

Noktasal Kaynaklar İçin Ulusal Hava Kirliliği Emisyon Faktörleri ve Envanterinin Belirlenmesi: Metal Sektörü İçin Örnek Bir Çalışma

Estimation of National Air Pollution Emission Factors and Inventory for Point Sources: Case Study for the Metal Sector

Hüseyin ÖZDEMİR^{1,2}, Muhammet Ali AKTAŞ³, İbrahim Ertuğrul YALÇIN¹,
Ümmügülüm ALYÜZ¹, Hatice Eser ÖKTEN⁴, H. Kurtuluş ÖZCAN³,
Canan Esin KÖKSAL⁵, İrde Çetintürk GÜRTEPE⁵, Göksel DEMİR⁶, Alper ÜNAL⁷

¹Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Agriconsulting Europe S.A., Çankaya, Ankara, Türkiye

³İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

⁴İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

⁵Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

⁶Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

⁷İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enst., İklim ve Deniz Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öz

Hava kalitesinin korunması için yürütülen çalışmalar ve yasal uygulamalar, günümüzde çevre bilincinin artması ile daha da önemli hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması gibi çevre dostu düzenlemeler ile hava kalitesinin iyileştirilmesi artık ülke politikalarında yer almaktadır. Hava kalitesinin yükseltilmesine yönelik yasal düzenlemelerin hazırlanmasında mevcut durumun ortaya konması büyük önem taşımaktadır. Atmosfere verilen kirliliğin miktarının doğru olarak tespit edilebilmesi ve illerin temiz hava eylem planlarının hazırlanabilmesi için ulusal ölçekte, kaynaklarına göre hava kirlleticilerinin emisyon envanterinin hesaplanması, ulusal ve uluslararası sorumluluklar gereği atmosfere verdiğimiz emisyonların belirli periyotlarda raporlanması gerekmektedir. Bu nedenle, emisyon envanterinin belirli bir düzen içerisinde, kirlilik kaynaklarına ait veriler ve yerel emisyon faktörleri kullanılarak hazırlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, Marmara Bölgesi pilot bölge seçilerek Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile birlikte ülkemizde ilk defa ulusal emisyon envanteri geliştirilmesi projesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki noktasal kaynaklar için yapılan kısım bu makalede anlatılmış ve metal sektörüyle ilgili elde edilen sonuçlar verilmiştir. Marmara Bölgesi'ndeki metal sektörünün emisyon envanteri hesaplamasında 27 tesisin 128 emisyon kaynak bilgisi kullanılmıştır. Ulusal emisyon faktörleriyle yapılan hesaplamalara göre emisyon değerleri; CO için 46.849 ton/yıl, SO₂ için 7.589 ton/yıl, NO_x için 8.906 ton/yıl ve TSP için 1.759 ton/yıl bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, emisyon faktörü, emisyon envanteri, noktasal kaynaklar, metal sektörü, Türkiye.

Abstract

The studies and legal policies carried out for the protection of air quality have become more critical with the increasing of environmental awareness today. Improving air quality with environmentally friendly regulations like promoting renewable energy use are now included in the country's policies. Evaluation of the current situation is of great importance in determining the policy for the improvement of air quality. In order to accurately determine the amount of emitted pollutants to the atmosphere and prepare clean air action plans for the cities, it is necessary to calculate the emission inventory of air pollutants according to their sources and to report the emissions emitted to the atmosphere at specific periods under the national and international responsibilities. Therefore, it is necessary to prepare the emission inventory in a particular order using information from sources of pollution and local emission factors. In this study, the Marmara Region was selected as the pilot region and the Development of National Emission Inventory project implemented for the first time in our country with the Ministry of Environment and Urbanization. The part for the point sources in this study is explained in this paper, and the results related to the metal industry are given. 128 emission sources of 27 plants were used in the calculation of the emission inventory of the metal sector in the Marmara Region. Emission values according to calculations made with national emission factors are as follows; 46,849 ton/year for CO, 7,589 ton/year for SO₂, 8,906 ton/year for NO_x, and 1,759 ton/year for TSP.

Keywords: Air pollution, emission factor, emission inventory, point sources, metal sector, Turkey.

I. GİRİŞ

Günümüzde sürekli artan çevre sorunlarından biri olan hava kirliliği, insan sağlığı ve doğa üzerinde olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Hava kirliliği ve sağlık problemleri arasında önemli bir ilişki olduğu sayısız bilimsel çalışma ile kanıtlanmıştır. Hava kirliliği tek başına dünyadaki en büyük sağlık riskini oluşturmaktadır ki bunun en önemli göstergesi 2012 yılında 7 milyon civarında insanda dış ve iç ortamdaki hava kirliliğine maruziyetle ilişkili olarak ölüm vakası yaşanmasıdır [1]. Pope ve Dockery [2], hava kirliliğine kısa süreli maruziyet ile ölüm oranı

arasındaki sonuçları ortaya koyan yüzden fazla bilimsel yayını incelemiş, hava kirliliği seviyesindeki artışın ölüm oranını en az %2 oranında arttırdığını ve özellikle çocuklarda akciğer gelişiminin zayıflamasından zeka geriliğine kadar birçok olumsuz etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

Hava kirliliğinin ekonomiye olan etkisi ise milyarlarca doları bulmaktadır. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) tahminine göre dış ortam hava kirliliği 2010 yılında üye ülkeler için 1,57 trilyon dolarlık bir zarara sebep olmuştur [3]. Amerika Birleşik Devletleri'nde 83 kentsel alanda trafik sıklığının şehirlerdeki yakıt, zaman ve sağlık etkilerinin ekonomik açıdan ne kadar kayba sebep olduğu araştırılmıştır. Buna göre, bu şehirlerde meydana gelen trafik sıklığından kaynaklanan PM_{2.5} kirliliğinin yol açtığı sağlık problemlerinin ekonomiye kaybı 31 milyar dolar olarak hesaplanmıştır. Zaman ve yakıt israfı açısından ise 60 milyar dolarlık bir kayba yol açtığı tespit edilmiştir [4]. Bu sonuçlara rağmen, hava kirliliği gelişmiş ülkelerde bile başlıca sağlık risklerinden biri olmaya devam etmektedir. Uygulanmakta olan yasal düzenlemelere, emisyonların kısıtlanmasına, bazı kimyasal maddelerin kullanımının yasaklanmasına ve hava kalitesi standartlarında yapılan daha sıkı düzenlemelere rağmen dünya gittikçe büyüyen bir hava kirliliği sorunu ile karşı karşıyadır. Bu sorunla başa çıkabilmek için atmosfere salınan emisyonların miktarını belirlemek, probleme çözüm üretmenin ilk ve en önemli aşamasıdır [5].

