

Kocaeli İli Körfez İlçesi Konut Kaynaklı CO ve NO_x Emisyon Dağılımlarının Farklı Modeller Yardımıyla Değerlendirilmesi

K. Onur Demirarslan^{1*}, Şenay Çetin Doğruparmak²

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin.

² Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

Özet

Bu çalışma, Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde bulunan alansal kaynaklı CO ve NO_x emisyonlarının dağılımlarının farklı modeller yardımıyla incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Bölgede alansal kaynak olarak, konutlardan kaynaklanan emisyonlar ele alınmış ve konutlar 4 farklı alana bölünmüştür. İlçede konutların kapladığı alan 5,31 km² olarak bulunmuş ve bölgede konutlarda ısınma amacıyla kullanılan yakıtların doğalgaz, fuel-oil, odun ve kömür olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerden A.B.D. Çevre Koruma Birliği (EPA)'nın kütle temelli emisyon faktörleri kullanılarak emisyon oranları hesaplanmıştır. Bu oranlar konut alanlarına bölünerek g/s.m² cinsinden veriler elde edilmiş ve modelleme amacıyla AERMOD, ISCST-3 ve CALPUFF VIEW programlarına girilmiştir. Yapılan modelleme çalışması sonucunda, günlük ve yıllık dağılım haritaları elde edilmiştir. Haritalar incelendiğinde AERMOD ile hesaplanan günlük en yüksek CO ve NO_x konsantrasyonları sırasıyla 651,27 µg/m³, 18,29 µg/m³, yıllık konsantrasyonlar ise 128,47 µg/m³ ve 2,90 µg/m³ olarak bulunmuştur. ISCST-3 programı ile elde edilen günlük en yüksek CO ve NO_x değerleri sırasıyla 290,29 µg/m³ ve 11,77 µg/m³, yıllık en yüksek değerler ise 86,48 µg/m³ ve 1,95 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. CALPUFF VIEW modelleme programı ile elde edilen CO ve NO_x sonuçları ise günlük sırasıyla 692,67 µg/m³ ve 15,64 µg/m³, yıllık olarak da 124,08 µg/m³ ve 4,53 µg/m³ şeklinde hesaplanmıştır. Dağılım haritalarında dağılım yönleri dikkate alındığında, CO için her üç programda benzerlik görülmekle birlikte, AERMOD ve CALPUFF haritalarında konsantrasyonun Körfez İlçesi'nin doğusu ve batısı yönünde dağıldığı, ISCST-3 haritasında ise bu dağılımın sadece ilçenin batı yönüne doğru olduğu dikkati çekmiştir. NO_x dağılım haritalarında yoğun olan bölgenin Körfez İlçesi yerleşim merkezlerinin bulunduğu noktalar olduğu gözlenmiştir. Her üç programda konsantrasyon yayılım yönleri özellikle yıllık dağılım haritalarında aynı olup, bu yönlerde bulunan alıcı noktalarındaki konsantrasyon seviyelerinin de eşit olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:

Alansal Kaynak, AERMOD, ISCST-3, CALPUFF, Körfez İlçesi

Evaluating Dispersion of Residential CO and NO_x Emissions with the Help of Different Models in Körfez District, Kocaeli Province

Abstract

This study was conducted to investigate the dispersion of spatial source CO and NO_x emissions with the help of different models in Körfez District, Kocaeli Province. Emissions from residential areas were chosen as the spatial source in the region and residents were divided into four different sections. The residential area is 5.31 km² and natural gas, fuel-oil, wood, and coal are used as heating fuels in this district. With the help of the obtained data, emission rates were calculated using the mass-based emission factors of U.S. Environmental Protection Agency. These ratios were divided into residential areas and data were obtained in g/s.m² and these data were entered to AERMOD, ISCST-3 and CALPUFF VIEW programs for the purpose of modelling. As a result of the modelling study, daily and annual dispersion maps were obtained. When the maps were examined, with AERMOD, the daily maximum concentrations of CO and NO_x were estimated to be 651,27 µg/m³, 18,29 µg/m³ while the annual concentrations were found as 128,47 µg/m³ and 2,90 µg/m³, respectively. The obtained daily maximum CO and NO_x values with the help of ISCST-3 program were as 290,29 µg/m³ and 11,77 µg/m³ and the maximum annual values were as 86,48 µg/m³ and 1,95 µg/m³, respectively. The values of CO and NO_x emissions obtained with the help of CALPUFF modelling program were as 692,67 µg/m³ and 15,64 µg/m³, respectively, on daily basis and as 124,08 µg/m³ and 4,53 µg/m³ respectively, on annual basis. While there seemed to be a similarity in all three programs for CO when considering dispersion directions on the distribution maps, it was pointed out that the concentrations dispersed in the direction of east and west of Körfez district on AERMOD and CALPUFF maps as this dispersion was towards to the west of the county on ISCST-3 map. On NO_x distribution maps, the residential areas of Körfez district were observed as the locations of density for NO_x. The concentration propagation directions were same for all three programs particularly for annual dispersions maps and the concentration levels at receiver points in these directions were also determined as equal.

Keywords:

Spatial Source, AERMOD, ISCST-3, CALPUFF, Körfez District

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (466) 2151040 Faks: +90 (466) 2151057

E-posta: onurdemirarslan@artvin.edu.tr (Demirarslan K.O), senay@kocaeli.edu.tr (Doğruparmak S.Ç)

1. Giriş

İnsan faaliyetleri sonucu meydana gelen hava kirliliği oldukça karmaşık olup, çeşitli problemlere yol açmaktadır. Kaynak ve emisyonların tanımlanması, analitik metotlarla risklerin değerlendirilmesi, kritik olan emisyonların kontrolü ve tüm bunların ekonomik açıdan değerlendirilmesi oldukça kapsamlı çalışmalardır (Wolterbeek 2002). Antropojenik kaynaklardan meydana gelen hava kirliliği atmosfere noktasal, alansal, çizgisel ve hacimsel gibi çok çeşitli kaynaklardan yayılmaktadır. Bu kaynaklardan biri olan alansal kaynaklarda kirleticiler iki boyutlu bir kaynaktan atmosfere verilmektedir. Tanım olarak alansal kaynaklar; yılda 10 tondan daha az tehlikeli hava kirleticisi veya 25 tondan daha az alışımlı kirletici yayan yerler topluluğu şeklinde tanımlanabilir. Herhangi bir coğrafik alan içerisinde yer alan ve hammadde veya ürünleri açık alanlarda depolayan tesisler, açık alevli yangınlar ve katı atık depolama tesisleri alansal kaynaklar içinde yer almaktadır (URL-1 2009). Ayrıca yerleşim alanları (binalarda ısınma amacıyla meydana gelen) da alansal kaynak olarak nitelendirilmektedir (URL-2 2013).

Bu kaynaklardan atmosfere karışan veya havada mevcut olan emisyonların dağılımını hesaplamada hava kalitesi dağılım modellerinden faydalanılabilmektedir. Bir kaynaktan çıkan kirleticilerin atmosferdeki dağılımları rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, güneş ışığı oranı, bulutluluk, atmosferik türbülans, inversiyon katmanı, karışım yüksekliği ve yağışlılık gibi meteorolojik koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu atmosferik etkiler, atmosferde görülen fiziksel kanunlardan ve olaylardan oluşmaktadır. Hava kalitesi modelleri ise, emisyonların, meteorolojinin, atmosferik konsantrasyonların, birikimin ve diğer faktörlerin arasındaki ilişkilerin belirlendiği sayısal araçlar olarak tanımlanır (Demirarslan 2015). Bu çalışmada, AERMOD, ISCST-3 ve CALPUFF VIEW gibi farklı dağılım modelleri kullanılarak, Kocaeli İli Körfez İlçesi'ndeki konutlardan (alansal kaynaklar) yayılan CO ve NO_x emisyonlarının dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışma, hem Kocaeli İli'nin önemli yerleşim yerlerinden biri olan Körfez İlçesi'nin alansal kaynakların yaydığı kirleticiler açısından değerlendirilmesi hem de dağılım modeli olarak farklı dağılım modellerinin kullanılması bakımından oldukça önemlidir.

2. Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Körfez İlçesi İzmit'in batı sahilinde olup kara ve demiryolları üzerinde yer almaktadır. İlçe Kocaeli İli'nin sanayi bakımından en yoğun ilçelerinden biridir. Bu nedenle bölgede nüfus ve yerleşim alanları son yıllarda oldukça artmıştır. Körfez Belediyesi'nden alınan bilgilere göre ilçeye ait 15 adet köy, 11 mahalle, 865 cadde ve sokak bulunmakta olup, ilçe merkezindeki bina sayısı 14150, konut sayısı 29128'dir. İlçede konutların kapladığı alan, 5,31 km² olarak bulunmuş ve modelleme yapılırken konutlar 4 farklı alana bölünmüştür. Çalışma alanı ve alansal kaynakları gösteren uydu görüntüsü Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1: Çalışma alanı ve alansal kaynakları gösteren uydu görüntüsü (URL-3 2013)

2.2. Kullanılan Modelleme Programları ve Model Giriş Verileri

Bölgenin modellemesinde kullanılan AERMOD modeli doğrusal kararlı hal duman modellemesidir. ISCST-3'ün yeni nesil geliştirilmiş sürümü olan AERMOD modelleme programı, farklı olarak gezegensel sınır katmanı teorisi algoritması (atmosferik sınır katmanı teorisi) ve geliştirilmiş arazi yapısı algoritmalarını içermektedir (Orloff vd. 2006). AERMOD modelleme sistemi, arazi bilgisi için AERMAP ve meteorolojik veriler için AERMET olmak üzere iki işlemciden oluşmaktadır.

Çalışma alanının modellemesinde kullanılan, diğer modelleme programı EPA tarafından geliştirilen ve tavsiye edilen "AERMOD VIEW 6.5.0" sürümündeki ISCST-3 modelidir. Model, yüksek noktasal kaynaklar için kararlı hal

Gauss duman akımı eşitliği kullanılmaktadır (URL-4 2010). Kararlı hal kavramı, modelleme yapılan alanın bütününde, aynı saatlerde, eşit meteorolojik koşulların yaşandığı durumu ifade etmektedir. Kararlı hal durumunun doğası nedeniyle nokta, alan ve hacim kaynaklarından meydana gelen emisyonların 50 km mesafesindeki dağılımlarını en iyi şekilde tahmin edebilmektedir (Schroeder 2004). Gauss duman akımı ise hava kirliliği dağılımını açıklayan matematiksel bir terimdir. Gauss dağılımı esas olarak, kirleticilerin dikey ve yatay dağılımı anlamına gelmektedir (URL-5 2012). Bölgenin hava kalitesi modellemesinde kullanılan bir diğer program ise CALPUFF VIEW modelidir. Model kararsız koşullarda zaman ve bölgeye göre farklılık gösteren meteorolojik koşullar içerisinde kirleticilerin taşınmalarını, kimyasal dönüşümlerini ve giderimlerini tahmin etmekte kullanılan Gaussian Puff modellemesidir (Scire vd. 2000). CALPUFF modelleme sistemi; CALMET (meteorolojik modelleme), CALPUFF (modelleme), CALPOST (çıktıların analizi) olmak üzere üç alt modelleme sistemini kapsamaktadır (URL-4 2010). AERMOD, ISCST-3, CALPUFF modellerinin özellikleri Tablo 1’de verilmektedir

Tablo 1: Çalışmada kullanılan modellerin özellikleri (Dölek 2007; URL-6 2012; EPA 2012)

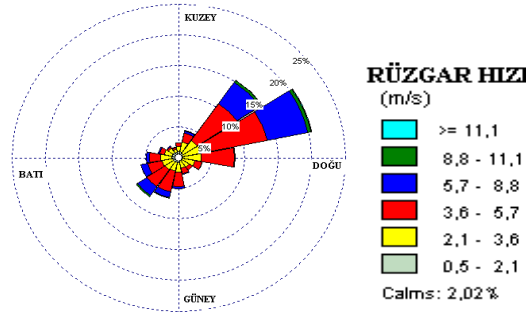
ÖZELLİK	ISCST-3	AERMOD	CALPUFF
Model formülasyonu	Kararlı hal Gauss duman dağılımı	Kararlı hal Gauss duman dağılımı	Kararsız hal Lagrangian Puff dağılımı
Modellenen kaynak tipleri	Nokta, alan, hacim kaynaklar	Nokta, alan, hacim kaynaklar	Nokta kaynaklar (devamlı veya değişken emisyonlar), çizgisel kaynaklar, hacimsel kaynaklar, alansal kaynaklar
Duman dağılımı	<ul style="list-style-type: none"> Baca üzerindeki rüzgar hızı ve dikey sıcaklık gradyanıyla Briggs eşitliğinin kullanılması Yatayda ve dikeyde Gaussian işlemleri 6 farklı kararlılık sınıfına ve dağılım eğrisi (Pasquill-Gifford) yüzeysel salım deneylerine dayanmaktadır 	<ul style="list-style-type: none"> Kararlı durumlarda, baca üstünde ve duman yükselmesinin yan yolunda rüzgar ve sıcaklık gradyanıyla Briggs eşitliği kullanılır. Konvektif durumlarda duman yükselmesi rastgele konvektif hızlarla çıkartılır. Kararlı durumlarda, dikey ve yatayda Gaussian işlemler, kararsız durumlarda dikeyde Gaussian olmayan muhtemel yoğunluk fonksiyonu Yatay ve dikey türbülans profilleri kullanılır (ölçülen değerler ve/veya PBL teorisi) farklı formülasyonlardan ziyade devamlı büyüyen duman fonksiyonu kullanılır 	<ul style="list-style-type: none"> Kısmi nüfuz Yüzme ve momentum yükseklığı Baca tip etkisi σ_z, σ_y nin direk ölçümleri Benzerlik teorisine dayanarak σ_z, σ_y değerlerinin tahminleri PG dağılım sabitleri (kırsal kesim) MP dağılım sabitleri (kentsel alan) CTDM dağılım katsayıları (nötr/kararlı) İletimsel sınır katmanı için PDF formülasyonu
Meteorolojik veri girişleri ve profilleri	<ul style="list-style-type: none"> Kabul edilen tek bir veri vardır Sadece rüzgar hızı profili 	<ul style="list-style-type: none"> İsteğe bağlı olarak birçok veri girilebilir AERMOD eldeki bütün ölçüm verilerini kullanarak rüzgar, sıcaklık ve türbülans profillerini oluşturmaktadır 	<ul style="list-style-type: none"> Üç boyutlu meteorolojik değişkenlerin alanları (rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık) Karşım yüksekliği, sürtünme hız ölçüğü, monin-obukhov uzunluğu, yağışlılık oranı alanlarının değişkenlikleri Dikey ve yatay türbülans ve dağılım oranları
Modelleme alanı topografyasının karakterizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> Sadece kentsel veya kırsal seçeneği Her bir alıcı noktasının yüksekliği 	<ul style="list-style-type: none"> Farklı yüzey karakteristikleri için aylık pürüzlülük, albedo ve bowen oranı kullanıcı tarafından seçilebilir. Her bir alıcı noktasının bulunduğu noktanın ve tepenin yükseklikleri, burada AERMAP programı tarafından dijital yüksekti modeli (DEM) kullanarak özelleştirilmektedir 	<ul style="list-style-type: none"> CTDM akım modülü Bölümlemiş akım, H_d H_d tepe üzeri puff akımları ve yükseklik difüzyon oranı deneyleri Tepe civarında H_d altı puff sızması dağılımı ve tepe etrafında sanılması
Yapılardan kaynaklı aşağı akım etkisi	Huber-Snyder Scire-Schulman algoritmalarının birleşimi	Birçok yeni PRIME algoritmaları yüklenmiştir	Huber-Snyder metodu Schulman-Scire metodu
Modelleme mesafesi	50 km ye kadar	50 km ye kadar	250 km ye kadar
Kıyasal Etkileşim	Kıyasal etkileşim algoritması bulunmamakta	Kıyasal etkileşim algoritması bulunmamakta	Deniz aşırı ve kıyasal etkileşim için algoritma vardır
Birikimler	Kuru ve yağ birikim	Kuru ve yağ birikim	<ul style="list-style-type: none"> Kuru birikim seçenekleri Direnç modelli zaman ve mekana değişkenli birikim Her kirlenici için kullanıcı tarafından seçilen günlük çevrim Kuru birikim yok Yağ birikim seçenekleri Giderim sabiti yaklaşımı Yağış yoğunluğu ve yağış çeşidinin giderim oranı fonksiyonu
Kimyasal Dönüşüm	Basit kimyasal dönüşüm hesaplamaları	Basit kimyasal dönüşüm hesaplamaları (SO_2)	<ul style="list-style-type: none"> SO_2, SO_4^{2-}, NO_x, HNO_3 ve NO_3 için kimyasal mekanizmalar (MESOPUFF II metodu) SO_2, SO_4^{2-}, NO, NO_2, HNO_3 ve NO_3 için kimyasal mekanizmalar (RIVAD/ARM3 metodu) Her kirlenici için kullanıcı tarafından seçilen günlük çevrim
Dikey rüzgar hesaplamaları	Hesaplanmaktadır	Hesaplanmamaktadır	Puff hesaplamaları

Her üç modelde kullanılan giriş verileri Tablo 2’de özetlenmiştir. Meteorolojik veri olarak, AERMOD ve ISCST-3 modelleri saatlik bazda yıllık veri kullanılmaktadır (EPA 2013). Modellerde “Lakes Environmental Software” tarafından kaydedilmiş 2005-2009 yılı saatlik yüzeysel meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bu veriler saatlik sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü, basınç, günlük bulut yükseklikleri ve yağış ölçümlerini içermektedir. AERMOD ve CALPUFF modelinde ISCST-3’den farklı olarak üst hava meteorolojik verileri kullanılmıştır.

Tablo 2: Çalışmada kullanılan dağılım modellerinin giriş verileri

Giriş Verileri	AERMOD	ISCST-3	CALPUFF
Arazi kullanımı	%40 kırsal, %60 kentsel	%40 kırsal, %60 kentsel	CALPUFF ile hesaplandı
Alıcı noktaları	1250 Üniorm kartezyen	1250 Üniorm	1250 Üniorm kartezyen
Yüzey pürüzlülüğü	0,62	0,62	CALPUFF ile hesaplandı
Albedo	0,2145	0,2145	CALPUFF ile hesaplandı
Bowen oranı	1,89	1,89	CALPUFF ile hesaplandı
Dağılım katsayısı	Kentsel	Kentsel	CALPUFF ile hesaplandı
Arazi sabiti	Basit+karmaşık	Basit+karmaşık	CALPUFF ile hesaplandı
Zaman aralığı	Günlük ve yıllık	Günlük ve yıllık	Günlük ve yıllık

AERMOD VIEW 6.5.0 sürümünde bulunan WRLPLOT ile hazırlanan, çalışma alanına ait 2005-2009 yılı verileri için rüzgar gülü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Çalışma alanına ait 2005-2009 yılı verileri için rüzgar gülü (Demirarslan 2012)

Kocaeli İli 2008 Yılı İl Çevre Durum Raporu’ndan alınan bilgiler doğrultusunda (Yılmaz vd. 2008), Körfez İlçesi’nde konutlarda ısınmada kullanılan yakıtlar ve miktarları ile bu alansal kaynaklardan yayılan emisyon oranları belirlenmiştir. Yine aynı rapordan, bölgede konutlarda ısınma amacıyla kullanılan yakıtların doğalgaz, fuel-oil, odun ve kömür olduğu saptanmıştır. Konutlar 4 farklı alana bölünmüş ve konut 1 alanının 1100121,7 m², konut 2 alanının 2206175,5 m², konut 3 alanının 893721,1 m² ve konut 4 alanının ise 1118526 m² olduğu yaklaşık olarak harita üzerinden hesaplanmıştır.

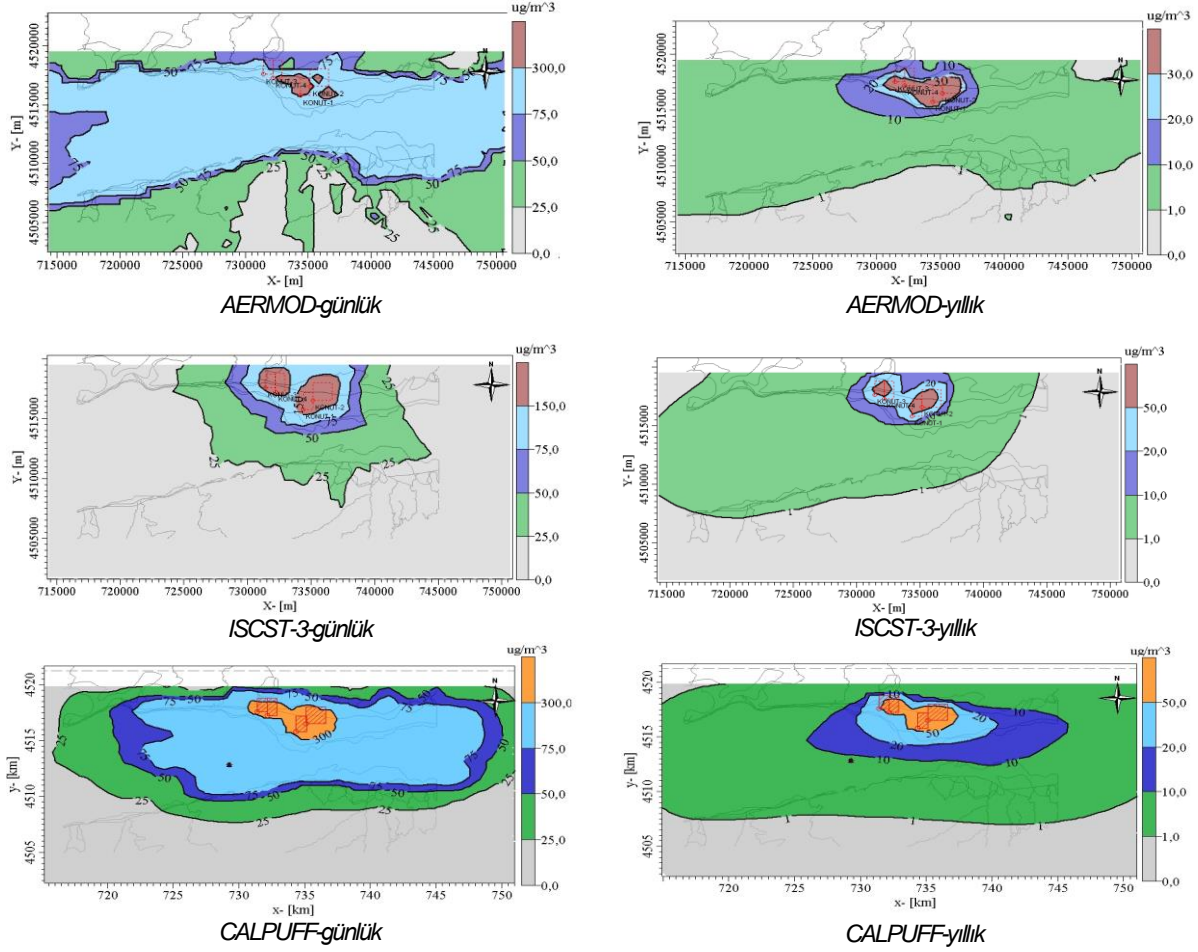
3. Tartışma

3.1. Alansal Kaynak CO Dağılımları

Her üç programda konutlar 4 alana bölünmüş ve CO emisyon miktarı her bir alana bölünerek programa “g/s.m²” cinsinden girilmiştir. Tüm konut alanlarında CO emisyonlarının yayıldığı yükseklik ortalama “20 m” olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar Tablo 3’de özetlenmiş, günlük ve yıllık dağılım haritaları ise Şekil 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Konutlardan oluşan en yüksek CO konsantrasyonu ve alıcı noktaları

Program	Konsantrasyon	Alıcı Noktası UTM	Alıcı Noktası Coğrafik
	Günlük		
AERMOD	651,27	x- 734400,63 y- 4516516,03	40° 45' 58,37" N 29° 46' 37,78" E
ISCST-3	290,29	x- 736620,63 y- 4517996,00	40° 46' 44,02" N 29° 48' 14,38" E
CALPUFF	692,67	x- 732551,00 y- 4517626,00	40° 46' 36,21" N 29° 45' 20,47" E
	Yıllık		
AERMOD	128,47	x- 734400,63 y- 4516516,03	40° 45' 58,37" N 29° 46' 37,78" E
ISCST-3	86,48	x- 735140,63 y- 4517256,00	40° 46' 21,58" N 29° 47' 10,31" E
CALPUFF	124,08	x- 732551,00 y- 4517626,00	40° 46' 36,21" N 29° 45' 20,47" E



Şekil 3: Konut kaynaklı CO emisyonlarının farklı dağılım modelleri ile belirlenen dağılımları

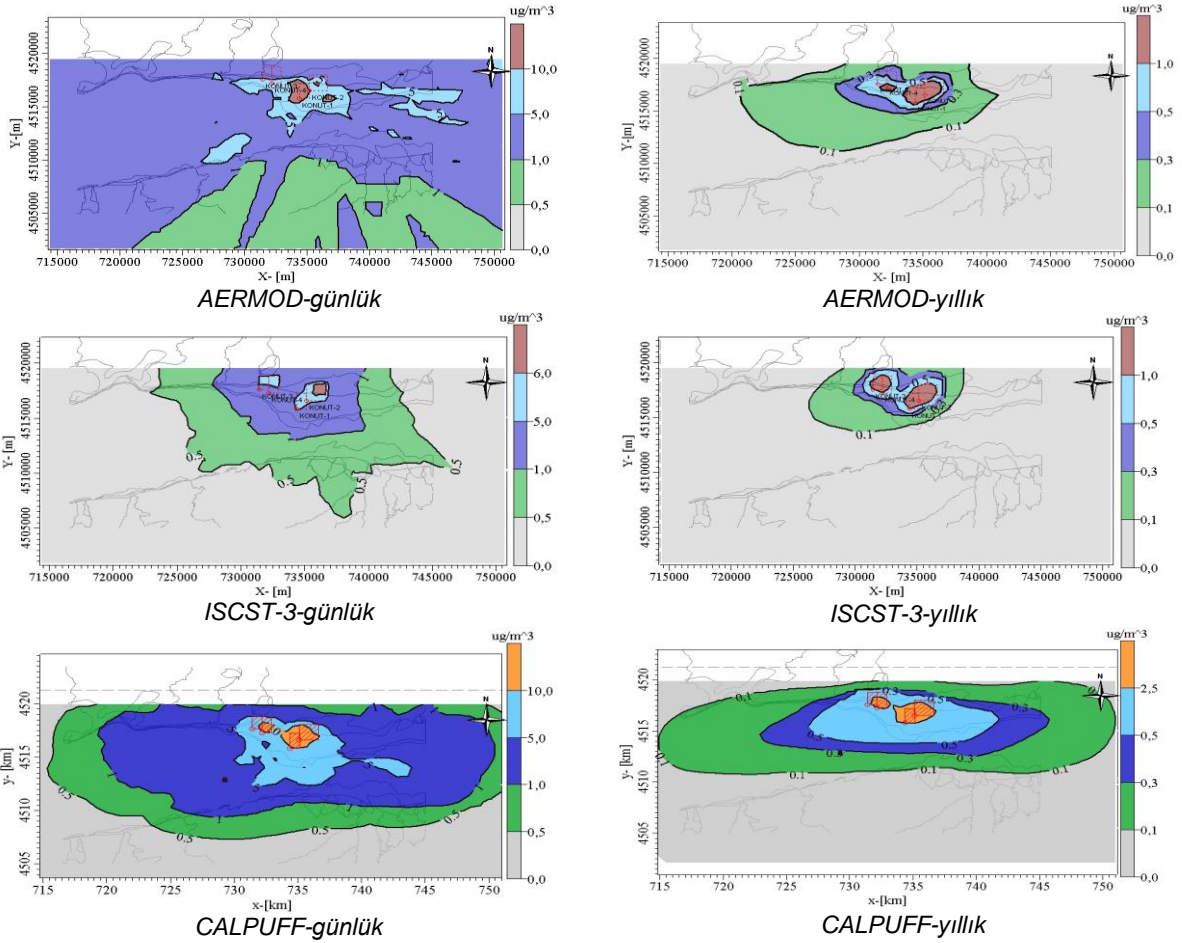
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde (Tablo 3), AERMOD ve CALPUFF programları ile tahmin edilen konsantrasyon dağılım miktarlarının birbirine yakın olduğu görülmüş, buna karşın ISCST-3 programının diğer programlardan daha düşük hesapladığı belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, programların sonuçları arasında bu tür farklılıklar olduğu gözlenmiştir (Korsakissok ve Mallet 2009; Schroeder 2004; Perry vd. 2005; Dölek 2007; Laffoon vd. 2011). Şekil 3’de verilen günlük dağılım haritaları incelendiğinde, AERMOD programının diğer iki programa göre CO emisyonunu daha fazla alana dağıttığı görülmektedir. Bunun aksine ISCST-3 ile elde edilen dağılım haritasında dağılım çapının oldukça sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. CALPUFF dağılım haritasında ise AERMOD haritasına benzer şekilde, dağılım alanı genişlemiş ancak yine de sınırlı kalmıştır. Her üç programda elde edilen dağılım haritalarında Körfez İlçesi yerleşim alanlarının üzerinde yoğunlaşmalar görülmektedir. Hesaplanan en yüksek konsantrasyonun koordinatlarına bakıldığında, AERMOD ile hesaplanan en yüksek konsantrasyonun görüldüğü yer Körfez İlçesi’nin petrokimya tesislerinin arkasında kalan yerleşim alanlarıdır. ISCST-3 ile hesaplanan nokta, ilçenin kuzeyinde bulunan ve yine bir yerleşim alanı olan Yenikent Mahallesidir. CALPUFF ile hesaplanan en yüksek konsantrasyon noktası ise, ilçenin kuzey batısında bulunmakta ve TEM otoyolunun hemen yakınında yer almaktadır. Yıllık olarak elde edilen haritalar incelendiğinde, AERMOD haritası ile CALPUFF haritasının birbiri ile benzeştiği görülmekte olup CALPUFF haritasında $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’lük konsantrasyon dağılım çapının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. ISCST-3 haritasında ise dağılım biraz daha sınırlı kalmıştır. Ancak her üç programda da, Körfez İlçesi yerleşim alanlarının üzerinde yoğunlaşmanın olduğu görülmektedir. Yıllık olarak hesaplanan en yüksek konsantrasyonların görüldüğü koordinatlar incelendiğinde ise, AERMOD ile bulunan noktanın günlük haritalarda bulunan nokta ile aynı olduğu anlaşılmaktadır. ISCST-3 ile elde edilen en yüksek konsantrasyonun noktası, ilçedeki Yavuz Sultan Selim Mahallesinde bulunmaktadır. CALPUFF haritasında ise, en yüksek konsantrasyonun görüldüğü nokta günlük en yüksek konsantrasyonun görüldüğü nokta ile aynı yerdedir.

3.2. Alansal Kaynak NO_x Dağılımları

Körfez İlçesi’nde bulunan konutlardan kaynaklanan NO_x dağılımları üç program ile hesaplanmış, sonuçlar Tablo 4’de, günlük ve yıllık dağılım haritaları ise Şekil 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Konutlardan oluşan en yüksek NO_x konsantrasyonu ve alıcı noktaları

Program	Konsantrasyon	Alıcı Noktası UTM	Alıcı Noktası Coğrafi
Günlük			
AERMOD	18,29	x- 734400,63 y- 4516516,03	40° 45' 58,37" N 29° 46' 37,78" E
ISCST-3	11,77	x- 736620,63 y- 4516516,00	40° 45' 56,08" N 29° 48' 12,37" E
CALPUFF	15,64	x- 732551,00 y- 4517626,00	40° 46' 36,20" N 29° 45' 20,47" E
Yıllık			
AERMOD	2,90	x- 734400,63 y- 4516516,03	40° 45' 58,37" N 29° 46' 37,78" E
ISCST-3	1,95	x- 735140,63 y- 4517256,00	40° 46' 21,58" N 29° 47' 10,31" E
CALPUFF	4,53	x- 732551,00 y- 4517626,00	40° 46' 36,21" N 29° 45' 20,47" E

Şekil 4: Konut kaynaklı NO_x emisyonlarının farklı dağılım modelleri ile belirlenen dağılımları

Alansal kaynaklardan yayılan NO_x'lerin dağılım sonuçları incelendiğinde (Tablo 4), üç program ile tahmin edilen günlük ve yıllık en yüksek konsantrasyon değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmüş, ancak CO dağılım hesaplamalarında olduğu gibi ISCST-3'ün yine diğer programlardan daha düşük konsantrasyon hesapladığı tespit edilmiştir. Günlük dağılım haritaları incelendiğinde (Şekil 4), AERMOD dağılım haritasında NO_x emisyonlarının daha geniş alanlara yayıldığı, özellikle 1 µg/m³'lük konsantrasyonun İzmit Körfezi'nin karşı kıyılarına kadar gittiği ve hatta iç kesimlere kadar ulaştığı görülmektedir. İlçenin yerleşim yerleri üzerinde bir yoğunlaşma mevcut olup, günlük olarak hesaplanan en yüksek konsantrasyon, ilçedeki Yeniyaş Mahallesi'ndedir. Günlük ISCST-3 dağılım haritasında ise, dağılımın sınırlı olup 0,5 µg/m³'lük konsantrasyonun İzmit Körfezini aşarak Gölçük ve Başiskele kıyı şeridine kadar yayıldığı görülmektedir. Yine bu haritada da Körfez İlçe merkezinde yoğunlaşma mevcut olup, en yüksek konsantrasyon ilçe merkezindeki Esentepe Mahallesi'ndedir. CALPUFF dağılım haritasında ise, dağılım ilçenin her yönünde olup, özellikle 1 ve 0,5 µg/m³'lük konsantrasyon Gölçük, Karamürsel ve Başiskele İlçelerine kadar gidebilmektedir. Diğer haritalarda olduğu gibi bu haritada da ilçe merkezinde yoğunlaşma söz konusudur ve en yüksek konsantrasyon ilçenin kuzey batısındaki TEM otoyolu yakınındadır. Yıllık haritalara bakıldığında, AERMOD ve ISCST-3 dağılımlarının sınırlandıkları ve ilçe merkezinde yoğunlaşma görülmektedir. AERMOD haritasında en yüksek

konsantrasyon günlük dağılımla aynı noktada iken, ISCST-3 haritasında Yavuz Sultan Selim Mahallesi'ndedir. CALPUFF haritası diğer iki programdan farklı bir dağılım sergilemiştir. Burada $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lük konsantrasyon güneyde Gölcük ve Başiskele İlçeleri ile batıda Hereke, doğuda Derince ve İzmit ilçelerine kadar yayılabilmektedir. En yüksek konsantrasyonun hesaplandığı nokta ise günlük dağılımla elde edilen nokta ile aynıdır.

4. Sonuç

Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde bulunan konutlardan kaynaklanan CO ve NO_x emisyon dağılımları AERMOD, ISCST-3 ve CALPUFF modelleri ile tahmin edilmiş ve sonuç olarak günlük ve yıllık dağılım haritaları elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde üç program ile tahmin edilen günlük ve yıllık en yüksek konsantrasyon değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmüş, ancak ISCST-3'ün diğer programlardan daha düşük konsantrasyon hesapladığı tespit edilmiştir. Literatürden edinilen bilgiler ışığında bu tür farklılıkların olabildiği belirlenmiş, bunun da programların sahip olduğu özelliklerden kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır (Demirarslan 2012).

AERMOD, ISCST-3, CALPUFF modelleri ile hesaplanan günlük en yüksek konsantrasyon miktarları CO için sırasıyla $651,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $290,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $692,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yıllık en yüksek konsantrasyon miktarları ise $128,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $86,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $124,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ şeklindedir. Günlük ve yıllık dağılım haritalarında, her üç programda da dağılımlarda benzerlik görülmekle beraber, AERMOD ve CALPUFF haritalarında konsantrasyonun Körfez İlçesi'nin doğusu ve batısı yönüne doğru dağıldığı ISCST-3 haritasında ise bu dağılımın sadece ilçenin batı yönüne doğru olduğu gözlenmiştir. Aradaki bu fark hesaplanan en yüksek konsantrasyonun olduğu alıcı noktasını değiştirmemiş her üç programda da Körfez'deki konut alanları üzerinde yoğunlaşma olduğu belirlenmiştir.

Günlük en yüksek NO_x konsantrasyon miktarları ise sırasıyla $18,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $11,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $15,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yıllık en yüksek konsantrasyon miktarları sırasıyla $2,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak elde edilmiştir. En yüksek konsantrasyonların toplandığı alıcı noktaları, Körfez İlçesi'nde yerleşim alanlarının olduğu bölgelerdir. Dağılım yönleri ile konsantrasyonları karşılaştırıldıklarında günlük ve yıllık haritalarda ISCST-3 ve CALPUFF VIEW benzerlik göstermekte iken sadece günlük AERMOD haritasında dağılım noktalarındaki konsantrasyon seviyeleri, diğer iki programa göre yüksek hesaplanmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde programların birbirlerinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiş ve nedenleri literatürden edinilen bilgilere dayanarak, aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

AERMOD ve ISCST-3;

- ISCST-3 programı yatay ve dikey Gaussian dağılım formülünü kullanmaktadır. Ancak AERMOD hem kararlı haller için yatay ve dikey dağılımlarda Gaussian formülünü kullanmakta, hem de kararsız durumlarda dikey dağılımlarda Gaussian olmayan eşitliği kullanmaktadır. Bu da AERMOD'un daha farklı bir konsantrasyon tahminine neden olmaktadır. Literatürde bu tahminin daha gerçekçi olduğu belirtilmektedir (Dölek 2007).
- ISCST-3 programı, yapılardan kaynaklanan türbülans etkisini zayıf şekilde karakterize etmekte ayrıca yüzey yapılarından meydana gelen etkileri ve kimyasal dönüşüm hesaplarını yetersiz yapmaktadır. AERMOD programı, sınır katmanı parametrelerini, konvektif dağılımlarını, duman yükselmesi formülasyonlarını ve karmaşık yüzey yapısını daha iyi hesaplayabilen gelişmiş bir program olarak tanımlanmaktadır (Laffoon vd. 2011). Programlar arasındaki bu farklılıklar da konsantrasyon hesaplamalarında farklılık nedeni olabilmektedir.
- Kaynak tipi, arazi yapısı ve zaman seçeneği de kirlenici konsantrasyonlarının farklı olmasındaki bir diğer faktör olabilmektedir (Botladaguru 2009; Masuraha 2006; Schroeder 2004).
- İletimsel durumlarda, dumanın merkezi karışımın üzerinde olduğu zaman, ISCST-3 yer seviyesindeki konsantrasyonu sıfır olarak kabul etmektedir. Ancak AERMOD üç duman bileşenini göz önünde bulundurmaktadır. Bu durum da hesaplamalarda farklılıklara yol açan bir faktör olabilmektedir.
- AERMOD baca üzerindeki sıcaklık ve rüzgar hızı değişimlerini yüksek meteoroloji istasyonlarından alınan verileri hesaba katarak işlemektedir. Ancak ISCST-3 programı rüzgar hızı ve sıcaklık verilerinin 10 m'de ölçülmüş değerlerini kullanmaktadır (Korsakissok ve Mallet 2009; Schroeder 2004, Laffoon vd. 2011). Bu da konsantrasyon farklılık nedeni olabilmektedir.
- Elde edilen kirlenici konsantrasyonları, atmosferik kararlılığa da bağlıdır. Yapılan çalışmalar ile, atmosferik koşulların kararlı olduğu durumlarda AERMOD programının performansının ISCST-3 programından daha iyi olduğu belirtilmiştir (Perry vd. 2005). Kirlenici konsantrasyonları, aynı zamanda güneş radyasyonuna da bağlı olmaktadır (Botladaguru 2009).

