürtünme hızı gibi ilave meteorolojik girdilere ihtiyaç duymaktadır. Yağ çökeltme algoritması ise ayrıca yağış verilerine gereksinim duymaktadır (1).

3. MODEL ÇALIŞMASI

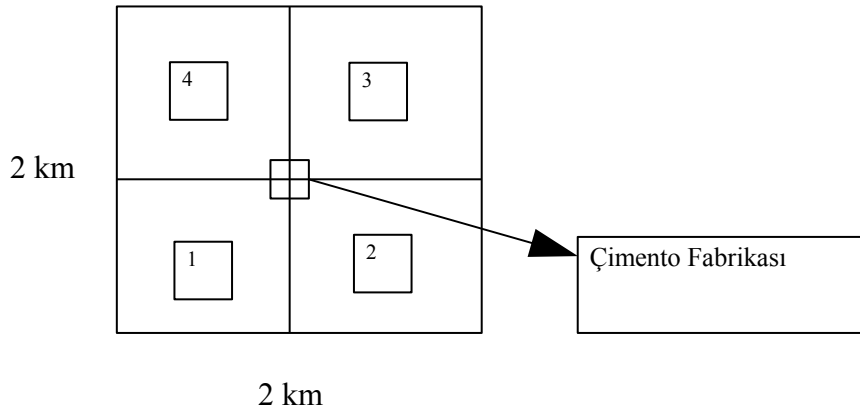
Örnek olarak seçilen bir çimento fabrikasının yakın civarındaki havada asılı partikül madde (PM10) ve çöken tozların yer seviyesi konsantrasyonları, kısa dönemli ISCST3 modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki çimento fabrikasının seçilme nedenleri:

- a) Fabrikanın yakın civarında 1 yıl süre ile TÇMB tarafından hava kalitesi ve çöken toz ölçümlerinin yapılması
- b) Fabrikanın konumu itibariyle fabrika civarındaki diğer toz emisyon kaynaklarının azlığı (fabrikanın çevresinde yoğun bir trafiğin ve yerleşim yerinin olmaması, yine yakın çevrede başka bir sanayi tesisinin bulunmaması gibi)

c) Fabrikanın emisyon ölçümlerinin yapıldığı zaman aralığında emisyon verilerinin mevcut olmasıdır.

Seçilen çimento fabrikasında emisyon ve hava kalitesi (emisyon) ölçümleri, TÇMB Kalite ve Çevre Kontrol Müdürlüğü tarafından 1 yıl süre ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sırasında, çimento fabrikasından kaynaklanan emisyonun sabit olduğu varsayılmıştır.

Model çalışmaları için, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğine (HKKY) göre (2) çimento fabrikasının merkezinde yer aldığı 4 km x 4 km'lik bir alan seçilmiştir. TÇMB'nin gerçekleştirdiği hava kalitesi ölçümleri çimento fabrikasına eşit uzaklıkta 4 ayrı noktada yapılmıştır. Ölçüm noktaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ölçüm Noktaları

Modelde, 4 km x 4 km'lik alan, 200 m x 200 m'lik kare alanlara bölünmüştür. Bu alanların kesiştiği noktaların yükseltileri, 1/25000'lik topografik haritadan okunmuştur. Modelleme çalışmasında kullanılan alanın 3 boyutlu görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Bu alan üzerinde 21 x 21 olmak üzere toplam 441 alıcı nokta belirlenmiştir.

Kısa dönemli model; rüzgar hızı, rüzgar yönü, karışım yüksekliği (sabah ve öğleden sonra), sıcaklık ve basınç gibi parametreleri içeren saatlik meteorolojik verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışma yapılan alandaki meteorolojik veriler Tablo 1'de verilmiştir. Daha önce 42 yıllık meteorolojik verilerle hazırlanan rüzgar gülü, baskın rüzgar yönünün NE ve NNE olduğunu göstermektedir.

ISCST3 programı için yeterli veri girildikten sonra, yer seviyesinde PM10 ve çöken toz konsantrasyonları bulunmuştur. TÇMB, havada asılı partikül madde ölçümünü (PM10), HKKY'ye göre her ay ayda 5 gün olmak üzere yılda 60 gün gerçekleştirmiş; çöken toz ölçümünü ise, sürekli olarak her gün yapmıştır.