Ülkemizde noktasal kaynaklar için yapılmış Emisyon Faktörü (EF) ve EE çalışmaları sınırlı sayıdadır. Bu çalışmalarda genellikle belirli sektörler veya şehirler seçilerek emisyon hesaplamaları yapılmış ve literatürde verilen (USEPA-AP42 veya EMEP) [6] EF'leri kullanılmıştır. Elbir vd. [7] gerçekleştirdiği çalışmada Ege Bölgesi'nde sanayi, evsel ısınma ve trafik kaynaklarının resmi istatistiklerine ve bilimsel ölçüm sonuçlarına dayanarak bir EE oluşturulmuştur. Canpolat vd. [8] yaptığı çalışmada, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından çimento fabrikalarında gerçekleştirilen PM, SO₂, NO₂ ve CO ölçüm sonuçlarını baz alarak EF'leri belirlemiştir. Elbir ve Müezzinoğlu [9] İzmir'de yaptığı çalışmada, birincil hava kirlleticileri için emisyonları hesaplamış ve kaynakları belirlemiştir. Karademir [10] yaptığı çalışmada, Kocaeli'deki 100 endüstriyel tesisin yanma ünitelerinde emisyon ölçümleri gerçekleştirmiş ve CO, PM, SO₂ ve NO₂ için EF'leri hesaplamıştır. Çetin vd. [11] Kocaeli ili için yaptıkları emisyon envanteri çalışmasında; PM, SO₂, NO_x ve CO için USEPA ve CORINAIR EF'leri kullanarak emisyon envanteri hazırlamıştır. Vardar ve Yumurtacı [12] tarafından yapılan çalışmada, 2007 yılında linyit kullanılan 13 termik santralden kaynaklanan emisyonların hesaplanması literatürdeki EF'ler kullanılarak yapılmıştır. İm [13], İm vd. [14], Markakis vd. [15]

tarafından İstanbul için yüksek çözünürlüklü EE geliştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında hazırlanan Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) tabanlı envanter, 2 km mekânsal çözünürlükte aylık, günlük ve saatlik emisyon değerlerini içermektedir. Alyuz ve Alp [16], yaptıkları çalışmada, Türkiye'deki ana endüstriler için 2010 yılına ait bir EE hazırlamıştır. Hesaplar CO₂, PM, SO_x, NO_x, VOC, NH₃ ve N₂O parametreleri için kontrollü ve kontrolsüz durumlara göre ayrı ayrı yapılmıştır.

Türkiye, büyüyen ekonomisi ve artan nüfusuyla dünyada en hızlı gelişmekte olan ülkelerden biridir. Ülkemizde hava kirliliği ise özellikle 1950'lerden sonraki hızlı nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşme sonucu artmıştır [17]. Kirliticilerin düzeyleri özellikle kış aylarında, ulusal/uluslararası sınır değerlerin üzerine çıkabilmektedir [14, 18]. Bu kirlilik insan sağlığını olumsuz etkilemekle birlikte, aynı zamanda ülke ekonomisinde çeşitli şekillerde kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle, hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik yasal düzenlemelerin belirlenmesinde atmosfere verilen kirliticilerin miktarının tespiti büyük önem taşımaktadır. Bu tespitin yapılabilmesi ve illerin temiz hava eylem planlarının hazırlanabilmesi için ulusal ölçekte, kaynaklarına göre hava kirliticilerinin emisyon miktarları ve dağılımlarının hesaplanması gerekmektedir.

Ulusal ve uluslararası sorumluluklar kapsamında hava kirliticilerinin miktarlarının belirli periyotlarda raporlanması gerekmektedir. Ülkemizin taraf olduğu "Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi" çerçevesinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2011 yılından bu yana ulusal hava kirliticileri EE ve bilgilendirici envanter raporları her yıl düzenli olarak hazırlanmaktadır [19]. Bununla birlikte, ülkemizde hava kirliticileri için uluslararası kabul görmüş bir metodolojiye dayanan ve yerel veriyle desteklenen ulusal hava kirliliği EE bu yayında anlatılan çalışmaya kadar bulunmamaktaydı. Literatürde bölgesel veya kaynak odaklı EF ve EE çalışmaları bulunmakla beraber, bütünsel bir yaklaşım çerçevesinde ülkemizin şartlarına uygun EF'leri belirleyen bir EE çalışması bulunmamaktadır. Amerika veya Avrupa koşullarına ve üretim tekniklerine bağlı olarak tespit edilmiş emisyon faktörleri ile yapılan hesaplamalar ülkemiz için gerçek durumu yansıtamamaktadır. Dolayısıyla, ülkemizin koşullarına özgü belirlenecek emisyon faktörleri ile daha gerçekçi hesaplamalar yapılabilecektir.

Hava kalitesi eylem planlarının oluşturup uygulamaya geçilmesi açısından hava kirliliği yönetim sisteminin ve bunun en önemli kısmı olan emisyon yönetim sistemlerinin geliştirilmesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından ülkemizin öncelikleri arasındadır. Bu yayında, TÜBİTAK tarafından desteklenen "Ulusal Hava Kirliliği Emisyon Yönetim Sisteminin

Geliştirilmesi” projesinin noktasal kaynak bölümü anlatılmıştır. Noktasal kaynaklar için EE hesaplamalarında kullanılmak üzere, emisyon iznine tabi tesislerin bulunduğu sektörlerde emisyon kaynaklarında ölçümler yapılarak ülkemize özgü EF’leri hesaplanmıştır. Bu amaçla, pilot bölge olarak seçilen Marmara Bölgesinde belirlenen tesislerde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen ilk sonuçlara ait veriler ve yapılan çalışmayla ilgili bilgiler ilerleyen bölümlerde paylaşılmış, noktasal kaynaklar için ülkemize özgü geliştirilen EF’leri ve buna göre hesaplanan EE metal sektörü için verilmiştir. Diğer sektörlerle ilgili sonuçların verileceği yayın çalışması ise devam etmektedir.

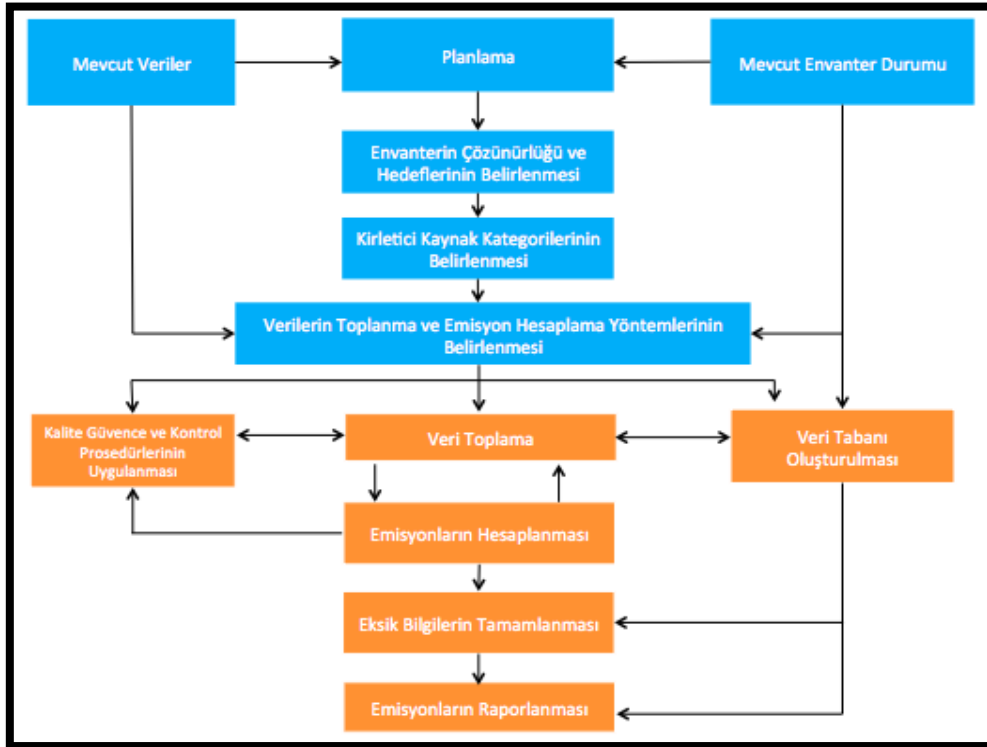
II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hava kirliliğinde **Emisyon**; fabrikalar, motorlu taşıtlar ve yerleşim birimleri gibi farklı kaynaklardan, yanma ve/veya üretim faaliyetleri sonucu atmosfere salınan hava kirleticileridir. Atmosfere birçok farklı kaynaktan salınan emisyonların hangi seviyede olduğunu değerlendirebilmek için, **Emisyon Envanteri (EE)** olarak tanımlanan, kirleticilerin atmosfere çeşitli kaynaklardan verilen yıllık miktarlarının bulunduğu, belirli bir zaman aralığında ve belirli bir coğrafi alan için doğru ve kapsamlı bir listesinin olması şarttır. Atmosfere verilen kirleticilerin miktarları ve türleri; ülkenin ekonomisine, endüstriyel faaliyetlerine, teknolojik gelişimine, trafik yoğunluğuna, yerleşim yerlerinin ısınma tiplerine ve diğer pek çok faktöre bağlı olarak yıllık bazda değişir. Bununla birlikte, yasal düzenlemeler ve kirleticilerin kaynaklarında kontrolleri

