



Araştırma Makalesi

Bursa’da Benzen Seviyesinin İncelenmesi ve Sağlık Riski Tahminin Farklı İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Değerlendirilmesi

Mihriban YILMAZ CİVAN^{1✉}, Öznur OĞUZ KUNTASAL², Gürdal TUNCEL¹,

¹ Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, 41380 Kocaeli

² Birleşmiş Milletler Gelişme Programı (UNDP), Ankara

Sunuluş tarihi: 7 Şubat 2014, Kabul edilme tarihi: 5 Haziran 2014

ÖZET

Çalışmada Bursa merkezinde bir hafta süre ile toplam beş farklı dönemde pasif örnekleme ile benzen konsantrasyonu hesaplanmış ve endüstri bölgeleri, yol kenarları, kent ve kırsal alanlarda toplam 67 noktada örnek toplanmıştır. Veri setinde endüstri bölgelerini yakın yerleşim yerlerinde ölçülen benzen ile kırsal alanlarda ölçülenler arasında 5-10 kat fark hesaplanmıştır. Kirliliğin olası kaynağını tanımlayabilmek için kirlilik haritası hazırlanmış ve benzen kirliliğinin yüksek olduğu yer endüstri bölgeleri olarak tespit edilmiştir. Endüstri bölgelerinde bulunan (n=10), trafiğin yoğun olduğu yol kenarlarında (n=4), kent merkezlerinde (n=2) ve kırsallarda (n=2) bulunan ölçüm noktalarında ölçülen benzen konsantrasyonunun limit değeri ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aştığı görülmüştür. Maruziyet hesabı için örnekleme noktasına yakın yerlerde yaşayan kişilere anket uygulanmıştır. Anket sonuçları ve benzen kirliliğinin konsantrasyon değerleri kullanılarak iki farklı dağılımla (logaritmik ve aşırı uç değerler dağılımı) kanser riski hesabı yapılmıştır. Daha sonra veri setinin en yüksek %5 ve %10 değerler kullanılarak (maruziyet miktarı yüksek olan bölgeler için) ayrı bir risk hesabı yapılmıştır. Risk hesapları Monte Karlo simülasyonu ile hem logaritmik hem de uç değerler dağılımı (EV) tanımlanarak yapılmıştır. Bütün veri setinde logaritmik dağılım tanımlanmış analizde kanser riski ortalama ve medyan değerleri $5,7 \times 10^{-5}$ ve $2,8 \times 10^{-5}$ iken aşırı uç değerler dağılımı tanımlanmış analizde ortalama ve medyan kanser riski değeri $2,5 \times 10^{-4}$ ve $2,4 \times 10^{-4}$ olarak bulunmuştur. Uç değerleri göz önüne alarak yapılan dağılımda risk 10 kat fazla çıkmıştır. Bunun yanında aşırı uç değerler göz önüne alınarak yapılan analizde geometrik dağılıma uyan analizin ve aşırı uç değerler tanımlanmış analizde ortalama ve medyan değerleri birbirine yakın hesaplanmıştır. Ancak %5 veri setinin kanser riskinin %10 veri setine göre yaklaşık 10 kat fazla olduğu görülmektedir. Kanser riski, benzen kirliliğine en fazla miktarda maruz kalan grupta yüksek olduğu için risk hesaplarında aşırı uç değerler göz ardı edilmemelidir. Sonuç olarak Bursa kenti için benzen kirliliğinin aşırı uç değerleri en çok endüstri bölgelerinde ölçüldüğünden dolayı maruziyet riskinin yüksek olduğu yerler endüstri bölgeleridir.

Anahtar Kelimeler: Benzen, Sağlık Riski, Monte Karlo Simülasyonu, Aşırı uç değerler analizi

© Tüm yayın hakları Hava Kirliliği Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi'ne aittir.

1. Giriş

Uçucu organik bileşiklerin (UOBler) göz tahrişinden kansere kadar insan sağlığı üzerinde çok çeşitli doğrudan etkileri ve troposferik ozon oluşumuna sebep olduğu için ekosistem üzerine dolaylı etkileri vardır. UOB'ler arasında kanser yaptığı kanıtlanmış ve kent atmosferinde trafik, endüstri gibi birçok kaynaktan salınım yapan benzen kirliliği ayrı bir öneme sahiptir. Son yıllarda, ciddi olumsuz etkilerinden dolayı ülkemizde dahil bir çok ülkede benzen ve türevleri (BTEX) rutin olarak ölçülmeye başlanmış, salınımları yönetmeliklerle kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Benzen kirliliğinin kanser riski

hesabı iç ortam, dış ortam veya kişisel maruziyet örnekleme ile yapılmaktadır. Kişilerin vakitlerinin çoğunu iç ortamda geçirmesinden dolayı sağlık riski çalışmaları genelde iç ortamda yapılmaktadır. Ancak benzen kirliliğinin ana ve en yoğun kaynağı trafiktir. Benzen için sağlık riski hesabı yapılacağına dış ortam ölçümlerini göz önüne almak gerekir. Bu sebeple dış ortam ölçümleri ile sağlık riski hesaplanması ile ilgili çalışmalar da yaygın olarak yapılmaktadır (Thepanondh vd., 2011; Zhang vd., 2012; Pratt vd., 2000). Dış ortam ölçümlerinde pasif örnekleme yapılarak mekansal dağılım verilerine ya da aktif örnekleme yapılarak zamansal dağılım verileri elde

edilebilmektedir. Pasif örnekleme aktif örneklemeden farklı olarak şehrin kirlilik kaynaklarının eş zamanlı ölçümünü kapsamaktadır. Kaynaklara yakın noktalarda yüksek konsantrasyon, kaynağa uzak veya kaynak bulunmayan noktalarda ise çok düşük konsantrasyonlar ölçülebilmektedir. Zamansal dağılım gösteren bir veri seti gibi arka arkaya ölçümleri kapsamadığı (mekânsal dağılımı gösterdiği) için çoğu zaman geometrik dağılıma bile uymamaktadır. Bu sebeple pasif veri setinde dağılımı herhangi bir dağılım ile tanımlamak uç değerlerin göz ardı edilmesine sebep olmaktadır. Oysa sağlık riskinde en önemli etki, kirliliğe aşırı derecede maruz kalan kişilerde gözükmektedir. Bu sebeple logaritmik bir dağılım modellemesi kullanılarak yapılan sağlık riski hesapları asıl riskin oluşturduğu uç değer konsantrasyonlarını göz ardı etmekte, hataya sebep olabilecek sonuçlara neden olabilmektedir. Çalışmanın amacı hem veri setinin tanımlanan dağılımın etkisini incelemek hem de aşırı uç değerlerin (outlier) ayrı olarak hesaplandığında oluşacak riski değerlendirmektir.

