

## ZONGULDAK METROPOLİTEN BÖLGESİNDE HAVA KALİTESİ MODELLEMESİ

Özgür ZEYDAN (\*), Yılmaz YILDIRIM

<sup>1</sup> Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak

### ÖZET

Hava kalitesi modellemesi, temiz hava planlarının yapılabilmesi, mevcut hava kalitesinin ve kirleticilerin mekânsal dağılımının belirlenebilmesi gibi amaçlarla başvurulan bir yöntemdir. Bu çalışmada, Zonguldak metropoliten bölgesinde partikül maddeler (PM<sub>10</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) kirleticileri CALPUFF modeli kullanılarak modellenmiştir. Modelin girdilerinden birisi olan kirleticiler miktarlarının belirlenmesi için ısınma, ulaşım ve sanayi kaynaklı emisyonlar kullanılarak oldukça detaylı bir emisyon envanteri hesaplanmıştır. Isınma kaynaklarının belirlenmesinde evsel, kamu ve özel sektör kaynaklı emisyonlar hesaba katılmıştır. Motorlu taşıtların emisyonları ve liman trafiğinden kaynaklı emisyonlar ulaşım kaynaklarını oluşturmuştur. Çatalağzı Enerji Havzasında yer alan termik santrallerin (Çatalağzı Termik Santrali, Zonguldak Eren Termik Santrali I ve II) emisyonları ise sanayi kaynaklarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Emisyon envanteri sonunda çalışma alanından atmosfere salınan toplam PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları sırasıyla 3093,6 ton/yıl, 30390,7 ton/yıl ve 28914,6 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Hava kalitesi modelleme işlemleri CALPUFF modeli ile yapılmıştır. CALPUFF model çıktıları kirleticiler konsantrasyonlarını gösteren tematik haritalara dönüştürülmüştür. Tematik haritalar hava kalitesi indeksine göre hazırlanmış ve değerlendirilmiştir. Maksimum kirleticiler konsantrasyonları SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> için sırasıyla, 10928 µg/m<sup>3</sup> (1 saatlik ort.), 8161 µg/m<sup>3</sup> (1 saatlik ort.) ve 236 µg/m<sup>3</sup> (24 saatlik ort.) olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında hava kalitesi SO<sub>2</sub> için “tehlikeli”; NO<sub>x</sub> için “sağlıksız”, “kötü” ve “tehlikeli”; PM<sub>10</sub> için de “iyi”, “orta” ve “hassas” olarak belirlenmiştir. Modelleme sonucunda elde edilen kirlilik dağılım haritalarının yorumlanması sonucunda, çalışma alanında hava kalitesini iyileştirebilmek ve temiz hava planlarını oluşturabilmek için bazı öneriler sunulmuştur.

### ABSTRACT

Air quality modeling is a widely applied method for making clean air plans and determining the spatial distributions of pollutants. In this study, particulate matter (PM<sub>10</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) are modeled using CALPUFF model in Zonguldak metropolitan area. A detailed emission inventory prepared for space heating, transport and industrial emissions to determine the model emission inputs. Domestic heating as well as governmental and commercial space heating emissions have been counted in calculation. Motor vehicles and harbor traffic together forms transportation emissions. Thermal power plants (Çatalağzı Thermal Power Plant and Zonguldak Eren Thermal Power Plants I and II) located in Çatalağzı Energy Basin are used to determine industrial emissions. As a result of emission inventory, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions are 3093.6 tones/year, 30390.7 tones/year

\* ozgurzeydan@yahoo.com

and 28914.6 tones/year accordingly in study area. Air quality modeling is performed by using CALPUFF model. CALPUFF model outputs are converted thematic maps showing pollutant concentrations. Maximum pollutant concentrations are calculated for SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> accordingly as 10928 µg/m<sup>3</sup> (1 hour ave.), 8161 µg/m<sup>3</sup> (1 hour ave.) and 236 µg/m<sup>3</sup> (24 hours average). In study area, air quality is determined as “dangerous” for SO<sub>2</sub>, “dangerous”, “very unhealthy” and “unhealthy” for NO<sub>x</sub> and “unhealthy for sensitive groups”, “moderate” and “good” for PM<sub>10</sub>. After examining the pollutant distribution maps obtained from modeling study, some suggestions have been made for improving air quality and creating a clean air plans.

## ANAHTAR SÖZCÜKLER

Emisyon Envanteri, Hava Kalitesi Modelleme, CALPUFF, Hava Kalitesi İndeksi, Zonguldak

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, kalkınma hedefleri gerçekleştirilirken çevresel etkilerin görmezlikten gelinmesi nedeniyle ülkemiz, çok sayıda çevre problemiyle yüzleşmek zorunda kalmıştır. Ülkemiz şehirlerinde mevcut hava kalitesi, bu çevre problemlerinin önde gelenlerinden biridir. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü'nün (OECD) 2013 yılının Kasım ayında yayınlamış olduğu "How is life? 2013" raporunda OECD'ye üye 34 ülkenin hava kaliteleri partikül madde baz alınarak kıyaslandığında Türkiye, Şili'den sonra en kötü hava kalitesine sahip olan ülke olmuştur (OECD, 2013). Ülkemiz genelinde yıllık partikül madde (PM<sub>10</sub>) konsantrasyonu ortalamalarının incelendiği bir başka çalışmada ise, 2007 yılına ait en yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının (101 - 130 µg/m<sup>3</sup>) Karabük, Kütahya, Denizli, Batman ve Van illerinde olduğu belirtilmiştir. Kış dönemindeki PM<sub>10</sub> seviyeleri incelendiğinde ise en yüksek konsantrasyonların (101 - 150 µg/m<sup>3</sup>) Zonguldak, Karabük, Çorum, Kütahya, Denizli, Gaziantep ve Batman istasyonlarında gözlemlendiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca Dünya Sağlık Örgütü'nün PM<sub>10</sub> için limit değeri olan 20 µg/m<sup>3</sup>'ün hiçbir hava kalitesi izleme istasyonunda sağlanmadığı ve Avrupa Birliği'nin yıllık limit değeri olan 40 µg/m<sup>3</sup>'ü sağlayan tek ölçüm değerinin ise Giresun Hava Kalitesi izleme istasyonunda ölçüldüğü (39,9 µg/m<sup>3</sup>) belirtilmiştir (Akbulut Çoban, 2009).