atmosfere verilen emisyonların miktarında önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak bir EE’nin hazırlanması için aşağıdaki adımlar izlenir:

- Kapsamlı bir plan yapılmalı ve envanterin amaçları tanımlanmalıdır,
- Seçilen coğrafi alan, çözünürlüğü ve zaman aralığı ile belirlenmelidir,
- Hangi kirleticilerin envanterde olacağı ve bunlar için hangi kaynak kategorilerine bakılacağı belirlenmelidir,
- Envanterde kullanılacak veriler için araştırmalar yapılmalıdır (hangi veri tipine ihtiyaç olacağı, bu verinin nereden ve nasıl temin edileceği),
- Veri toplama prosedürleri, hesaplamalarda hangi yöntem ve modellerin kullanılacağı, kalite güvence ve kalite kontrol (QA/QC) prosedürleri belirlenmelidir,
- Envanter sisteminin kullanılacağı yazılım altyapısı oluşturulmalıdır,
- Emisyonların hesaplanması ve envanterin raporlanması,
- Envanterin modelleme, strateji geliştirme, kontrol vb. çalışmalarında kullanılması.

Envanter için veri toplamaya başlamadan önce; kirleticiler (birincil kirleticiler, ikincil kirleticiler, toksik kirleticiler, sera gazları vb.), emisyon kaynakları (nokta, alan, çizgi vb.) ve envanterin coğrafi sınırları (şehir, bölge, ülke vb.) tanımlanmalıdır. Çeşitli faaliyetler ile hazırlanmış EE oluşturma yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. EE hazırlama adımları [5].

Envanter yapısı içinde, emisyonların yanında bir diğer önemli konuda kirliliğin kaynaklarıdır. Kapsamlı bir envanter, kirlilik kaynak kategorileri hakkında detaylı bilgi içermelidir. Emisyon kaynakları dört başlıkta toplanır; nokta kaynak (sanayi tesisleri gibi sabit emisyon kaynakları), hareketli/çizgi kaynak (motorlu taşıtlar, gemiler, uçaklar vb.), alan kaynak (organize sanayi siteleri, evsel ısınma vb.) ve doğal kaynak (volkanik patlama, orman yangını, sahra tozu, bitki örtüsü vb.).

Tablo 1. Emisyon kaynaklarının kaynak kategorileri (SNAP sektörleri).

| SNAP | Kategoriler |
|---------|--|
| SNAP 1 | Enerji üretim sektörü |
| SNAP 2 | Endüstriyel olmayan ısınma amaçlı yanma |
| SNAP 3 | İmalat sektöründe yanma |
| SNAP 4 | Üretim prosesleri |
| SNAP 5 | Fosil yakıtların rafinasyonu ve dağıtımı |
| SNAP 6 | Solvent ve benzeri ürünlerin kullanımı |
| SNAP 7 | Karayolu ulaşımı |
| SNAP 8 | Diğer mobil kaynaklar |
| SNAP 9 | Atık arıtımı ve bertarafı |
| SNAP 10 | Tarımsal faaliyetler |
| SNAP 11 | Doğal ve diğer kaynaklar |

Avrupa Birliği Çevre Ajansına bağlı Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı (EEA/EMEP, European Environment Agency/European Monitoring and Evaluation Programme), emisyon kaynaklarını Tablo 1'de verildiği gibi detaylandırarak 11 SNAP (Selected nomenclature for reporting of air pollutants) emisyon kaynak kategorisi ile sınıflandırmıştır [6]. Nokta kaynaklar, bir yıl içinde belirli bir emisyon eşliğinin (Tablo 2) üstündeki miktarda kirletici üreten sabit ve büyük emisyon kaynaklarıdır [5]. Bu eşik değerler, ülkeden ülkeye veya bölgeden bölgeye değişebilir. Nokta kaynaklar, elektrik üreten ve üretmeyen kaynaklar olarak da ikiye ayrılabilir. Enerji santralleri, petrol, metal, kimya ve çimento endüstrileri en önemli olanlarıdır. Noktasal kaynaklar arasında emisyon miktarı bazında kirletici vasfı yüksek olan tesisler; özellikle kömür kullanan enerji üretim tesisleri, petrokimya tesisleri, demir-çelik ve çimento üretim tesisleridir.

Tablo 2. Nokta kaynak emisyon eşik değerleri [5].

| Kirletici | Emisyon eşığı (ton/yıl) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Karbon Monoksit | 1.000 |
| Azot Oksitler | 100 |
| Kükürt Oksitler | 100 |
| Partikül Madde $\leq 10 \mu\text{m}$ | 100 |
| Partikül Madde $\leq 2,5 \mu\text{m}$ | 100 |
| Kurşun veya Bileşikler | 5 |
| Uçucu Organik Bileşikler | 100 |

Ülkemizde sanayi tesislerinden kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılmaktadır. Nokta kaynak kapsamındaki faaliyetler veya tesisler, Çevre izin ve lisans yönetmeliği ve eklerinde; üretim kapasitesi, kirletici vasfı, ürün cinsi vb. kriterler baz alınarak Ek-1 ve Ek-2 kapsamında sınıflandırılmıştır. İzne tabi olan işletmelerden kirletici vasfı yüksek olanlar (Ek-1) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın merkez teşkilatı ve kirletici vasfı daha düşük olanlar ise (Ek-2) taşra teşkilatı tarafından denetlenmektedir [20].

EE'ne temel olarak; kirleticilerin miktarı ve kaynaklarının belirlenmesi, hava kalitesine mevcut ve gelecekteki etkiyi hesaplamak, yönetmeliklere uygunluğu belirleyebilmek, politika, yasa ve yönetmelik geliştirme, hava kalitesinin izlenmesi ve kontrol stratejilerinin geliştirilmesi için ihtiyaç duyulur. Günümüzde, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesine taraf olmak gibi küresel ölçekteki inisiyatiflerden ötürü birçok ülkede EE hazırlanması artık yasal bir gereklilik haline gelmiştir. Lokal ölçekte ise EE; bir tesisin mevcut emisyon izin koşullarına veya yönetmeliklerine uygunluğunun belirlenmesi, önerilen yeni tesislerin kurulumu için çevresel etki değerlendirme raporlarının hazırlanması ve hava kalitesi yönetimi kapsamında insan sağlığı risk değerlendirmesi çalışmalarına girdi olması için kullanılır.