2. Yöntem ve Araçlar

2.1. Analitik Yöntem

Çalışma için, yüzey alanı $0,18 \text{ cm}^2$, difüzyon derinliği $1,5 \text{ cm}$ ve iç çapı $4,8 \text{ mm}$ olan paslanmaz çelikten yapılmış tüpler Gradko firmasından temin edilmiştir. Pasif örnekleme tüpleri, Supelco firmasından temin edilen Kromosorb 106 adsorbenti ile doldurulmuştur. Pasif tüplerin örneklemeye hazırlanması ve örnekleme süresince EN13528-2 standart yöntemi takip edilmiştir. Bu yöntemlere göre tüplerin tekrarlanabilirliği, en düşük ölçme değeri, saklama verimi, tutma verimi ve analiz verimi gibi parametrelere bakılmış ve her bir kirlenici için kabul değerleri içinde sonuçlar bulunmuştur. Pasif örnekleme tüpleri Gaz Kromatografi ve Unity Isısal Desorpsiyon

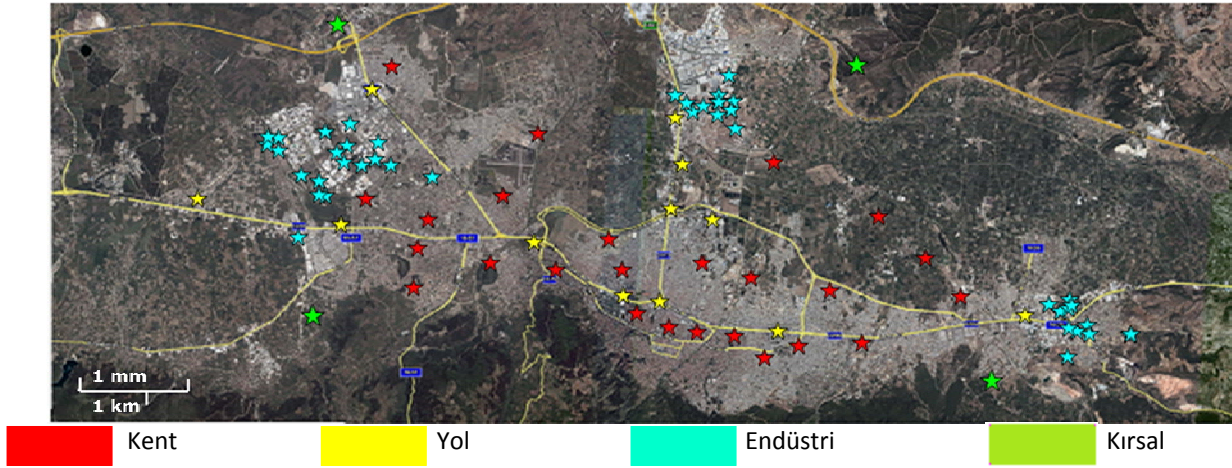
cihazında analiz edilmiştir. GC-FID fırınının sıcaklık programı; fırın başlangıç sıcaklığı: 40°C 5 dakika bekleme; 5°C/dakika artış; fırın son sıcaklığı: 195°C 'de 10 dakika'dır. GC-FID cihazı içinde karbon sayısı iki ile on iki arasında değişen alkan, alken, aromatik ve halojenli hidrokarbon gruplarından oluşan Kanada Çevre Merkezi'nden temin edilen 148 adet gaz karışımı ile rutin olarak kalibrasyonu yapılmıştır.

2.1. Örnekleme Kampanyası

Kirlilik haritalarını oluşturmak için Bursa kent merkezini içine alan $22 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 'lik alanda 67 nokta belirlendi. 67 nokta kirlilik kaynaklarına ve şehrin yoğunluğu göz önüne alınarak dört farklı gruba ayrıldı. Sanayi bölgelerinde seçilen noktalar "sanayi bölgeleri", nüfusun en yoğun olduğu kent merkezinde seçilen noktalar "kent", anayol ve çevre yolu üzerinde seçilen noktalar "yol" ve herhangi bir kirlilik kaynağının olmadığı, anayollara uzak olan noktalar "kırsal" örnekleme noktaları olarak tanımlandı. Çalışma alanında sanayi bölgelerinde sadece fabrikalar bulunmaktadır. Ancak Bursa için organize sanayi bölgelerinin çok yakınlarında yerleşimler vardır. Bu sebeple sanayi bölgelerine yerleştirilen örneklemeler her ne kadar sanayiye temsil etse de buralardaki kirliliklerden hem çalışanlar hem de yakın yerleşim yerlerinde yaşayanlar maruz kalmaktadır. 9-16 Eylül 2005, 5-19 Kasım 2005, 3-10 Nisan 2006, 22 Şubat – 1 Mart 2007 ve 5-12 Temmuz 2007 tarihlerinde 5 farklı dönemde bir haftalık pasif örnekleme kampanyası gerçekleştirildi ve toplam 262 örnek toplandı. Pasif örnekleme noktalarının dört farklı sektöre göre yerleşimleri Şekil 1' de görülmektedir. Gerçekleştirilen örneklemede gruplara göre toplanan örnek sayıları Tablo 1 de verilmiştir. Arazi ve laboratuvar şahitleri tüpün kalite kontrolleri için kullanılmıştır. Kalite kontrol çalışmaları ile ilgili ayrıntılı bilgiler Civan (2010)'da bulunmaktadır.

Tablo 1. Dört farklı grup için yapılan örnekleme tüp sayısı

Sektörler	Eylül 2005	Kasım 2005	Nisan 2006	Şubat 2007	Temmuz 2007
Kent	20	20	25	25	26
Kırsal	1	4	4	4	4
Yol	8	8	11	11	11
Endüstri	7	8	10	27	27
Arazi şahidi	1	2	2	5	3
Laboratuvar Şahidi	2	2	3	2	2
Toplam	39	44	56	74	73



Şekil 1: Pasif örnekleme tüplerinin konumlarını gösteren harita

2.3. Risk Değerlendirme

Maruziyetten dolayı kanser risk hesabı; kirleticinin havadaki derişimi, insanların bu derişimde ne kadar vakit geçirdikleri, bu sırada hangi faaliyetlerde bulundukları, yaşı, cinsiyeti ve ağırlıkları gibi bazı kişisel özellikler ile ilgili bilgiler kullanılarak hesaplanır. Bunun için doğrudan (deterministic) ya da olası (probabilistic) yaklaşım yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrudan yaklaşım tekniğinde her bir kişinin maruz kaldığı konsantrasyon ve maruziyet miktarı hesaplanır. Onlarla ile ifade edilebilecek bir topluluk için bu yaklaşım pratik olurken bir mahallenin ya da bir şehrin maruziyetinden söz edildiğinde doğrudan yaklaşım pek pratik olmamaktadır. Maruziyet hesabı yapılacak topluluğun kalabalık olduğu çalışmalarda maruziyet için bir dağılım tanımlanarak olası yaklaşım kullanılır. Olası yaklaşımlar için genelde Monte Karlo simülasyonu kullanılmaktadır. Havanın solunması yoluyla ortamda bulunan kirleticilere olan maruziyet riski aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir (USEPA, 2005).