4. BULGULAR VE YORUM

PM10 Sonuçları

1 no'lu ölçüm yerinde model ile elde edilen sonuçlar, Tablo 1'den görüleceği üzere, son üç sonuç hariç, ölçüm sonuçlarından yüksek çıkmıştır. Nisan 1999'da tamamlanan by-pass bacası revizyonu sonrasında, modelde girdi olarak verilen emisyon ölçümlerinin düşük olması program sonuçlarının da düşük çıkmasına sebep olmuştur. Özellikle, baskın rüzgar yönünün N ve NNE olması, çimento fabrikasının güney-batı tarafında kalan 1 no'lu ölçüm noktasında elde edilen model sonuçlarının yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ağustos, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında rüzgar hızı oldukça yüksektir. Böylece, havada asılı partikül maddeler, çimento fabrikasından uzak noktalara taşınmıştır. HKKY'de havada asılı partikül maddeler için $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sınır değer belirlenmiştir. 1 no'lu noktada yapılan hava kalitesi ölçümleri, sınır değerinin % 8-43'ne karşılık gelen bir kirlilik göstermiştir. Model sonuçlarında ise, çimento fabrikasının hava kirliliğine % 0-84 arasında bir katkı getirdiği görülmektedir. Kalafatoğlu ve diğerleri (3), 7 ayrı çimento fabrikasında yaptıkları çalışmada, hava kirlenmesine katkı değerini % 4-43 arasında bulmuşlardır. 1 yıllık model sonuçları irdelendiğinde maksimum hava kirlenmesine katkı değerinin % 475 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Ölçüm Noktalarında Hava Kalitesi Ölçüm ve Model Sonuçları (PM10 için) (4)

Ay	1 no'lu ölçüm noktası		2 no'lu ölçüm noktası		3 no'lu ölçüm noktası		4 no'lu ölçüm noktası	
	Ö ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	M ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ö ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	M ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ö ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	M ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ö ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	M ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
7/98	31.4	126.1	28.6	72.2	35.0	195.3	37.4	0.1
8/98	62.4	115.2	62.6	208.9	54.0	7.9	55.6	0.1
9/98	39.2	87.4	34.0	27.1	41.4	16.9	36.0	0.7
10/98	30.6	59.3	31.6	17.0	31.0	39.0	37.6	27.1
11/98	47.6	123.0	49.4	50.4	64.8	0.6	123.4	0.2
12/98	55.2	120.7	52.0	1.3	63.6	0.0	98.8	0.0
1/99	64.8	19.7	69.2	7.6	72.0	14.8	131.2	50.8
2/99	35.4	75.4	34.6	3.1	39.4	5.0	84.0	13.1
3/99	37.4	10.7	38.2	4.8	37.0	82.6	65.2	28.7
4/99	12.6	0.0	10.2	0.4	8.0	0.2	16.4	0.2

5/99	23.8	0.3	22.2	0.3	23.8	0.0	23.2	0.0
6/99	48.2	0.3	43.0	0.2	48.2	0.3	43.4	0.3

Ö: Ölçüm M: Model

2 no'lu ölçüm noktasında elde edilen model sonuçları, 1 no'lu ölçüm noktasında elde edilen sonuçlara göre daha düşük seviyededir. Bu noktada yapılan hava kalitesi ölçümleri ise bütün yıl boyunca pek değişiklik göstermemiştir. En yüksek model sonucunun alındığı Ağustos 1998 ayında, ikinci en yüksek ölçüm sonucu elde edilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre hava kirlenmesine katkı değeri, % 7-46 arasında, model sonuçlarına göre ise % 0-138 arasında bulunmuştur.

3 no'lu ölçüm noktasında elde edilen model sonuçları, diğer ölçüm noktalarında elde edilen sonuçlara göre daha düşüktür. Ölçüm sonuçlarına göre hava kirlenmesi katkı değeri % 5-48 arasında, model sonuçlarına göre ise % 0-130 arasında bulunmuştur. Bu noktadaki model sonuçlarının düşük çıkmasının sebebi baskın rüzgar yönünün N ve NNE olmasıdır.

En yüksek ölçüm değerlerinin bulunduğu yer olan 4 no'lu ölçüm noktası, model sonuçlarına göre en düşük PM10 konsantrasyonunun görüldüğü noktadır. Bu durum, ölçüm noktasının çok yakınında mevcut olan yerleşim yerinin etkisiyle açıklanabilir. Ölçüm sonuçlarına göre % 11-87 arasında bulunan hava kirlenmesi katkı değeri, model sonuçlarına göre % 0-34 arasında bulunmuştur. Şekil 4'te model çıktıları 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.

Çöken Tozlar

Çöken tozlar için yapılan ölçüm sonuçları ile model çıktıları Tablo 2 de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar arasında büyük farklar mevcuttur. Bu durumun 3 sebebi olabilir:

- Modelde yağmur verileri kullanılmamıştır. Özellikle, yağmurun tozun çökmesinde büyük bir etkisi mevcuttur.
- 4 no'lu ölçüm noktasında bulunan değerlerde, yerleşim yerinin etkisi bulunmaktadır.
- Özellikle çöken toz için, çimento fabrikası dışındaki etkenlerin etkisi çok olmaktadır.

Modelde yağmur verilerinin kullanılmamasının nedeni, bu bölge için saatlik yağmur ölçümü sonuçlarının mevcut olmamasıdır. Kalafatoğlu ve diğerleri (3) çimento fabrikalarının, çöken tozlar için hava kirlenmesine katkı değerini % 1-33 olarak bulmuşlardır. HKKY'de çöken tozlar için belirlenen sınır değeri 350 mg/m²/gün'dür. Bu çalışmada, hava kirlenmesine katkı

değeri ölçüm sonuçlarına göre % 55-1750, model sonuçlarına göre ise %0-43 arasında bulunmuştur. Fabrikadaki revizyondan sonra, çöken toz miktarında önemli bir azalma tesbit edilmiştir.

Tablo 2. Ölçüm ve Model Sonuçlarına göre Çöken Tozlar (mg/m²/gün) (4)

Ay	1 no'lu ölçüm noktası		2 no'lu ölçüm noktası		3 no'lu ölçüm noktası		4 no'lu ölçüm noktası	
	Ö	M	Ö	M	Ö	M	Ö	M
9/98	3559	54	1694	49	3053	32	4469	6
10/98	3962	34	840	51	1700	38	3174	14
11/98	2450	44	666	24	494	11	2395	11
12/98	1628	50	483	5	1071	4	6124	59
1/99	3571	28	1509	16	2018	7	5038	22
2/99	4851	35	2461	11	912	22	3980	150
3/99	1500	52	637	43	1868	26	2032	22
4/99	209	0	522	0	381	0	191	0
5/99	592	0	362	0	358	0	458	0
6/99	213	0	498	0	845	0	141	0

Ö:Ölçüm M: Model

Sonuç

ISCST3 ile yapılan model çalışmaları, çimento fabrikasının konumunun hava kirliliği açısından önemini ortaya koymuştur. Türkiye’de bugüne kadar yapılan çalışmalar, hava kirlenmesine katkının özellikle fabrika merkezli 1000 m yarıçaplı bir alan üzerinde olduğunu göstermiştir. Yapılan model çalışmalarında elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları arasında önemli bir ilişki tespit edilememiştir. Bu duruma, özellikle ölçüm noktalarının fabrikaya yakınlığı ve yakın civardaki kirlilik kaynaklarının faaliyetleri sebep olmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. Users’ Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Vol.1-2, EPA, 1995.
2. *Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği*, 2.11.1986, Resmi Gazete No. 19269, Ankara.
3. Kalafatoğlu, E., Örs, N., Gözmen, T., Sain, S., Munlafalıoğlu, İ., 1997, “*Air Pollution Contribution of Some Cement Plants in Turkey*”, Environmental Research Forum, Cilt. 7-8, s.191-196.
4. Canpolat, B.R., 1999, “Calculation of Emission Factors in Cement Plants in Turkey and A Modelling Study for a Cement Plant”, Y. Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.