Envanterin hazırlanması ile birlikte, belirli bir coğrafi alanda kirletici türlerini, mevcut miktarlarını ve kaynaklarını içeren bir veri tabanı elde edilir. Böylece, kirlilik kontrol stratejisi geliştirilmeden önce bir altyapı oluşturulmuş olur. Bir coğrafi alan için sadece emisyon türleri ve toplam miktarını bilmek çoğu zaman yeterli olmayabilir. Envanterin diğer bir kullanım amacı, bir bölgedeki kirleticilerin zamansal ve mekânsal dağılımını ortaya çıkarmaktır. Bir coğrafi alan için sadece emisyon türleri ve toplam miktarını bilmek çoğu zaman yeterli olmayabilir. Emisyonların etkisi, ne zaman ve nerede oluştuğuna bağlı olarak artabilir veya tam tersi azalabilir. Örneğin bir kirleticinin etkisi, güneşe veya neme maruz kalması ile artabilir ya da atmosferik koşullar kirleticiyi yoğunlaştığı alandan yeterince dağıtamayabilir. Bunları ancak tematik haritalar üreten ve envanter sistemini kullanan hava kalitesi model çalışmalarıyla görebiliriz.

Hava kalitesi yönetiminde, yüksek kirlilik seviyelerini izlemenin yanında, insan sağlığı veya çevre için risk oluşturan herhangi bir kirleticiyi limitlerin altında olsa bile daha da azaltmanın veya tamamen bertaraf etmenin yolları aranmalıdır. Bu hedefe ulaşabilmek için kirlilik kontrol stratejilerini uygulayacak olan kurumların elinde doğru hesaplanmış bir EE olması zorunludur. İyi hazırlanmış ve hata payı en aza indirilmiş bir envanter, ulusal hava kalitesi standartlarına uygunluğu sağlayabilmek için gerekli olan ilk bilgidir.

EE, hava kalitesi izleme istasyonlarını en doğru noktaya konumlandırmak için yardımcı olur. Böylece, bu istasyonlardan en doğru veriler alınarak değerlendirilir, ulusal hava kalitesi standartlarının aşılmış aşılmadığı izlenebilir ve kaynaklardan salınan kirlilik seviyesindeki değişimler takip edilir. Kamunun başka ihtiyaçları için de EE kullanılabilir. Örneğin, bir bölgedeki endüstriyel büyümenin izlenmesine ve raporlanmasına, yeni tesis başvurularının izni için bilgi sağlamaya yardımcı olur. Bu kapsamda, EE sistemi gerekli olabilecek yeni düzenlemeler için mümkün olduğunca esnek bir yapıda tasarlanmalıdır [5].

III. YÖNTEM

3.1. EE hesaplama yöntemleri

Emisyon tahmininde yukarıdan-aşağıya (top-down approach) ve aşağıdan-yukarıya (bottom-up approach) olmak üzere başlıca iki yaklaşım vardır. Birinci yaklaşımda, ulusal çaptaki aktivite verileri ve EF'leri kullanılarak emisyon hesabı yapılır. Aktivite verileri, emisyonla sebep olan kaynakların kendine özgü bilgilerini içerir. Örneğin; nüfus bilgisi, araç sayısı, tesis üretim verisi, kullanılan yakıt cinsi ve miktarı vb. Yukarıdan aşağıya yaklaşımın avantajı, çok az girdiye ihtiyaç duymasındır. Benzer emisyon kaynakları gruplanarak, mevcut aktivite ve EF verisi ile emisyon hesapları. Bu yaklaşımın zayıf tarafı ise emisyon hesaplarında büyük ölçekte yerel seviyeye inilerek hesaplamalar yapıldığı için belirsizlik ortaya çıkmasıdır. İkinci yaklaşımda ise her bir kaynak için emisyonlar hesaplanır ve sonrasında tüm kaynaklar için hesaplanan emisyonlar il, bölge ve ülke seviyesinde toplanır. Bu yöntem, emisyon kaynağına özel spesifik faaliyet bilgileri, aktivite verisi ve EF olmak üzere daha fazla ve detaylı bilgiye ihtiyaç duyar. Bu sayede sonuçlar, yukarıdan-aşağıya olan yaklaşımdan daha doğru sonuç verir, çünkü veriler doğrudan doğruya hesaplama yapılacak kaynaktan toplanır. Bu yaklaşımlarda, kirlilik kaynaklarından gelen emisyonları hesaplayabilmek için aşağıdaki yöntemler kullanılır:

- Sürekli emisyon ölçümleri:** Kirlilik kaynağında, yüksek zaman çözünürlüğünde ve sürekli olarak proses esnasında çıkan emisyonları ölçer ve kaydeder.
- Baca ölçümleri:** Emisyon verileri, bacada yapılan kısa süreli emisyon ölçümlerinden üretilir. Bu veriler daha sonra aynı veya benzer kirlilik kaynakları için uzun vadeli emisyonların hesaplanmasında kullanılabilir.
- Kütle dengesi/yakıt analizi:** Emisyonlar, prosese giren ve çıkan madde miktarı temel alınarak veya yakıt içeriği analiz edilerek hesaplanabilir.
- Emisyon faktörleri:** EF (birim kirlitici/birim aktivite), atmosfere verilen kirlitici miktarını, kirlitcinin oluşmasına sebep olan faaliyetle

ilişkilendiren temsili bir değerdir. Seçilen faaliyet için üretilen madde miktarı veya kullanılan yakıt miktarı verisine ihtiyaç duyar. Belirli bir faaliyete özgü EF ile bu faaliyetin aktivite verisinin çarpımı çıkan emisyon miktarını verir.

- Emisyon tahmin modelleri:** Belirli kaynaklardan çıkan emisyonların ampirik yöntemlerle geliştirilmiş denklemler ile tahmin edilmesinde kullanılır. Modelleme yapılacak bölge, çalışma alanını ana hatlarıyla bölen grid denilen hücrelerle, örümcek ağına benzer bir şekilde parçalara ayrılır.
- Anket:** Emisyonları üreten prosesler ve kaynakları hakkında spesifik verileri elde etmek için kullanılır.
- Uzman görüşü:** Baca ölçümü, kütle dengesi veya EF gibi yöntemler mümkün olmadığında, konuyla ilgili ve emisyonun çıktığı prosesi bilen uzman mühendisin görüşü dikkate alınarak karar verilir.

EE'nin hazırlanmasında tercih edilen yöntemler ülkelere göre farklılık gösterebilir. Amerika'da EPA tarafından geliştirilen EF'leri (AP-42) kullanılırken, Avrupa Birliği'nde EMEP/EEA kılavuzlarında belirtilen EF'leri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, envanter sistemindeki şablonlar, kodlandırma sistemleri, aktivite verileri, birimler vb. birçok noktada farklılıklar olabilmektedir.