$$R = I \times SF \quad (1)$$

Burada, I kirlilik maruziyet ($\text{mg kg}^{-1}\text{day}^{-1}$), SF birim risk ($\text{mg kg}^{-1}\text{day}^{-1}$) faktörüdür. R ise hayat boyu maruziyet durumunda oluşacak fazladan kanser riskidir (birimsiz). Solunum yoluyla oluşacak kanser riski hesaplarında birim risk $1,5 \times 10^{-2}$ ila $5,5 \times 10^{-2}$ arsında $((\text{mg/kg})/\text{day})^{-1}$ alınabilir (USEPA 2013). Çalışmada birim risk ortalama bir değer olan $3,5 \times 10^{-2} (\text{mg/kg})/\text{day}^{-1}$ olarak alınmıştır. Birim risk ömür boyu kirlilik maruziyeti hesabı için USEPA (2009) aşağıdaki eşitliği kullanmayı önerir:

$$I = \frac{C \times CU \times IR}{BW} \quad (2)$$

Burada, C kirleticinin derişimini ($\mu\text{g m}^{-3}$), IR solunum hızını ($\text{m}^3 \text{sa}^{-1}$), BW vücut ağırlığını (kg), ve CU birim değışikliğini ($10^{-3} \text{mg } \mu\text{g}^{-1}$) ifade etmektedir. Solunum hızları ve hacim-

leri günlük aktivitelere bağlı olduğu için katılımcılara 1 hafta süresince 24 saat boyunca yaptıkları işleri seçeneklerden seçmeleri ve sürelerini yazmaları istenmiştir. Dört ana gruba (dinlenme, hafif, orta ve ağır egzersiz) toplanan 32 farklı aktiviteye ayrılan vakitler günlük olarak değerlendirilmiş ve her grup için USEPA (1985)'nin önerdiği nefes hızları kullanılarak (Tablo 2) katılımcıların solunum hızları (IR) eşitlik 3'teki gibi hesaplanmıştır. Çalışma için $T=24$ saat alınmıştır

$$\text{Solunum hızı (IR)} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^k \text{Nefes Alma Hızı}_i \times t_i \quad (3)$$

Risk değerlendirilmesinde, hesaplanan solunum hızlarının ömür boyu aynı olduğu kabulü yapılmıştır. Maruziyet hesabı için gerekli olan kirleticinin konsantrasyonu Bursa'da yapılan dış ortam ölçüm sonuçlarından alınmıştır. Havalandırma iç ortam hava kalitesini büyük oranda etkilemektedir (Wallace, 1987; Woodruff et al., 2000). Bu çalışmada ortalama havalandırma süresi (4 saat) diğer çalışmalarda kıyaslandığında yüksek bir değer bulunmuştur (Civan, 2010). İç ve dış ortam UOB'lerini ölçen Lewis (1991) ve Lewis ve Zweidinger (1992) havalandırma süresi kısa olsa bile dış ortamdaki iç ortama geçişin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak özellikle ana kaynağı egzoz olan benzen gibi kirleticiler için iç ortam seviyesi dış ortamdaki etkilenmektedir. Bu sebeple çalışmada risk tahmini yapılırken kişilerin dış ortam benzen seviyesine günün 24 saati ve ömür boyu maruz kaldığı kabulü yapılmıştır. Sadece dış ortam ölçümleri verisi ile sağlık riski hesaplanması ile ilgili çalışmalar literatürde yer bulmaktadır (Thepanondh vd., 2011; Zhang vd., 2012; Pratt vd., 2000).

2.4. Aşırı Uç Değerler Teori ve Uygulamaları

Aşırı olaylar, istatistikler olarak olasılığı düşük etkileri yüksek vakalardır (Lenox ve Haines, 1996). Aşırı değer teorisi ise (Extreme value theory, EVT) bu olayların olasılığını ve sonuçlarını değerlendirir. Gumbel aşırı değer dağılımı, Frechet ve Weibull dağılımları gibi çok sayıda EVT

model geliştirilmiştir (Su vd., 2012). Klasik EVT analizin birbirinden bağımsız geniş bir veri setinde en yüksek ya da en düşük değerleri karakterize eder. EVT analizi köprü, nükleer santral yapımı gibi mühendislik dizaynı ve finans, sağlık uygulamaları, doğal afetlerin değerlendirilmesi gibi birçok alanda kullanılır. Özellikle çevre kirliliği sorunlarında kirleticinin ani artış gösterdiği durumları ve

oluşturduğu etkileri en uç değerler uygulaması ile incelenir. Örneğin literatürde hava kirliliği limit değerleri aşan durumlar (Hopke ve Paatero, 1994), hava kirliliğinin yarattığı maruziyet (Kassomenos vd., 2010) radonun iç ortam seviyeleri (Tuia ve Kanevski, 2008) ve UOB'lerin maruziyetinden kaynaklı kanser riski değerlendirmesi (Su vd., 2012) yapılmıştır.

Tablo 2. Kadın, erkek ve çocukların aktivite gruplarına göre nefes alma hızları ($m^3/saat$)(USEPA, 1985)

	Dinlenme ^a	Hafif ^b	Orta ^c	Ağır ^d
Yetişkin Erkek	0.7	0.8	2.5	4.8
Yetişkin Kadın	0.3	0.5	1.6	2.9
Çocuk (0-6)	0.4	0.8	2.0	2.3
Çocuk (6-10)	0.4	1.0	3.2	3.9

^a Örneğin: televizyon izleme, kitap okuma, gece uykusu, halı veya kanepeye uzanma, dinlenme, iletişim

^b Örneğin: genel ev işleri, kişisel bakımlar, ana iş, hobiler, hafif ev tamiratları, bilgisayar kullanımı, spor aktiviteleri

^c Örneğin: Ağır ev temizliği, ağır ev tamiratları, araba tamiri yapmak, merdiven çıkmak

^d Örneğin: Ağır fiziksel egzersizler, elinde yük ile merdiven çıkmak, ağır işlerde çalışmak

EVT analizinde örnekleme süresi ne kadar uzun ve ya geniş olursa elde edilebilecek ani artış değerleri o kadar yüksek olabilir. Genelde, aşırı uç değerler (aykırı değer, outlier) veri setinin genel dağılımından sayısal olarak uzak olan değerler olarak tanımlanabilir (Grubbs, 1969).

Sağlık riski açısından değerlendirildiğinde aşırı uç değer konsantrasyonuna maruz kalan kişinin kanser olma ihtimali daha yüksek olmaktadır. Ancak aşırı uç değerlerin örneklemeden veya analizden gelebilecek bir hata olma ihtimali de vardır. Bu sebeple aşırı uç değerlerin yapıldığı örneklerin arazi ve analiz raporları tekrar kontrol edilmeli, herhangi bir hata yok ise değerlendirme dışında bırakılmalıdır. Aşırı uç değerler klasik istatistiksel yöntemlerle değerlendirildiğinde etkisinin azaltılması için data seti belli bir dağılım içinde bırakılır (genelde geometrik dağılım) ve veri seti medyan değeri ile ifade edilir. Ancak maruziyet hesabı gibi çok yüksek değerlerin göz ardı edilmemesi aksine göz önünde bulundurulması gerektiren durumlarda aşırı uç değerler ayrı olarak ele alınmalıdır.

2.5. İstatistiksel Analiz

Risk hesabında aşırı uç değerlerin etkisini incelemek için ilk önce veri setinde aykırı değerler (outlier) tanımlanmalıdır. Aykırı değerler standart sapmayı artırır, dağılımın şeklini değiştirebilir. Dixon, Rosner, Discordance, Grubbs, Wals gibi birçok test istatistik olarak aykırı değerleri tespit eder. Çalışmada, daha önce yayınlarda kullanılmış olan aşırı uç değerler en yüksek %10 ve %5 içerisinde olan değerler alınarak hesaplanmıştır (Su vd., 2012). %10'a giren aşırı uç değer sayısı 26, %5'e giren ise 13 tanedir. Bu veri setlerinin olasılığı aşağıdaki formülle (Eşitlik 3) ifade edilen EV dağılımına oturtulmuştur.

Sonuçta bütün veri setine (oulierlar dahil) EV ve lognormal dağılım uygulanarak MK simulasyonu ile risk hesabı yapıldı. Daha sonra en yüksek %10 ve %5' giren data EV ve lognormal dağılımı tanımlanarak MK simulasyonu yapılmıştır. Geleneksel yöntem ve aşırı uç değerler göz önüne

alınarak yapılan hesaplamalar kıyaslanmıştır. Çalışmada uygunluk iyiliği (GoF) testi uç değerleri göz önüne aldığı için Anderson Darling parametrik olmayan sınama ile yapılmıştır.

$$f_{\xi, \mu, \sigma} = \left(\frac{\left(1 + \left(\xi \frac{(x - \mu)}{\sigma} \right) \right)^{-1 - \frac{1}{\xi}}}{\sigma} \right) \times \exp \left(- \left(1 + \left(\xi \frac{(x - \mu)}{\sigma} \right) \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right) \quad (3)$$

eğer $\xi \neq 0$

Burada, ξ =şekil parametresi, μ =yer parametresi; σ =derece parametresi, x =veri.

3. Bulgular ve Tartışma

Bursa şehir merkezinde farklı mevsimleri kapsayan pasif örnekleme kampanyası ile benzen seviyeleri ve olası kanser riski tespit edilmeye çalışılmıştır. Bursa şehri için kanser riski 5 farklı dönemde ölçülmüş bütün benzen konsantrasyon değerleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tablo 3'te benzen kirleticisinin ($\mu g m^{-3}$) beş farklı dönemde ölçülmüş toplam 262 örnek için tanımlayıcı istatistik bilgileri verilmiştir. Benzenin ortalama değeri 4,25 iken medyan değeri 2,51'dir. Ayrıca en yüksek (endüstri bölgeleri) en düşük değerin (kırsal alan) 25 katıdır. Ortalama ve medyan değerinin yakın olmaması ve en yüksek ve en düşük değerler arasında farkın yüksek olması dağılımın kuyruklu olduğunu göstermektedir.

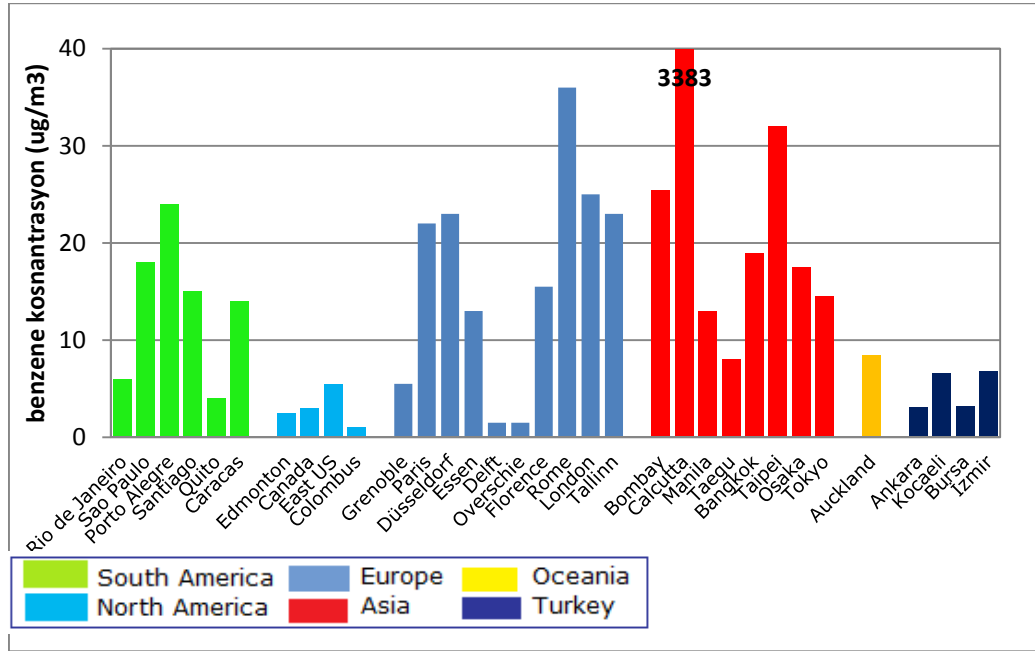
Bursa'nın kirlilik seviyesini değerlendirebilmek için Türkiye'de ve dünyanın başka şehirlerinde ölçülmüş benzen seviyeleri kıyaslanmış ve Şekil 2'de sunulmuştur. Benzen ve tabii ki UOB'lerin ölçümlerinde bulunan değerler; örnekleme noktasının yerine (kent, kırsal veya yola yakın), örnekleme yöntemine (aktif veya pasif), kullanılan

adsorbente, meteorolojik koşullara, trafikteki araç sayısına, endüstri cinsine ve kapasitelerine bağlı olduğu için burada yapılan çalışma ile birebir örtüşen çalışmaları bulmak oldukça güçtür. Bu sebeple Şekil 2 dünya genelinde benzen seviyeleri hakkında ön bilgi vermek ve Türkiye'nin kirlilik seviyesindeki durumunu kıyaslamak için verilmiştir. Bursa'da ortalama benzen seviyesi $4,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer Aliğa ve Kocaeli'nde ölçülen değerlerden düşük Ankara'da ölçülen değere ise paralellik göstermektedir. Kocaeli'nde çok sayıda ağır sanayi (Pekey ve Yılmaz, 2011) ve Aliğa'nın büyük ölçekli petrokimya endüstrilerini barındırmalarından dolayı (Cetin vd., 2003) benzen seviyeleri Bursa'ya göre yüksek bulunmuştur. Ankara her ne kadar Bursa kadar sanayi içermese de tra-

fikteki araç sayısının (830 483 araç) Bursa'ya göre (284 523 araç) 3 kat fazla olmasından dolayı iki şehrin benzen seviyeleri yakındır (TUIK, 2013). Genel olarak dünyadaki duruma baktığımızda Türkiye'de ölçülen benzen seviyeleri Kuzey Amerika'da bulunan ülkelerde ölçülen değerlere yakın, Güney Amerika'da ve Asya'da bulunan ülkelerde ölçülen değerlerden oldukça düşüktür. Avrupa kıtasında bulunan ülkelerde ise benzen seviyeleri çeşitlilik göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde benzen seviyeleri yoğun trafik ve endüstri'den dolayı yüksek bulunurken, gelişmekte olan ülkelerde benzen seviyeleri yakıt kalitesinden ve yönetmeliklerin sıkı veya bazı kirleticiler için hiç olmamasından dolayı yüksektir (Kumar and Viden, 2007).

Tablo 3. Benzen kirleticisi konsantrasyonunun ($\mu\text{g m}^{-3}$) tanımlayıcı istatistik verileri

Örnek Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	En düşük	50%	90%	95%	98%	En yüksek
262	4,25	4,17	0,44	2,51	9,51	13,61	17,72	25,53



Şekil 2. Ortalama benzen konsantrasyonunun Türkiye'de farklı şehir ve dünyadaki farklı yerler ile kıyaslaması (Fernandes vd. (2005) tarafından hazırlanan grafik üzerinde değişiklik yapılmıştır)

Kirleticisi konsantrasyonlarını gösteren kirlilik haritaları kirleticinin kaynakları hakkında ipucu verebilmektedir. Her ölçüm noktası için ortalama benzen konsantrasyonu hesaplanmış ve coğrafi bilgi sistemi yazılımlarından Mapinfo programı kullanılarak dağılım haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Dağılım haritasında da görüleceği gibi benzen kirliliği en yüksek Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'nde (DOSAB) bulunan otomotiv yan par-

çası üretimi yapan sanayi yanında ölçülmüştür ($15,31 \mu\text{g m}^{-3}$). Ayrıca Gürsu Organize Bölge'sinde (GÜSAB) tekstil üretimi yapan firmanın yanında benzen konsantrasyonu ($13,61 \mu\text{g m}^{-3}$), Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde iplik ve dokuma/boya ile uğraşan fabrikaların yanında yapılan ölçümlerde ise benzen seviyeleri $11,69$ ve $11,63 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak ölçülmüştür. Şehir merkezinde Acemler ve Santral kavşağında yapılan ölçümlerde kirlili-

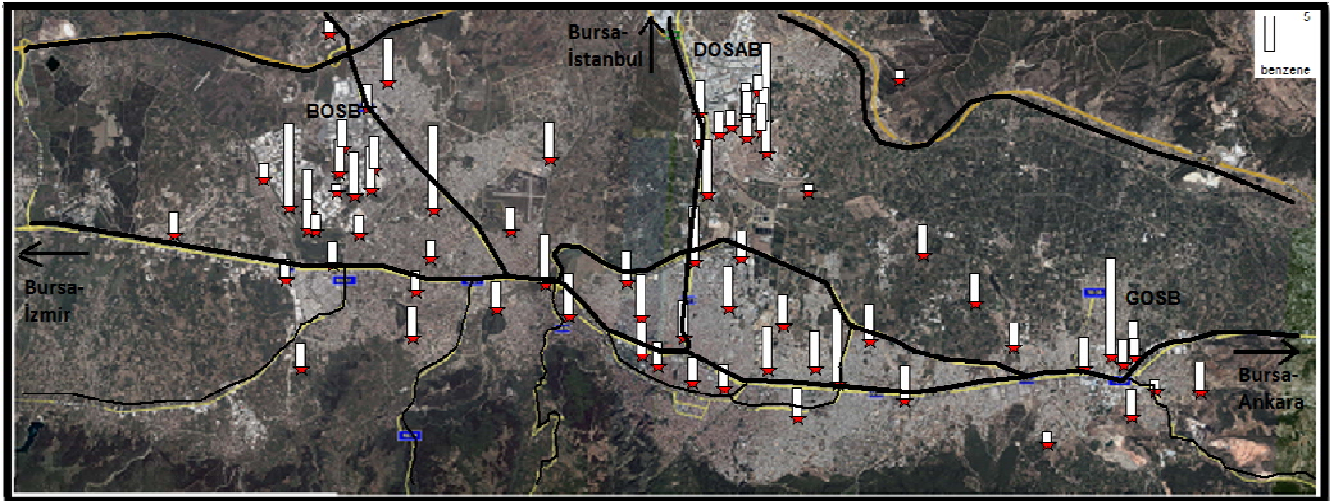
lik seviyesi $6,38$ ve $4,89 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Anayollara baktığımızda ise benzen seviyesi Bursa-İstanbul anayolunda diğer anayollara (İzmir ve Ankara) göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (ortalama $5,88 \mu\text{g m}^{-3}$). 06.06.2008 tarihinde 26898 sayılı ile resmi gazetede yayınlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi yönetmeliğine göre 01.01.2014 tarihi itibarı ile dış ortamda uzun vadeli benzen konsantrasyonu $5 \mu\text{g m}^{-3}$ geçmemelidir. Bursa'da ölçüm yapılan 67 noktanın 18 tanesinde benzen seviyesi limit değerinin üstündedir. Tablo 4'de limit değeri geçen noktaların hangi kaynağa yakın olduğu, karakteristik özelliği ve beş farklı dönemde ölçülen benzen konsantrasyonlarının ortalaması verilmiştir. Bu noktalardan on tanesi endüstri bölgelerinde, dört tanesi trafiğin yoğun olduğu yol kenarlarında, ikişer nokta kent merkezi ve kırsal bölgede bulunan ölçüm noktalarındadır. Bursa kenti için yüksek benzen konsantrasyonunun kaynağının endüstri olduğu görülmektedir. Bunun yanında kent, Bursa-İzmir, Bursa-Ankara ve Bursa-İstanbul ana yollarında yüksek trafik yükü olmasına rağmen şehir merkezindeki trafikten kaynaklanan benzen seviyesi anayollarda ölçülenlerden daha yüksek çıkmıştır. Kent merkezlerinde bulunan dört farklı ölçüm noktalarında benzen seviyeleri limit değerinin üstündedir. Yapılan çalışmalarda kent merkezlerinde benzen kaynağı egzoz gazı ve kış aylarında ısınmadan kaynaklı emisyonlar olduğu bulunmuştur (Guo vd., 2011; Badol vd., 2008). Aynı şekilde kırsal bölgelerde benzen seviyesinin yüksek bulunması ölçüm yapılan bu noktalara ısınmadan kaynaklı emisyonların etkilediği fikrini vermektedir.

3.1. Kanser Risk Hesabı

Çalışmada aşırı uç değerlerin risk hesabındaki etkisini görmek için benzen kirleticisi konsantrasyon değerlerinden 2 farklı veri seti oluşturuldu. Birinci yaklaşımda (aşırı uç değerler çıkarılmadan) veri seti logaritmik dağılım ve aşırı uç değer dağılım ile tanımlayarak MK analizi ile 10 000 veri simülasyonu yapıldı. Bu yaklaşımın risk değerleri ve dağılım bilgileri Şekil 4'de verilmiştir. Logaritmik dağılım tanımlanmış analizde ortalama ve medyan değerleri $5,7 \times 10^{-5}$ ve $2,8 \times 10^{-5}$ iken aşırı uç değerler tanımlanmış çalışmada ortalama ve medyan değerler, $2,54 \times 10^{-4}$ ve $2,4 \times 10^{-4}$ olarak hesaplanmıştır. Logaritmik dağılım tanımlanan çalışmada aşırı uç değer baskılandığı için çalışmadaki ortalama değerler diğer yaklaşıma göre 10 kat azdır. Logaritmik dağılıma uyan çalışmanın en yüksek değerine baktığımızda bu değer aşırı uç değer dağılımına uyan çalışmaya göre 2,5 kat yüksektir fakat olasılığı çok düşüktür.

İkinci yaklaşımda ise veri seti aşırı uç değerler ile tanımlanmıştır. Bunun için toplam 226 benzen konsantrasyonu değerleri en düşükten en yükseğe doğru sıralandı ve en yüksek ilk 23 değer alınarak %10 veri seti oluşturuldu. İlk 13 değer için ise %5'lik veri seti oluşturuldu. Bu dağılımların parametreleri, uyum test değeri (p) ve risk değerleri Tablo 5'de listelenmiştir.

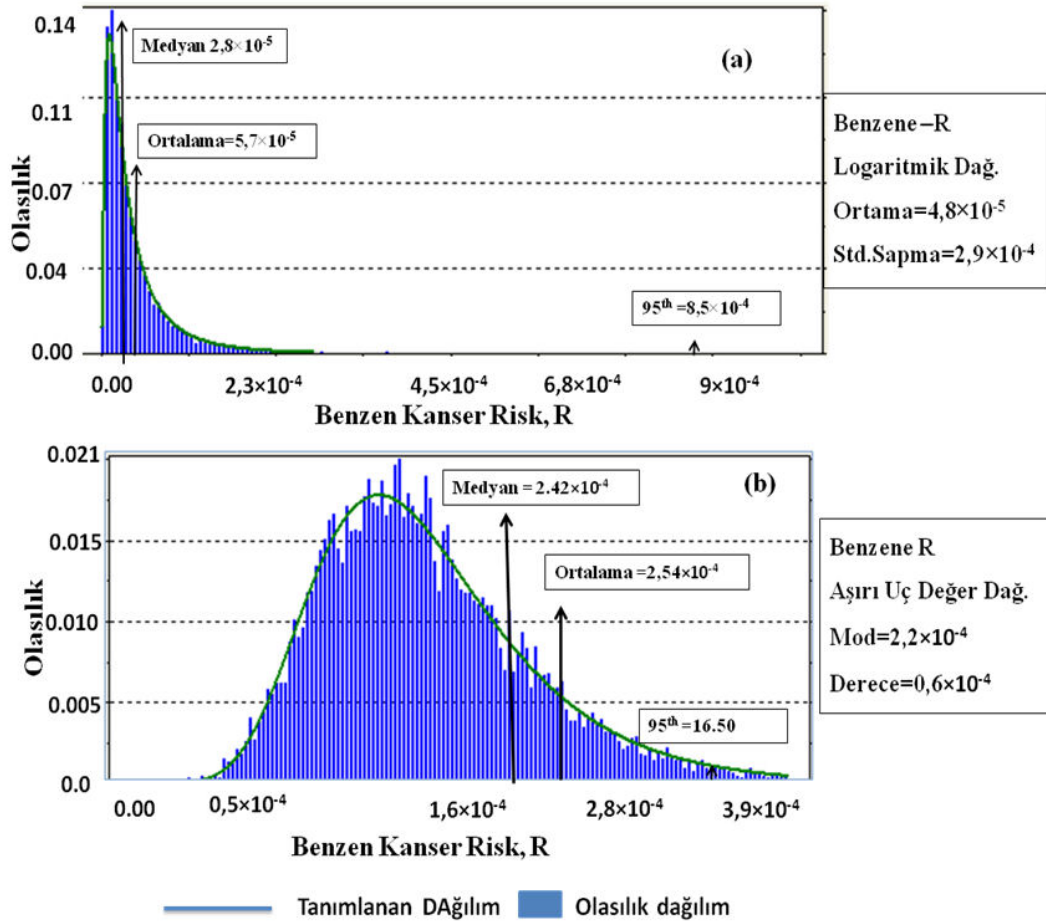
Tablodan da anlaşılacağı gibi veri setini iki farklı dağılım ile tanımlamanın sonuçları etkilemediği görülüyor. Bunun sebebi en yüksek değerlerle hazırlanan veri



Şekil 3. Benzen seviyesinin mekânsal dağılımının bar grafiği ile gösterimi

Tablo 4. Benzen konsantrasyonunun sınır değerinin üstünde olan ölçüm noktaları ve ölçülen değerler

Karakteristik Özelliği	Örnekleme noktası	Benzen kons. ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Karakteristik Özelliği	Örnekleme noktası	Benzen kons. ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Endüstri (BOSB)	Otomativ yan sanayi yanı	15,31	Trafik	Bursa-İstanbul yolu	5,88
Endüstri (GÜSAB)	Tekstil fab.yanı	13,61	Endüstri (BOSB)	Kimyevi madde fab. yanı	5,86
Endüstri (BOSB)	Sentetik iplik fab. yanı	11,69	Kırsal	Demirci köyü	5,8
Endüstri (BOSB)	Dokuma ve boya fab. yanı	11,64	Trafik	Osmangazi	5,78
Kent merkezi	Osmangazi	10,28	Trafik	Yıldırım	5,72
Endüstri (GÜSAB)	Tekstil fab.yanı	7,61	Endüstri (DOSAB)	Tekstil fab.yanı	5,24
Trafik	Acemler Kavşağı	6,78	Kırsal	Nilüfer Köyü	5,14
Endüstri (BOSB)	Dokuma fabrikası yanı	6,08	Kent Merkezi	Nilüfer	5,01
Endüstri (BOSB)	Kalıp ve oto yan sanayi yanı	5,91	Endüstri (DOSAB)	Boya/apre fab. Yanı	5,00

**Şekil 4.** Logaritmik (a) ve aşırı uç değer (b) dağılımı tanımlanmış bütün veri setinin risk hesabı ve istatistiksel bilgileri

Tablo 5. En yüksek %10 ve %5 olan kirleticilerin kanser risk dağılım değerleri ($\times 10^{-4}$)

Benzene	Dağılım	p değeri*	Ortalama $\pm$ Std. Sapma	Medyan	%95	%98
En üst %10	Aşırı uç.değ.	0,71	2,2 $\pm$ 12	1,27	3,9	5,1
En üst %5	Aşırı uç.değ..	0,57	14 $\pm$ 6	13	25	29
En üst %10	Logaritmik	0,68	2,9 $\pm$ 0,6	1,4	3,9	4,2
En üst %5	Logaritmik	0,59	15 $\pm$ 6	28	26	29

* p-değeri Anderson-Darling sınaması sonuçlarını göstermektedir.

* p>0.05 aşırı uç değerler ve logaritmik dağılımın uygunluğunu (%5 önem seviyesinde) göstermektedir.

setinde aşırı uç değerlerin bulunmaması yani kuyruk olmamasıdır. Ancak %5 veri setinin kanser riskinin %10 veri setine göre yaklaşık 10 kat fazla olduğu görülmektedir.

Çalışmada sadece dış ortam konsantrasyonu ve kansere sebep olan kirleticiler içinde sadece benzenin hesaba alınması kanser risk hesabında belirsizliğe yol açmaktadır. Sağlık riski hesaplarında daha güvenilir sonuçlara ulaşmak için bu parametrelerinde göz önüne alınması gerekmektedir. İç ortam kirlilik konsantrasyonunun dış ortama göre yüksek olduğu ve birden fazla kirleticinin kanser riski hesabında göz önüne alındığında bu çalışmada bulunan sonuçlardan daha yüksek sonuçların bulunacağı aşikardır.

4. Sonuçlar

Benzen, kentsel atmosfer riskinde birinci hedef olması ve kanser riski oluşturmamasından dolayı UOB'ler arasında önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple benzen kirleticisinin olası kaynaklarının tespit edilmesi ve sağlık riski değerlendirmelerinin yapılması ileride uygulanacak önlem planlarının verimli olabilmesi için oldukça gereklidir. Bu çalışmada Bursa kenti için benzen seviyesi, olası emisyon kaynakları ve farklı yöntemlerle sağlık riski değerlendirilmesi yapılmıştır. Endüstri bölgelerinde bulunan on noktada, trafiğin yoğun olduğu yol kenarlarında bulunan dört noktada, kent merkezlerinde bulunan iki ve kırsallarda bulunan iki ölçüm noktalarında ölçülen benzen konsantrasyonunun limit değer olan 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sınırını aştığı görülmüştür. Kirliliğin olası kaynağını tanımlayabilmek için kirlilik haritası hazırlanmış ve benzen kirliliğinin yüksek olduğu yer endüstri bölgeleri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kent, Bursa–İzmir, Bursa–Ankara ve Bursa–İstanbul ana yollarında yüksek trafik yükü olmasına rağmen şehir merkezindeki trafikten kaynaklanan benzen seviyesi anayollarda ölçülenlerden daha yüksek çıkmıştır.

İstatistiksel analizlerden de anlaşılacağı gibi aşırı uç değerlere sahip veri setine kuyruk değerleri baskılayan logaritmik dağılım veya kuyruk değerleri serbest bira-

kan aşırı uç değer dağılımı uygulamak kanser riski medyan değerlerinde yaklaşık 10 kat kadar farka sebep olmaktadır. Ancak aşırı uç değerlerin olduğu bir veri seti oluşturulduğunda bu veri setinde kuyruk etkisi fazla olmadığından tanımlanacak dağılımın risk değeri üzerine fazla etkisi olmamıştır. En yüksek değerlerin %10 veya %5 'ni almak arasında oluşacak risk 10 kat farklı olduğundan aşırı uç değerlerden oluşan veri setinde kanser risk değerini veri setinde alınan uç değer aralığı belirlemiştir. Kanser riski, riske sebep olan kirleticiye en fazla miktarda maruz kalan grupta fazla olacağı için risk hesaplarında aşırı uç değerler göz ardı edilmemelidir.

Sonuç olarak Bursa kenti için benzen kirleticisinin aşırı uç değerleri en çok endüstri bölgelerinde ölçüldüğünden dolayı maruziyet riskinin yüksek olduğu yerler endüstri bölgeleridir. Bu bölgelerde riske maruz kalan grup hem endüstri bölgelerinde çalışanlar hem de buralara yakın yerleşim yerlerinde yaşayanlardır.