CALPUFF;

- CALPUFF programı AERMOD ve ISCST-3 ile karşılaştırıldığında, daha avantajlı bir program olduğu söylenebilir. Avantajlarından biri, CALPUFF'un gözlemsel rüzgar verileri ve hassas ölçekli arazi yapısı ile geliştirilmiş olmasıdır. Bir diğer avantajı ise, Gauss duman modeline karşıt olmasıdır. Bu da hava koşullarının sakin olduğu durumlarda dağılımı hesaplamasına izin vermektedir. Bu da tahmin sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaktadır. ISCST-3, AERMOD ve HYSPLIT gibi birçok alışılmış duman dağılım modelleri, kıyasal alanlarda, yer seviyesi konsantrasyonlarının tahminlerini kesin bir hassasiyetle yapamamaktadır. Diğer taraftan CALPUFF modelleme sistemi, tüm bu kararlı hal Gauss modelleme sistemlerine göre daha fazla avantajlara ve

modelleme tekniklerine sahiptir. Bunun yanında kara ve deniz arasındaki etkileşimler de tahmin sonuçları üzerinde önemli etkilere sahip olabilmektedir. Böyle bir hesap için CALPUFF programı daha uygun olmaktadır. Programın diğer bir avantajı ise, CALPUFF modelinin geniş su kütlelerinin kirlilik dağılımı üzerindeki etkilerini hesaplayabilmesidir (URL-6 2012; Elbir 2003; Abdul-Wahab vd. 2011).

- Bütün bu avantajları yanında programın sahip olduğu dezavantajı, CALPUFF dağılım modelinin daha fazla veri girişi ve bilgisayar hesaplama zamanına ihtiyaç duymasındadır (URL-6 2012).
- Çalışmada, CALPUFF VIEW programında kullanılan arazi şekli, yükseltileri ve arazi kullanım biçimi WEBLAKES internet sitesinden, modellenen alanın koordinatları verilerek indirilmiştir. Verilerin gerçek olmasından ötürü de farklılık olabileceği düşünülmektedir. Diğer iki programda ise bu veriler alıcı noktası yükseltileri olarak elle girilmiştir. Bu iki programda arazi yükseklikleri için sadece alıcı noktası yükseklikleri kullanılmaktadır (Demirarslan 2012).

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.
- Botlaguduru V.S.V., (2009), *Comparison of AERMOD and ISCST3 Models for Particulate Emissions from Ground Level Sources*, Master of Science, Texas A&M University, Texas USA.
- Demirarslan K.O., (2012), *Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde Hava Kirletici Kaynaklarının ve Hava Kalitesi Seviyesinin Belirlenmesi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kocaeli.
- Demirarslan K.O., (2015), *Hava Kalitesi ve Değerlendirmesinde Modelleme Yaklaşımı*, VII. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30 Nisan, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dölek E., (2007), *Comparison of ISCST3 and AERMOD Air Dispersion Models: Case Study of Cayirhan Hermal Power Plant*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Elbir T., (2003), *Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in Izmir*, Atmospheric Environment, 37(15), 2149-2157.
- EPA, (2012), United States Environmental Protection Agency (EPA) Technology Transfer Network Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling, http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion_prefrec.htm, [Erişim 21 Temmuz 2012].
- EPA, (2013), Dispersion Modeling, United States Environmental Protection Agency (EPA) Air Quality Management Online Portal <http://www.epa.gov/oaqps001/aqportal/management/modeling/dispersion.htm>, [Erişim 1 Haziran 2013].
- Korsakissok I., Mallet V., (2009) "Comparative Study of Gaussian Dispersion Formulae Within The Polyphemus Platform: Evaluation with Prairie Grass and Kincaid Experiments", American Meteorological Society, 48, 2459–2473.
- Laffoon C., Rinaudo J., Soule R., Bowie T., Meyers C., Madura R. L., Pakunpanya S. P., (2011), Developing State-Wide Modeling Guidance for the Use of AERMOD – A Workgroup's Experience, <http://files.abstractsonline.com>, [Erişim 7 Nisan 2011].
- Masuraha A., (2006). Evaluation of the AERMOD Model and Examination of Required Length of Meteorological Data for Computing Concentrations in Urban Areas, Master of Science in Civil Engineering, The University of Toledo, Spain.
- Orloff G.K., Kaplan B., Kowalski P., (2006), Hydrogen Cyanide in Ambient Air Near a Gold Heap Leach Field: Measured vs. Modeled Concentrations, Atmospheric Environment, 40, 3022-3029.
- Perry S.G., Cimorelli A.J., Paine R.J., Brode R.W., Weil J.C., Venkatram A., Wilson R.B., Lee R.F., Peters W.D., (2005) *AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part II: Model Performance against 17 Field Study*, Databases Journal of Applied Meteorology, 44, 694-708.
- Schroeder A.J., (2004), *Comparison of Two Dispersion Models: A Bulk Petroleum Storage Terminal Case Study*, Air & Waste Management Assoc.'s 97th Annual Conference and Exhibition, Indianapolis, USA, June 22–25.
- Scire S.J., Strimaitis D.G., Yamartino R.J., (2000), *A User's Guide for The Calpuff Dispersion Model*, 3th ed., Earth Tech Inc., Concord.
- URL-1, (2009), www.scorecard.org, [Erişim 13 Mart 2009].
- URL-2, (2013), http://scorecard.goodguide.com/env-releases/def/air_source.html, [Erişim 1 Haziran 2013].
- URL-3, (2013), <http://maps.google.com>, [Erişim 6 Eylül 2013].
- URL-4, (2010), <http://www.weblakes.com/products/calpuff>, [Erişim 30 Ocak 2010].
- URL-5, (2012), ISCST-3 Tech Guide, <http://www.weblakes.com>, [Erişim 23 Şubat 2012].
- URL-6, (2012), <http://www.portmetrovanancouver.com>, [Erişim 21 Temmuz 2012].
- Wolterbeek B., (2002), *Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives*, Environmental Pollution, 120, 11–21.
- Yılmaz N., Güven H., Şenkaya M., Şafak H., Artut S., Uzunkaya D., Pekeroğlu Ş., (2008), *Kocaeli Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü Kocaeli İl Çevre Durum Raporu*, http://cdr.cevre.gov.tr/icd_raporlari/kocaeliicd2008.pdf, [Erişim 21 Temmuz 2012].