3.2. Noktasal kaynaklar için EE'nin hesaplanması

Bu çalışmada EE'nin oluşturulması için ihtiyaç duyulan aktivite verileri, tesislere ait emisyon izin raporlarından elde edilmiştir. Raporlardaki verilerin bilgisayar ortamına uygun bir şekilde aktarılabilmesi için bir şablon hazırlanmıştır. Şablon başlıklarının belirlenmesi aşamasında, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) ve Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı'nın (EMEP) emisyon envanter sistemleri temel alınmıştır. Bununla birlikte, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın sanayi tesislerinden istediği "Emisyon İzin Belgeleri" ve "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" incelendi ve bunların sonucunda EE şablonunda yer alacak başlıklar belirlendi. EE şablonunda yer alacak başlıklar genel bilgiler, kodlandırma bölümü, üretim bilgileri, tüketilen toplam yakıt bilgisi, baca ve ölçüm bilgileri olmak üzere beş bölümde ele alındı. Hazırlanan bu şablon kullanılarak bilgisayar sistemine veri girişi yapıldı.

Genel bilgiler; sanayi tesisinin adresi, koordinatları, yönetmelikte yer aldığı grup vb. bilgileri içermektedir. Kodlandırma bölümü; ürün cinsi, NFR (Nomenclature For Reporting) ve SNAP kodlarını içermektedir. Ürün cinsi başlığı altında; ana üretimin tanımı, proses adı ve ürün cinsi bilgileri yer almaktadır. NFR ve SNAP kodları şablonun ve bu sistemin en kritik noktalarından biridir. NFR ana kategori gruplarını temsil eder, SNAP

kodları ise daha detaylı olarak prosesleri kodlandıran kısımdır. Bu kodların belirlenmesinde, tesislerin emisyon izin raporlarındaki üretim ve proses bilgileri, kapasite raporları ile birlikte EMEP kılavuzları (EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook) detaylı çalışılarak belirlenmiştir. Tesisin üretim bilgilerini içeren bölümde; tesisin yıllık çalışma süresi (ay), günlük vardiya sayısı, üretim kapasitesi ve birimi vb. bilgiler yer almaktadır. Yakıt bilgileri kısmında, proses ve yanma sistemleri için kullanılan yakıt bilgisi (yakıtın türü, miktarı ve birimi) bulunmaktadır. Üretim süreci ve yakma tesisi olarak iki başlık altında ısı güç miktarı ve birimi bilgileri toplanmaktadır. Baca ve ölçüm bilgileri kısmında, tesisin sahip olduğu bacalarda emisyon izin raporu için yapılan ölçüm sonuçları ve baca özellikleri yer almaktadır.

Öncelikli kategorilerin ve ölçüm yapılacak tesislerin belirlenebilmesi için Marmara Bölgesi'nde yer alan 11 ilin sanayideki durumları değerlendirilmiş ve buna göre İstanbul ilinin ilk sırada yer aldığı görülmüştür (Tablo 3). İstanbul aynı zamanda Türkiye sanayi sektörü üretiminin de yaklaşık %35'ini gerçekleştirmektedir [21]. Bursa ve Kocaeli ise Türkiye sanayisinin İstanbul'dan sonra gelişmiş en büyük illeri durumundadır. Bu iller ve Marmara Bölgesi'ndeki diğer illerde yer alan büyük üretim tesislerine ait detaylı bilgiler kullanılarak öncelikli kategoriler, sektörler ve bu sektörlerde ölçüme gidilecek tesisler belirlenmiştir.

Tablo 3. Marmara Bölgesi'nde illere göre sanayi verileri [22].

| İl | Kapasite raporu sayısı | Çalışan personel sayısı |
|------------|------------------------|-------------------------|
| İstanbul | 20.146 (%62,6) | 658.896 (%46,9) |
| Bursa | 5.004 (%15,5) | 264.297 (%18,8) |
| Kocaeli | 2.398 (%7,4) | 186.881 (%13,3) |
| Tekirdağ | 1.572 (%4,9) | 129.711 (%9,2) |
| Sakarya | 947 (%2,9) | 57.133 (%4,1) |
| Balıkesir | 902 (%2,8) | 35.507 (%2,5) |
| Çanakkale | 368 (%1,1) | 13.523 (%1,0) |
| Kırklareli | 331 (%1,0) | 28.814 (%2,0) |
| Bilecik | 319 (%0,9) | 22.781 (%1,6) |
| Edirne | 273 (%0,84) | 14.908 (%1,0) |
| Yalova | 204 (%0,6) | 8.536 (%0,6) |
| Toplam | 32.191 | 1.406.079 |

Emisyon hesaplamalarında 3 katmanlı (Tier) bir yaklaşım mevcuttur ve katmanlar arttıkça daha detaylı ve spesifik veriye ihtiyaç duyulur. Birinci katman (Tier 1) en basit hesaplama yöntemidir ve aktivite verisi ile

EF için varsayılan veriler kullanılır. İkinci katman (Tier 2) bir üst seviyedir ve çalışmanın yapılacağı ülkeye özel belirlenen EF'lerini kullanır (bu çalışmada ikinci katman kullanılmıştır). Üçüncü katman (Tier 3) en fazla veriye ihtiyaç duyulan en zor hesaplama yöntemidir ve emisyonun hesaplanacağı kaynağa özgü verileri gerektirir (yakıt türü, yakma teknolojisi, işletme koşulları vb.). Bu çalışmada geliştirilen EF'leri ülkemize özgüdür ve emisyon hesaplarında kullanılan genel denklem (1) aşağıda verilmiştir:

$$E_{kirlletici,sektor} = \sum_{Sektor} A_{yakit\ tuketimi} \times EF_{kirlletici,yakit,sektor} \quad (1)$$

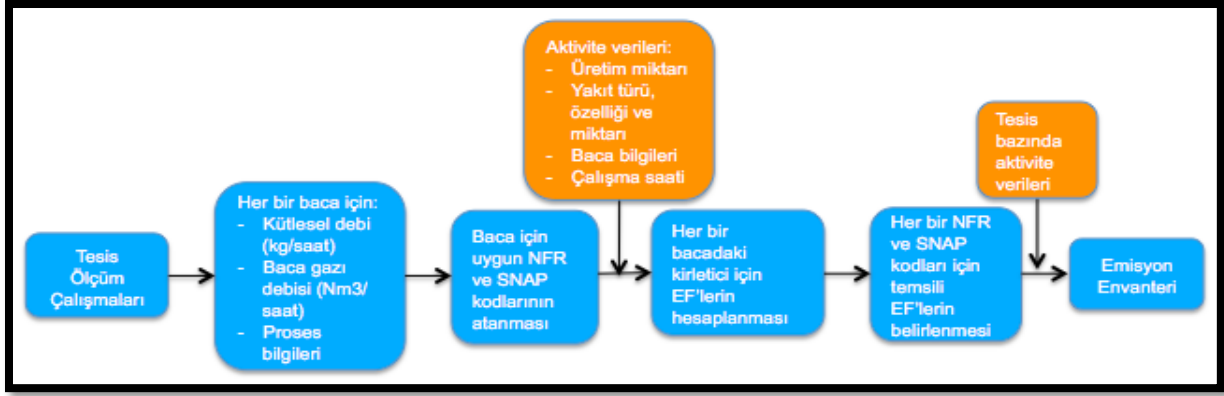
$E_{kirlletici, sektor}$: Sektör bazında her bir kirlletici için yıllık emisyon miktarı (ton/yıl),

$A_{yakit\ tuketimi}$: Yıllık yakıt tüketimi veya üretilen ürün miktarı,

$EF_{kirlletici}$: Kullanılan birim yakıt başına salınan kirlleticinin miktarı.