5. Teşekkür

Çalışmanın gerçekleşmesinde arazi çalışmalarına destek olan Bursa Çevre ve Orman İl Müdürlüğü'ne ve Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne yardımlarından dolayı çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Badol, C., Locoge, N. and Galloo, J.C.2008. Using a source-receptor approach to characterise VOC behaviour in a French urban area influenced by industrial emissions: Part II: Source contribution assessment using the Chemical Mass Balance (CMB) model, Science of The Total Environment, 389, 429-440
- Cetin E., Odabasi M., Seyfioglu R., 2003. Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical complex and a petroleum refinery. The Science of the Total Environment 312, 103–112
- Civan M., 2010, Spatial Distribution Of Organic Pollutants In Bursa Atmosphere: Seasonality And Health Effects. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

- Grubbs, F.E., 1969. Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11, 1-21.
- Guo H., Cheng H.R., Ling Z.H., Louie P.K.K., Ayoko G., 2011. Which emission sources are responsible for the volatile organic compounds in the atmosphere of Pearl River Delta? *Journal of Hazardous Materials* 188, 116-124.
- Fernandes M. B., Brickus, L. S.R., Moreira J.C., Cradoso J. N., 2002. Atmospheric BTX and polycyclic aromatic hydrocarbons in Rio de Janeiro, Brazil. *Chemosphere*, 47, 417-425
- Hopke, P.K., Paatero, P., 1994. Extreme-value estimation applied to aerosol size distributions and related environmental problems. *Journal of Research of NIST*, 99, 361-367.
- Kassomenos, P., Lykoudis, S., Chaloulakou, A., 2010. A tool for determining urban emission characteristics to be used in exposure assessment. *Environmental International*, 36, 281-289.
- Kumar K., Viden I., 2007. Volatile Organic Compounds: Sampling Methods and Their Worldwide Profile in Ambient Air, , *Environmental Monitoring Assessment*, 131:301-321
- Kuntasal, Ö.O., 2005. Temporal Variations and Source of Organic Pollutants in Two Urban Atmospheres: Ankara and Ottawa, *Doktora tezi*, ODTÜ, Ankara
- Lewis, C.W., 1991. Sources of air pollutants indoors: VOC and fine particle species *Journal of . Exp. Anal. Environ. Epidem.*, 1, 31-44.
- Lewis, C.W. and Zweidinger, R.B., 1992. Apportionment of residential indoor aerosol, VOC and aldehyde species to indoor and outdoor sources, and their source strengths. *Atmospheric Environmental*. 26A, 2179-2184
- Lenox, M.J., Haines, Y.Y., 1996. The constrained extremal distribution selection method. *Risk Analysis*, 16, 161-176.
- Pekey B., Yılmaz H., 2011. The use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey. *Microchemical Journal* 97, 213-219.
- Pratt, G.C., Palmer K, Wu C.Y., Oliaei F., Hollerbach C., Fenske M.J., 2000. An assessment of air toxics in Minnesota. *Environmental Health Perspect*, 108, 815-825
- Su, F.C., Jia, C., Batterman, S., 2012. Extreme value analyses of VOC exposures and risks: A comparison of RIOPA and NHANES datasets, *Atmospheric Environment*, 62, 97-106.
- Thepanondh S., Varoonphan J., Sarutichart P., Makkasap T., 2011. Airborne Volatile Organic Compounds and their potential health impact on the vicinity of petrochemical industrial complex. *Water Air Soil Pollution*, 214, 83-92.
- Tuia, D., Kanevski, M., 2008. Indoor radon distribution in Switzerland: lognormality and extreme value theory. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 649-657.
- TUİK (Türkiye İstatistik Enstitüsü) . 2013. Araç istatistikleri, <http://tuik.gov.tr> (Ekim 2013
- USEPA., 1985. "Development of statistical distributions or ranges of standard factors used in exposure assessments. Washington, DC: Office of Health and Environmental Assessment." EPA Report No. EPA 600/8-85-010. Available from: NTIS, Springfield, VA; PB85-242667.
- USEPA IRIS (Integrated Risk Information System of U.S. Environmental Protection Agency <http://www.epa.gov/iris>, ziyaret tarihi: 2013.
- Wallace, L.A, 1987. Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: Summary and Analysis. U.S. Environmental Protection Agency, Vol:1, Springfield, Virginia.
- Woodruff, T.J., Caldwell, J., Coglian, V.J., Axelrad D.A., 2000. Estimating cancer risk from outdoor concentrations of hazardous air pollutants in 1990. *Environmental Research*, 82, 194-206.
- Zhang Y., Mu Y., Liu J., Mellouki A., 2012. Levels, sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing, China. *Journal of Environmental Science*, 24, 124-130



Research Article

Evaluation of Benzene Levels and Health Risk Predictions in Bursa by Using Different Statistical Methods

Mihriban YILMAZ CİVAN^{1✉}, Öznur OĞUZ KUNTASAL², Gürdal TUNCEL¹

¹ Dept. Of Environmental Engineering, Kocaeli University, Umuttepe Campus, 41380 Kocaeli

² United Nations Development Program (UNDP), Ankara

Received: February 7, 2014; Accepted: June 5, 2014

ABSTRACT

Five separate passive sampling campaigns were conducted to determine benzene concentration in downtown of Bursa. Totally 67 sampling points were located around roads, in residential areas, in locations that are not under direct influence of traffic, in five organized industrial zones and at background locations that are outside the city. Since samplers were located at the same points in each campaign, five data for each VOCs at each location were generated. The benzene concentration measured in the vicinity or inside the industrial areas were 5-10 fold higher than that of in background area. The pollution map was generated to provide clues to the emission sources of pollutants. The spatial variation map generally indicates that concentrations of benzene are high in the vicinity or inside the industrial areas. The benzene concentration exceeded the limit value ($5 \mu\text{g m}^{-3}$) in points which were classified as industrial areas (n=10), roadways (n=4), residential (n=2), and rural sites (n=13). Questionnaires were distributed to the selected quarters where passive sampling measurement was available in order to calculate exposure risk. The carcinogenic risks for benzene were calculated two different ways (logarithmic and extreme value (EV) distributions) by using benzene concentration and the data obtained from the questionnaires. At the first approach the all data set were fit the log normal distribution and then extreme value (EV) distribution. The risk calculations were evaluated with Monte Carlo Simulation. Log normal and EV distributions calculated the mean and median carcinogenic risk as 5.7×10^{-5} and 2.8×10^{-5} ; 2.5×10^{-4} ve 2.4×10^{-4} , respectively. Therefore risk calculated by using data fitted with EV was estimated about 10 fold higher than that of with log-normal distribution. At the second approach using the highest 5% and 10% measurements, lognormal distribution and EV were fit to the benzene. The risk based on two different distribution functions had almost same value. The concentration level of top 5% of measurements was 10 fold higher risk than that of top 10% of measurements. Extreme value should not be ignored while cancer risk is calculated since risk found high level for the population expose to high dose of the benzene. Finally, since high benzene concentration measured inside the industrial areas in Bursa, exposure risk was found high value in these areas.

Keywords: Benzene, Health Risk, Monte Carlo Simulation, Extreme Value Analysis

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.