Hava kalitesinin her bölgede aktif olarak ölçülmesi mümkün değildir. Ölçümün yapılamadığı alanlar veya bölgelerde hava kalitesi modellemesi sıkça kullanılmaktadır. Hava kalitesi modellemesi, temiz hava planlarının yapılabilmesi, mevcut hava kalitesinin ve kirleticilerin mekânsal dağılımının belirlenebilmesi gibi amaçlarla başvurulan bir yöntemdir. Emisyon miktarları, topografik ve meteorolojik veriler hava kalitesi modelinin girdileridir. Kirleticilerin alıcı (reseptör) noktaya ulaşana kadar taşınım, dispersiyon ve kimyasal reaksiyonlardan etkilenmesi gibi prosesler modeller tarafından çözülür. Modelleme işlemi sonucunda alıcı noktalarda kirleticiler konsantrasyonları tahmin edilir. Ülkemizde hava kalitesi modellemesi çalışmaları ilk olarak 1986 yılında İstanbul için Ertürk tarafından yapılmıştır (Tayanç, 2013).

Bu çalışmada, Zonguldak ili metropoliten alanında ilk kez hava kalitesi modellemesi yapılmış ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve PM<sub>10</sub> kirleticilerinin alansal dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen kirlilik dağılım haritaları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Ağustos 2014'de güncellenen Hava Kalitesi İndeksine (HKİ) göre hazırlanmıştır. Böylelikle,

çalışma alanındaki hava kalitesi ile ilgili değerlendirmeler HKİ'ye göre yapılmıştır. HKİ bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

### 1.1. Hava Kalitesi İndeksi (HKİ)

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) matematiksel hesaplama gerektirmeyen, genel bir sınıflandırma olup hava kirleticilerinin halk sağlığı üzerindeki etkisinin ve mevcut hava kalitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılabilir. Hava Kalitesi İndeksinin hesaplanmasında kullanılan kirleticiler kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot dioksit (NO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), ozon (O<sub>3</sub>) ve partikül madde (PM<sub>10</sub>)dir. Yeşil renk iyi, sarı renk orta derecede hava kirliliğini belirtir. Turuncu renk ise hassas gruplar için sağlık etkilerinin oluşabileceği hava kalitesini gösterir. Kırmızı renk ise sağlıksız hava kalitesini göstermekte olup ciddi sağlık etkileri görülebilir. Mor renk, sağlık açısından acil durumların oluşabileceğini ve son olarak da kahverengi renk herkes için ciddi sağlık etkilerinin gözlenebileceği hava kalitesinin ifade etmektedir. Tablo 1'de ülkemizde kullanılan hava kalitesi indeksi ve konsantrasyonların sınır değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Hava Kalitesi İndeksi (URL-1)

İndeks	HKİ	SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	CO [µg/m <sup>3</sup> ]	O <sub>3</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
		1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
İyi	0 – 50	0-100	0-100	0-5500	0-120 <sup>L</sup>	0-50
Orta	51 – 100	101-250	101-200	5501-10000	121-160	51-100 <sup>L</sup>
Hassas	101 – 150	251-500 <sup>L</sup>	201-500	10001-16000 <sup>L</sup>	161-180 <sup>B</sup>	101-260 <sup>U</sup>
Sağlıksız	151 – 200	501-850 <sup>U</sup>	501-1000	16001-24000	181-240 <sup>U</sup>	261-400 <sup>U</sup>
Kötü	201 – 300	851-1100 <sup>U</sup>	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520 <sup>U</sup>
Tehlikeli	301 – 500	>1101	>2001	>32001	>701	>521

L: Limit Değer, B: Bilgi Eşiği, U: Uyarı Eşiği

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, Karadeniz Bölgesinin batısındaki Zonguldak il metropoliten bölge sınırları içerisinde yer alan Zonguldak Merkez İlçesi, Kozlu İlçesi ve Kilimli İlçesi ile Çatalağzı, Muslu ve Gelik Beldeleridir. Çalışma alanına ait coğrafi bilgiler de Tablo 2'de listelenmiştir. Çalışma alanını gösteren uydu görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Çalışma alanı, 21 × 16 km boyutlarında olup toplam 336 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanındaki toplam nüfus Adrese Dayalı Nüfusa Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine göre 31 Aralık 2014 itibarı ile 181153 kişidir.

**Tablo 2.** Çalışma alanına ait coğrafi bilgiler

Datum:	WGS-84 (World Geodetic System)	
Projeksiyon ve UTM Zonu:	UTM (Evrensel Enlem Merkatörü) - 36	
Güneybatı (SW) Koordinatı:	X: 393000 Doğu	Y: 4585000 Kuzey
Proje alanı	X: 21 km	Y: 16 km



**Şekil 1.** Çalışma alanının uydu görüntüsü

## 2.2. Emisyon envanteri

Sınırları belirli bir alandaki emisyon miktarlarının sistematik olarak toplanması emisyon envanteri olarak adlandırılır. Emisyon envanteri, emisyon kontrol stratejilerinin geliştirilmesi, emisyon izin ve kontrol programlarının uygulanabilirliğinin belirlenmesi gibi amaçlar için hazırlanabilir (Elbir vd, 2000). Modelleme veri girdileri için hava kalitesinin ölçülmesi veya envanterinin bilinmesi gerekmektedir. Hava kalitesi değerleri her noktada ölçülemediğinden emisyon envanterleri hava kalitesi modellerinin de başlıca girdisini oluştururlar. Emisyon miktarlarının hesaplanabilmesi için aktivite istatistiğinin bilinmesi ve uygun emisyon faktörünün seçilmesi gereklidir.