Türkiye'deki sanayi tesislerinin yanma ve proses faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirlletici emisyonlarının envanterini oluşturmak için tesislerin kategorileri arasında bir öncelik sıralaması yapılması gerekmektedir [6]. Öncelikli kategorilerin belirlenmesi için envanter hazırlama sürecinde, emisyon bazında ulusal hava kirliliğine en fazla katkıda bulunan kaynaklar öncelikli olarak seçildi. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından geliştirilmiş ve EMEP/EEA [6] tarafından da uygulanan yaklaşıma göre öncelikli kategoriler, ulusal hava kirliliği emisyonlarına olan katkıları büyükten küçüğe doğru sıralanıp toplandığında kümülatif olarak toplam emisyonun %80'ini oluşturan kategoriler olarak tanımlanmaktadır. Bu amaçla öncelik sıralamasının yapılabilmesi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından, sanayi tesislerinden alınan emisyon izin belge ve raporları incelenerek ölçüm çalışmalarının yapılacağı sektör sıralaması oluşturulmuş ve bu sektörlerde ölçüm yapılacak tesisler belirlenmiştir.

Emisyon hesabının ikinci en önemli kısmı aktivite verilerinin toplanmasıdır. Emisyon izin belge ve raporları, hem aktivite verilerinin elde edilmesi hem de NFR ve SNAP kodlarının atanması için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında bilgisayar ortamına girilmiş olan emisyon izin belge ve raporlarındaki yakıt ve proses verileri değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında pilot bölge olarak seçilen Marmara Bölgesi sınırları içerisindeki öncelikli tesislerde temsili ölçümler yapılmıştır. Bu amaçla 150 öncelikli tesiste ölçümler yapılmış ve sonuçlar elde edildikten sonra aktivite verileri de kullanılarak EF'leri ve EE'i hesaplanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Nokta kaynak EE hesaplama adımları.

Tesis ölçümleri, gerekli planlamalar (tesis seçimi, tesiste hangi emisyon kaynağında ölçümün yapılacağı vb.) yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ölçüm yapılacak tesislere bulunduğu ilin Çevre Müdürlüğü temsilcileri ile birlikte önceden haber verilmeden emisyon ölçümleri (yanma gazları ve toz) ölçüm standartlarına ve prosedürlerine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, toz hariç otomatik ölçüm cihazları vasıtasıyla anlık olarak gerçekleştirilmiştir. Toz örnekleme izokinetik şartlarda belirli sayıda noktadan ve belirli sürelerde numune alınması ile sağlanmış ve daha sonra numune laboratuvarında tartılmıştır. Bacada gaz konsantrasyonu tayini için elektrokimyasal sensör ölçüm prensiplerine göre çalışan MADUR GA 21 PLUS, gravimetrik örnekleme için ise Zambelli Isoplus toz örnekleme cihazı kullanılmıştır.

3.3. Veri kalite güvence ve kontrolü (QA/QC)

Emisyonun hesaplama adımlarında en doğru sonucu yakalamak kolay değildir. Bu nedenle çalışmada, kalite güvence ve kontrol prosedürleri (QA/QC, Quality Assurance and Quality Control) uygulanmıştır. Bu prosedürleri uygulamanın amacı; toplanan verilerde, EF ve EE üretim süreçlerindeki güvenilirliği arttırmak, oluşabilecek hataları minimize etmektir. Kalite Güvence (QA) ile hesaplama süreçlerinde olabilecek hataların önlenmesi hedeflenmiştir. Bunun için EF ve EE geliştirme ve test süreçleri iyileştirilmeye çalışılmış, yapılan çalışmalar sürekli kontrol ve incelemelerden geçirilmiştir. Bu sürecin objektif değerlendirilebilmesi için çalışmayı yürüten kurumların dışında, bağımsız kişiler tarafından da incelemeler ve kontroller yürütülmüş, her altı ayda bir bağımsız uzman hakemler ve TÜBİTAK uzman personeli tarafından süreçler (toplanan veriler, hesaplama yöntemleri vs.) incelenip kontrol edilmiştir. Bilgisayar ortamına aktarılan nokta kaynaklara ait aktivite verileri kontrol edilmiştir. Tesis ölçüm çalışmaları için çalışma ekibi, ölçüm için en uygun emisyon kaynağını seçmiş ve ölçüm esnasında kontrolleri yapılmış, böylece ölçümlerden en doğru sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Emisyon kaynakları için en uygun NFR-SNAP kodlarının atanması sağlanmış, bu adımda atanan kodlar çalışma ekibi

tarafından kontrol edilmiştir. Kalite Kontrol (QC) kapsamında, hesaplama süreçleri sonucunda elde edilen sonuçlar kontrol edilip varsa hatalar düzeltilmiştir. Bunun için teknik kontroller (girdi olarak kullanılan verilerin kalite kontrolleri), sonuçların istatistiksel değerlendirmeleri (EMEP ve literatürdeki diğer sonuçlarla kıyaslamalar vb.) yapılmış, toplanan veriler ve elde edilen çıktılar kayıt altında tutulmuştur. Uygulanan bu prosedürlerle nihai hale gelen EF'lerinin ve EE'nin doğruluğu ve hassasiyeti artmış, model çalışmaları ve kontrol stratejilerinde kullanılmak için hazır hale gelmiştir.

QA/QC bir plan dahilinde tüm EE çalışmalarındaki; verinin toplanması ve işlenmesi, envanterin derlenmesi, envanter hesaplamalarının tek bir veri tabanında birleştirilmesi ve raporlama adımlarını en doğru şekilde düzenlemek ve uygulamak için kullanılır. EE'nin hazırlanmasında kaynak kategorileri için aktivite verileri ve EF'leri gibi giriş verileri toplama süreçlerinin kalite kontrolü, kullanılan verilerin izlenebilir ve prosedüre uygun olmasını sağlamayı amaçlamaktadır. QA/QC çalışmalarında uygulanan prosedürlere aşağıda bazı örnekler verilmiştir:

- Emisyon hesaplamalarında kullanılan giriş verilerinin kaynağının güvenilirliğinin ve güncelliğinin kontrolü,
- Hesaplama tablolarında birimlerin doğru bir şekilde belirtilmesi,
- Birden fazla kategoride ortak kullanılan parametreleri tespit edip, emisyon hesaplamalarında kullanılan bu parametrelerin değerlerindeki tutarlılığın kontrolü,
- Çift hesaplama veya giriş olup olmadığının kontrolü,
- Hesaplamalarda kullanılan birimlerin ve birim dönüşümlerinin kontrolü.

IV. BULGULAR

Metal endüstrisi, özellikle demir-çelik sektörü yüksek miktarda hammadde ve enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Demir-çelik üretiminde girdi olarak kullanılan kütleli yarım tonluk emisyon, katı atık ve yan ürün (demir tozu, cüruf vb.) olarak çıkar. Bu nedenlerle, metal

endüstrisinde bulunan tesislerin toplam emisyonu katkısı önemli seviyededir ve kirlenici vasfı yüksek tesisler arasında yer almaktadır. Avrupa’da, demir-çelik sektöründe üretim ve işleme prosesleri sırasında ortaya çıkan emisyonların (özellikle ağır metal, dioksin ve furan) toplam emisyonda önemli bir payı vardır [6]. Bu çalışmada nokta kaynaklara ait en önemli sektörlerden biri olan metal sektörü için hesaplanan EF ve EE değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4’de verilen SNAP-NFR kodlarının açıklamaları şu şekildedir; 1.A.2.b-30308 kategorisi yakıt olarak kok/gaz/petrol kullanarak ikincil Çinko üretimi, 1.A.2.b-30309 kategorisi petrol/kömür/kok kömürü kullanarak ikincil Bakır üretimi, 1.A.2.b-30310 kategorisi petrol/gaz yakıt kullanarak ikincil Alüminyum üretimi, 1.A.2.a-30301 kategorisi yüksek fırın gazı / kok fırın gazını yakıt olarak kullanarak Sinter ve Peletleme yapan demir çelik üretim tesisleri, 2.C.1-40207 elektrikli fırın kullanan demir çelik tesisleri, 2.C.1-40209 yakma yapmayan Sinter ve Peletleme tesisleri, 2.C.3 Alüminyum üretimi, 2.C.7.a-

040309a Bakır üretimi, 2.C.7.c-40307 ise galvanizleme yapan metal üretim tesisleri ile ilgilidir. Tablo 4’teki NFR kategorilerinden 1.A.2.b, demir-dışı metal imalat sektöründe proseste yanma aktivitesini temsil etmektedir ve imalat sektöründe yanmayı temsil eden 1.A.2 kategorisinin alt kırılımlarından biridir. 1.A.2.a kategorisi, 1.A.2 NFR kategorisinin alt kırılımıdır ve demir-çelik imalat sektöründe proseste yanma aktivitesi için kullanılır. Tablo 4’teki 2.C.1, 2.C.3, 2.C.7.a ve 2.C.7.c NFR kategorileri, yanma dışındaki proseslerden kaynaklanan aktiviteleri temsil etmektedir.

Türkiye’nin toplam ham çelik üretiminin yaklaşık %75’i ark ocaklı tesisler, kalan ise entegre tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir. 2015 yılında 31,5 milyon ton ham çelik üreten sektör, dünya sıralamasında Brezilya’nın ardından 9. sırada gelmektedir [23]. Tablo 5’te metal sektörü için EF^a ve EF^b’ye göre hesaplanan EE kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Tablo 4. Metal sektörü için hesaplanan EF^a ve EMEP EF^b (g/ton).

| NFR Kodu | SNAP Kodu | Kirlenici | EF ^a | | | EF ^b | %95 güven aralığı | | EF ^a / EF ^b |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|----------|-----------------|-------------------|-----------|-----------------------------------|
| | | | Ort. | Min. | Mak. | | Alt sınır | Üst sınır | |
| 1.A.2.b | 30308 | SO ₂ | 3.376,1±2.209,2 | 1.236,0 | 7.264,0 | 12.200,0 | 9.150,0 | 20.000,0 | 0,3 |
| | | CO | 153,9±8,6 | 146,1 | 163,2 | 4.690,0 | 2.000,0 | 11.000,0 | 3,3x10 ⁻² |
| | 30309 | SO ₂ | 2,7±1,8 | 0,6 | 3,9 | 1.230,0 | 500,0 | 3.000,0 | 2,2x10 ⁻² |
| | | NO _x | 179,8±15,3 | 167,4 | 195,8 | 400,0 | 73,9 | 1.570,0 | 0,4 |
| | | NO _x | 250,6±304,7 | 55,1 | 780,9 | 413,0 | 280,0 | 610,0 | 0,6 |
| 30310 | SO ₂ | 44,3±35,5 | 10,8 | 81,5 | 285,0 | 220,0 | 170,0 | 0,2 | |
| 1.A.2.a | 30301 | CO | 7.942,9±8.715,3 | 440,7 | 3.5102,9 | 18.000,0 | 8.780,0 | 37.000,0 | 0,4 |
| | | SO ₂ | 209,1±175,1 | 63 | 732,7 | 463,0 | 220,0 | 973,0 | 0,5 |
| 2.C.1 | 40207 | CO | 620,0±1.350,0 | 0,1 | 4.240,0 | 1.700,0 | 0,7 | 3,9 | 0,4 |
| | | SO ₂ | 14,7±30,5 | 3 | 98,8 | 60,0 | 24,0 | 130,0 | 0,2 |
| | | NO _x | 66,7±140,7 | 4 | 394,1 | 130,0 | 120,0 | 140,0 | 0,5 |
| | | TSP | 4,2±9,5 | 1,8 | 37,9 | 30,0 | 1,0 | 780,0 | 0,1 |
| | 40209 | TSP | 16,5±17,9 | 1,8 | 53 | 50,0 | 20,0 | 130,0 | 0,3 |
| 2.C.3 | - | TSP | 238,0±27,0 | 29,5 | 554,1 | 2.000,0 | 1.000,0 | 4.000,0 | 0,1 |
| 2.C.7.a | 040309a | TSP | 17,8±13,6 | 3,2 | 29,4 | 320,0 | 100,0 | 1.000,0 | 0,1 |
| 2.C.7.c | 40307 | TSP | 23,1±26,6 | 3,9 | 79,1 | 800,0 | 600,0 | 1.200,0 | 2,9x10 ⁻² |

Not: EF^a bu çalışmada hesaplanan ulusal faktörlerimizi temsil etmektedir, EF^b ise EMEP faktörleridir.

Tablo 5. Metal sektörü için hesaplanan EE^a ve EE^b değerleri (ton/yıl).

| | CO | SO ₂ | NO _x | TSP |
|-----------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|----------|
| EE ^a | 46.848,7 | 7.589,5 | 8.906,3 | 1.759,2 |
| EE ^b | 113.178,7 | 28.287,4 | 7.221,8 | 16.015,9 |
| EE ^a / EE ^b | 0,4 | 0,3 | 1,2 | 0,1 |

Metal sektörü için NFR ve SNAP kategorilerine göre ayrı ayrı hesaplanan EF^a ve EF^b değerleri kirleticilere göre yukarıda Tablo 4'te, bu sektörden kaynaklanan emisyonlar ve oranları ise Tablo 5'te verilmiştir. Bu çalışmada, Marmara Bölgesi metal sektörü için emisyon envanteri hesaplaması için 27 tesisin 128 emisyon kaynak bilgisi kullanılmıştır. Bu tesislerin illere göre dağılımı; Kocaeli'nde 9, İstanbul'da 6, Tekirdağ'da 4, Bursa'da 3, Bilecik'te 2, Çanakkale, Kırklareli ve Sakarya'da 1'er tesistir.

V. SONUÇLAR

Hava kalitesi yönetiminde politika belirleyebilmek için mevcut durum tespiti büyük önem taşımaktadır. Bunun için ulusal ölçekte ve kaynaklarına göre kirleticilerin miktarları hesaplanmalıdır. Aynı zamanda, ulusal ve uluslararası sorumluluklarımız gereği hazırlanacak bu envanterin belirli periyotlarda raporlanması gerekmektedir. Ülkemize ait böyle bir çalışmayı yapabilmek için temel olarak; kirlilik kaynaklarına ait bilgilerin toplanmasına, sürekliliği olacak bir sisteme işlenmesine, veri akışını sağlayacak sistemin ve paydaşların görev ve sorumluluklarının belirlenmesine ve elde edilen verilerin girişini sağlayacak yazılım ortamının oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

Bu ihtiyaçların giderilmesine yönelik olarak, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı kapsamında desteklenen proje ile ülkemizde ilk defa "Ulusal Hava Kirliliği Emisyon Yönetim Sistemi" Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na kurulmuştur. Bu çalışmada; ülkemizde ilk defa web tabanlı hava kirleticileri emisyon yönetim portalı geliştirilmiş, pilot bölge olarak seçilen Marmara Bölgesi için EE hazırlanmış, nokta, alan ve çizgi kaynaklar için ölçümlere dayalı ulusal EF'leri hesaplanmıştır. Ayrıca, dünyada örnek teşkil edecek şekilde meteoroloji ve hava kalitesi modellerinin kullanıcı dostu ara yüzler ile yazılım üzerinden EE sistemine entegre edilerek çalıştırılması sağlanmış, emisyon dağılımı gibi tematik haritalar oluşturulmuştur.

Bu çalışmaya temel olan TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan veri tabanı ve emisyon hesaplama sistemi ile pilot bölge için elde edilen EE, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na teslim edilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan EE yönetim sistemi; veri tabanı modülü, hesaplama modülleri, özet raporlama sistemi, hava kalitesi model sistemi ve diğer yardımcı ve tematik portal elemanlarından oluşmaktadır. Sistem ayrıca EE verisinin hava kalitesi modeli için uygun hale getirilmesini sağlamaktadır.

Envanter sistemlerinin doğası gereği elde edilen sonuçların ve sistemin dinamik olması gerekmektedir. Bu nedenle, oluşturulan sistem geliştirmeye ve güncellemelere açık bir şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen deneyimler doğrultusunda, bundan sonraki çalışmalarla birlikte sistem daha ileri

götürebilir. Örneğin, portala kirletici yükü yüksek tesislerdeki sürekli emisyon ölçüm sistemleri entegre edilerek ve tesise ait zaman bazında yüksek çözünürlüklü aktivite verilerinin (kapasite, hammadde, yakıt verisi, teknoloji vb.) kullanılması sağlanarak daha doğru ve belirsizliği düşük emisyon hesaplarına ulaşılabilir.

Bu çalışmanın sonucunda, hava kalitesinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik çalışmaların en verimli şekilde yapılmasına olanak sağlayacak, Avrupa Birliği kılavuzlarındaki metodolojiye dayanarak hazırlanmış ulusal hava kirliliği EE sistemi ve portalı geliştirilmiş oldu. Bu sistem hava kirleticilerini kaynaklarına göre gruplandırarak, ulusal ölçekte emisyon miktarlarını ve dağılımlarını ortaya koyabilme kapasitesine sahiptir. Portal aynı zamanda karar destek mekanizması olarak da görev yapacak, hedefe odaklı önlemler ve daha etkin politikalar geliştirilebilecektir. Bu sistem ayrıca EE verisinin hava kalitesi modeline aktarılmasına uygun şekilde tasarlanmış olup, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hava kalitesinin iyileştirilmesi planlarının kantitatif olarak yapılabilmesine olanak sağlayacak özelliktedir. Geliştirilen sistemin ve bu çalışmanın en büyük kazanımı, ülkemize özgü EF'lerinin ve envanter sisteminin ortaya çıkmış olmasıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı (1007 Programı) kapsamında 111G037 nolu proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] WHO. (2014). World Health Organization. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>.
- [2] Pope, C.A., Dockery, D.W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect. *J. Air and Waste Management*, 56: 709-742.
- [3] OECD. (2014). The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport. OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264210448-en>.
- [4] Levy, J.I., Buonocore, J.J., Stackelberg, von, K. (2010). Evaluation of the public health impacts of traffic congestion: a health risk assessment. *Environmental Health*, 9(1), 65. doi:10.1186/1476-069X-9-65.
- [5] EPA. (2003). United States Environmental Protection Agency. Principles and Practices of Air Pollution Control, Student Manual, Second Edition, Chapter 8.
- [6] EMEP/EEA. (2013). Air pollutant emission inventory guidebook, Technical guidance to prepare national emission inventories. *European Environment Agency*, Doi: 10.2800/92722.

- [7] Elbir, T., Müezzinoğlu, A., Bayram, A., Seyfioğlu, R., Demircioğlu, H. (2001). Ege Bölgesi Hava Kirlenici Emisyon Envanteri. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3: 21-27.
- [8] Canpolat, B.R., Atımtay, A.T., Munlafalioglu, I., Kalafatoglu, E., Ekinci, E. (2002). Emission Factors of Cement Industry in Turkey. *Water, Air and Soil Pollution*, 138: 235-252.
- [9] Elbir, T.; Muezzinoglu, A. (2004). Estimation of emission strengths of primary air pollutants in the city of Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 38, (13): 1851-1857.
- [10] Karademir, A. (2006). Evaluation of the potential air pollution from fuel combustion in industrial boilers in Kocaeli, Turkey. *Fuel*, 85: 1894-1903. Doi:10.1016/j.fuel.2006.01.026.
- [11] Çetin, Ş., Karademir, A., Pekey, B., Ayberk, S. (2007). Inventory of emissions of primary air pollutants in the city of Kocaeli, Turkey. *Environ Monit Assess*, 128: 165-175. DOI 10.1007/s10661-006-9302-x.
- [12] Vardar, N., Yumurtacı, Z. (2010). Emissions estimation for lignite-fired power plants in Turkey. *Energy Policy*, 38: 243-252.
- [13] İm U., Incecik, S., Markakis, K., Kindap, T., Poupkou, A., Yenigun, O., Odman, M.T., Topcu, S., Tayanc, M., Melas, D. (2009). An investigation of high summertime ozone levels in Istanbul. *30th NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and its Application*, 18-22 May 2009, San Francisco, USA.
- [14] İm, U., Markakis, K., Unal, A., Kindap, T., Poupkou, A., Incecik, S., Yenigun, O., Melas, D., Theodosi, C., Mihalopoulos, N. (2010). Study of a winter PM episode in Istanbul using the high resolution WRF/CMAQ modeling system. *Atmospheric Environment*, 44: 3085-3094.
- [15] Markakis, K., Im, U., Unal, A., Melas, D., Yenigun, O., Incecik, S. (2012). Compilation of a GIS based high spatially and temporally resolved emission inventory for the greater Istanbul area, *Atmospheric Pollution Research*, 3: 112-125.
- [16] Alyuz, U., Alp, K. (2014). Emission Inventory of Primary Air Pollutants in 2010 from Industrial Processes in Turkey. *Science of the Total Environment*, V(488-489): 369-381.
- [17] Ozdemir, H., Unal, A., Kindap, T., Turuncoglu, U.U., Durmusoglu, Z.O., Khan, M., Tayanc, M., Karaca, M. (2011). Quantification of the urban heat island under a changing climate over Anatolian Peninsula, *Theoretical and Applied Climatology*, DOI 10.1007/s00704-011-0515-8.
- [18] Ozdemir, H., Pozzoli, L., Kindap, T., Demir, G., Mertoglu, B., Mihalopoulos, N., Theodosi, C., Kanakidou, M., Im, U., Unal, A. (2014). Spatial and temporal analysis of black carbon aerosols in Istanbul megacity. *Science of The Total Environment*, V(473-474): 451-458.
- [19] Gürtepe, İ.Ç., Köksal, C.E. (2014). Ulusal hava kirlenici emisyon envanteri. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 3: 22-28.
- [20] TCCMBS. (2020). T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/>.
- [21] İSO. (2017). İstanbul Sanayi Odası. <http://www.iso.org.tr/kurumsal/tarihce-ve-turkiye-ekonomisindeki-yeri/>.
- [22] TÜİK. (2016). Türkiye İstatistik Kurumu. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1035.
- [23] Ekonomi Bakanlığı. (2016). Demir-Çelik, Demir-Çelikten Eşya Sektörü. İhracat Genel Müdürlüğü - Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı.