

BİGA YARIMADASININ KUZEY BATISINDA YER ALAN KIRSAL ALANLARDAKİ TROPOSFERİK OZON SEVİYELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deniz SARI^{1(*)}, Selahattin İNCECİK², Nesimi ÖZKURT¹

¹TÜBİTAK MAM, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, 41470 Kocaeli, Türkiye

²Meteoroloji Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

21. yüzyılın en kritik kirleticilerinden biri olarak tanımlanan troposferik ozon insan sağlığını, ormanları ve bitkileri tehdit etmektedir. Bu çalışma kapsamında ormanlık ve dağlık bir bölge olan Biga Yarımadasının kuzey batı bölümü incelenmiş olup; troposferik ozon seviyelerinin zamansal ve mekânsal dağılımları ile potansiyel etkileri araştırılmıştır. Bölgedeki kırsal alanlarda ozon konsantrasyonları 2013 ve 2014 yılları içerisinde 10 farklı nokta da pasif örnekleme tekniği ile ölçülmüştür. Bu ölçümler bölgede yer alan iki farklı hava kalitesi ölçüm istasyonundan elde edilen saatlik veriler ile desteklenmiştir. Bölgedeki ozon konsantrasyonlarının yaz aylarında kış aylarına nazaran daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen ozon seviyeleri mekansal olarak incelendiğinde ise bölgedeki yüksek ozon konsantrasyonlarına genellikle dağlık bölgelerde rastlanmaktadır. Ozon değerlerinin gün içerisindeki değişimleri irdelendiğinde ise en yüksek seviyeler saat 15:00-17:00 arasında gözlenmiştir. Çalışma alanında ölçülen NO_x değerleri O₃ ile karşılaştırılmış ve aralarında ilişki irdelenmiştir. Ayrıca bölgedeki oksidan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin NO_x konsantrasyonları karşısında doğrusal olarak düştüğüne ve negatif bir eğilim gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu eğilim sonucunda hesaplanan oksidan seviyelerine trafik ve evsel ısınma gibi lokal kirlilik kaynaklarına nazaran bölgesel kirleticilerin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bölgesel etkilerin kaynağının belirlenmesi amacıyla 2013 ve 2014 yıllarındaki geri yörünge simülasyonlarının tahmini için HYSPLIT modelinin kümeleme analizi koşturulmuştur. Simülasyon sonuçları incelenerek bölgeye ulaşan hava kütlelerinin izledikleri geçiş yolları hesaplanmıştır. Bölgedeki hakim meteorolojik koşullar ölçülen ozon konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır. 80 µg/m³'den yüksek olan saatlik ozon seviyelerinin genellikle rüzgarların NE yönlü olduğu saatlerde ölçüldüğü tespit edilmiştir. Bölgedeki saatlik ozon ölçümü verilerden faydalanılarak; AOT 40 değerleri hesaplanmış, troposferik ozonun bitki sağlığına ve ormanlara etkileri irdelenmiştir. Hesaplanan AOT40 değerlerinin sınırların çok üzerinde olduğu ve çalışma alanındaki ozonun bitki yaşamı ve ormanlar üzerinde zarar verici boyutta bir etkisinin olabileceği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Troposferik Ozon, Biga Yarımadası, AOT40, HYSPLIT

* deniz.sari@tubitak.gov.tr

ABSTRACT

Tropospheric ozone, which named as one of the most critical pollutant in 21th century, threats to human health, forest and vegetation. The north-west side of Biga Peninsula is mountainous and forested area. The objective of this study is to characterize a spatial and temporal distribution of surface ozone to indicate the risk areas in the northwest of Biga Peninsula as to the potential ozone impacts. The surface ozone levels were measured in the forested areas of the northwest of Biga Peninsula in 2013 and 2014 using the passive sampling technique at 10 sites throughout the region in addition to two monitoring stations established in the rural area providing hourly ozone data. Ozone levels in the study area show an increase with the rising of temperature in the months of summer over the winter period. In addition mountainous areas have higher cumulative exposure to ozone than urban locations. Measured ozone levels are relatively low in the early morning, increasing significantly about midday and peaking at around 15:00–17:00. OX levels were calculated for the study area to understand a NO_x-independent contribution or a NO_x dependent contribution to ozone. According to findings, there is an only regional contribution to the level of OX (NO_x-independent) and the local contribution due to primary emissions such as traffic exhaust is negligible. HYSPLIT model was used to conduct backward trajectory analysis to determine regional and/or long-range transport sources contributing to the high ozone levels in the region. The majority of ozone concentrations ($>80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were observed in the Peninsula when winds blew from NE direction. The ozone level threshold defined by EU Directive to protect the trees in the forest area of the northwest Biga Peninsula are examined using the daytime AOT40 (Accumulated hourly O₃ concentrations Over a Threshold of 40 ppb) cumulative index. The results present that the ozone values in the north-west side of Biga Peninsula are above the critical levels for forest and vegetation based on EU Directive.

KEYWORDS

Surface Ozone, Biga Peninsula, AOT40, HYSPLIT

1. GİRİŞ

Asit yağmurları, fotokimyasal kirlilik, kirleticilerin uzun mesafelere taşınımı, sera gazı emisyonları ve aerosoller 20. yüzyılın son 30 yılı içerisinde troposferik hava kirliliğine nüfuz etmiştir. Ancak hava kirliliğinin azaltılması konusunda sağlanan ilerlemeler ve iyileştirmeler dünyanın her bölgesinde ve her kirleticisi için gerçekleştirilememiştir. Troposferik ya da yüzey ozon için ise problem anlaşılacakla beraber dünyanın pek çok yerinde etkileri ile varlığını önemli şekilde hissettirmektedir. Özellikle dünya genelinde sürekli bir şekilde artan motorlu araç sayısı ile ozon öncüllerine ait emisyonların sebep olduğu bu fotokimyasal kirliliğin önlenmesi kolay olmamaktadır. Bu durum Avrupa başta olmak üzere Kuzey Amerika ve Doğu Asya da kendisini göstermektedir. İşte bu nedenle ozon ve aerosoller 21.ci yüzyılın hava kalitesi bakımından en önemli kirleticileri olarak kabul edilmektedir. Bu iki kirleticiden biri olan ozon yaygın sağlık etkileri olan küresel bir kirleticidir. Özellikle solunum sistemi ile ilgili sağlık sorunlarına yol açması bakımından önemli bir kirleticisi olarak kabul edilir. Bunun dışında orman ve zirai ürünler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle ozonun kırsal bölgelerdeki değerlerinin izlenmesi ve araştırılması bu kirleticinin kontrolünü gerekli hale getirmektedir. Yüzey ozon, ekosistem ve tarım ürünlerine en fazla zararı veren bir hava kirleticisidir. Troposferde azot oksitler, güneş ışığı altında karbon monoksit, metan ve metan

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

olmayan uçucu organik bileşikler arasındaki katalitik reaksiyonlar sonucunda oluşur. Ozon bitkinin normal gaz alış verişleri esnasında bitki gözenekleri arasından yapraklara girmektedir. Kuvvetli bir oksitleyici olarak ozon, ve bunun ikinci dereceden yan ürünleri fotosentezi ve diğer önemli fizyolojik fonksiyonları azaltarak ürün kalitesini düşürür, bitkilerin büyümesini engeller ve verimin düşmesine yol açar (Morgan vd., 2006; Booker vd., 2009; Avnery vd., 2011).

İnsan sağlığına etkisinin yanı sıra bitki gelişimini diğer kirleticilere kıyasla çok daha fazla etkileyen yüzey ozonunun yeryüzündeki konsantrasyonları zamansal ve mekânsal olarak değişiklik göstermektedir. Yüzey ozonu seviyeleri özellikle etkin güneş radyasyonu ve yüksek sıcaklığa bağlı olduğu için yaz aylarında ozon seviyeleri kış dönemlerine nazaran kıyaslanmayacak şekilde artış gösterir. Bazen sonbahar ve ilkbahar aylarında da yüksek konsantrasyonlara ulaşıldığı görülmüştür (Barnes vd., 1988; Incecik ve Thomson, 1995; Topcu ve Incecik, 2002). Bunun yanı sıra kırsal alanlardaki ozon seviyeleri kentsel alanlardakine oranla ozon bozulma süreçlerindeki farklılık nedeniyle daha yüksek düzeylerde meydana gelebilmektedir (Sillman, 1999; Duenas vd., 2004; Debaje ve Kakade, 2006) Bunun da nedeni Azot oksit (NO_x) seviyelerinin yüksek olduğu şehir alanlarındaki ozon seviyeleri için NO ozonun bozulmasına yol açarken ozon formasyonu uçucu organik bileşenlerin (VOC) etkisi sonucunda olmasıdır. Oysa kırsal bölgelerde daha az emisyon olması nedeniyle ozon hidrokarbonlar ile ve özellikle de biyogenik VOC ler ile yönetilir. Sonuç olarak yüksek NO_x seviyeleri ve düşük biyogenik VOC ler nedeniyle şehir merkezlerinde ozon kırsal bölgelere göre daha düşüktür (Paoletti, 2009; EEA, 2013; Im vd., 2013; Paoletti vd., 2014).

Genellikle, şehir alanlarında trafik ve sanayi tesisleri gibi kaynaklardan atmosfere salınan ve ana ozon öncülleri olarak tanımlanan azot oksitler ile uçucu organik birleşikler kırsal alanlardaki ozon kirliliğine neden olurken, kırsal alanlardaki ozon seviyelerinin değerlendirilmesinde ozon ve ozon öncüllerin atmosferik taşınımının yanı sıra doğal kaynaklardan meydana gelen öncüller ile özellikle dağlık bölgelerde stratosferden troposfere taşınım da dikkate alınmaktadır (Stasiuk ve Coffey, 1974; Liu vd., 1987; Im vd., 2008; Im vd., 2013). Tüm bu belirtilen nedenler dolayı gerek halk sağlığı gerekse de çevre için ciddi bir tehlike oluşturan ozon kirliliğinin şehir ortamında, yarı kırsal ve kırsal bölgelerdeki değerlerinin araştırılması; bu seviyelerin nedenlerinin anlaşılması ve uygun hava kalitesi yönetim planları ile kontrolünün sağlanması önemli bir hal almaktadır.

Son yıllarda Avrupa'da ölçülen en yüksek ozon konsantrasyonları Akdeniz Bölgesi civarında görülmektedir. Ancak Akdeniz Bölgesinde bu alanda pek çok çalışmanın gerçekleştirilmesine rağmen ilk kez Diaz-De-Quijano ve arkadaşları tarafından Katalan Pirenelerinde kırsal ve dağlık bir alandaki ozonun zamansal değişimleri 5 yıl boyunca izlenmiş ve konsantrasyonların bitki sağlığı bakımından riskli seviyelerde olduğunu belirlenmişlerdir (Diaz-De-Quijano vd., 2009). Kırsal ve dağlık bölgelerdeki troposferik ozon seviyelerinin ortaya konmasına yönelik benzer çalışmalar Avrupa'da Alpler (Chevalier vd., 2007) ve Karpat Dağları (Manning vd., 2002) için çalışılmıştır.

Türkiye'de hava kirliliği alanında genellikle sanayinin yoğun olduğu bölgelere ait hava kalitesi izleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Özden ve arkadaşları (2008) kentleşmenin ve sanayinin yoğun olduğu bir bölge olan Eskişehir'de dünya çapında ana hava kirleticiler olarak tanımlanan kükürtdioksit, partikül madde, azot dioksit, ozon ve metan olmayan uçucu organikleri pasif ve aktif örnekleme yöntemi ile izlemişlerdir. Dumanoglu ve arkadaşları

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

(2014) ağır bir endüstriye sahip olan İzmir'in Aliğa Bölgesi için 160 adet VOC örnekleme yaparak; bölgedeki VOC'nin zamansal ve mekânsal dağılımını incelemiştir. Yurdakul ve arkadaşları (2013) Ankara atmosferinde 30 adet uçucu organik bileşiği ölçmüş ve bu birleşikleri birbirleri arasındaki zamansal ve kaynak farklılıkları açısından incelemiştir. Karademir'de (2006) bir sanayi şehri olan Kocaeli için yakma prosesine sahip endüstri tesislerinden çıkan kirlleticileri emisyon faktörleri kullanarak hesaplamış ve bir Gaussian modeli ile kente olan etkilerini tespit etmiştir. İncecik, (2009) tarafından yürütülen TÜBİTAK Projesi (2008-2010) çerçevesinde İstanbul ve Kocaeli körfezinde karmaşık meteorolojik alanların simülasyonları ile şehir ve bölgesel ölçekte hava kirliliği üç yeni istasyon kurularak değerlendirilmiştir. İncecik (2008) tarafından yürütülen TUJJB-TUMEHAP Projesi ile de İstanbul'da Büyükaada tepesine kurulan bir istasyon verileri ve sofistike model kullanılarak yüzey ozonun kısa vadeli tahminleri yapılmıştır.

Birçok bölgede gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, ölçülen ozon konsantrasyon değerlerinin insan ve bitki sağlığını tehdit edecek sınır değerlerin üzerinde olduğu; bu seviyelerin de zaman ve çevresel koşullara bağlı olarak değişimler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda en önemli araçlar troposferik ozon ölçümleri ve modelleme tekniklerin uygulanmasıdır. Yoğun bir yerleşim ve sanayi alanına sahip olmaması nedeniyle kırsal alan olarak tanımlanan Biga Yarımadasının kuzey-batı bölgesi, atmosferik hareketlerin etkisi altında olan Marmara Bölgesinin içerisinde yer alması nedeniyle bölgedeki ozon seviyelerine uzun mesafeli taşınım ile birlikte yerel antropojenik ve doğal kaynakların katkısının belirlenebilmesi için ideal bir çalışma alanıdır. Bu çalışma ile elde edilecek sonuçlar ozon kirliliğinin orman alanlarındaki durumu hakkında karar vericilere önemli çıktılar üretecek ve Türkiye'de farklı orman alanları ile milli parklar için yapılacak çalışmalara temel oluşturacaktır.

Bu çalışma kapsamında kırsal alanlardaki hava kirliliğinin problemlerinin anlaşılabilmesi amacıyla Biga Yarımadasının kuzey-batı bölgesindeki troposferik ozon seviyeleri incelenmiştir. Ozon konsantrasyonlarının 2013 ile 2014 yılları arasında 10 farklı noktada pasif örnekleme ve iki farklı noktada izleme istasyonları ile miktarları tespit edilerek zamansal ve mekânsal dağılımları ortaya konmuştur. Ölçüm sonuçları Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ile Avrupa Birliği Temiz Hava Direktifindeki sınır değerler ile irdelenmiştir. Ayrıca bölgedeki meteorolojik koşullar göz önüne alınarak ozon seviyeleri ile olan ilişkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışma alanı

Avrupa'da ve özellikle Akdeniz Bölgesindeki kentsel, kırsal ve ormanlık alanlardaki troposferik ozon konsantrasyonları pasif örnekleme ve izleme istasyonları ile birçok çalışma da ölçülmüştür. Türkiye'de ise yapılan benzer çalışmalarda ozon seviyelerinin Avrupa Birliği Direktifinde belirtilen sınır değerleri aştığı belirlenmiştir (Dumanoglu, 2010; Yay, 2006). Bu çalışmada, yüzey ozonu konsantrasyonlarının eriştiği seviyeleri, bu seviyelerin değişimleri ve bunlar üzerindeki etkileri araştırmak üzere Marmara ve Ege Bölgesi arasında geçiş bölgesinde yer alan ve kırsal, dağlık ve tepelik bir bölge konumunda olan Türkiye'nin Çanakkale ilinin Biga ve Lapseki ilçelerini içine alan Biga Yarımadasının kuzeybatı bölgesi seçilmiştir. Biga Yarımadası 26°02'48"- 27°30'00" doğu boylamında ve 39°27'30"-40°27'30" kuzey enleminde yer almaktadır. Kuzey ve kuzey doğusunda Marmara

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

Denizi ve batısında Ege Denizi bulunmaktadır. Çalışma alanı olarak belirlenen bölge, Türkiye'nin kuzey batısında ve Marmara Bölgesinin Güney bölümünde yer almaktadır. Bölge Çanakkale Boğazının orta kesimindeki konumuyla Asya ile Avrupa'yı birbirine bağlayan önemli bir noktada yer almaktadır. Lâpseki'de arazi genel olarak dağlık ve engebelerdir. Dağlar Çanakkale Boğazına paralel olarak uzanırlar. Biga bölgesinde arazi yapısı ise kuzey bölümü düzlüklerden, güney bölümü de tepelerden oluşur. Bölgedeki en yüksek noktalardan biri aynı zamanda Kazdağı'nın eteklerinden biri olan Dumanlı dağlarıdır (725m). Bölge, ayrıca endemik türler açısından çok zengin bir alan olan Kazdağı Milli Parkına yakın bir konumdadır (Kantarci, 2011). Genellikle kuzeyli rüzgarların hakim olduğu çalışma alanı pek çok bitki ve ağaç türünün yer aldığı kırsal bir bölgedir. Bu bölgede hava kirliliğinin orman ağaçları ve biyolojik çeşitliliğe etkileri konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Bayçu, 1997; Karaöz, 1997; Kantarci, 2001; Kantarci, 2011). Çalışma alanının %1 lik kısmı kentsel alan, %80 lik alanı ise ormanlık ve tarım alanları oluşturmaktadır. Biga Yarımadasında serin ve nemli bir iklim hakimken, kuzey batı bölgesi Marmara ikliminin etkisinde yer almaktadır (Bora, 1999). Biga Yarımadasının kuzey bölgesindeki hava kirliliği İstanbul ve Marmara Bölgesindeki kirleticilerin uzun mesafeli taşınımları sonucunda hesaplanmıştır (Kantarci, 2011).

Doğal ve antropojenik kaynaklı hava kirleticilerin uzun taşınımlar sonucunda bir bölgeye etkisinin belirlenmesi, o bölgedeki lokal kirlilik kaynakların tespit edilmesi kadar önemlidir. Kındap ve arkadaşlarının 2006 yılında gerçekleştirdiği çalışma sonucunda İstanbul'daki PM10 konsantrasyonunun yarısının Avrupa kaynaklı olduğu sonucuna varılmışlardır (Kındap, 2006). Kanakidou ve arkadaşları (2011) ise İstanbul'da meydana gelen kirliliğin, atmosferik hareketler sonucunda Doğu Akdeniz'e taşındığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmalar ışığında kuzeyli rüzgarların hakim olduğu bölgesinin meteorolojik olarak bir geçiş bölgesi özelliği gösterdiği düşünülmektedir.

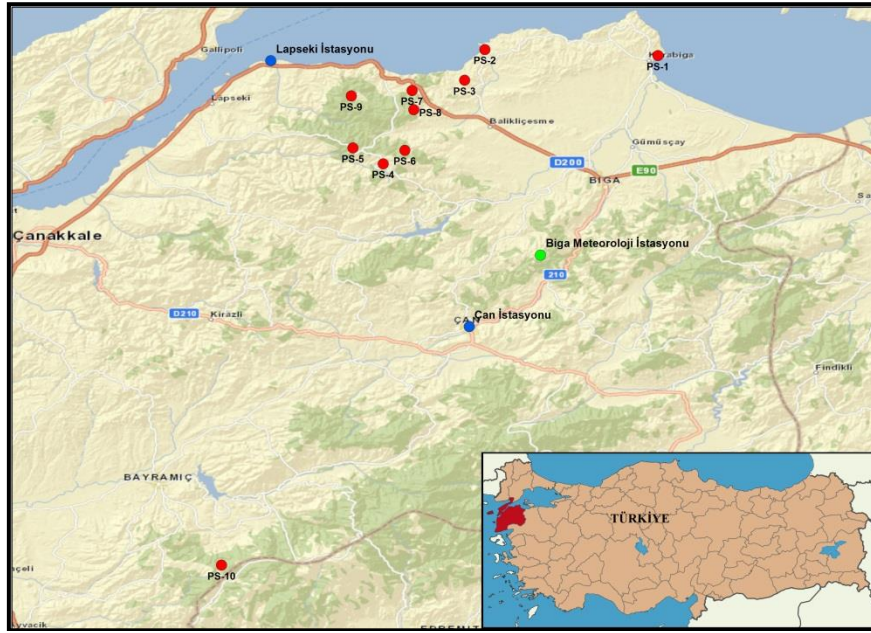
2.2. Ozon ölçüm yöntemleri

Hava kalitesi izleme çalışmaları; kirlilik kaynakları ve dağılımını belirlemek, uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve bu stratejilerin etkinliğini kontrol etmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Pasif örnekleme metodu, aktif örnekleme yöntemine nazaran daha kolay kullanımı ve ekonomik açıdan avantajlı olması nedeniyle hava kalitesi çalışmalarında kullanımı gittikçe artmaktadır (Cruz vd., 2004; Saborit ve Cano, 2007). Troposferik ozonun ormanlar ve bitkiler üzerine etkilerinin değerlendirilmesinde pasif örnekleycilerin kullanımı son yıllarda artış göstermektedir (Krupa vd., 2000). Difüzyon tipi örnekleycilerin temel prensibi; gaz moleküllerinin, yüksek konsantrasyon bölgesinden (örnekleyicinin açık ucu), düşük konsantrasyon bölgesine (örnekleyicinin sonundaki absorblayıcı) difüze olmasıdır (Carmichael vd., 2003). Pasif difüzyon örnekleyci tüp boyutları üretici spesifikasyonlarına göre farklılık taşıyabilir, bu sebepten örnekleme hızı ve buna bağlı olarak hava miktarı hesaplanırken sahada örnekleme yapılan tüp boyutları kullanılmalıdır (Massman, 1998). Pasif örnekleyciler her lokasyonda elektrik gücüne ve pompaya ihtiyaç duymadan sürekli ölçüm yapabilmektedir (Kume vd., 2008). Pasif örnekleme haftalık veya aylık gibi uzun dönemli hava kalitesi izlemeleri için ideal bir araçtır (Vardoulakis vd., 2009). Bu çalışmada ozon pasif örnekleycileri kullanılarak 10 farklı noktada ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu tüm ölçüm noktaları kırsal istasyonlar olmakla beraber 8'i köy yerleşim alanlarına yakın 2'si ise dağlık bölgede konumlandırılmıştır. Bölgede ayrıca NO, NO₂, NO_x, O₃ kirleticilerinin ölçüldüğü ve

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

Marmara Temiz Hava Merkezine ait iki farklı izleme istasyonu yer almaktadır. Bunlardan biri çalışma alanının batısında yer alan Lapseki istasyonudur. 40,4031°K ve 26,7701°D koordinatlarında yer alan istasyon deniz seviyesinde 12 m yüksekliktedir. İstasyon yarı kırsal olarak tanımlanan bir bölgede bulunmaktadır. Diğer istasyon ise çalışma alanının merkez bölgesinde yer alan Çan istasyonudur. Kentsel bir istasyon olarak tanımlanan Çan istasyonu 40,0292°K ve 27,0498°D koordinatlarında ve deniz seviyesinde yaklaşık 83 metre yükseklikte yer alır. Bu çalışmada Mart 2013 ve Aralık 2014 tarihleri arasında ölçülen O₃ ve NO_x (NO ile NO₂) değerleri kullanılmıştır. Tüm pasif örnekleme noktalarının, hava kalitesi izleme istasyonlarının ve meteoroloji istasyonunun konumları Şekil 1' de verilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı içerisinde yer alan ölçüm noktalarının konumları

3. SONUÇLAR

3.1. Ozon seviyelerinin zamansal ve mekânsal değişimi

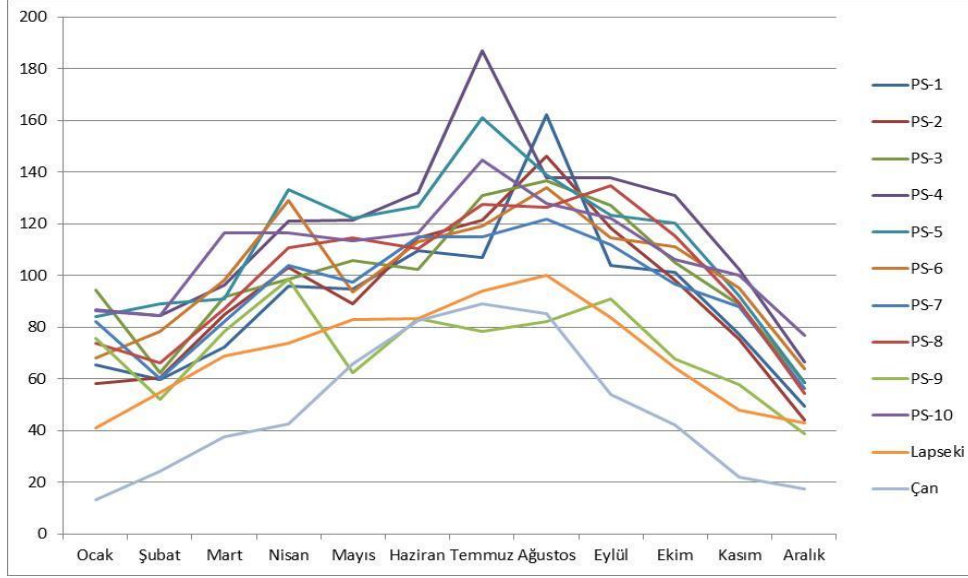
Ozon reaktif bir hava kirleticisi olup; kirlilik kaynaklarının, meteorolojik koşulların, topografyanın ve kimyasal reaksiyonların etkisi altında kalmaktadır. Hava sıcaklığı ve güneş ışınlarının etkisiyle ozonun zamansal ve mekânsal değişimi saatlik, günlük, mevsimsel ve yıllık olarak farklılık göstermektedir (Ribas ve Penuelas, 2004).

Bir bölgedeki troposferik ozon seviyeleri fotokimyasal reaksiyonlar ve meteorolojik parametrelerin etkisindedir. Kırsal bir bölgedeki ozon seviyelerinin mevsimsel değişimi yaz aylarında kışa oranla daha belirgin olmaktadır. Ortalama ozon seviyeleri 10 pasif örnekleme ve iki izleme istasyonunda olmak üzere Şekil 2'de verilmiştir. Çalışma alanı içerisindeki ozon seviyeleri yaz ayları (Haziran, Temmuz, Ağustos) için 78 µg/m³ ile 187 µg/m³ iken, kış (Aralık, Ocak, Şubat) ayları için 13 µg/m³ ile 89 µg/m³ arasındadır.

Troposferik ozon konsantrasyonu genellikle yaz aylarında özellikle de Temmuz ve Ağustos aylarında maksimum seviyelere ulaşırken kış aylarında ise Ekim ve Aralık arasında minimum seviyelere inmektedir (Monks, 2000; Yuska vd., 2003). Diğer çalışmalara benzer şekilde,

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

bölgedeki maksimum ozon seviyelerine Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşılırken; minimum seviyeler Aralık ayında gözlenmiştir.



Şekil 2. 12 farklı izleme noktasındaki aylık ortalama ozon konsantrasyonları

Ozon konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri incelendiğinde ise $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında oldukları tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde en yüksek ozon seviyelerinin trafik ve endüstriyel bir kirlilik kaynağının bulunmadığı kırsal bölgelerde olduğu gözlenmektedir. En düşük ozon seviyeleri ise kentsel alanlar içerisinde yer alan trafik ve diğer kirleticilerden etkilenme potansiyeline sahip Lapseki ve Çan izleme istasyonlarında ölçülmüştür. Düşük ozon seviyelerinin nedenlerinden biri kentsel bir hava kirleticisi olan azot oksitler gibi öncüllerin ozon ile reaksiyona girmesi olabilir. Maksimum ozon seviyeleri ise bazen birincil kirleticilerden çok uzaklarda ölçülebilir. Genellikle, kentsel bölgelerdeki trafik ve sanayi tesisleri gibi kaynaklardan atmosfere salınan ve ana ozon öncülleri olarak tanımlanan azot oksitler ile uçucu organik bileşikler kırsal alanlardaki ozon kirliliğine neden oldukları düşünülmektedir. (Pehneç vd., 2005). Ancak kırsal alanlardaki ozon seviyelerinin değerlendirilmesinde ozon ve ozon öncüllerinin atmosferik taşınımının yanı sıra doğal kaynaklardan meydana gelen öncüller ile stratosferden troposfere olan akışta dikkate alınmalıdır (Stasiuk ve Coffey, 1974).

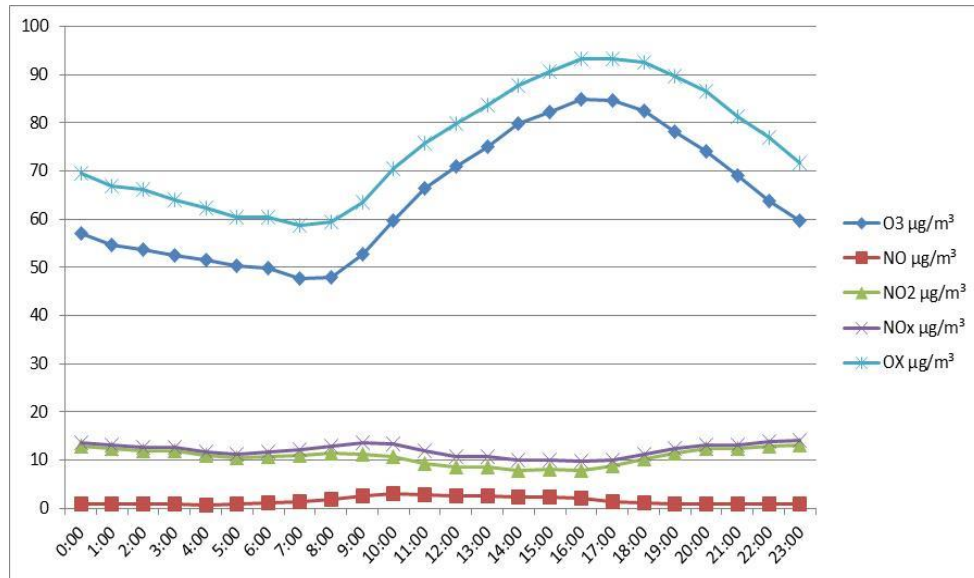
Literatürde yer alan bir çok çalışma troposferik ozon seviyelerinin deniz seviyesinden olan yükseklikle birlikte pozitif bir ilişkide olduğunu göstermektedir (Puxbaum vd., 1991; Wunderli ve Gehrig, 1990; Sandroni vd., 1994). Fotokimyasal prosesler, kentsel ve lokal kaynakların etkilediği ozon ve öncüllerinin taşınımı ile troposferik karışım yükseklikle ozon seviyelerinin artmasında en önemli faktörlerdir (Brace ve Peterson, 1998). Bu çalışmada ağustos ayı haricinde aylık konsantrasyonlar ozon seviyeleri ile pozitif bir korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Korelasyon kat sayıları 0,50 ile 0,80 arasında değişirken, bu değer Ağustos ayı için 0,22'dir. İzleme noktalarında ölçülen yıllık ortalama ozon seviyeleri noktaların deniz seviyelerinden yükseklikleri ile karşılaştırıldığında 0,67 bir uyum gözlenmektedir. Maksimum ozon seviyelerinin gözlemlendiği PS-4, PS-5 ve PS-10 noktaları hem yerleşim alanlarına en uzak noktalar olup hem de sırasıyla denizden 509m, 720m ve 768m

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

yüksekliktedir. Bu sonuçlar dağlık bölgelerdeki ozonun kümülatif etkisinin kentsel alanlara nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Hakim rüzgarlar ozon ve antropojenik öncülleri kentsel alanlardan kırsal ve yüksek arazilere taşımaktadır (Sandroni vd., 1994). Ancak ağustos ayında maksimum konsantrasyonlar deniz kenarında bulunan ve yarımadaının en kuzeyinde yer alan PS-1 ve PS-2 noktalarında görülmektedir.

Atmosferdeki troposferik ozon seviyeleri bölgesel veya lokal ölçekli kimyasal ve bozulma prosesleri ile artabilir yada azalabilir. Bir bölgedeki ozon dinamiklerini çözümleyebilmek için günlük değişimlerini iyi analiz etmek gerekir. Günlük değişimler göz önüne alındığında, gündüz ile gece zaman dilimleri arasında büyük farklılıklar olabilir. Azot oksidin etkisi altında meydana gelen kimyasal azalma ve bozulma prosesleri ozon konsantrasyonların gece periyodunda yavaşça azalmasına neden olmaktadır. Fakat ozon seviyeleri güneşin doğuşuyla birlikte artan radyasyon ve sıcaklık etkisiyle yükselmeye başlar. Bu neden gündeğümü günlük ozon değişimi trendinin dönüm noktasıdır.

Fotokimyasal aktiviteler, taşınım prosesleri, sınır tabakanın gündüz ve gece değişimleri kırsal bölgelerdeki ozonun günlük değişimini etkileyen ana etmenlerdir. Bir bölgedeki ozon seviyeleri araştırılırken ozon öncüllerinin (NO , NO_2 , NO_x) de göz önüne alınması gerekir. Ayrıca, oksidanlar (OX) NO_2 ve O_3 un toplamından oluşur ve bir bölgedeki ozon seviyelerine lokal yada bölgesel katkıları gösteren iyi bir indikatördür. Lapseki hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO , NO_2 , NO_x , O_3 ve OX ($\text{NO}_2 + \text{O}_3$) un ortalama günlük değişimlerini gösteren Şekil 3'te verilmektedir. Azot oksitler genellikle düşük ve gün boyunca sabit olduğu gözlenmektedir. Lapseki'de ölçülen ozon seviyeleri sabah saatlerinde düşükken, öğleden sonra özellikleri de 15:00-17:00 arasında tepe değerlere ulaşmaktadır. Oksidanlarda ozon ile benzer bir eğilim izlemektedir. Öğleden sonraki saatlerde yüksek ozon ve oksidan değerlerinin görülmesinin sebebi; yüksek güneş radyasyonu, hava kütlelerinin yatay taşınımları ve dikey karışımlar.

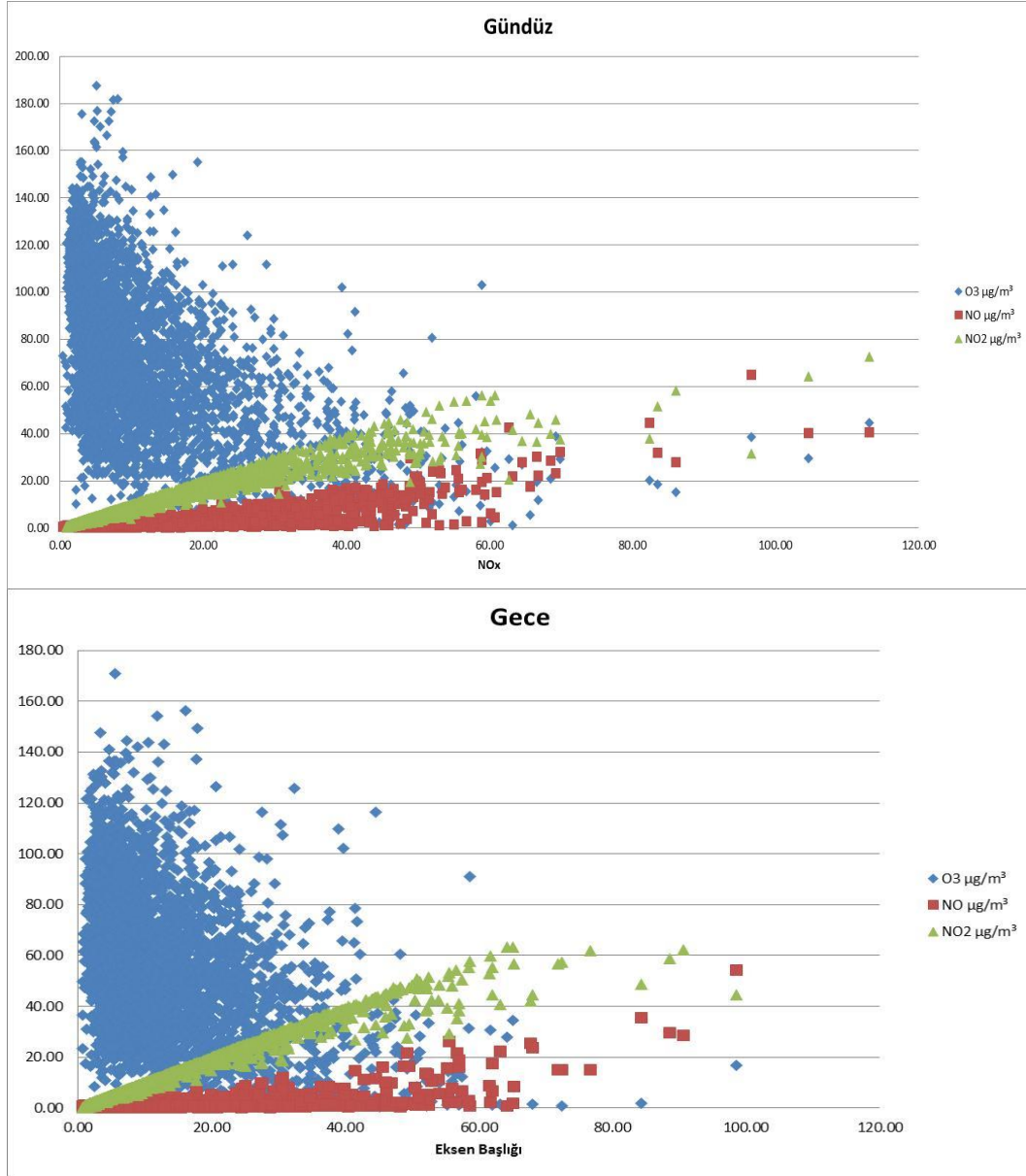


Şekil 3. NO , NO_2 , NO_x , O_3 ve OX ($\text{NO}_2 + \text{O}_3$) değerlerinin gün içerisindeki değişimleri

Şekil 4; NO , NO_2 ve O_3 ün NO_x ' e karşı dağılım grafiğini gündüz (08:00-19:00) ve gece (20:00-07:00) zaman dilimleri için gösterir. Lapseki'de NO_2 yüksek NO_x seviyelerinde

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

baskındır. Bu durum genellikle kırsal bölgelerde gözlemlenen bir durumdur (Notario vd., 2012). Şekilde gösterildiği üzere düşük NO_x seviyelerinde ise O_3 konsantrasyonları genellikle yüksektir. Her iki zaman periyodunda da NO , NO_2 ve O_3 ile NO_x benzer dağılım içerisinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ozon seviyeleri NO_x değerlerinin artmasıyla düşüş gösterirken; NO ve NO_2 değerleri ise artış göstermektedir.



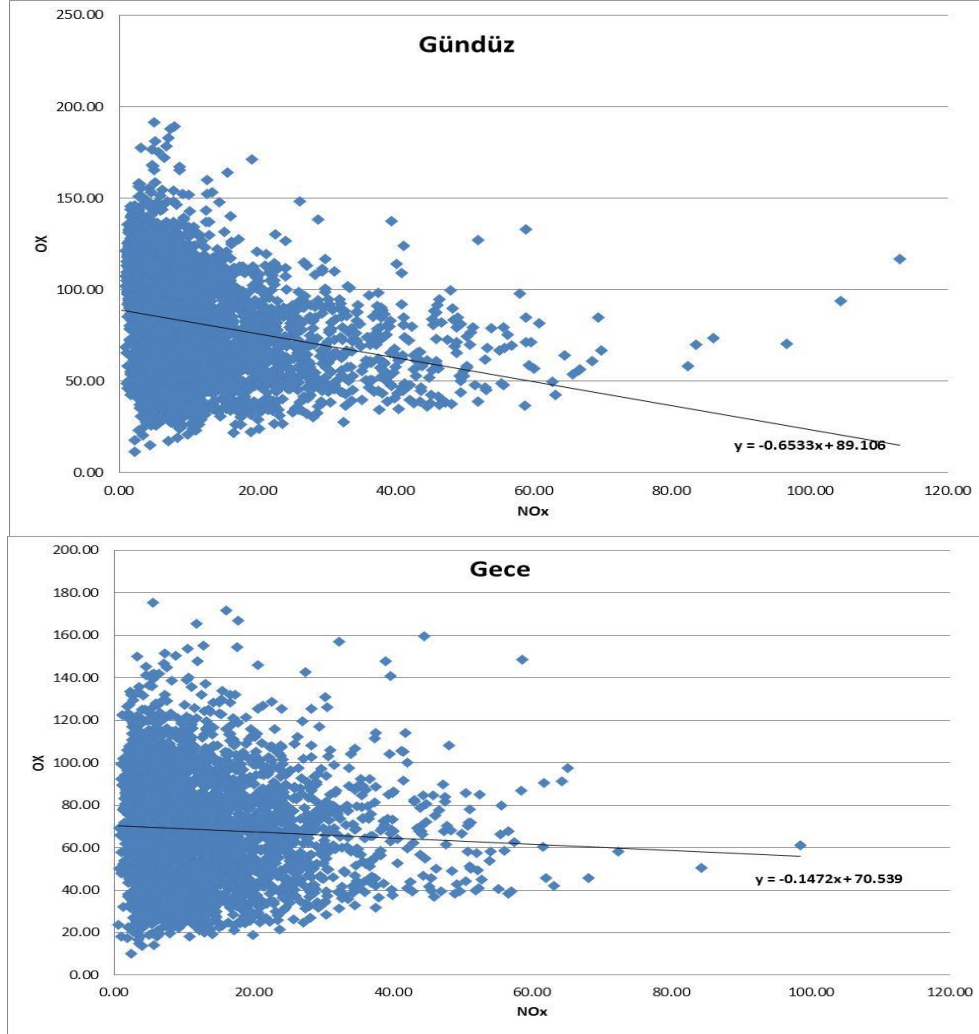
Şekil 4. NO , NO_2 ve O_3 değerlerinin NO_x konsantrasyonlarına karşı dağılımı

Şekil 5'te; ise Lapseki'deki OX değerlerinin gündüz ve gece zaman dilimleri içerisinde NO_x konsantrasyonlarına göre değişimleri gösterilmektedir. Bu şekil bir bölgedeki oksidan seviyelerine NO_x bağımlı bir katkının yada NO_x den bağımsız bir katkının olduğunu göstermeye yardım eder. OX in NO_x e karşı dağılımı ile elde edilen eğilim çizgisinin pozitif bölümü NO_x a bağımlı bir katkının olduğu ve lokal kaynakların baskın olduğunu ifade eder.

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

Eğilim çizgisinin negatif tarafı ise NO_x dan bağımsız bir katkının olduğu ve bölgesel kirleticilerin oksidan seviyeleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada OX değerlerinin NO_x konsantrasyonları karşısında doğrusal olarak düştüğüne ve negatif bir eğilim gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Regresyon doğrusu gündüz zaman dilimi için $y = -0,6533x + 89,106$ ve gece zaman dilimi için: $y = -0,1472x + 70,539$ dir. Bu sonuçlar ışığında Lapseki'deki oksidan seviyelerine trafik ve evsel ısınma gibi lokal kirlilik kaynaklarına nazaran bölgesel kirleticilerin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



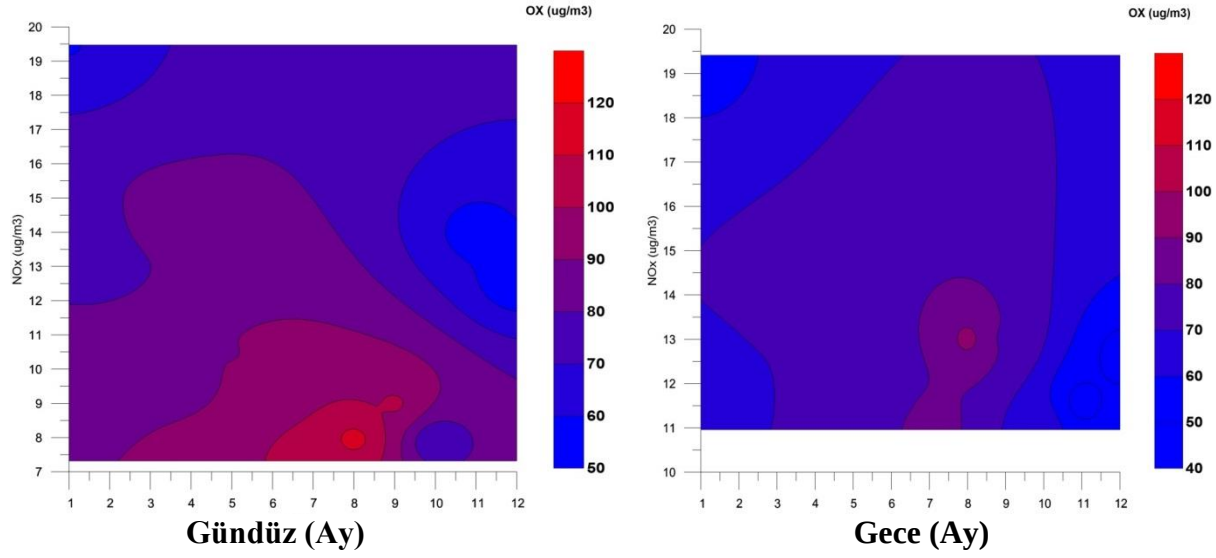
Şekil 5. OX değerlerinin NO_x konsantrasyonları karşısında dağılımı

Lapseki'de hesaplanan saatlik OX seviyeleri ve ölçülen saatlik NO_x değerleri kullanılarak gündüz ve gece zaman dilimleri için yüzey grafikleri Şekil 6' da çizilmiştir. Lapseki'de maksimum oksidan değerleri ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) NO_x seviyelerinin $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu yaz aylarında görülmektedir. Bu oksidanların daha üst katmanlarda sıkışan ozonun taşınımından meydana geldiğini gösterebilir (Notario vd., 2013).

Hava kütlelerinin ileri ve geri yörüngelerini hesaplamak için ise çoğunlukla HYSPLIT modeli tercih edilmektedir. Çalışmalarda elde edilen yüksek ozon konsantrasyonlarının kaynağını

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

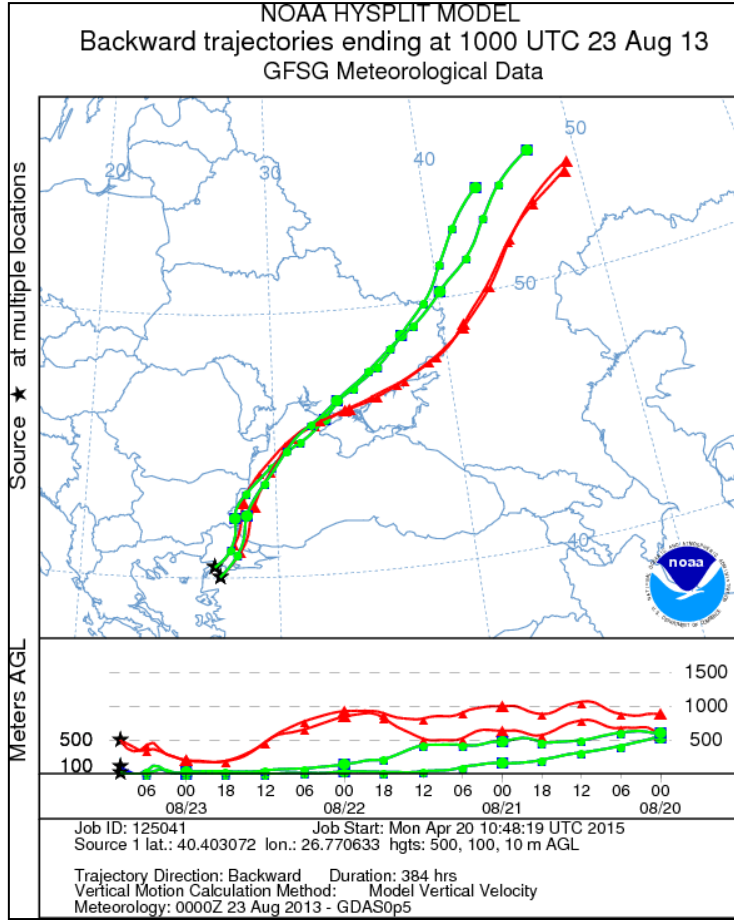
tespit etmek amacıyla HYSPLIT modellerini kullanmışlar ve geri yörünge hareketleri ile taşınımlarını tespit etmişlerdir (Freiwan ve İncecik, 2006; Burley vd., 2014; İm vd., 2013). Çalışma alanı içerisinde en yüksek ozon seviyelerinin görüldüğü 07-23/08/2013 tarihi arasındaki geri yörünge simülasyonlarının tahmini için HYSPLIT modeli koşturulmuştur. Bu epizot içerisinde Lapseki'deki ozon seviyeleri ortalama $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken Çan da ise $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tür. Yüksek ozon seviyelerinin gözlemlendiği bu epizotta hava hareketlerinin kuzeyden başka bir deyişle İstanbul üzerinden geldiği belirlenmiştir (Şekil 7).



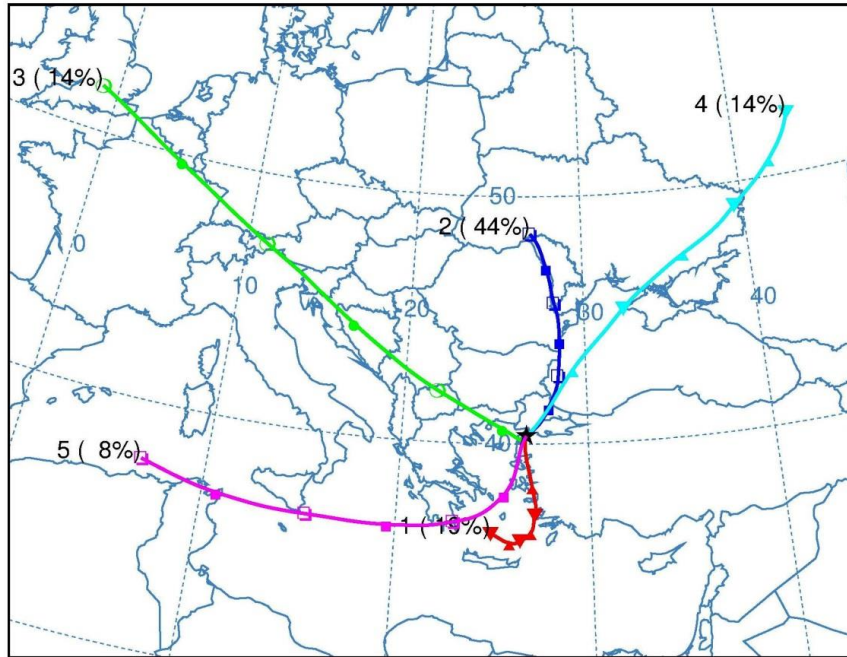
Şekil 6. Günlük ortalama OX ve NOx değerlerinin yüzey grafiği

Çalışma alanına ulaşan hava parsellerinin 2013 ve 2014 yılları boyunca hangi rotaları izlediğini bulabilmek için HYSPLIT geri yörünge modeli 500 m başlangıç yüksekliği için çalıştırılmıştır. 72 saatlik period ölçeğinde elde edilen 718 adet günlük simülasyonları küme analizi yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Geri yörünge hareketli 5 farklı küme sınıfına ayrılmıştır. Elde edilen kümeleme analizi sonuçlarına göre 2013 ve 2014 yılları arasında çalışma alanındaki hava parsellerinin %44 u İstanbul ve Trakya bölgesi üzerinden hareket etmektedir. Bu hava hareketlerinin gözlemlendiği günlerdeki ozon seviyeleri ortalama saatlik $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Hava hareketlerinin %19 unun kaynağı ise çalışma alanının güneyinde yer alan İzmir ve civarıdır. Hava hareketlerinin %28 i eşit oranlarda kuzey Avrupa ve Rusya üzerinden kaynaklanmaktadır. Çalışma alanına ulaşan hava parsellerinin %72 sinin kuzey kökenli olduğu hesaplanmıştır. Ortalama saatlik en yüksek ozon seviyelerinin ($78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlendiği günlerdeki hava hareketlerinin Rusya üzerinden (4. Rota) geldiği belirlenmiştir. En düşük ozon seviyelerinin olduğu günlerde ise hava hareketlerinin kaynağı bölgenin güneyi olan 1. Rota güzergahıdır. 2013-2014 yılları için gerçekleştirilen kümeleme analizi sonuçları Şekil 8'de, ozon seviyeleri ile karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

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



Şekil 7. HYSPLIT modeli ile elde edilen geri yörünge simülasyonları



Şekil 8. 2013-2014 yılları için gerçekleştirilen kümeleme analizi sonuçları

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

Tablo 1. 2013-2014 yılları için gerçekleştirilen kümeleme analizi sonuçlarının ozon seviyeleri ile karşılaştırılması

	Rotalar				
	1	2	3	4	5
Gerçekleşme %	19%	44%	14%	14%	8%
Ort. Ozon Seviyeleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	54	77	75	78	67
Mak. Ozon Seviyeleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	98	131	141	129	99
Min. Ozon Seviyeleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13	25	26	19	19
Standart Sapma	22	23	19	25	17

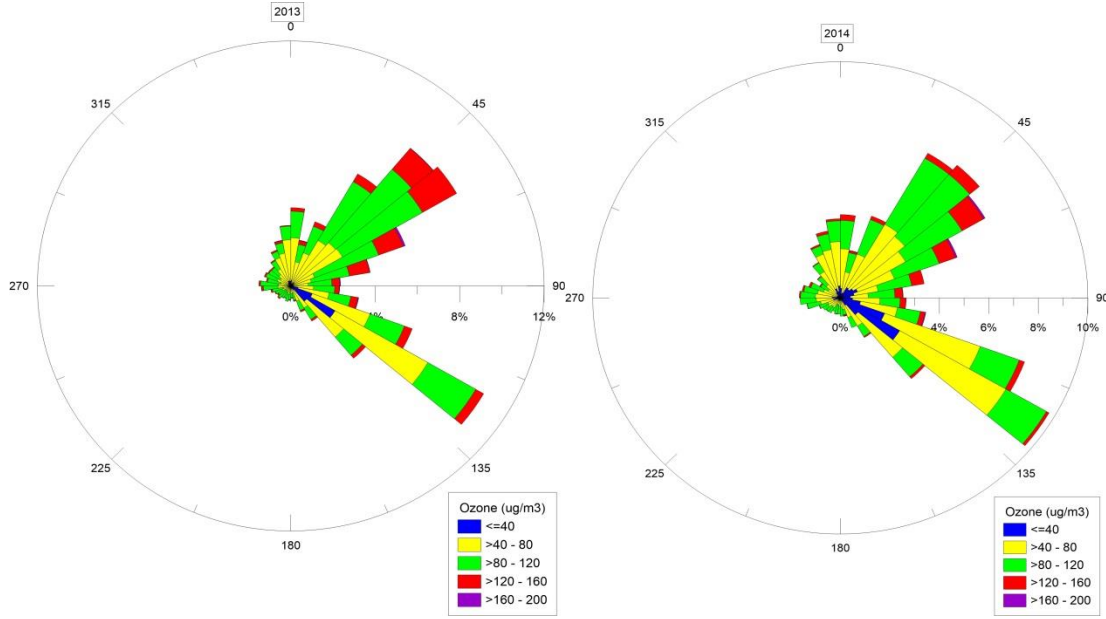
3.2. Ozon seviyelerinin meteorolojik koşullarla irdelenmesi

Meteorolojik koşullar troposferik ozonun oluşumunda ve taşınmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle çökme inversiyonu, hafif rüzgar, yüksek sıcaklık ve radyasyon yüksek ozon konsantrasyonlarının oluşmasında ve birikmesindeki önemli ihtiyaçlardır (Duenas et. al, 2002). Bu çalışmada, hava koşullarının yüksek ozon değerlerine katkılarının anlaşılması amacıyla bazı meteorolojik parametreler ozon ölçümü değerleri ile karşılaştırılmıştır. Saatlik meteorolojik veriler Devler Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne ait Biga Meteoroloji İstasyonundan elde edilmiştir. Seçilen meteorolojik veriler; sıcaklık, bağıl nem, rüzgar yönü ve rüzgar hızıdır. Ozon seviyelerinin meteorolojik koşullar ile korelasyonu sonucunda elde edilen Pearson (r_p) ve Spearman (r_s) değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Tabloya göre ozon seviyelerinin sıcaklıkla arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Ancak rüzgar hızı ile çok yüksek bir uyumluluk yakaladığı söylemek mümkün değildir. Bunun nedeni olarak rüzgar hızının kirleticileri seyrelmesinde, dağılımında ve taşınımındaki önemli etkisi olabilir. Bunların yanı sıra ozon konsantrasyonları ile bağıl nem değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bağıl nem ve sıcaklık arasında da ters orantı vardır ki; sıcaklık arttıkça bağıl nem azalır. Bu durum yüksek ozon konsantrasyonlarının yüksek sıcaklıklarda ve düşük bağıl nem değerlerinde görüldüğünü ifade eder.

Tablo 2. Bölgedeki ozon seviyelerinin meteorolojik faktörler ile ilişkisi

	Rüzgar Hızı		Sıcaklık		Bağıl Nem	
	r_p	r_s	r_p	r_s	r_p	r_s
2013	0,40	0,40	0,58	0,51	-0,47	-0,47
2014	0,32	0,40	0,54	0,60	-0,49	-0,47

Hava kütlelerinin hareketlerinin ozon seviyelerine etkileri saatlik rüzgar verileri kullanılarak incelenmiş ve ozon gülleri çizilmiştir (Şekil 9). Bölgede genellikle $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den yüksek olan ozon konsantrasyonları rüzgarların NE yönlü olduğu saatlerde ölçülmektedir.



Şekil 9. 2013 ve 2014 yıllarına ait ozon gülleri

3.3. Potansiyel fitotoksik etkisi - Bitki ve ormanlar için AOT40 değerlendirmesi

Fitotoksik bir kirlenici olarak tanımlanan troposferik ozon bitki ve insan sağlığı üzerinde akut ve kronik etkilere sahiptir. Özellikle yüksek ozon seviyeleri tarımsal ürünlerde ve ormanlarda kronik problemlere yol açmaktadır. Bitkinin gelişme ve büyümesini devam ettirebilmek için gerçekleştirdiği fotosentez sırasında gözeneklerinden içeriye troposferik ozonunda girişi olmaktadır. Ozonun bitki ve ormana etkilerinin belirlenebilmesi için birçok yöntem mevcuttur. AOT40 Avrupa Birliği Temiz Hava Direktifinde ve Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde belirtilen bir kavram olup; ozon kirliliğinin bitki ve orman alanlarına etkilerinin tahmini açısından saatlik ozon ölçümleri kullanılarak hesaplanır. AOT40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$), her gün, Merkezi Avrupa Saat Dilimi 8:00 ve 20:00 arasında ölçülen sadece 1 saatlik değerler kullanılarak belirli bir zaman dilimi sonunda, $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den daha büyük saatlik konsantrasyonlar arasındaki farkın toplamı demektir (HKDYY, 2008). Bitki hayatına etkisi araştırırken 1 Mayıs-31 Temmuz tarihleri arasındaki günler hesaplanırken; orman alanlarında ise 1 Nisan-30 Eylül arası göz önüne alınır. Her ne kadar AOT değerlendirmesi ile ilgili eleştiriler olsa da, Avrupa Birliğinde hala ozonun bitki ve ormanlar üzerindeki tehdidini ifade eden en iyi göstergedir.

Bu çalışmada AOT40 değerleri Lapseki ve Çan istasyonlarından elde edilen saatlik ozon konsantrasyonları kullanılarak 2013 ve 2014 yılları için hesaplanmıştır. Her iki istasyonda da 2013 ve 2014 yılı için hesaplanan AOT40 değerleri bitkilerin korunması için kritik olan $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ değerinin çok üstündedir. İki noktadaki ozon seviyelerinin orman alanlarına etkileri değerlendirildiğinde hedef değer olan $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ in 2 katından daha fazla AOT40 değerlerinin olduğu belirlenmiştir. Bitkilerin ve orman alanlarına etkilerin belirlenmesi amacıyla Lapseki ve Çan için hesaplanan AOT40 değerleri Tablo 3' de verilmektedir. Tablo sonuçları ozonun bölgedeki bitki yaşamı ve ormanlar üzerinde zarar verici boyutta bir etkisinin olabileceğini göstermektedir.

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

Tablo 3. Bölge için hesaplanmış AOT40 değerleri ve sınır değerler

İstasyon/ Yıl	İnsan sağlığının korunması için			Bitki sağlığının korunması için			Ormanların korunması için	
	Aşım sayısı	Hedef değer	Uzun vadeli hedef	AOT40 değeri	Hedef değer	Uzun vadeli hedef	AOT40 değeri	Hedef heğer
Lapseki/ 2013	41	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	34241 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	61798 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$
Lapseki/ 2014	40	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20866 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	43843 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$
Çan/2013	65	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29878 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	51471 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$
Çan/2014	66	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29939 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	52041 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$

* 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri üç yıllık ortalama alındığında bir yılda 25 günden daha fazla süre boyunca aşılmayacaktır

Ayrıca HKDYY inde ifade edilen insan sağlığının korunması amacıyla 2022 yılı için hedef değeri “120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerinin üç yıllık ortalama alındığında bir yılda 25 günden daha fazla süre boyunca aşmamasıdır”. Lapseki ve Çan’daki ozon ölçümleri bu hedef değeri ışığında incelendiğinde Lapseki de ortalama bir yılda 41 ve Çan da ise 66 kez geçildiği hesaplanmıştır. Sonuçlar bölgedeki ozon seviyelerinin insan sağlığı açısından da önemli bir tehdit olduğunu ifade etmektedir.

4. DEĞERLENDİRMELER

Türkiye’de hava kirliliği alanında genellikle sanayinin yoğun olduğu bölgelere ait hava kalitesi izleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kaynak çeşitliliğinin fazla olduğu ve kirlletici yüklerinin yoğun olduğu sanayi ile yerleşim alanlarında hava kalitesi tespit çalışmaları, mevcut durumun saptanıp iyileştirilmesine yönelik çözümlerin üretilmesinde fayda sağlamaktadır. Ancak lokal kaynakların dışında uzun mesafeli atmosferik taşınım sonucunda atmosfere bırakıldığında kalıcı özellik gösteren veya atmosferde başka türlere dönüşebilen kirlleticilerin rahatlıkla taşınabildiği ve yayıldıkları ortamlardan yüzlerce kilometre uzaklıktaki bölgelere ulaşarak alıcılara etki ettiği de belirlenmiştir. Bu nedenle henüz sanayi sektörünün yoğunluk taşımadığı ve düzensiz kentleşmenin de olmadığı kırsal alanlarda gerçekleştirilecek hava kalitesi yönetimi, uzun mesafeli atmosferik taşınımın etkisinin belirlenmesi için en uygun yaklaşımlardan biridir. Bu çalışmada kırsal bir alan olarak tanımlanan Biga Yarımadasının kuzey-batı kısmında bölgedeki ozon miktarının hava kalitesi ölçümleriyle belirleyerek ozonun zamansal ve mekansal değişimleri irdelenmiştir. Yıllık ortalama değerleri 48-117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında oldukları belirlenen ozon konsantrasyonları yaz aylarında kışa nazaran daha yüksek seviyelerdedir. Ölçülen ozon seviyeleri mekansal olarak incelendiğinde ise bölgedeki yüksek ozon konsantrasyonlarına genellikle dağlık bölgelerde rastlanmaktadır. Ozon değerlerinin gün içerisindeki değişimleri incelendiğinde ise en yüksek seviyelere saat 15:00-17:00 arasında ulaşılmaktadır.

Çalışma alanında ölçülen NO_x değerleri O_3 ile karşılaştırıldığında ters bir orana sahip olduğu gözlenmektedir. Düşük NO_x seviyelerinde, O_3 konsantrasyonları genellikle yüksektir. Ayrıca

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

bölgedeki oksidan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin NO_x konsantrasyonları karşısında doğrusal olarak düştüğüne ve negatif bir eğilim gösterdiğine ulaşılmıştır. Bu eğilim sonucunda Lapseki'deki oksidan seviyelerine trafik ve evsel ısınma gibi lokal kirlilik kaynaklarına nazaran bölgesel kirleticilerin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bölgesel etkilerin kaynağının belirlenmesi amacıyla çalışma alanı içerisinde en yüksek ozon seviyelerinin görüldüğü 07-23/08/2013 tarihleri arasındaki geri yörünge simülasyonlarının tahmini için HYSPLIT modeli koşturulmuştur. Yüksek ozon seviyelerinin gözlemlendiği bu epizotta hava hareketlerinin İstanbul ve Trakya bölgesi üzerinden taşındığı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen kümeleme analizi sonuçlarına göre de 2013 ve 2014 yılları arasında çalışma alanındaki hava parsellerinin %44 u İstanbul ve Trakya bölgesi üzerinden hareket etmektedir. Çalışma alanına bu yıllar içerisinde ulaşan hava parsellerinin %72 sinin kuzey kökenli olduğu hesaplanmıştır. Ortalama saatlik en yüksek ozon seviyelerinin ($78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlendiği günlerdeki hava hareketlerinin Rusya üzerinden geldiği belirlenmiştir. En düşük ozon seviyelerinin olduğu günlerde ise hava hareketlerinin kaynağı ise bölgenin güneyidir.

Bölgedeki hakim meteorolojik koşullar ölçülen ozon konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır. O seviyelerinin sıcaklıkla arasında iyi bir uyum olduğu görülürken; rüzgar hızı ile çok yüksek bir uyumluluk yakaladığını söylemek mümkün değildir. Bölge için ozon gülleri çizilerek; $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den yüksek olan ozon konsantrasyonlarının rüzgarların NE yönlü olduğu saatlerde görüldüğü tespit edilmiştir. Bölgede saatlik ozon ölçümü yapılan Lapseki ve Çan istasyonlarındaki verilerden faydalanılarak; AOT 40 değerleri hesaplanmış, troposferik ozonun bitki sağlığına ve ormanlara etkileri irdelenmiştir. Hesaplanan AOT40 değerlerinin sınırların çok üzerinde olduğu ve çalışma alanındaki ozonun bitki yaşamı ve ormanlar üzerinde zarar verici boyutta bir etkisinin olabileceği sonucuna varılmıştır. Lapseki ve Çan'daki saatlik ozon seviyelerinin $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olan hedef değeri sırasıyla 41 ve 66 kez geçtiği gözlenmiştir. Sonuçlar bölgedeki ozon seviyelerinin insan sağlığı açısından da önemli bir tehdit olduğunu ifade etmektedir.

KAYNAKLAR

Avnery,S., Denise L. Mauzerall, Junfeng Liu, Larry W. Horowitz, 2011. Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 2. Year 2030 potential crop production losses and economic damage under two scenarios of O₃ pollution. *Atmospheric Environment*, 45, 2297-2309

Barnes, J.D., Reiling, K., Davison, A.W., Ranner, C.J., 1988. Interaction between ozone and winter stress. *Environmental Pollution*,53, 235-254

Bayçu, G., 1997. Effects of Acidic Precipitation on the Coniferous Species of Kaz Mountains in Biga Peninsula, Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales, Environmental Research Forum Vols. 7-8, 525-529, Edit. S.İncecik, E.Ekinci, F.Yardımlı, A.Bayram. Trans tech

Bora B., 1999. *Acid rains and their effects over the land cover in Çanakkale province*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Booker, F.L., R Muntifering, M McGrath, KO Burkey, D Decoteau, EL Fiscus, W Manning, S Krupa, A Chappelka, DA Grantz, 2009. The ozone component of global change: potential

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

effects on agricultural and horticultural plant yield, product quality and interactions with invasive species. *Journal of Integrative Plant Biology*, 51, 337-351.

Brace, S., Peterson, D., 1998. Spatial patterns of tropospheric ozone in the mount rainier region of the cascade mountains, USA, *Atmospheric Environment*, 32, 21, 3629-3637.

Burley, J. D. Bytnerowicz, A., Ray, J.D., Schilling, S., Allen, E., 2014. Surface ozone in Joshua Tree National Park. *Atmospheric Environment*, 87, 95-107.

Carmichael, G.R., Ferm, M., Thongboonchoo, N., Woo, J.H., 2003. Measurements of sulfur dioxide, ozone and ammonia concentrations in Asia, Africa, and South America using passive samplers, *Atmos Environ*, 37, 1293-308.

Chevalier, A., Gheusi, F. ve Delmas, R., 2007. Influence of altitude on ozone levels and variability in the lower troposphere: a ground-based study for western Europe over the period 2001-2004. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 4311-4326.

Cruz, L.P.S., Campos, V.P., Silva, A.M.C., Tavares, T.M., 2004. A field evaluation of a SO₂ passive sampler in tropical industrial and urban air, *Atmos. Environ*, 38, 6425-6429.

Debaje S.B.,A.D. Kakade, 2006, Weekend ozone effect over rural and urban site in India, *Aerosol and Air Quality Research*, 6, 322-333.

Diaz-De-Quijano, M., Penuelas, J., Ribas, A., 2009. Increasing interannual and altitudinal ozone mixing ratios in the Catalan Pyrenees. *Atmospheric Environment*, 43, 6049-6057.

Duenas, C., Fernandez, M.C., Canete, S., Carretero, J., Liger, E., 2002. Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean Coast. *The Science of the Total Environment*, 299, 97-113.

Duenas.C, M.C. Fernandez S.Canete, J.Carretero, E.Liger, 2004. Analyses of ozone in urban and rural sites in Malaga (Spain). *Chemosphere*, 56, 631-639

Dumanoglu, Y., Kara, M., Altiok, H., Odabasi, M., Elbir, T., Bayram, A., 2014. Spatial and seasonal variation and source apportionment of volatile organic compounds (VOCs) in a heavily industrialized region. *Atmospheric Environment*, 98, 168-178.

Dumanoğlu, Y., 2010. *Study on Atmospheric Ozone Levels in Izmir*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

EEA, 2013 Air Quality in Europe, 2013, Report. European Environment Agency, Report No 9/2013, Copenhagen, Denmark, pp. 107.

Freiwan, M., İncecik, S., 2006. Avrupa hava kirlleticilerinin Doğu Akdeniz bölgesine taşınımının modellenmesi. *İTÜ Dergisi D: Mühendislik*, Cilt:5, Sayı:3, Kısım:2, 255-266.

HKDYY, 2008. Hava Kalitesi Denetimi ve Yönetimi Yönetmeliği

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

Im, U., Incecik, S., Guler, M., Tek, A., Topcu, S., Unal, Y. S., Yenigun, O., Kindap, T., Odman, M. T., Tayanc, M., 2013. Analysis of surface ozone and nitrogen oxides at urban, semi-rural and rural sites in Istanbul, Turkey. *Science of The Total Environment*, 443, 920-931.

Incecik, S ve Thomson D.W. 1995. Surface ozone at a rural site in the Nittany Valley, PA in peer reviewed *Transactions of Air & Waste Management Association*, 59-75.

İm U., Kindap T., Ünal A., Tek A., Topçu, S., Yenigün O., Incecik S., 2008. İstanbul'da Şehirselsel, Yarı-şehirselsel ve Kırsal Bölgelerdeki Ozon Seviyelerinin Değişimi. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, 22-25 Ekim 2008, Hatay, 375-383.

Incecik S. 2009. TÜBİTAK Projesi (2008-2010), TUBITAK COST 105Y005 Karmaşık meteorolojik alanların simülasyonları ile şehir ve bölgesel ölçekte hava kirliliğinin değerlendirilmesi: İstanbul ve Kocaeli Körfez örneği.

Kanakidou, M., Mihalopoulos, N., Kindap, T., Im, U., Vrekoussis, M., Gerasopoulos, E., Dermizaki, E., Unal, A., Koçak, M., Markakis, K., Melas, D., Kouvarakis, G., Youssef, A. F., Richter, A., Hatzianastassiou, N., Hilboll, A., Ebojie, F., Wittrock, F., von Savigny, C., Burrows, J. P., LadstaetterWeissenmayer, A., Moubasher, H., 2011. Megacities as hot spots of air pollution in the East Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 45, 1223-1235.

Kantarıcı, D., 2001. The Effect of Air Pollution on Forests in Biga Peninsula, *Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE)*, 4, 806-818.

Kantarıcı, D., 2011. Vertical climate zones in Biga peninsula: The impact of climate change and air pollution on forests, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 797-810.

Karademir, A., 2006. Evaluation of the potential air pollution from fuel combustion in industrial boilers in Kocaeli, Turkey. *Fuel*, 85, 1894-1903.

Karaöz, M.Ö., 1997. Sulphur concentrations of Forest Tree Leaves on Mountainous Area of Biga Peninsula in Turkey. *Air Quality Management a Urban, Regional and Global Scales Environmental Research Forum*, vol.7-8, 530-535. Edit. S.Incecik, E.Ekinci, F.Yardımlı, A. Bayram. Trans Tech Publications Switzerland.

Kindap, T., Unal, A., Chen, S. H., Hu, Y., Odman, M. T., Karaca, M., 2006. Long- range aerosol transport from Europe to Istanbul, Turkey. *Atmospheric Environment*, 40, 3536-3547.

Krupa, S.V., Nosal, M., Legge, A.H., 1998. A numerical analysis of the combined opentop chamber data from the USA and Europe on ambient ozone and negative crop responses. *Environmental Pollution*, 101, 157-160.

Krupa, S. V., Legge, A. H., 2000. Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from ecological perspective, *Environ Pollut*, 107, 31-45.

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

- Kume, K., Ohura, T., Amagai, T., Fusaya, M., 2008. Field monitoring of volatile organic compounds using passive air samplers in an industrial city in Japan, *Environmental Pollution*, 153, 3, 649-657.
- Liu, S.C., Trainer, M., Fehsenfeld, F.C., Parriss, D.D., Williams, E.J., Fahey, D.W., Hobler, G., Murphy, P.C., 1987. Ozone Production in the Rural Troposphere and the Implications for Regional and Global Ozone Distributions. *Journal of Geophysical Research*, 92, 4191-4207
- Manning, W.J., Godzik, B., Musselman, R., 2002. Potential bioindicator plant species for ambient ozone in forested mountain areas of central Europe. *Environmental Pollution*, 119, 283-290.
- Massman, W.J., 1998. A review of the molecular diffusivities of H₂O, CO₂, CH₄, CO, O₃, SO₂, NH₃, N₂O, NO and NO₂ in air, O₂ and N₂ near STP, *Atmos Environ*, 32, 1111-1127.
- Molina, M.J., Molina, L.T., 2004. Megacities and atmospheric pollution. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 54, 644-680.
- Monks, P., 2000. A review of the observations and origins of the spring ozone maximum, *Atmospheric Environment*, 34, 21, 3545-3561.
- Morgan, P.B., Mies, T.A., Bollero, G.A., Nelson, R.L., Long, S.P., 2006. Season-long elevation of ozone concentration to projected 2050 levels under fully open-air conditions substantially decreases the growth and production of soybean. *New Phytologist*, 170, 333-343.
- Notario, A., Bravo, I., Adame, J.A., Díaz-de-Mera, Y., Aranda, A., Rodríguez, A., Rodríguez, D., 2012. Analysis of NO, NO₂, NO_x, O₃ and oxidant (OX = O₃ + NO₂) levels measured in a metropolitan area in the southwest of Iberian Peninsula. *Atmos. Res*, 104, 217-226.
- Notario, A., Bravo, I., Adame, J.A., Díaz-de-Mera, Y., Aranda, A., Rodríguez, A., Rodríguez, D., 2013. Variability of oxidants, and preliminary study on ambient levels of ultrafine particles and VOCs, in an important ecological area in Spain. *Atmospheric Research*, 128, 35-45.
- Özden, Ö., Döğeroğlu, T., Kara, S., 2008. Assessment of ambient air quality in Eskişehir, Turkey. *Environment International*, 34, 678-687.
- Paoletti, E., 2009. Ozone and urban forests in Italy. *Environmental Pollution*, 157, 1506-1512.
- Paoletti, E., De Marco, A., Beddows, C. S., Harrison, R. M., Manning, W. J., 2014. Ozone levels in European and USA cities are increasing more than at rural sites, while peak values are decreasing. *Environmental Pollution*, 192, 295-299.
- Pehnec, G., Vadjic, V., Hrsak, J., 2005. Measurements of ozone concentrations in Zagreb. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105, 165-174.
- Puxbaum, H., Gabler, K., Smidt, S., Glattes, F., 1991. A one-year record of ozone profiles in an Alpine valley (Zillertal/Tyrol, Austria, 600-2000 m a.s.l.). *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 25, 9, 1759-1765

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

- Ribas, A., Peñuelas, J. 2004. Temporal patterns of surface ozone levels in different habitats of the North Western Mediterranean basin, *Atmospheric Environment*, 38, 7, 985-992.
- Saborit, J.M.D., Cano, V.J.E., 2007. Field comparison of passive samplers versus UV-photometric analyser to measure surface ozone in a Mediterranean area, *Journal of Environmental Monitoring*, 9, 610-615.
- Sandroni, S., Bacci, P., Boffa, G., Pellegrini, U., Ventura, A., 1994. Tropospheric ozone in the pre-alpine and alpine regions. *Science of The Total Environment*, 156, 2, 169-182.
- Sillman S., 1999, The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. *Atmospheric Environment*, 33, 1821-1845.
- Stasiuk, W.N. Jr. & Coffey, P.E., 1974. Rural and urban ozone relationships in New York State. *Journal Air Pollution Control Assoc.* 24, 564-568.
- Topcu, S. ve İncecik, S., 2002. Surface ozone measurements and meteorological influences in the urban atmosphere of Istanbul. *Int. Journal of Environment and Pollution* 17, 4, 390-404.
- Tozsın, G., 2003. *Yer seviyesi ozon kirliliğine neden olan parametrelerin İstanbul ili için incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Vardoulakis, S., Lumberras, J., Solazzo, E., 2009. Comparative evaluation of nitrogen oxides and ozone passive diffusion tubes for exposure studies. *Atmos Environ*, 43, 2509–2517.
- Wang, N., Guo, H., Jiang, F., Ling, Z.H., Wang, T., 2015. Simulation of ozone formation at different elevations in mountainous area of Hong Kong using WRF-CMAQ model. *Science of The Total Environment*, 505, 939-951. (article in press)
- Wunderli, S., Gehrig, R., 1991. Influence of temperature of formation and stability of surface PAN and ozone. A two year field study in Switzerland. *Atmospheric Environment*. Part A. General Topics, 25, 8, 1599-1608.
- Yay, O.D., 2006. *Eskişehir ve Yakın Çevresinde Yüzey Ozon Dağılımının MM5-CAMX Modelleri Kullanılarak Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Yurdakul, S., Civan, M., Tuncel, G., 2013. Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: Sources and variability. *Atmospheric Research*, 120-121, 298-311.
- Yuska, D.E., Skelly, J.M., Ferdinand, J.A., Stevenson, R.E., Savage, J.E., Mulik, J.D., Hines, A., 2003. Use of bioindicators and passive sampling devices to evaluate ambient ozone concentrations in north central Pennsylvania. *Environmental Pollution*, 125, 1, 71-80.