Bu çalışmada, emisyon envanteri  $SO_2$ ,  $NO_x$  ve  $PM_{10}$  kirleticileri için hazırlanmıştır. Kirletici kaynakları olarak ısınma faaliyetleri, ulaşım ve sanayi kaynakları hesaba katılmıştır. Isınmadan kaynaklı emisyonların hesaplanmasında evsel ısınmanın yanında kamu kurumları ve yakıt tüketim verileri elde edilebilen özel kurumlar da envantere eklenmiştir. Isınma kaynakları Zonguldak, Kozlu, Kilimli ilçeleri ve Çatalağzı beldesinde mahalleler bazında hazırlanmıştır. Her mahalledeki konut sayıları ilgili belediyelerden Zonguldak İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü vasıtasıyla temin edilmiştir. Konutlar için resmi yazışmalardan elde edilen yakıt tüketim verileri tutarsız olduğundan, çalışma alanında Zeydan tarafından (2008) yapılan anket sonucunda konut başına belirlenen ortalama kömür tüketim değeri temel alınmıştır. Kamu kurumları ve özel kurumların kömür ve fuel-oil tüketim değerleri de yine resmi yazışmalar sonucunda Zonguldak Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu kurumlara ait emisyonlar buldukları mahalledeki toplam emisyonu eklenmiştir. Motorlu taşıtların emisyonlarının belirlenmesinde ana arterler ve kavşaklar

üzerindeki 11 farklı noktada trafik videoya alınmış ve araç sayımları görüntü üzerinden yapılmıştır. Zonguldak Limanı'ndaki gemi faaliyetleri sonucu atmosfere salınan kirletici emisyonları Kocabaş ve diğ., (2012) tarafından yapılmış bir başka çalışmadan alınarak kullanılmıştır. Sanayi kaynaklı emisyonların belirlenmesinde ise Çatalağzı Beldesi'nde yer alan Çatalağzı Termik Santrali (ÇATES) emisyonları Zeydan ve Yıldırım (2013) tarafından daha önce hazırlanan bir envanterden alınmıştır. Zonguldak Eren Termik Santrali I ve II'nin baca gazı emisyonları ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı vasıtasıyla baca gazı on-line ölçüm değerleri temin edilmiştir.

Isınma amacıyla çalışma alanında tüketilen başlıca yakıt taş kömürüdür. Bazı kamu ve özel kurumlar ise fuel-oil 6 kullanmaktadır. Bu yakıtlara ait emisyon faktörleri Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün (EPA) yayınladığı ve "AP42" olarak bilinen Hava Kirleticileri Emisyon Faktörlerinden seçilmiştir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların hesaplanabilmesi için gerekli olan emisyon faktörleri, Çetin ve arkadaşlarının (2007) Kocaeli ilinde yapmış oldukları bir çalışmada kullandıkları ve Avrupa Birliği'nin CORINAIR veri tabanından seçilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Çatalağzı Termik Santrali (ÇATES) emisyonlarının hesaplanmasında kullanılan emisyon faktörleri de AP42'den alınmıştır (Zeydan ve Yıldırım, 2013).

### 2.3. Hava kalitesi modelleme

Bu çalışmada, hava kalitesi modelleme işlemleri için CALPUFF (CALifornia PUFF - Kaliforniya Puff) modeli kullanılmıştır. CALPUFF çok katmanlı, kararlı olmayan durum lagrange gauss puff modelidir. Konum ve zamanla değişen meteorolojik koşullarda gaz ve partikülleri modelleyebilir. Noktasal, çizgisel, hacimsel ve alansal kaynaklar CALPUFF ile modellenebilmektedir (Holmes ve Morawska, 2006; Abdul-Wahab ve diğ., 2011). Sigma Research Corporation tarafından geliştirilen CALPUFF modeli EPA tarafından uzun mesafeli kirletici taşınımının belirlenebilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda kullanımı önerilen bir modeldir. Modelleme işlemleri CALPUFF View yazılımının 6.0.0 sürümü ile yapılmış olup CALMET/CALPUFF'un 6.42 versiyonu ve CALPOST modelinin de EPA onaylı 6.221 versiyonu hesaplamalarda kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan meteorolojik veriler Weblakes firmasından satın alınmıştır. Hava kalitesi modellemesi tüm kirletici kaynakları için 2007 – 2011 yılları arasındaki 5 yıllık meteorolojik veriler kullanılarak yapılmıştır. Modelin ihtiyaç duyduğu topoğrafik veriler ise Aster uydu görüntülerinden elde edilmiştir.

Kirlilik kaynaklarının, hava kalitesi modeline doğru bir şekilde girilebilmesi için uygun kaynak türü seçilmelidir. Isınma kaynakları CALPUFF modeline poligon alan kaynak olarak tanımlanmıştır. CALPUFF modelinde tanımlanan poligonlar en fazla 5 kenar çizgisinden oluşabilir. Motorlu taşıt emisyonları çizgisel alan kaynak olarak modele girilmiştir. Zonguldak Limanındaki gemi trafiği kaynaklı emisyonlar ise poligon alan kaynak olarak modele tanımlanmıştır. Sanayi kaynakları ise modelde noktasal kaynak olarak belirtilmişlerdir. Noktasal kaynaklar tek bir koordinata sahip oldukları için, bu kaynakların hava kalitesi modellerine girilmesi oldukça kolaydır. Fakat, poligon alansal ve çizgisel alansal kaynakların modellere tanımlanabilmesi için altlık haritalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan altlık haritaların hazırlanma yöntemleri Zeydan vd. (2014) tarafından bir başka çalışmada detaylı olarak açıklanmıştır.

