

KÜTAHYA'DA HAVA KALİTESİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI: EMİSYON ENVANTERİ VE HAVA KALİTESİ MODELLEME

Gizem TUNA^{1(*)}, Hicran ALTUĞ², Tolga ELBİR¹, Eftade GAGA²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

²Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
Eskişehir

ÖZET

Bu çalışmada, Ege Bölgesi'nde yer alan Kütahya ilinde ve yakın çevresinde faaliyet gösteren kirletici kaynaklara ilişkin kapsamlı bir emisyon envanteri hazırlama ve bu kaynakların bölge hava kalitesine katkı değerlerinin bir hava kalitesi dağılım modeli ile belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Emisyon envanteri ve modelleme çalışmaları 4 temel kirletici (SO₂, PM₁₀, NO_x ve CO) için ve 140 km × 110 km'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kirletici kaynaklar; sanayi tesisleri, evsel ısınma ve trafik olarak üç kategori altında değerlendirilmiş ve kaynakların bölge hava kalitesine katkıları kirletici parametreler bazında belirlenmiştir. Bölgede yer alan sanayi tesislerine ait aktivite bilgileri, trafikte seyir eden araçların geçiş sayılarına dair bilgiler, evsel ısınma için konutlarda kömür tüketim verileri ve doğalgaz kullanım oranları ilgili kurumlardan temin edilmiş ve literatürdeki emisyon faktörleri ile değerlendirilerek 2014 yılına ait emisyonlar hesaplanmıştır. Elde edilen emisyon değerleri bir Gaussian dağılım modeli olan AERMOD ile kullanılmış ve bölgedeki hava kalitesi seviyeleri hesaplanmıştır. Tüm sektörlerin katkısı ile elde edilen hava kalitesi seviyelerinin mekânsal dağılımı kirlilik haritaları olarak sunulmuştur. Ayrıca modelin performansını belirleyebilmek amacıyla model ile elde edilen hava kalitesi değerleri merkez ilçede yer alan hava kalitesi ölçüm istasyonu verileri ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

In this study, a comprehensive emission inventory was prepared including all pollutant sources for Kütahya located in the western part of Turkey. Air quality modeling study was also carried out to determine the contributions of all pollutant sources to air quality in the region. Emission inventory and modeling studies were carried out for four primary air pollutants (SO₂, PM₁₀, NO_x and CO) in the area of 140 km × 110 km. In the study, pollutants sources were classified as industrial plants, residential heating and traffic. Data on facilities of the industrial plants, fuel consumptions and passing numbers of vehicles, natural gas and coal consumption statistics in residential areas were obtained from the related institutes. The collected data was used with the emission factors selected from the literature to estimate the emissions for 2014. The emission data was used to determine air quality levels by a Gaussian dispersion model (AERMOD) and spatial distributions of air quality levels originating from all pollutant sources in the region were presented as pollutant distribution maps. Finally, for testing the performance of the model, model predictions and observations from the air quality monitoring station located in the city center were compared statistically.

* gizem.tuna@deu.edu.tr

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Emisyon Envanteri, Hava Kalitesi Modeli, AERMOD, Antropojenik Kirleticiler Kaynaklar, Kütahya

1. GİRİŞ

Türkiye’de ve dünyada birçok kent merkezinde sanayi, trafik ve evsel ısınma gibi antropojenik kaynakların etkisiyle topoğrafik ve meteorolojik koşulların da varlığı ile hava kirliliği problemleri görülebilmektedir (Wark vd., 1998). Özellikle sanayi tesislerin yer seçiminde yapılan hatalar ve kış aylarında evsel ısınma amacıyla kalitesiz kömür kullanımı etkisiyle hava kirliliği problemlerinde artış görülmektedir (Hacıoğlu, 2015). Ayrıca, endüstriyel kaynaklardan en önemlisi olan termik santraller, elektrik enerjisi elde etmek amacıyla dünyanın her yerinde kullanılmakta olup enerji üretirken aynı zamanda atmosfere de çeşitli kirleticiler salmaktadırlar (Özkan, 2013). Özellikle termik santral yakıtı olarak kullanılan düşük kalorili ve yüksek kükürlü yerli linyitin bu tesislerde kontrolsüz koşullarda yakılmasıyla yüksek miktarda kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), uçucu hidrokarbonlar, partikül maddeler (PM) ve kül gibi kirleticiler atmosfere salınmaktadır (Özkan, 2013).

Emisyon kaynaklarının çeşitliliği dikkate alınarak, bir bölgede hava kalitesinin izlenmesi için hava kalitesi izleme istasyonlarının bulunması önemlidir. Ayrıca, hava kirleticilere maruziyetin belirlenmesi, yerleşim ve sanayi bölgelerinde kirleticiler konsantrasyonlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Tüm bunlar için gerekli olan hava kalitesi eylem planlarının geliştirilmesi için söz konusu bölgelere ait emisyon envanterlerinin oluşturulması ve matematiksel modeller yardımıyla kirleticiler kaynaklarının bölge hava kalitesine katkılarının belirlenmesi oldukça önemlidir (Longhurst vd., 2009; Markasis vd., 2012).

Ülkemizde bazı şehirlerde meydana gelen hava kirliliği seviyelerinin özellikle kış döneminde yüksek olduğu saptanmıştır. Türkiye’nin Ege Bölgesi’nde yer alan Kütahya şehir merkezi son yıllarda kentler bazında ülkemizdeki hava kirliliği sıralamasında, kriter alınan kirleticilerin (SO_2 ve PM_{10}) her ikisi bakımından da birinci sırada yer almaktadır. Her iki parametre için de yüksek konsantrasyonların özellikle kış aylarında gözlemlendiği görülmektedir (Demirel, 2015). Şehirde sanayi çok gelişmemiş olmakla birlikte bölgede emisyon kaynağı teşkil eden önemli sanayi tesisleri ve 2’si Kütahya, 1’i de Bursa sınırları içinde olmak üzere toplam 3 büyük termik santral bulunmaktadır. Ayrıca, bölgede açık alanda faaliyet gösteren taş ocağı işletmeleri de yer almaktadır. Her ne kadar kent merkezinde doğalgaz kullanımı yaygınlaşmış olsa da kentte evsel ısınma amacıyla yaygın olarak yerli kömür kullanımı mevcuttur (KÇŞİM, 2015).

Bu çalışma, Kütahya’da sanayi tesislerden, evsel ısınmadan ve karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirleticilerin bölgedeki hava kalitesine olan katkılarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sektörlere ait yakıt tüketim bilgileri ile literatürdeki emisyon faktörleri ilişkilendirilerek 3 farklı sektöre ait emisyon değerleri 4 temel kirleticiler (SO_2 , PM_{10} , NO_x ve CO) için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan emisyonlar bir hava kalitesi dağılım modelinde girdi olarak kullanılmış ve bölgedeki hava kalitesi seviyelerinin mekansal dağılımları belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Emisyon envanteri

Bu çalışmada, Kütahya il sınırları içinde yer alan antropojenik kaynakların (sanayi, evsel ısınma ve trafik) bölge atmosferine saldıkları SO₂, PM₁₀, NO_x ve CO emisyonları belirlenmiştir.

Çalışmada sanayi tesislerine ilişkin veriler Kütahya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bölgede faaliyet gösteren 41 tesisten emisyon iznine tabi 31'i üretim türü ve tesis kapasiteleri değerlendirildiğinde bölgede önemli emisyon kaynağı oldukları düşünülerek çalışmaya dahil edilmiştir. Tesislere ait aktivite bilgileri emisyon izni raporlardan temin edilerek literatürdeki emisyon faktörleri ile ilişkilendirilmiş ve emisyonlar hesaplanmıştır.

Bu tesislerin toplam 246 adet bacası bulunmaktadır. Sanayi tesislerinde yakıt olarak 4 farklı yakıt türü (fuel oil, linyit, petrokok ve doğalgaz) kullanıldığı belirlenmiştir. En yaygın kullanılan yakıt doğalgazdır. Bölgedeki 31 tesisin 21 tanesi yakıt olarak doğalgaz kullanmaktadır. Hesaplarda kullanılan emisyon faktörleri EMEP/CORINAIR veri tabanından temin edilmiştir (EEA, 2013).

Sanayi tesislerinin yanı sıra bölgede ikisi Kütahya (Tunçbilek ve Seyitömer Termik Santrali) birisi Bursa sınırında yer alan (Orhaneli Termik Santrali) 3 farklı termik santral bulunmaktadır. Seyitömer Termik Santrali, 150 MW gücünde 4 ünite halinde inşaa edilen ve toplam 600 MW kurulu gücünde olup, Türkiye'deki toplam kurulu güç kapasitesinin %1,1'ini oluşturmaktadır. Kütahya'nın Tunçbilek ilçesinde yer alan Tunçbilek Termik Santrali, 2 adet 150 MW'lık ve 1 adet 65 MW'lık 3 ünite şeklinde tasarlanmış olup toplam 365 MW kurulu gücündedir (Özkan, 2013). Orhaneli Termik Santrali ise Kütahya'ya komşu Bursa ili sınırları içindedir. Santral 1992 yılında faaliyete başlamıştır. Tek bir üniteye sahip olup toplamda 210 MW kurulu güce sahiptir (Özkan, 2013). Bu üç termik santralde yılda toplam 7.833.534 ton kömür kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında bölge içinde faaliyet gösteren 17 adet taş ocağından kaynaklanan partikül madde emisyonları da envantere dahil edilmiştir. Bu tesislerin toz emisyonlarına dair kaynaklar patlatma, sökme, yükleme, boşaltma, depolama, vb. gibi faaliyetlerdir ve emisyon değerleri doğrudan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'ndeki emisyon raporlarından temin edilmiştir.

Evsel ısınma faaliyetlerine ilişkin veriler Kütahya için hazırlanan İl Çevre Durum Raporu (İÇDP)'nden temin edilmiştir (KÇŞİM, 2015). Çalışmada, evsel ısınma faaliyetleri ilçe merkezleri ve köyler olmak üzere iki farklı kategoride değerlendirilmiştir. Bölgede 2014 yılında evsel ısınma amacıyla toplam 104.191 ton yerli kömür, 9.260 ton ithal kömür tüketilmiştir (KÇŞİM, 2015). Toplam yakıt tüketimleri ilçe merkezleri ve köylere nüfusları oranınca dağıtılmıştır. Kütahya iline ait nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'dan temin edilmiştir (TÜİK, 2014). Elde edilen verilere göre; il nüfusunun %68'i ilçe merkezlerinde yaşarken %32'lik kısmı köylerde yaşamaktadır. İlçe merkezlerindeki toplam konut sayıları yine TÜİK'ten temin edilen ortalama hane halkı değerine (3,2) (TÜİK, 2012) göre tahmin edilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre; ilçe merkezlerinde hane başına düşen kömür tüketimi kış mevsimi (Ekim-Nisan) boyunca ortalama 1,4 ton olarak belirlenmiştir.

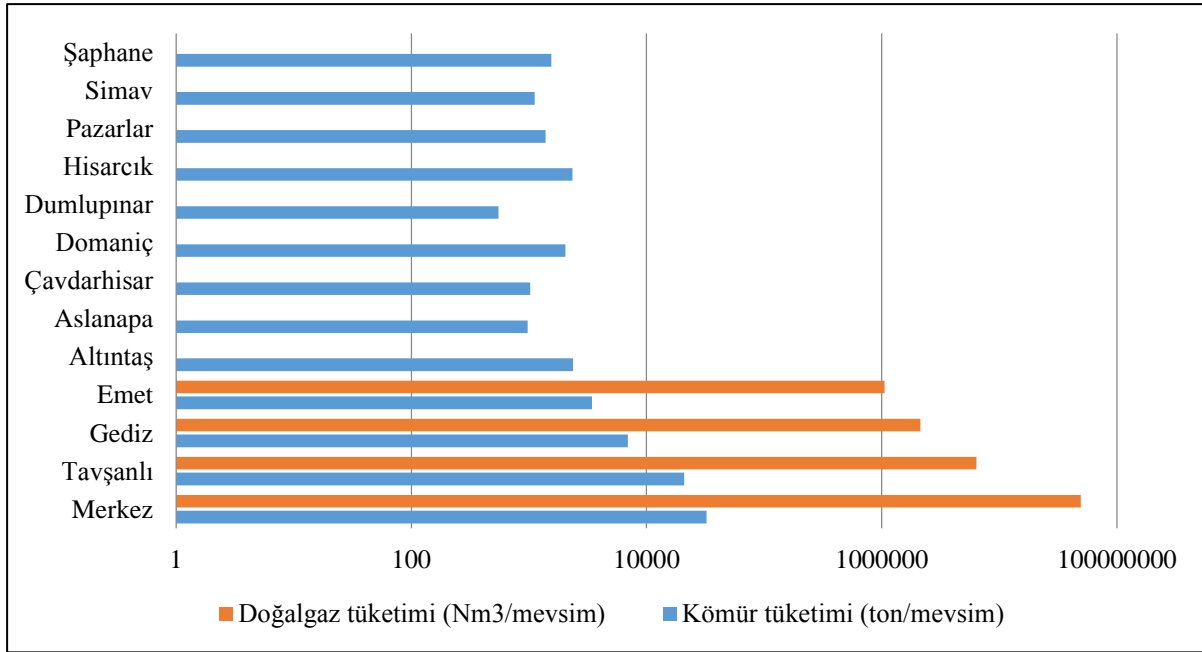
6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

İlde kömürün yanı sıra evsel ısınmada doğalgaz kullanımı da mevcuttur. Fakat; tüketilen doğalgaz miktarı ve hane sayılarına ilişkin detaylı veri ilgili kurumlardan temin edilememiştir. İÇDP'ye göre bölgede sadece 4 ilçe merkezinde (Merkez, Emet, Gediz, Tavşanlı) doğalgaz tüketimi olduğu bilinmektedir. Kentte konutlarda ısınma amacıyla tüketilen toplam doğalgaz tüketimi 2014 yılı için $74.250.000 \text{ Nm}^3/\text{mevsim}$ olarak İÇDP'dan temin edilmiştir (KÇŞİM, 2015). Aynı raporda doğalgaz kullanım oranları; merkez için %68, diğer 3 ilçe merkezi için ise %30 olarak verilmektedir (KÇŞİM, 2015). Buna göre; kış mevsiminde hane başına doğalgaz tüketim miktarı yaklaşık $1250 \text{ Nm}^3/\text{mevsim}$ olarak hesaplanmıştır. İlçe merkezlerine göre kömür ve doğalgaz tüketimleri Şekil 1'de verilmiştir.

Köylerden kaynaklanan evsel ısınma emisyonları için biraz farklı bir yaklaşım uygulanmıştır. Köylerde ısınma faaliyetleri sırasında yakıt olarak sadece kömür kullanılmaktadır. Çalışma alanı içinde toplam 550 köy bulunmaktadır. Bu köylerin büyük bir kısmının nüfusu çok küçüktür. Bu nedenle çalışma kapsamında nüfusu itibariyle yeterince büyük olduğu düşünülen (>500 kişi) 77 köy hesaplara dahil edilmiştir. Bu köylerde kış dönemi boyunca kullanılan toplam kömür miktarı 17.760 ton olarak hesaplanmıştır. Evsel ısınma emisyonları, yerleşim alanlarındaki yakıt tüketim verileri ile emisyon faktörlerinin kullanılması ile hesaplanmıştır (EEA, 2009).

Bölgede diğer bir önemli kirletici sektör karayolu trafiğidir. Bu sektörden kaynaklanan emisyonlar bölgedeki karayollarının niteliği itibariyle iki farklı kategoride hesaplanmıştır. Bunlardan birincisi şehir merkezlerini birbirine bağlayan devlet karayolları, diğeri ise şehir merkezleri içindeki büyük caddelerdir. Kütahya ilini çevreleyen devlet yollarından kaynaklanan emisyonların belirlenmesi için gerekli veriler, trafikte seyreden taşıt türleri, taşıt türlerine göre geçiş sayıları ve taşıtların ortalama hızlarıdır. Gerekli olan veriler Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından hazırlanan trafik ve ulaşım istatistikleri raporundan temin edilmiştir (KGM, 2014). Devlet yolları için temin edilen taşıt geçiş sayıları ve ortalama hızlar her bir karayolu bazında elde edilmiştir. Çalışmada taşıt türleri; otomobil, minibüs-kamyonet ve otobüs-kamyon olarak üç farklı kategoride değerlendirilmiştir. Taşıtların yakıt türlerine göre dağılımları ise; Kütahya Trafik Tescil Denetleme Şube Müdürlüğü (KTTDŞM)'nden temin edilen il genelindeki toplam taşıt sayılarının yakıt türlerine göre dağılımı baz alınarak hesaplara dahil edilmiştir (KTTDŞM, 2015). Elde edilen verilere göre; bölgede motosikletlerin neredeyse tamamı yakıt olarak benzin kullanmakta, otomobillerde %66'lık oranda LPG kullanımı baskın görünmekte, diğer 2 farklı araç türü için ise motorin ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Çalışma alanı içinde yer alan 12 ana devlet yolu hesaplara dahil edilmiş ve emisyonlar bu yollar üzerinde bulunan çok sayıda bağlantı noktasına göre dilimlere ayrılarak hesaplanmıştır. Her dilimdeki taşıt sayılarının ve ortalama hızların farklılığı baz alınarak her bir dilim için ayrı ayrı emisyon hesabı yapılmıştır.

KGM'den temin edilen taşıt geçiş sayıları ve literatürden seçilen emisyon faktörleri kullanılarak emisyonlar hesaplanmıştır. Kullanılan emisyon faktörleri taşıtın türüne, motor teknolojisine, yakıt türüne ve taşıtların ortalama hızlarına göre değişiklik göstermektedir. Çalışmada kullanılan emisyon faktörleri daha çok taşıtların hızına bağlı eşitlikler halindedir ve tüm kirleticiler ve taşıt sınıfları için hızlara bağlı eşitlikler ile belirlenen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Kullanılan faktörler ilgili kaynaktan (EEA, 2007) temin edilebilir.



Şekil 1. İlçe merkezlerine göre kömür (ton/mevsim) ve doğalgaz (Nm³/mevsim) tüketimleri

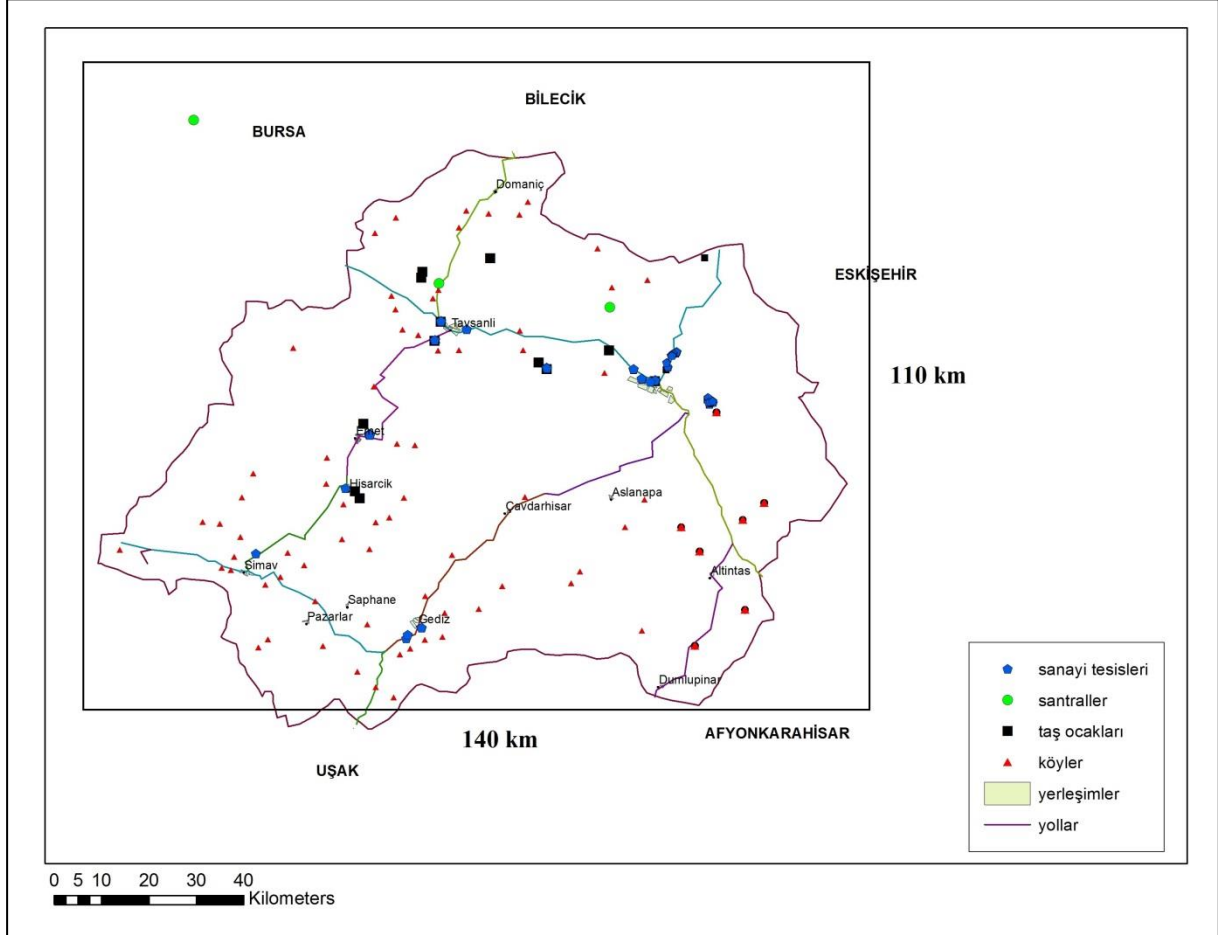
Trafik emisyonları kapsamında değerlendirilen bir diğer kirlenici kaynak türü ise; kent içindeki caddelerde seyir haline olan taşıtların eksozlarıdır. Kütahya KTTDŞM'den 2014 yılı için ilçe merkezlerine kayıtlı araç sayıları temin edilmiştir. Tüm ilçelerde trafik tescil şubesi bulunmadığından il genelindeki veriler 7 farklı ilçe merkezinde (Merkez, Altıntaş, Domaniç, Emet, Gediz, Simav, Tavşanlı) toplanmaktadır. Aslanapa ilçesi araçların tescilini Merkez'den, Pazarlar ilçesi Simav'dan, Şaphane ilçesi Gediz'den, Hisarcıklı ve Çavdarhisar Emet'ten ve Dumlupınar ilçesi ise Altıntaş'tan yapmaktadır. Araçların yakıt türlerine göre dağılımları yine ilçe merkezleri bazında KTTDŞM'den temin edilmiştir (KTTDŞM, 2015). Araçlar motosiklet, otomobil, minibüs-kamyonet, otobüs-kamyon olmak üzere 4 farklı kategoride değerlendirilmiştir. Bölgede otomobil ağırlıklı bir filo bulunmaktadır. Tüm araç türleri için mevzuat gereği belirlenen şehir içindeki hız limiti (50 km/sa) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, kent merkezi ve nüfus yoğunluğu olarak büyük olan ilçe merkezlerinde yer alan caddeler ağırlıklı olmak üzere 46 adet yoğun trafiğe sahip cadde belirlenmiştir. Emisyonlar, daha önce devlet yollarından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında kullanılan emisyon faktörleri ile hesaplanmıştır.

2.2. Dağılım Modellemesi

Kirlenici kaynakların yayınladığı emisyonların bölge atmosferinde oluşturacağı kirlenici konsantrasyonlarının hesabında USEPA (United States–Environmental Protection Agency)'nın AERMOD dağılım modeli kullanılmıştır (U.S. EPA, 2004). AERMOD modeli, bir kirlenici kaynaktan atmosfere bırakılan gaz ve toz kirlenicilerin farklı mesafelerdeki yer seviyesi konsantrasyonlarını ve çökme miktarlarını hesaplayabilen bir modeldir. Model genel olarak yer seviyesinden yüksekte bulunan ve sürekli emisyon yapan noktasal kaynaklar (bacalar) için geliştirilmiş hareket etmeyen (sabit) Gauss dağılım eşitliğini kullanmaktadır. Çalışma kapsamında modelleme için çalışma alanı 140 km × 110 km olarak seçilmiş ve 1000 m'lik gridlere bölünmüştür. Çalışma alanını ve bölgedeki kirlenici kaynaklar Şekil 2'de

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

verilmiştir. Hava kalitesi modelleme çalışmalarına girdi teşkil eden veriler ve temin edildiği kaynaklar Tablo 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanı ve bölgedeki kirlenici kaynaklar

Tablo 2. Modelleme çalışmalarına girdi teşkil eden veriler ve temin edildikleri yerler

Veri türü	Gözlem	Kaynak
Saatlik yer seviyesi meteoroloji verileri	Rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, bulutluluk, bulut yüksekliği, yüzey basıncı, nispi nem ve yağış	17155 no’lu Kütahya merkez istasyonu (2014 yılı)
Üst katman meteoroloji verileri (radiosonde)	Rüzgar yönü, rüzgar hızı, sıcaklık, basınç	17130 no’lu Keçiören, Ankara istasyonunda kaydedilen 12 saatlik radiosonde verileri (2014 yılı)
Topoğrafik veriler	SRTM3 dosyaları	SRTM3 veri tabanı (USGS, 2014)
Kaynak karakteristiği	Nokta ve alan kaynak	255 nokta kaynak, 384 alan kaynak

3. SONUÇLAR

3.1. Emisyon envanteri

Çalışmanın sonuçlarına göre; bölgedeki toplam emisyonlar sırasıyla SO₂ için 47.485 ton/yıl, PM₁₀ için 18.504 ton/yıl, NO_x için 18.841 ton/yıl ve CO için 26.525 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. SO₂, PM₁₀ ve NO_x emisyonlarına en büyük katkı sanayi sektöründen gelirken, CO emisyonlarına en çok katkı %51'lik bir katkı payı ile şehir içi trafik sektöründen gelmektedir (Şekil 3).

Endüstriyel SO₂ ve NO_x emisyonlarına en çok katkının bölgede yer alan termik santrallerden geldiği görülmektedir. PM₁₀ emisyonlarının %91'lik kısmı bölgede faaliyet gösteren 17 adet taş ocağından kaynaklanmaktadır.

Bölgedeki CO emisyonlarına en büyük katkıyı her ne kadar trafik sektörü sağlıyor olsa da evsel ısınma sektöründen kaynaklanan CO emisyonları da bölgedeki toplam CO emisyonlarının %44'lük bir kısmını oluşturmaktadır. Evsel ısınma sektörü kendi içinde değerlendirildiğinde ise; ilçe merkezlerinin evsel ısınmadan kaynaklanan toplam emisyonlara katkısı %81'dir. Bu durum ilçe merkezlerinde nüfusun daha yoğun olmasından ve buna bağlı olarak tüketilen kömür miktarının yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır.

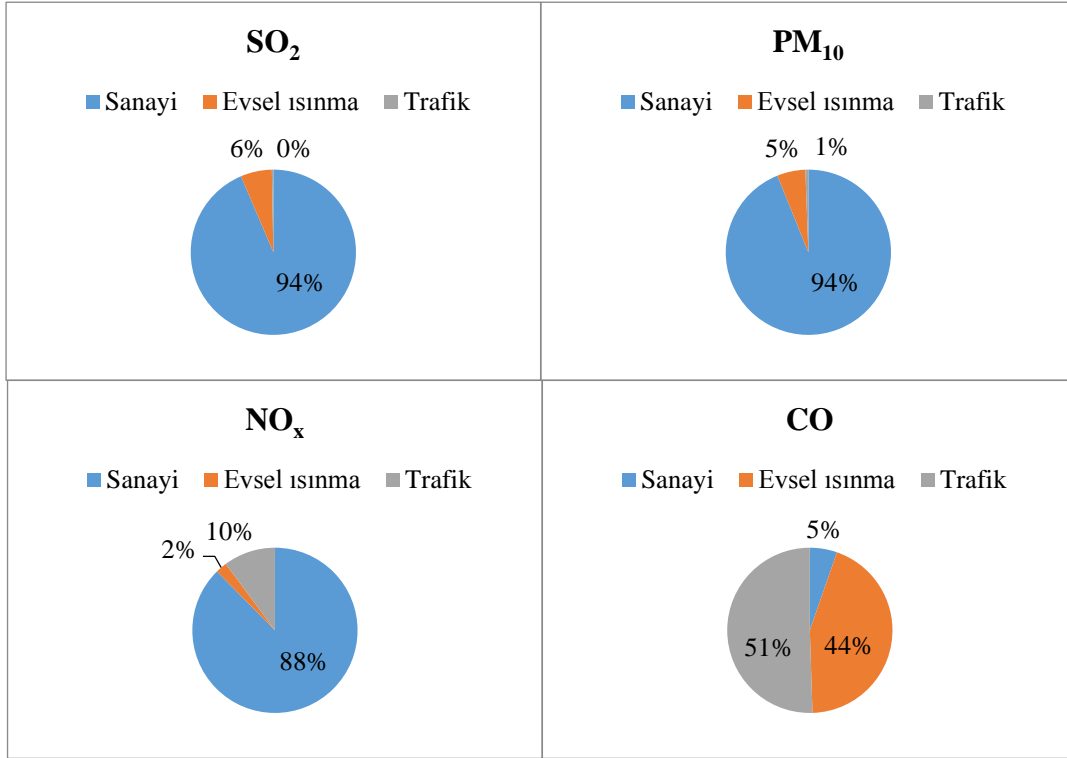
Trafik sektörünün SO₂ ve PM₁₀ emisyonlarına neredeyse hiç katkısı olmadığı görülmektedir. Devlet yollarının ve şehir içi caddelerin toplam trafik emisyonlarına katkıları incelendiğinde; PM₁₀, NO_x ve CO emisyonlarının yüksek oranda şehir içinde yer alan caddelerden kaynaklandığı, SO₂ emisyonlarında ise devlet yollarının daha çok katkı koyduğu görülmektedir. Devlet yollarının tekil katkıları değerlendirildiğinde ise; emisyonların %61'lik kısmının 3 devlet yolundan (Kütahya-Afyon, Kütahya-Bilecik ve Kütahya-Balıkesir) kaynaklandığı görülmektedir. Bu yollar katkı oranlarına göre sıralandığında; ilk sırada yoğun araç trafiğinin de etkisiyle Kütahya-Bilecik karayolu gelmektedir. En az katkı ise; Simav-Hisarçık arasında yer alan karayoluna aittir. Sonuçlar şehir içi trafik bazında değerlendirildiğinde; en fazla katkı %48'lik oranda Kütahya merkez ilçede yer alan caddelerden gelirken en az katkıyı Domaniç'te yer alan caddeler sağlamaktadır.

3.2. Hava kalitesi modellemesi

Sanayi, evsel ısınma ve trafik sektörlerinden kaynaklanan emisyonların bölge atmosferinde oluşturdukları dış hava kalitesi seviyeleri belirlenmiştir. Toplam 246 sanayi tesisi bacasından kaynaklanan yıllık ortalama konsantrasyonlar incelendiğinde; en yüksek PM₁₀ konsantrasyonunun 0,3 µg/m³ olduğu görülmektedir. Maksimum saatlik ortalama PM₁₀ konsantrasyonun ise 17 µg/m³ olduğu görülmüştür. SO₂, PM₁₀ ve NO_x için en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonun görüldüğü konum merkez ilçede yer alan bir koordinatı gösterirken, en yüksek yıllık ortalama CO konsantrasyonu farklı bir koordinatta gözlemlenmiştir. SO₂, PM₁₀ ve NO_x için bu durumun nedeni bölgede yer alan yılda 414.720 ton linyit kömürü tüketen şeker fabrikası iken; CO için ise en büyük katkıyı sağlayan tesis bir borik asit üretim tesisidir.

Model çalışmaları sonucunda santrallerden kaynaklanan en büyük yıllık ortalama PM₁₀ konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek değer 2 µg/m³ olduğu görülmektedir. Saatlik ortalama değer ise 110 µg/m³'a kadar yükselebilmektedir. En büyük konsantrasyon Aralık ayı içinde rüzgarın doğu-güneydoğu yönünde estiği bir anda Tunçbilek Termik Santrali'nin

birkaç yüz metre yakınlarında gözlemlenmiştir. Tüm kirlenici parametreler için en yüksek yıllık ve saatlik konsantrasyonların görüldüğü konum aynıdır. En yüksek yıllık ve saatlik ortalama konsantrasyonların görüldüğü yer Tunçbilek Termik Santrali'nin 1 km kuzeybatısında yer alan bir noktayı işaret etmektedir.



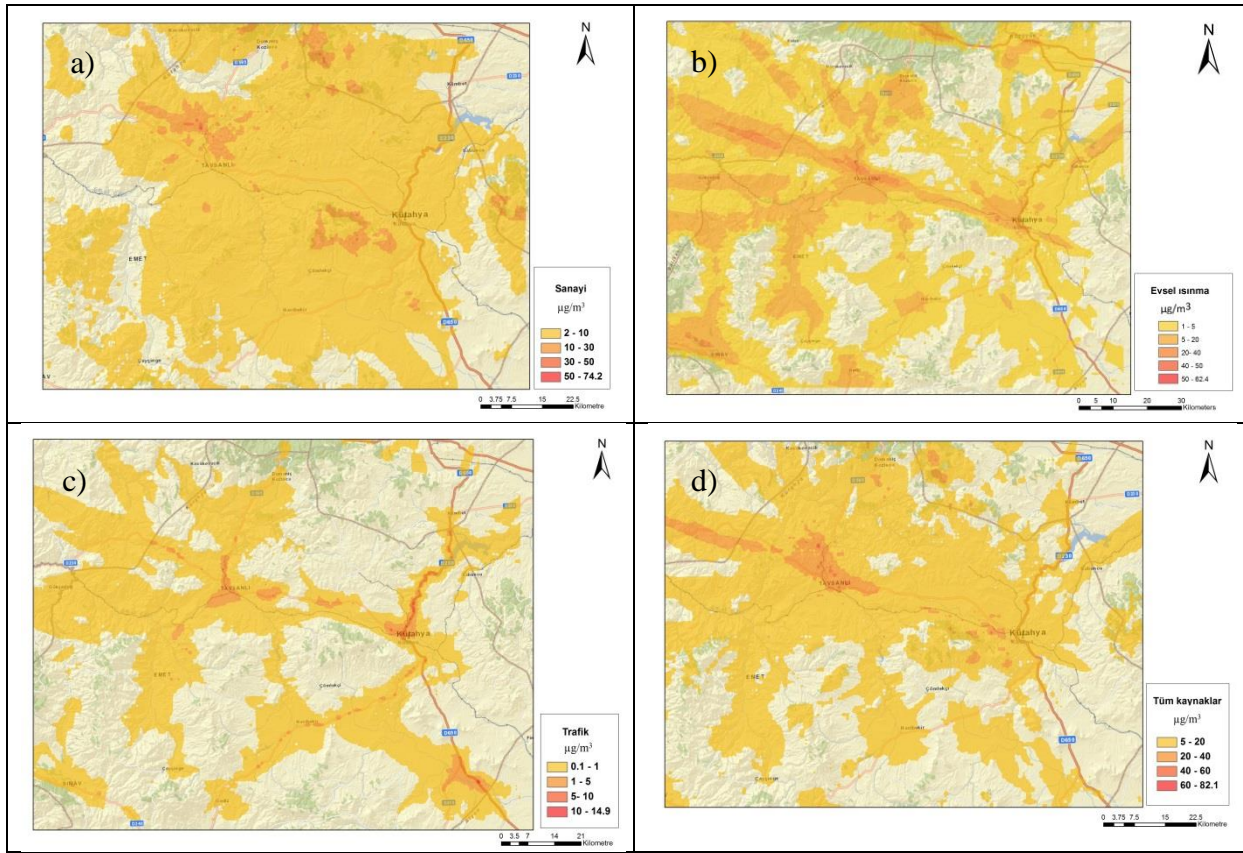
Şekil 3. Sektörlerin toplam emisyonlara kirleniciler bazında katkıları

Bölgede açık alanda faaliyet gösteren 17 adet taş ocağı bulunmaktadır. Model çalışmalarında alansal kaynak olarak nitelendirilen bu faaliyetlerinden kaynaklanan en büyük yıllık ortalama PM₁₀ konsantrasyonu 40 µg/m³ olarak belirlenmiştir. En yüksek saatlik konsantrasyonlar aynı noktada Garp Linyit İşletmesi'nin yer aldığı bir koordinatta gözlemlenmiştir. Model çalışmaları ile en büyük saatlik ortalama PM₁₀ konsantrasyonun 1015 µg/m³ olduğu görülmüştür. Bu değer, Ocak ayı içinde rüzgarın kuzey doğu yönünden estiği bir anda Tavşanlı kent merkezinin kuzeyinde gözlemlenmiştir. Saatlik en yüksek konsantrasyonlar incelendiğinde, yüksek değerlerin hep aynı bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durumun nedeni, o bölgede faaliyet gösteren büyük kapasiteli bir linyit işletmesidir. Bu tesis bölgede faaliyet gösteren 17 tesisten kaynaklanan toplam emisyonların %73'ünü oluşturmaktadır.

Evsel ısınma sektörü değerlendirildiğinde; ilçe merkezlerinde yüksek saatlik konsantrasyonlar gözlemlenmiştir. En yüksek saatlik konsantrasyonlar NO_x hariç diğer tüm kirlenici parametreler için Tavşanlı'nın kuzeydoğusunda bir bölgede ve merkez ilçe civarında gözlemlenirken, saatlik ve yıllık en yüksek ortalama NO_x konsantrasyonları doğalgaz kullanım oranının yüksek olduğu merkez ilçe civarında yoğunlaşmaktadır. Saatlik en yüksek konsantrasyonların Tavşanlı'nın kuzeydoğusunda ve rüzgarın güneybatıdan estiği ve rüzgar hızının 1 m/s'den düşük olduğu anlarda görüldüğü belirlenmiştir.

Şehir içi trafikten kaynaklanan en yüksek konsantrasyonların trafiğin yoğun olduğu ilçe merkezleri olan Merkez, Tavşanlı ve Simav'da yoğunlaştığı görülmektedir. Devlet yollarından kaynaklanan hava kalitesi seviyelerine en çok katkıyı koyan yollar ise; Kütahya-Bilecik karayolu başta olmak üzere Kütahya-Balıkesir ve Kütahya-Afyon karayollarıdır. En yüksek yıllık ve saatlik konsantrasyonlar bu yolların dolaylarında gözlemlenmiştir.

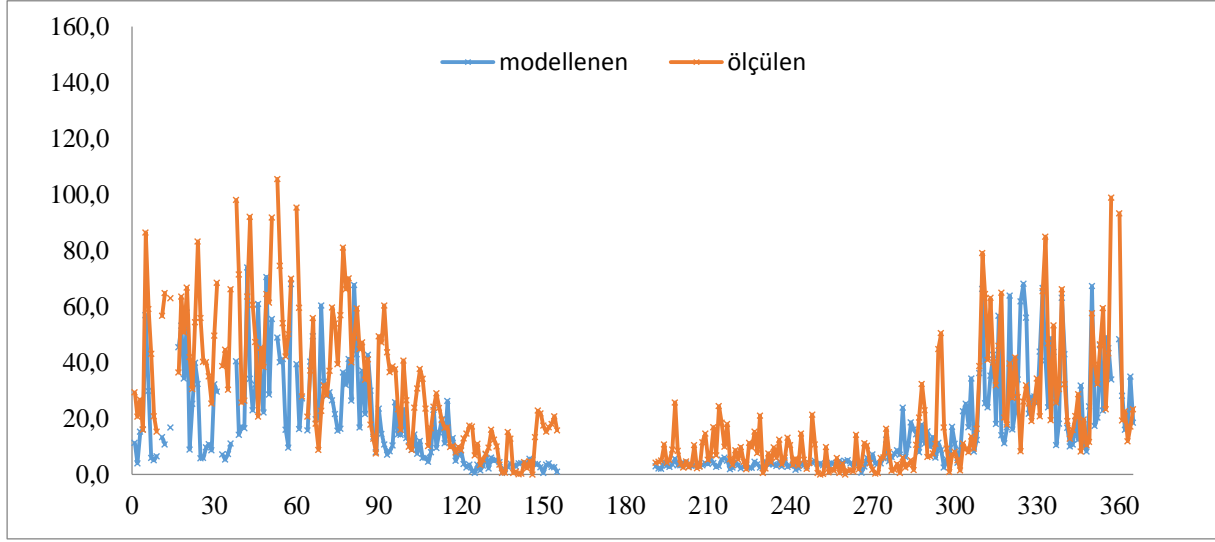
Tüm kirlenici kaynaklar birlikte bölgede yıllık bazda $82,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 konsantrasyonu oluşturmaktadır. Bu değer Tavşanlı kent merkezindeki bir noktada gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyona %90'lık pay ile en büyük katkı termik santrallerden gelmektedir. Trafik sektörünün katkısı ise oldukça düşüktür. Kirlenici kaynaklardan kaynaklanan yıllık SO_2 konsantrasyonlarının mekânsal dağılımı kaynaklar bazında ve toplam olarak Şekil 4'te verilmiştir.



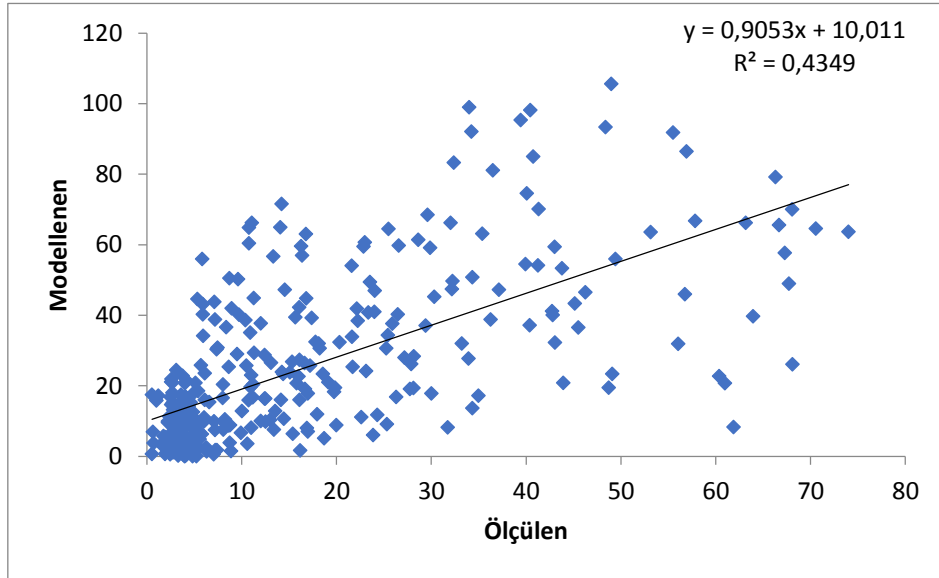
Şekil 4. Yıllık ortalama SO_2 konsantrasyonlarının sektörlere göre (a), (b), (c) ve tüm sektörler (d) için mekansal dağılımı

Ek olarak; çalışmada model çalışması sonucu elde edilen günlük ortalama SO_2 konsantrasyonları ile merkez ilçede yer alan hava kalitesi ölçüm istasyonundan temin edilen online ölçüm sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; model sonuçlarının ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak hata derecesinin ölçülmesini ifade eden uyum indeksi (index of agreement) (Willmott, 1981) %80'dir. Bu değer literatürdeki pek çok çalışma ile karşılaştırıldığında oldukça iyi bir sonuç olduğu görülmektedir. Bu da 1 yıl boyunca günlük bazda yapılan karşılaştırmalarda modelleme ve ölçüm sonuçlarının arasında istatistiksel olarak açıklanabilir bir farkın olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifade

ile bölgenin meteorolojik ve topoğrafik durumunun modelleme çalışmalarında yeterince simüle edilebildiği görülmektedir. Envanter çalışmalarında yer alan bazı belirsizliklere rağmen elde edilen bu değerler oldukça başarılıdır. Şekil 5'te 2014 yılında modellenen ve ölçülen günlük ortalama SO₂ konsantrasyonları, Şekil 6'da ise; ölçülen SO₂ konsantrasyonlara karşılık gelen model sonuçları verilmiştir.



Şekil 5. Modellenen ve ölçülen günlük ortalama SO₂ konsantrasyonları (µg/m³)



Şekil 6. Ölçülen SO₂ konsantrasyonlarına karşılık gelen model sonuçları

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Kütahya ilini içine alan 140 km × 110 km'lik bir alanda antropojenik kaynaklardan (sanayi, evsel ısınma, trafik) kaynaklanan 4 temel kirletici için kapsamlı bir emisyon envanteri hazırlanmış ve elde edilen emisyonlar bir hava kalitesi dağılım modeline girdi teşkil ederek bölgedeki hava kalitesi değerleri hesaplanmıştır. Bölgede yer alan kaynakların katkıları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; SO₂ ve NO_x emisyonları için en büyük katkıyı sağlayan sektör termik santrallerdir. Termik santraller oldukça yüksek miktarda kömür kullandıklarından ve bacalarında gaz kontrol teknolojisi bulunmamasından dolayı emisyonlara da en büyük katkıyı sağlayan kirletici sektör olmuştur. Öte yandan; bölgede yer alan sanayi tesislerinin büyük çoğunluğu yakıt olarak doğalgaz kullandığından SO₂ ve PM₁₀ emisyonlarına katkıları oldukça düşüktür. Partikül madde emisyonları ise bölgede yer alan madencilik faaliyetleri tarafından oluşmaktadır. CO emisyonları için ise; en önemli kirletici kaynak trafik olmakla birlikte evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonların da CO emisyonlarına olan katkı payları oldukça yüksektir.

Çalışma alanındaki tüm antropojenik sektörlerin birlikte oluşturduğu en yüksek değerlerin Tunçbilek Termik Santrali yakınlarında yoğunlaştığı ve yıllık ortalama en yüksek SO₂ konsantrasyonuna %90'luk bir katkının bu santralden geldiği görülmektedir. Katkı yüzdelerine göre; sanayi tesislerini evsel ısınma ve trafik sektörü izlemektedir.

Bu çalışma, Kütahya'da mevcut durumun tespiti açısından önemli bir emisyon envanteri ve hava kalitesi modelleme çalışmasıdır. Kütahya'da daha önce tüm antropojenik kaynakların bölge hava kalitesine katkısının belirlenmesine yönelik kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu çalışmada bölgedeki 3 temel kirletici kaynağın bölge hava kalitesine katkıları bir modelleme çalışması ile belirlenmiş ve sonucunda kirliliğin bölge içindeki dağılımı ortaya koyulmuştur. Ayrıca, SO₂ için elde edilen model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının kıyaslanması sonucunda elde edilen uyum indeksi verisi incelendiğinde; başarılı bir model çalışması gerçekleştirildiği görülmüştür (%80). Bu değer emisyon envanteri ve model çalışmasının doğruluğu ve gerçekliği açısından oldukça önemlidir. Bundan sonraki çalışmalarda, kirletici kaynakların bir kısmına ait elde edilemeyen verilerin de çalışmaya entegre edilmesi ile envanterin ve modelin kalitesi daha da güçlendirilecektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 112Y305 numaralı ve "Kütahya'da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi" isimli TÜBİTAK projesi ve 1306F272 numaralı "Kütahya Hava Kalitesinin ve Partikül Madde Genotoksitesinin Araştırılması" Anadolu Üniversitesi BAP projesinin desteği ile gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Demirel, H., 2015. *Kütahya Bölgesi'ndeki Termik Santraller ve Sanayi Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kalitesinin Bir Matematiksel Dağılım Modeli ile Belirlenmesi*, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

EEA (European Environment Agency), 2013. EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013, Energy Industries, Tier 2 Emission Factors.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

EEA (European Environment Agency), 2009. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2009. Combustion in Energy & Transformation Industries.

EEA (European Environment Agency), 2007. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook-2006.

Hacıoğlu, İ., 2015. *Kütahya Kentsel ve Kırsal Atmosferinde SO₂, NO_x ve O₃ Kirliticilerinin Zamansal Değişimleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

KÇŞİM (Kütahya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü), 2015. Kütahya İl Çevre Durum Raporu 2014, Kütahya, 184 sayfa.

KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü), 2014. Trafik Ulaşım Bilgileri 2013, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri Ve Ulaşım Bilgileri, Ankara, 227 sayfa.

KTDDŞM (Kütahya Trafik Tescil ve Denetleme Şube Müdürlüğü), 2015. İlçelere Göre Araç Sayıları ve Araçların Yakıt Türlerine Göre Dağılımı, Kütahya.

Longhurst, J.W.S., Irwin, J.G., Chatterton, T.J., Hayes, E.T., Leksmono, N.S., Symons, J.K., 2009. The development of effects-based air quality management regimes. *Atmospheric Environment* 43, 64-78.

Markasis, K., İm, U., Ünal, A., Melas, D., Yenigün, O., İncecik, 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.

Özkan, M., 2013. *Kütahya Bölgesindeki Termik Santrallerin Hava Kalitesine Katkılarının Belirlenmesi*, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2015. Kütahya şehir, belde ve köy nüfusları-2014, Ankara, 11 sayfa.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2012. İstatistiklerle Aile, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13662>, erişim: Şubat 2015.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2004. User's Guide For The AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD, North Carolina, 216 sayfa.

USGS (U.S. Geological Survey), 2015. SRTM3 veri tabanı, http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/, erişim: 2015.

Wark, K., Warner, G. E., Davis, W. T., 1998. Air Pollution its Origin and Control, Third Edition, Boston: Addison Wesley Longman Inc.



6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Willmott, C. J., 1981. On the validation of models. *Physical Geography* 2, 184–194