CALPUFF modelinin çalıştırılmasının ardından, CALPOST son işlemcisi kullanılarak kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. NO<sub>2</sub> kirleticisine ait haritaların oluşturulabilmesi için NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> oranı 0,75 olarak hesaplamalarda kullanılmıştır (Hanrahan, 1999).

### 3. SONUÇLAR

#### 3.1. Emisyon envanteri sonuçları

Sanayi, ulaşım ve ısınma kaynaklarından salınan PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> miktarları sırasıyla Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'te gösterilmiştir.

Emisyon envanteri sonuçlarına göre çalışma alanından 1 yılda atmosfere salınan toplam PM<sub>10</sub> emisyonu miktarının 3093,59 ton olduğu hesaplanmıştır. ÇATES 1504,51 ton/yıl PM<sub>10</sub> emisyonu ile toplam miktarın tek başına % 48,63'ünden sorumludur. ÇATES'den sonraki en önemli kirletici kaynakları %17,18 ve %17,05'lik paylar ile Zonguldak İl Merkezindeki ısınma faaliyetleri ve ZETES I –II termik santralleridir.

Çalışma alanındaki toplam SO<sub>2</sub> emisyonu miktarı ise 30390,67 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın % 73,92'lik payı olan 22465,17 ton SO<sub>2</sub> ÇATES'ten atmosfere salınmaktadır. ZETES I - II termik santralleri %12,24'lük pay ile ikinci sıradadır. SO<sub>2</sub> kirliliğinde Zonguldak İl Merkezindeki ısınma faaliyetleri ise % 6,99'lük (2125,22 ton/yıl) pay ile üçüncü önemli kirletici kaynağıdır.

Envanter çalışması sonucunda çalışma alanındaki toplam NO<sub>x</sub> emisyonu miktarının 28914,55 ton/yıl olduğu belirlenmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonlarında termik santraller toplamda % 93,67'lik paya sahiptirler. ÇATES toplam emisyonun %76,46'sı olan 22108,00 ton/yıllık emisyon miktarı ile ilk sırada gelen NO<sub>x</sub> kirleticisi olmuştur. ZETES I - II'den atmosfere salınan NO<sub>x</sub> miktarının ise 4977,40 ton/yıl olduğu belirlenmiştir. Bu emisyon miktarı ile ZETES I - II toplam NO<sub>x</sub> emisyonunun %17,21'inden sorumludur.

**Tablo 3.** PM<sub>10</sub> Emisyon Envanteri ve Kirletici Miktarları

Kaynak Türü	Emisyon Kaynağı	PM <sub>10</sub> Emisyonu (ton/yıl)	Yüzde	Toplam Emisyon (ton/yıl)
Sanayi	ÇATES	1504,51	48,63	2032,11
	ZETES I - II	527,60	17,05	
Ulaşım	Motorlu Taşıtlar	15,80	0,51	24,20
	Gemiler	8,40	0,27	
Isınma	Zonguldak	531,49	17,18	1037,28
	Kilimli	151,94	4,91	
	Kozlu	283,43	9,16	
	Çatalağzı	43,75	1,41	
	Muslu	9,95	0,32	
	Gelik	16,72	0,54	
<b>Toplam</b>				<b>3093,59</b>

**Tablo 4.** SO<sub>2</sub> Emisyon Envanteri ve Kirleticiler Miktarları

Kaynak Türü	Emisyon Kaynağı	SO <sub>2</sub> Emisyonu (ton/yıl)	Yüzde	Toplam Emisyon (ton/yıl)
Sanayi	ÇATES	22465,17	73,92	26185,57
	ZETES I - II	3720,40	12,24	
Ulaşım	Motorlu Taşıtlar	0,53	0,002	56,53
	Gemiler	56,00	0,18	
Isınma	Zonguldak	2125,22	6,99	4148,57
	Kilimli	607,83	2,00	
	Kozlu	1133,83	3,73	
	Çatalağzı	175,04	0,58	
	Muslu	39,80	0,13	
	Gelik	66,85	0,22	
<b>Toplam</b>				<b>30390,67</b>

**Tablo 5.** NO<sub>x</sub> Emisyon Envanteri ve Kirleticiler Miktarları

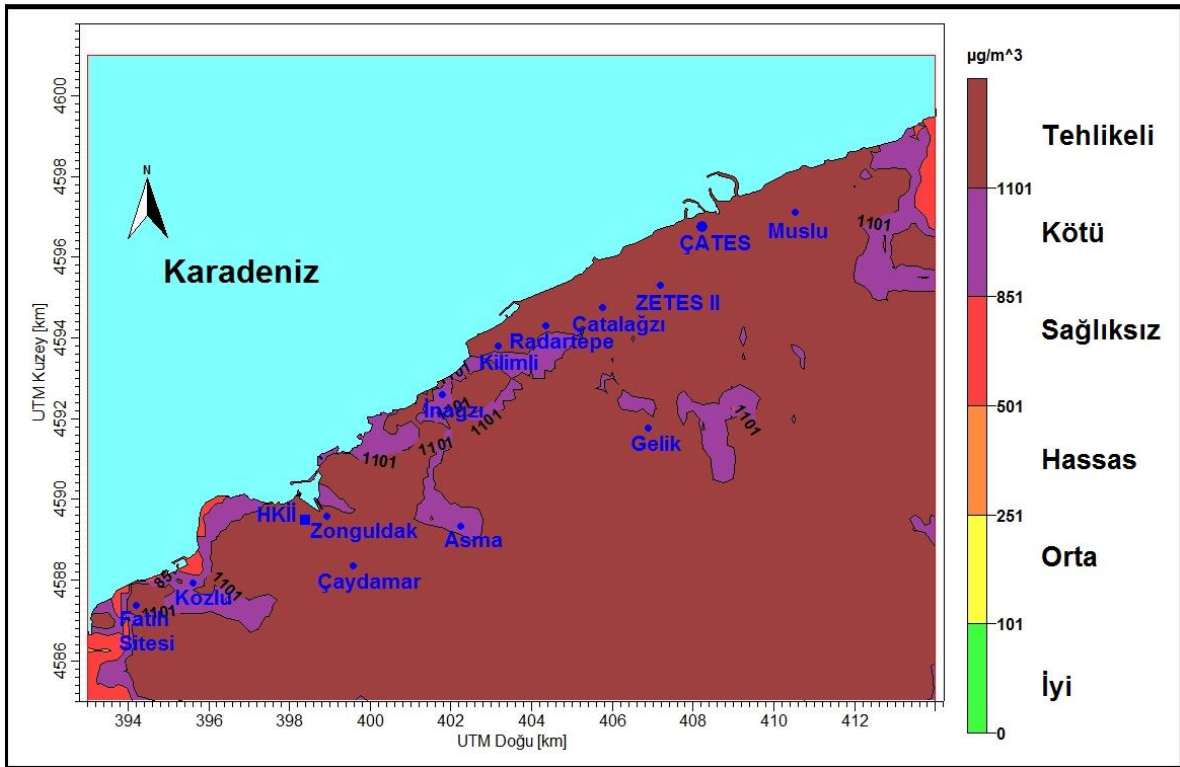
Kaynak Türü	Emisyon Kaynağı	NO <sub>x</sub> Emisyonu (ton/yıl)	Yüzde	Toplam Emisyon (ton/yıl)
Sanayi	ÇATES	22108,00	76,46	27085,40
	ZETES I - II	4977,40	17,21	
Ulaşım	Motorlu Taşıtlar	247,55	0,86	307,55
	Gemiler	60,00	0,21	
Isınma	Zonguldak	779,50	2,70	1521,60
	Kilimli	222,93	0,77	
	Kozlu	415,86	1,44	
	Çatalağzı	64,20	0,22	
	Muslu	14,59	0,05	
	Gelik	24,52	0,08	
<b>Toplam</b>				<b>28914,55</b>

### 3.2. Hava kalitesi modelleme sonuçları

Tüm kaynakların etkilerinin belirlenmesi amacıyla PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının miktarları CALPUFF modeline girildikten sonra tüm kaynaklar için 5 yıllık hava durumu verisi kullanılarak hava kalitesi modellemesi yapılmıştır. NO<sub>2</sub> kirleticisine ait dağılım haritalarının oluşturulabilmesi için NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> oranı 0,75 olarak CALPOST son işlemcisine girilmiştir. Modelleme işlemi sonucunda SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> kirlilik dağılım haritaları 1 saatlik ortalama süreler için ve PM<sub>10</sub> kirlilik dağılım haritaları da 24 saatlik ortalama süreler için oluşturulmuştur. Bu sayede elde edilen çıktıları Hava Kalitesi İndeksi'ne göre yorumlamak mümkün olacaktır. Kirlilik dağılım haritalarının görselleştirilmesinde Hava Kalitesi İndeksi'nde yer alan sınır değerler ve bunlara ait renkler kullanılmıştır.

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

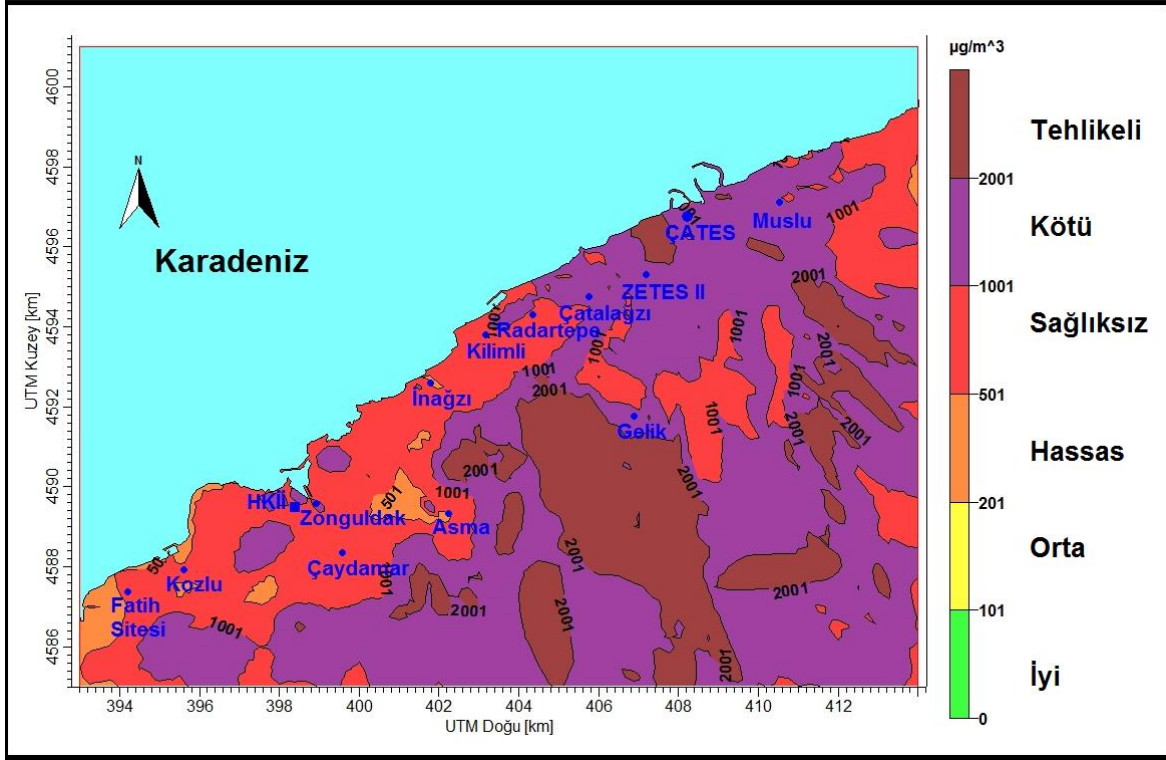
Tüm kaynakların modellenmesi sonucunda SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> kirleticileri için oluşturulan haritalar sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Model sonucu, çalışma alanının neredeyse tamamında SO<sub>2</sub> kirleticisi için hava kalitesini en kötü sınıf olan “tehlikeli” olarak göstermektedir (Şekil 2). NO<sub>2</sub> kirlilik dağılım haritası incelendiğinde (Şekil 3) hava kalitesinin 4., 5. ve 6. düzey olan “sağlıksız”, “kötü” ve “tehlikeli” seviyelerinde olduğu görülmektedir. PM<sub>10</sub> kirliliği ise diğer kirleticilere kıyasla daha düşük seviyelerde olup, Zonguldak İl Merkezi'nde ve Kozlu'da 3. seviye olan “hassas” olarak görülmektedir (Şekil 4). Çalışılan bölge genelinde maksimum kirletici konsantrasyonları SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> için sırasıyla, 10928 µg/m<sup>3</sup> (1 saatlik SO<sub>2</sub> ort.), 8161 µg/m<sup>3</sup> (1 saatlik NO<sub>x</sub> ort.) ve 236 µg/m<sup>3</sup> (24 saatlik PM<sub>10</sub> ort.) olarak hesaplanmıştır.



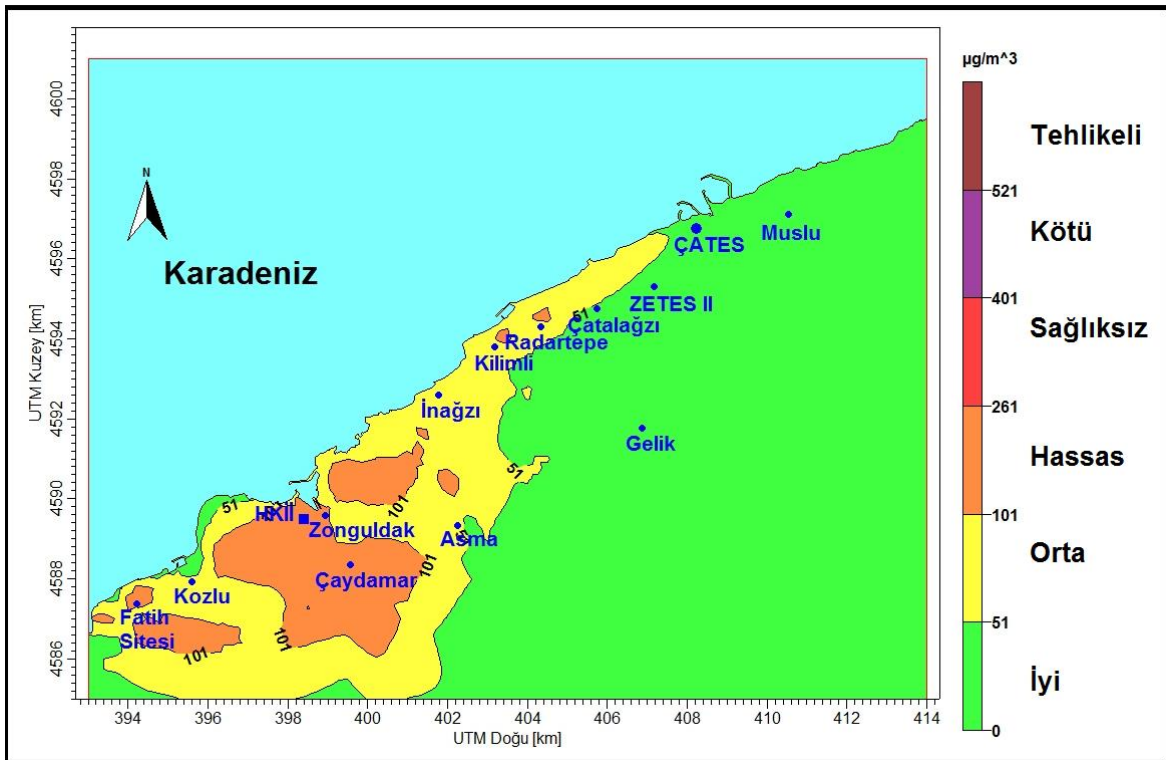
Şekil 2. Tüm kaynaklar SO<sub>2</sub> – 1 saatlik



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



Şekil 3. Tüm kaynaklar NO<sub>2</sub> – 1 saatlik



Şekil 4. Tüm kaynaklar PM<sub>10</sub> – 24 saatlik

#### 4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Emisyon envanteri sonunda tüm çalışma alanından atmosfere salınan toplam PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları sırasıyla 3093,59 ton/yıl, 30390,67 ton/yıl ve 28914,55 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

ÇATES kaynaklı PM<sub>10</sub> emisyonu toplam miktarın tek başına % 48,63'ü atmosfere salarak çalışma bölgesinde “birinci derecede kirlletici kaynak” olarak belirlenmiştir. ÇATES işletmesinden sonra PM<sub>10</sub> açısından “ikinci derecede kirlletici kaynak” ise %33,52 oranla tüm bölgedeki ısınma amaçlı kaynaklardır. ZETES I –II termik santralleri PM<sub>10</sub> kirliliği olarak %17,05 değerinde bir orana sahiptir ve bölgede “üçüncü derecede kirlletici kaynak” olarak tespit edilmiştir.

ÇATES işletmesinde SO<sub>2</sub> kontrolü yapılmamaktadır. Dolayısıyla ÇATES kaynaklı SO<sub>2</sub> emisyonu toplam miktarın tek başına % 73,92'ni atmosfere salarak çalışma bölgesinde “birinci derecede kirlletici kaynak” olarak belirlenmiştir. ZETES I – ZETES II termik santralleri SO<sub>2</sub> kontrol sistemlerinden (sulu kireç taşı) dolayı %12,25'lük pay ile “ikinci derecede kirlletici kaynak” mertebesindedir. SO<sub>2</sub> kirliliğinde ısınma amaçlı kaynaklardan salınan kükürt dioksit %13,65 değerinde bir orana sahiptir ve bölgede “üçüncü derecede kirlletici kaynak” olarak tespit edilmiştir. Isınma amaçlı kükürt dioksit kirlenmesinin yaklaşık yarısının (% 6,99) Zonguldak İl Merkezi genelinde ısınma faaliyetlerinden kaynaklandığı hesaplanmıştır.

NO<sub>x</sub> emisyonlarında termik santraller toplamda % 93,67'lik paya sahiptirler. ÇATES işletmesinde NO<sub>x</sub> kontrolü yapılmamaktadır. Dolayısıyla ÇATES toplam NO<sub>x</sub> emisyonunun %76,46'sını atmosfere saldığından “birinci derecede kirlletici kaynak” olarak belirlenmiştir. ZETES I – ZETES II termik santralleri NO<sub>x</sub> kontrol sistemlerinden (De-NO<sub>x</sub>) dolayı atmosfere salınan NO<sub>x</sub> miktarının %17,21'den sorumlu olup “ikinci derecede kirlletici kaynak” mertebesindedir. Üçüncü sırayı %5,26 değeri ile evsel ısınma kaynakları alırken dördüncü sırayı %1,07 değeri ile ise karasal ve deniz kökenli motorlu taşıtlar oluşturmaktadır.

Her üç kirlletici (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>) parametre açısından da ÇATES “en fazla kirlleten birinci kaynak” konumundadır. ZETES I ve ZETES II termik santralleri ÇATES'in ardından NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> kirlleticileri temelinde “en fazla kirlleten ikinci kaynak” sırasında yer alırken PM<sub>10</sub> kirlletici parametresi açısından da “en fazla kirlleten üçüncü kaynak” mertebesinde bulunmaktadır. ÇATES işletmesi tüm çalışma bölgesinde PM<sub>10</sub> kirliliği açısından “en fazla kirlleten birinci kaynak” konumunda bulunurken Zonguldak İl Merkezi bölgesindeki ısınma amaçlı kaynaklar tüm çalışma bölgesinde PM<sub>10</sub> kirliliği açısından “en fazla kirlleten ikinci kaynak” konumunda yer aldığı tespit edilmiştir.

Model sonucu çalışma alanının büyük bir kısmında SO<sub>2</sub> kirlleticisi için hava kalitesini en kötü sınıf olan “tehlikeli” olarak göstermektedir (Şekil 2). NO<sub>2</sub> kirlilik dağılım haritası incelendiğinde (Şekil 3) hava kalitesinin 4., 5. ve 6. düzey olan “sağlıksız”, “kötü” ve “tehlikeli” seviyesinde olduğu görülmektedir. PM<sub>10</sub> kirliliği ise diğer kirlleticilere kıyasla daha düşük seviyelerde olup, Zonguldak İl Merkezi'nde ve Kozlu'da 3. seviye olan “hassas” olarak görülmektedir (Şekil 4). Hava kalitesi değerlendirmesine göre “tehlikeli seviye” durumu ortalama bir saatlik zaman zarfında SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 1100 µg/m<sup>3</sup> den daha büyük bulunması olarak tanımlanmaktadır. Yine ortalama bir saatlik zaman zarfında NO<sub>2</sub>

konsantrasyonunun ise 501-1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında “sağlıksız seviye”, 1001-2000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında “kötü seviye” ve 2000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  den daha büyük bulunması durumu ise “tehlikeli” olarak tanımlanmaktadır. Hava Kalitesi İndeksi’ne göre  $\text{PM}_{10}$  parametresi için ortalama 24 saatlik zaman zarfında konsantrasyon değerinin 101-260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında olması durumu “hassas seviye” olarak belirtilmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Tüm kaynakların modellenmesi işlemi sonucunda, hava kalitesinin  $\text{SO}_2$  için çalışma alanının neredeyse tamamında son seviye olan “tehlikeli seviye” düzeyinde olduğu görülmüştür.  $\text{NO}_2$  için “sağlıksız seviye”, “kötü seviye” ve “tehlikeli seviye” düzeylerine ulaşıldığı;  $\text{PM}_{10}$  için de 3. seviye olan “hassas seviye” düzeyinde olduğu görülmüştür.

Zonguldak metropoliten alanı için yapılan bu modelleme çalışması sonucunda ısınma amaçlı  $\text{PM}_{10}$  konsantrasyonlarının bazı mahalle veya bölgelerde halk sağlığı için tehdit oluşturacak miktarlara ulaştığı görülmüştür. Isınma amaçlı kirliliği önlemek için yapılması gereken ilk iş emisyon miktarlarının azaltılması olacaktır. 2014 yılında çalışma alanına doğalgaz altyapısı yapılmaya başlanmış olup ilk kez 2014-2015 kış sezonunda ısınma amaçlı yakıt olarak doğalgaz da kullanılmaya başlanılmıştır. Zonguldak, Kozlu ve Kilimli’de Mayıs 2015 sonu itibarıyla “Isınmada Zorunlu Doğalgaz Dönemi” başlamıştır. Burada, devletin ve yerel yönetimlerin yapması gereken en önemli görev doğalgaza geçişin kolaylaştırılması için uygun fiyat politikalarının uygulanması, hatta doğalgaz fiyatlarında ilk yıllar için sübvansiyon yapılmasıdır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu’nun (EPDK) Zonguldak gibi ciddi hava kirliliğine sahip illerde doğalgaz fiyatlandırmasını daha düşük tarifelerden yapması kömüre kıyasla daha temiz bir yakıt olan doğalgaza geçişi kolaylaştıracaktır.

Isınma amacıyla kömür tüketen konutların bacalarında siklonik filtre kullanılması  $\text{PM}_{10}$  emisyonlarının bir miktar azalmasını sağlayacaktır. Konutlarda ısı yalıtımının yapılması da emisyonların azaltılması açısından gerekli bir başka işlemdir. Bu sayede tüketilen yakıt miktarı azaltılacak ve dolayısıyla daha az kirlletici atmosfere salınacaktır. Yerli taşkömürü fiyatlarının ucuz olmasından dolayı aşırı miktarda yakıt ile ısınma yapılmaktadır. Zonguldak’ta kaloriferli evlerde oturan pek çok kişinin kaloriferlerin fazla yanması sonucunda evlerini soğutmak üzere pencerelerini açtığı bir başka gerçeği oluşturmaktadır. Zonguldak’ta özellikle akşam saatlerinde inversiyon olayları gözlemlendiğinden konutların ısıtılma işlemlerinin öğleden sonra yapılması akşam saatlerinde oluşacak kirliliği bir miktar azaltılabilir. Bütün bunlara ilaveten, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların da azaltılabilmesi için bazı yollarda yeşil dalga uygulaması yapılarak trafiğin kesintisiz veya çok az kesintili akması sağlanabilir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların çoğu, dur-kalk sırasında meydana gelmektedir.

ÇATES işletmesinin en çok kirlleten işletme olması sebebiyle, Partikül tutma sistemlerinin 2019 yılında uygulanacak olan Avrupa Birliği sınır değerlerine taşınması,  $\text{SO}_2$  için sulu veya kuru giderme sistemlerinden birinin kurulması ve  $\text{NO}_x$  için ise De- $\text{NO}_x$  sisteminin kurulması gerekmektedir (BYTY, 2010).

Hava kalitesi modelleme işleminin yapılmasının başlıca amaçlarından birisi de temiz hava planlarının hazırlanabilmesidir. Şehir ve bölge planlaması işlemlerinin kirlleticilerin mekânsal dağılımı belirlendikten sonra yapılması çok daha uygun olacaktır. Akciğer kapasiteleri

yetişkinlere göre daha az olan çocuklar ve hastalar hava kirliliğine karşı daha hassas kişilerdir. Dolayısıyla, okul ve hastane gibi yapıların hava kalitesinin iyi olduğu bölgelerde yapılması daha uygun olacaktır. Ayrıca, yeni toplu konut alanlarının kurulacağı bölgelerin de hava kalitesi bakımından temiz olarak kabul edilen bölgelerden seçilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

Abdul-Wahab S., Sappurd A., Al-Damkhi A., 2011. Application of California Puff (CALPUFF) Model: a Case Study for Oman. *Clean Techn Environ Policy* 13, 177-189.

Akbulut Çoban N., 2009. *Türkiye’de Kentlerde Ölçülen Partiküler Madde (PM<sub>10</sub>) Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

BYTY, 2010. Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.  
Çetin Ş., Karademir, A., Pekey, B., Ayberk, S., 2007. Inventory of emissions of primary air pollutants in the city of Kocaeli, Turkey. *Environmental Monitoring Assessment* 128, 165-175.

U.S. EPA., 1995. Compilation of air pollutant emission factors, Volume 1: Stationary point and area sources. AP 42, 5. Edition, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>.

Hanrahan, P.L., 1999. The Plume Volume Molar Ratio Method for Determining NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> Ratios in Modeling—Part I: Methodology. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 49, 1324-1331.

Holmes N. S., Morawska L., 2006. A Review of Dispersion Modelling and its Application to the Dispersion of Particles: an Overview of Different Dispersion Models Available. *Atmospheric Environment* 40, 5902-5928.

Kocabaş S., Pekey B., Pekey H., 2012. Karadeniz’de Limanlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği, Zonguldak Örneği. *Çevre Bilim & Teknoloji Teknik Dergi* 4:1, 41-45.

OECD, How’s Life? 2013 Measuring Well-Being, <http://www.oecd.org/statistics/how-s-life-23089679.htm>, Erişim Tarihi: 6 Ağustos 2015.

Tayanç M., 2013. Türkiye’de Hava Kalitesi Modellemesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 2, 112-122.

URL-1, Hava Kalitesi İndeksi, <http://www.havaizleme.gov.tr/hava.html>, Erişim Tarihi: 6 Ağustos 2015.

**Zeydan Ö.**, Yıldırım Y., Karademir A., Durmuşoğlu E., 2014. *Hava Kalitesi Modellenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı: Zonguldak Örneği*, 5. UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul, Türkiye.

Zeydan Ö., Yıldırım Y., 2013. Çatalağzı Enerji Havzasındaki Termik Santrallerden Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi, *V. Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu (HKK2013)*, 18-20 Eylül 2013, Eskişehir, Türkiye.



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

---

Zeydan Ö., 2014. *Zonguldak Bölgesi  $PM_{10}$  Konsantrasyonu Dağılımının Modellenmesi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.

Zeydan Ö., 2008. *Zonguldak Bölgesi Sera Gazı Emisyon Miktarlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye.