

MARMARA BÖLGESİ'NİN KIRSAL VE KENTSEL BÖLGELERİNDE O₃, NO VE NO₂ KONSANTRASYONLARININ ALANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

Sabin KASPAROĞLU ^{1(*)}, Selahattin İNCECİK ¹, H. Sema TOPCU¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak-İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada Türkiye ekonomisinin ve endüstrisinin en önemli bölgesi olan ve Türkiye tarımının %12 sini oluşturan Marmara Bölgesinde gerek insan sağlığı ve gerekse de ekosisteme etkilerini anlamak üzere ozon ve ozon öncülleri ilk kez incelenmiştir. Bu amaçla Mart 2013'den bu yana T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Marmara Temiz Hava Merkezi tarafından ölçülmeye başlanılan saatlik O₃, NO ve NO₂ konsantrasyonlarının alansal ve zamansal değişimleri Mart 2013-Mart 2016 tarihleri arasında 7 adet kırsal ve 15 adet kentsel alanlarına ait ölçümleri kullanılarak araştırılmıştır. Marmara Bölgesi'nin sahip olduğu yüzey topografyası, nüfusu ve endüstriyel özellikleri basta olmak üzere meteorolojik şartların da göz önüne alınmasıyla saatlik O₃, NO ve NO₂ konsantrasyonlarının davranışları kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Çalışmada Marmara Bölgesi'nin çeşitli alanlarında yer seviyesindeki ozonun ve ozon öncüllerinin davranış biçimini anlamak ve bu alandaki bilgiyi arttırmak amacıyla, kentsel ve kırsal kesimlerde ölçülen yüzey ozonunun NO ve NO₂ öncüllerinin mevsimsel, aylık ve günlük değişimleri, hafta içi ve hafta sonu değişimleri incelenmiştir. Yüksek kırsal ozon seviyeleri üzerinde taşınma etkisi entegre bir yörünge modeli ile incelenmiştir. Kırsal bölgelerde taşınım ile ulaşan hava parsellerinin yörüngelerini ve taşınan ozon öncül kaynaklarını belirlemek üzere Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Modeli (HYSPLIT) modeli kullanılmıştır.

Marmara Bölgesinin hem kırsal ve hem de şehir ortamlarında ozon konsantrasyonlarının en yüksek değerlerine yaz mevsiminde ulaşıldığı, bunu ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinin izlediği görülmüştür. Bölgede en yüksek ozon seviyeleri Yalova ve Şile kırsal istasyonlarında belirlenirken ozon mevsimi olarak tanımlanan (Nisan-Eylül) dönemde hava parsellerinin Yalova %90'ına yakınının Kuzeyli rüzgarlarla taşındığı belirlenmiştir. Bu hava parselleri kümeleme (Clustering) yöntemiyle 5 yörüngeye ayrılmış ve yaklaşık 100µg/m³ ve üzeri ozon konsantrasyonlarının oluşumuna neden olan taşınımın bölgeyi etkilediği anlaşılmıştır.

Bunun yanı sıra, ozon konsantrasyonlarının Marmara Bölgesi'nde ayçiçeği, pirinç ve buğday başta olmak üzere pek çok tarımsal üretimi üzerindeki potansiyel etkiyi değerlendirmek amacıyla AOT40 indeksi kullanılmıştır. Sonuçlar Avrupa Birliği Direktifi ile bitki örtüsü için belirlenen AOT40 sınır değeri 3000ppb*sa (6000µg/m³*sa) ve orman alanları için 10000 ppb*sa (20000µg/m³*sa) değerleri ile kıyaslanmıştır. Marmara Bölgesi'nde, Avrupa Birliği direktifi ile belirlenen kritik seviyenin 6.1 kat aşıldığı belirlenmiştir. Bu durum pek çok tarım ürünleri için

(*) sabinkaspar@gmail.com

hasat kayıplarına yol açacağı anlaşılmaktadır. AOT40 indeksi bölgedeki orman alanları için de benzer bir sonuç vermektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Ozon, azot oksitler, HYSPLIT, AOT40, Marmara Bölgesi

ABSTRACT

The first continuous hourly surface ozone, NO and NO₂ data used in this study, was provided from the Marmara Clean Air Center (under the supervision of the Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization). Both meteorological conditions and surface topography makes the Marmara region ideal for assessing the surface ozone and its spatial and temporal characteristics and their impact on human health and ecosystem. To increase the knowledge of surface ozone behavior in Marmara Region, seasonal, monthly and daily variations of surface ozone and its precursors NO and NO₂ measured at rural and urban sites were assessed from March 2013 to April 2016.

The average highest concentrations of ozone occurred in Yalova Armutlu while the lowest concentrations occurred in the Istanbul Kagithane during the study period during ozone season. In order to determine the transport processes in this region, a study was carried out to assess the type of air masses reaching the study area, 48-hr back trajectories at an altitude of 500m agl computed using Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) model. Three dimensional back- trajectories were computed for Yalova Armutlu during ozone seasons (April – September). Increasing daily maximum ozone concentration may apply negative impacts on human health in many areas of Marmara Region, particularly in Yalova, Şile and Erdek. To evaluate the ozone damages to forest and vegetation for rural sites accumulated ozone exposure over a threshold of 40 ppb (AOT40) was performed in the region. AOT40 values present a potential seriously threatens forest and vegetation cover and specifically agricultural production in Marmara Region.

KEYWORDS

Ozon, NO_x, HYSPLIT, AOT40, Marmara Region.

1.GİRİŞ

İkincil bir kirlenici olan ozon molekülü, atmosferin hem stratosfer hem de troposfer (yer seviyesi) tabakasında bulunmaktadır. Yer seviyesindeki ozon, güneş ışığı etkisiyle atmosferde bulunan azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik birleşiklerin (UOB) fotokimyasal tepkimeleri sonucunda oluşmaktadır. Yer seviyesi ozonun oluşmasına neden olan en önemli etkenler trafik ve sanayi tesisleridir. Yer seviyesi ozonu ve ozon öncülleri oluştukları yerde kalabildikleri gibi uzak menzillere de taşınabilmektedir.

Azot oksitler ve uçucu organik kirlenicilerinin temel kaynakları olan trafik, çözücü kullanımı ve sanayi tesisleri dolaylı olarak yer seviyesi ozon kirliliğine yol açmaktadır. Yer seviyesi ozonu

şehrin üzerinde tabaka halinde birikebildiği gibi önemli mesafelere de taşınabilmektedir. Ülkemizde yaz aylarında daha etkili olan güneş radyasyonu ve yüksek sıcaklık sebebiyle yer seviyesi ozon kirliliği artış göstermektedir (Topcu ve Incecik, 2002;2003; Anteplioglu vd.,2003; Im vd., 2013; Dumanoglu ve Bayram, 2013). Troposferde bulunan ozon insan sağlığına zararlı etkileri bulunduğundan kirlilik olarak tanımlanmaktadır. İnsan sağlığıyla birlikte bitki gelişimini de engelleyen yüzey ozonunun yeryüzündeki konsantrasyonlarının zamansal değişimine bakılacak olursa genel olarak yaz aylarında ozon seviyeleri kış dönemlerine göre daha fazladır ancak diğer mevsimlerde de yüksek değerlere ulaşıldığı görülmüştür (Barnes vd., 1988; Incecik ve Thomson, 1995; Topcu ve Incecik, 2002). Yüksek konsantrasyonlarda bulunan troposferik ozon olarak da adlandırılan yüzey ozonu insan sağlığı, tarımsal üretim ve ormanlar üzerinde zararlı etkilere sahiptir (NRC, 1991). Ayrıca, ozon ekosistem üzerinde küresel ısınmaya neden olan güçlü bir sera gazıdır (IPCC, 2007; Stevenson vd., 2013; Monks vd., 2014). Yüksek ozon seviyesine maruz kalınması halinde özellikle astım hastalarında ve yaşlı insanlarda ciddi sağlık sorunları çıkmakta, akciğer hastalıkları ve alerjik problemlere neden olmaktadır. Hava kirliliğine bağlı ölümlerin yaklaşık % 5-20'sinin ozonla ilgili olduğu tahmin edilmektedir (Silva vd., 2013; Monks vd., 2014). Yüksek ozonun konsantrasyonlarını bitkiler üzerinde uzun vadedeki etkisi göz ardı edilemeyecek kadar çoktur. Bu nedenle, kırsal ve kentsel merkezlerde yüzey ozonu konsantrasyonunun değişimini etkileyen nedenlerin araştırılması dünya çapında önem taşır (Vingarzan, 2004; Staehelin ve Poberaj, 2008; Young vd., 2013). Ozon, güneş ışığının etkisiyle azot oksitler ve hidrokarbonlar da dahil olmak üzere bir dizi fotokimyasal reaksiyonla üretilen ikincil bir kirleticidir (Sillman, 1999). Yüzey ozon seviyesi ozon oluşumu, yıkımı, taşınması ve birikme işlemi gibi çeşitli kombinasyonlardan kaynaklanmaktadır (Vingarzan, 2004). Çünkü, yüzey ozonu doğrudan atmosfere salınmaz, azot oksitlerin varlığında karbon monoksit, metan ve metan olmayan uçucu organik karbonlar gibi ozon öncüllerinin fotokimyasal oksidasyonu ile troposferde üretilir. Dahası, uçucu organik bileşikler (UOB) ozon üretimi oluşumunda önemli rol oynamaktadır. UOB'lar ozon öncülleridir ve aynı zamanda ozon tarafından oksitlenir (Pinto vd., 2010; Sillman, 1999). Ayrıca, ozon öncülleri kirli bölgelerden taşınarak daha yüksek ozon seviyelerine yol açabilir. Ozonun bir diğer taşınma sebebi, dağlık alanda stratosferden gelen dinamik hareketlerle de açıklanabilir.

Literatürde, özellikle Avrupa ve ABD için yüzey ozonuyla ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Duenas vd., 2004; Debaje ve Kakade, 2006; Walsh vd. (2008); Gibson ve diğerleri (2009); Ooka vd., 2011; Han vd., 2013; Im vd., 2013; Stevenson vd.,2013; Paoletti vd., 2014; Fine vd., 2015; Miller vd., 2015). Bu çalışmalar Avrupa'daki ve Akdeniz'deki ozon seviyelerinin arttığını açıkça göstermektedir. Yüksek seviyedeki ozon seviyesinin nedeni, Akdeniz Bölgesi'ndeki yüksek düzeyde güneş radyasyonu ve antropojenik O₃ öncülleri ile açıklanabilir.

Marmara bölgesi için gerçekleştirilen bu çalışmada ozon ve ozon öncüllerinin insan ve bitki sağlığının tehdit edecek sınır değerlerin üzerinde olup olmadığı irdelenmiş ve bölgede yapılan ilk kapsamlı çalışma olmasıyla önem taşımaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma alanı ve yöntem

Marmara Bölgesi gerek nüfus yoğunluğu açısından gerekse ekonomik açıdan en çok gelişen bölge olması sebebiyle ideal bir çalışma alanıdır. Bölgede bulunan kentsel ve kırsal bölgelerdeki ozon

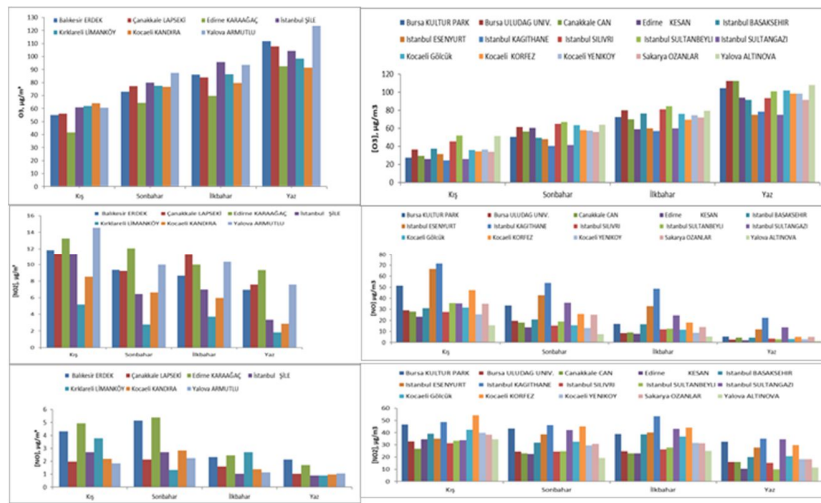
kirliliğinin Marmara'daki durumu hakkında ayrıntılı bilgi vermek adına elde edilen önemli çıktılar ilerki çalışmalara temel oluşturacaktır.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı gözetiminde olan Marmara Temiz Hava Merkezi'nden temin edilen saatlik konsantrasyonlar 7 adet kırsal 15 adet kentsel bölgeleri kapsamaktadır. 38 adet ölçüm istasyonundan sadece Balıkesir Erdek, Bursa Kültür Park, Bursa Uludağ Üniversitesi, Çanakkale Çan, Çanakkale Lapseki, Edirne Karaağaç, Edirne Keşan, İstanbul Başakşehir, İstanbul Esenyurt, İstanbul Kağıthane, İstanbul Şile, İstanbul Silivri, İstanbul Sultanbeyli, İstanbul Sultangazi, Kırklareli Limanköy, Kocaeli Gölcük, Kocaeli Kandıra, Kocaeli Körfez, Kocaeli Yeniköy, Sakarya Ozanlar, Yalova Altınova, Yalova Armutlu olan toplamda 22 adet ölçüm istasyonu kullanılmıştır. Balıkesir Erdek, Çanakkale Lapseki, Edirne Karaağaç, İstanbul Şile, Kırklareli Limanköy, Kocaeli Kandıra ve Yalova Armutlu kırsal alanları temsil etmektedir.

3. SONUÇLAR

3.1 Ozon ve ozon öncüllerinin mevsimsel değişimi

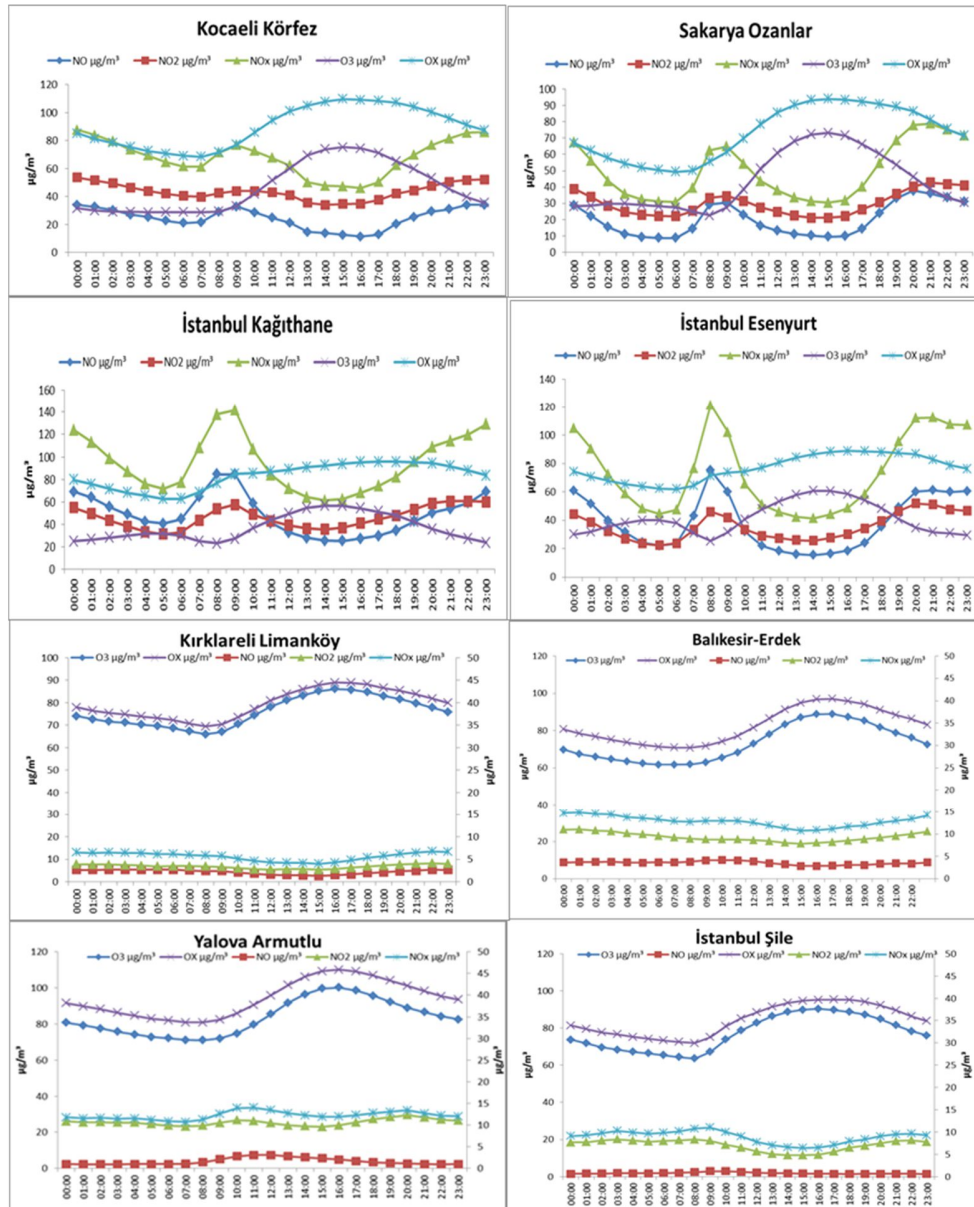
Marmara Bölgesi'ndeki yüzey ozonunun davranış biçimini anlamak amacıyla Mart 2013-Mart 2016 tarihleri arasında toplam 22 adet kentsel ve kırsal kesim olmak üzere yüzey ozonu ve öncülleri olan NO ve NO₂ kirlleticilerinin aylık ve mevsimsel değişimleri değerlendirilmiştir. Troposferik ozon kırsal ve kentsel bölgelerde en yüksek değerlerine yaz aylarında ulaşırken bunu ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimleri izlemektedir. NO ve NO₂ konsantrasyonları için ise bu dizilişin tam tersi geçerlidir. NO kısa ömürlü bir kirlenici olup atmosferde NO₂'ye oksitlenerek O₃ üretimine katkıda bulunur. Yüksek ozon konsantrasyonlarının yaz aylarında oluşumunda ozon öncüllerinin yanı sıra kimyasal tepkimeleri tetikleyen güneş radyasyonunun etkisidir. Kış mevsiminde ısınma nedeniyle ortaya çıkan yüksek azot oksit konsantrasyonları ise NO ve NO₂'nin kış mevsiminden itibaren azalarak devam eden paternini ortaya koymaktadır. Kırsal bölgelerdeki ozon seviyelerinin mevsimsel değişimi yaz aylarında kışa oranla daha belirgin olmaktadır. Mevsimsel değişimler Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ozon ve ozon öncüllerinin mevsimsel değişimi

3.2. Ozon ve ozon öncüllerinin günlük değişimi

Ozon seviyelerinin lokal ve bölgesel katkılarını anlamak için oksidanlar ($OX = NO_2 + O_3$) NO , NO_2 , NO_x , O_3 ile birlikte incelenmiştir. Hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO , NO_2 , NO_x , O_3 ve OX un ortalama günlük değişimlerini gösteren grafikler Şekil 2.'de verilmektedir. Kırsal bölgelerde ozon ve OX değerleri sabah 10:00 saatlerinde artmaya başlayarak öğleden sonra (14:00-17:00) güneş ışığı etkisiyle en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Kırsal bölgelerdeki azot oksitler genellikle düşük seviyelerde olup gün boyunca değişim söz konusu değildir. Kentsel istasyonlarda ise ozon konsantrasyonları $60 \mu g/m^3$ - $80 \mu g/m^3$ arasında değişmektedir.

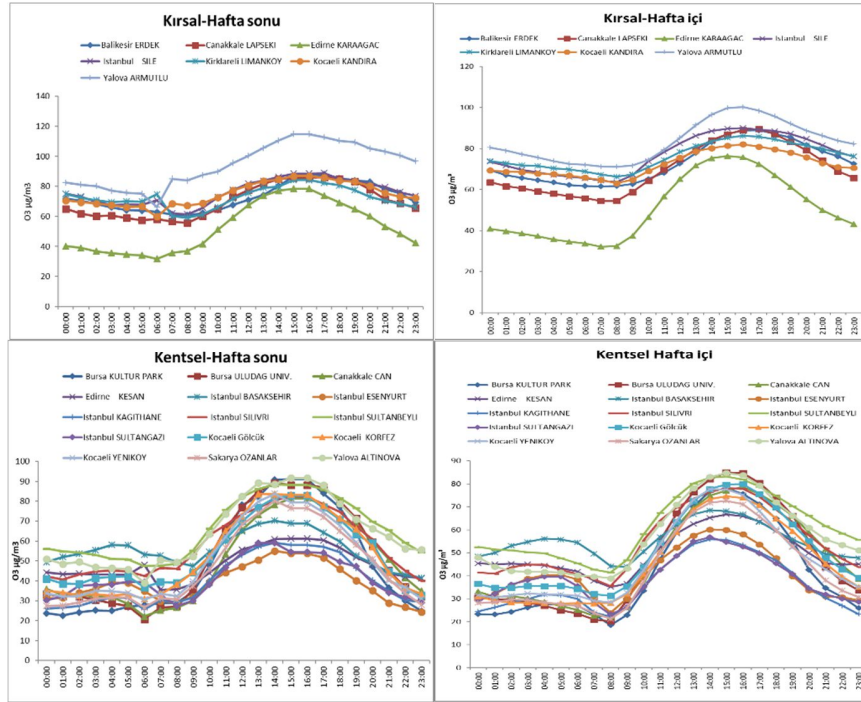


Şekil 2. Ozon ve oksidanların seviyelerinin günlük değişimleri

Yoğun trafik emisyonları nedeniyle sabahın erken saatlerinde azotlu kirleticiler en yüksek seviyelerine 7:00-9:00 arası ulaşırlar. Ayrıca, sabah görülen O₃ seviyesindeki düşüşün sebebi gece döngüsünden kalan NO katmanın O₃ ile titrasyon reaksiyonlarıdır (Sillman, 1990). Ozon konsantrasyonları 14:00-16:00 arasında günlük maksimum seviyelerine ulaşmıştır. Güneş radyasyonundaki azalması ve trafik emisyonlarının artmasıyla ile ozon seviyeleri akşam 22:00 saatlerinde azalır ve kentsel yeni NO, NO₂ emisyonları artar. İkincil NO pikleri kentsel istasyonların karakteristik özelliklerindendir (Sillman, 1990).

3.3. Hafta sonu etkisi

Çalışma alanındaki hafta sonu (Pazar) etkisini değerlendirmek için hafta içi ve hafta sonu ozonun günlük değişimleri incelenmiştir. Şekil 3, tüm kentsel alanlarda belirgin bir etkiyi açıkça göstermektedir. Ancak haftasonu etkisi, kırsal bölgelerdeki öncül emisyonların fazla değişmemesi nedeniyle kırsal alanlarda kentsel alanlardan çok daha düşüktür. Örneğin, Erdek, Karaağaç, Şile, Kandıra ve Armutlu yerleşimlerindeki düşük seviyeli farklar hafta sonu ozon seviyelerinin önemli seviyelerde değişim göstermediğini ortaya koymaktadır. Lapseki ve Limankoy kırsal alanlarında da ozon haftasonu etkisi belirlenmemiştir.

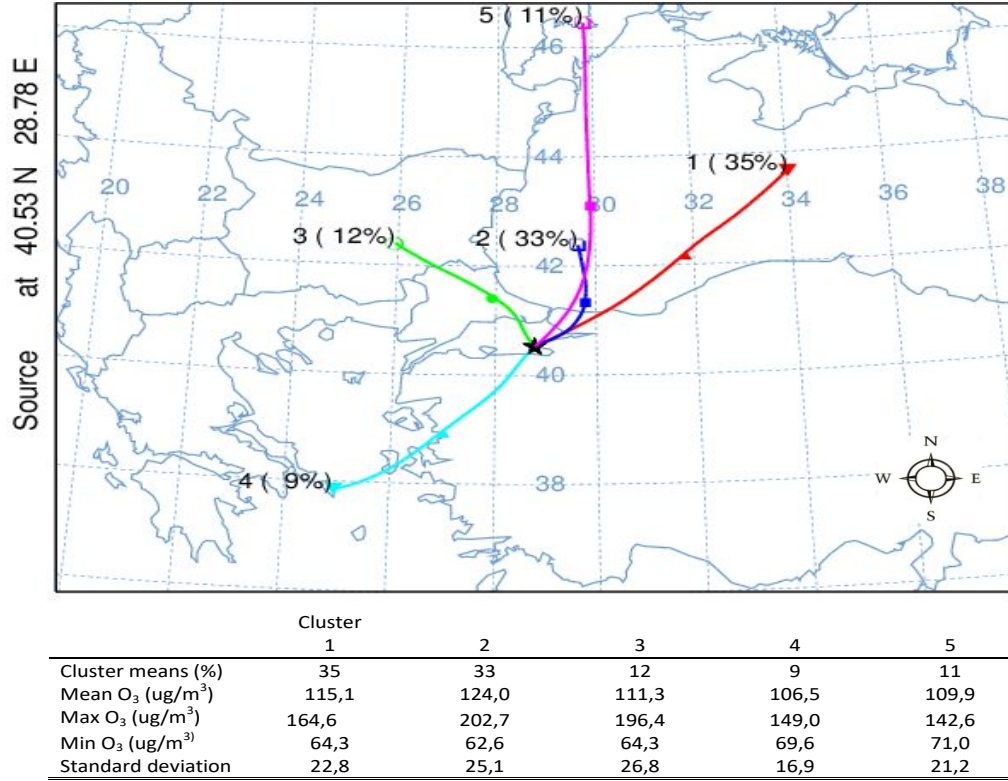


Şekil 3. Hafta içi ve hafta sonu ozon konsantrasyonları değişimi

3.4. HYSPLIT yörünge analizi

HYSPLIT geri yörünge modeli 500 m başlangıç yüksekliğinde 48 saatlik period ölçeğinde ozon mevsimleri süresince çalıştırılmış ve Yalova bölgesine ait taşınım simüle edilerek yüksek ozon konsantrasyonlarına açıklama getirilmiştir. İnceleme periyodu içerisinde toplam 151 adet simülasyon küme analizi yöntemiyle Yalova kırsal bölgesi için sınıflandırılmıştır. Yalova Armutlu merkezli kümelenmeler için 3 yıllık sonuç Şekil 4 de gösterilmektedir. Buna göre, kuzey ve

kuzeydoğudan gelen, Ukrayna, Rusya kökenli hava kütleleri%46; İstanbul ve Kocaeli bölgesini içine alan %33 ve Bulgaristan kökenli %12 ile hedef bölge üzerinde etkili bulunmuştur. Dördüncü bir cluster ise Yunanistan'daki güneybatıdan gelen hava kütlelerinin ise sadece %9'luk bir ortalama ile Yalova bölgesinde potansiyel bir etkiye sahiptir.



Şekil 4. Yalova bölgesine ait 3 yıllık HYSPLIT geri yörünge analizi

3.5. AOT40 indeksi

AOT40, orman ve tarım ürünleri üzerinde ozonun etkisini belirlemek üzere kullanılan ve , 40 ppb (veya 80 µg /m³) eşik değerinde biriken ozon maruziyeti anlamına gelen bir indekstir. Avrupa Birliği Yönergesine göre ormanlar için bu indeksin kritik değeri 10.000 ppb-sa veya 20000 µg /m³-sa (Nisan-Eylül ayları için) iken bitki örtüsü için 3000ppb-sa veya 6000 µg/m³-sa (Mayıs-Temmuz ayları için)'dir. AB Yönergesinde yer alan her iki sınır değer beş yıllık ortalama olarak tanımlanır. Bu çalışmada, orman alanlarındaki ve bitki örtüsü üzerindeki ozon maruziyeti hesaplanmıştır. İndeksler Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmaktadır. Bununla birlikte, sunulan çalışmada, 2013 yılında ölçüm ağının başlaması nedeniyle ortalama AOT40 indeksi üç yıllık verilere dayanmaktadır.

AOT40 orman indeksi, bölgedeki tüm kırsal alanlarda aşılmıştır. En yüksek ortalama, kritik seviyeyi 3.1 katı aşacak şekilde Yalova-Armutlu bölgesinde 35000 pbb-saat olarak hesaplanmıştır. Orman birikimi Marmara Bölgesi'nin kuzey kıyılarında, özellikle İstanbul Şile, Kocaeli Kandıra, Çanakkale Lapseki, Kırklareli Limanköy, Yalova Armutlu ve Balıkesir Erdek'te kümelenmektedir. Edirne Karaağaç, site çevresinde orman bulunmayan tek istasyondur. Marmara bölgesinde ormanlar kızılçam ve meşe ormanları ile çoğunlukla dağların alçak ve güney yamaçlarında bulunur

(Atalay ve Efe, 2010). Sonuçlar, Marmara Bölgesi'ndeki ormanların aşırı kümülatif ozon maruziyeti seviyeleri nedeniyle ozon açısından tehlikede olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Marmara Bölgesi'ndeki tüm kırsal alanlarda bitki örtüsünün korunması için AOT40 kümülatif ozon maruziyeti, Mayıs ayından Temmuz ayına kadar üç aylık dönem boyunca aşılmıştır. AOT40 indeksi Yalova-Armutlu bölgesinde sınır değerini 6.1 katı şeklinde aşmıştır. Bu durum tarım ürünleri için yapılan pek çok çalışmada gösterildiği gibi Marmara bölgesinin ayçiçeği, pirinç, soya fasulyesi, karpuz, domates, pamuk, tütün ve zeytin gibi en önemli tarım ürünlerini ciddi olarak tehdit etmektedir (Amann vd., 2008; Führer, 2009; Fuhrer ve Ashmore, 1997; Debaje 2004).

Tablo 1. Kırsal istasyonlardaki AOT40_{orman} indeksi

AOT40 _{orman} (ppb)*sa	Balıkesir Erdek	Çanakkale Lapseki	Edirne Karaağaç	İstanbul Şile	Kırklareli Limanköy	Kocaeli Kandıra	Yalova Armutlu
2013	16914	24141	15571	38462	18754	11715	27133
2014	32107	17909	5532	20922	16991	12980	24169
2015	17387	20186	9558	17187	9994	14416	53074
Ortalama	22136	20745	10220	25524	15246	13037	34792
Aşım(%)	121	107	2,2	155	52	30	248

Tablo 2. Kırsal istasyonlardaki AOT40_{bitki örtüsü} indeksi

AOT40 _{bitki örtüsü} (ppb)*sa	Balıkesir Erdek	Çanakkale Lapseki	Edirne Karaağaç	İstanbul Şile	Kırklareli Limanköy	Kocaeli Kandıra	Yalova Armutlu
2013	6085	12497	7946	18749	8999	4299	15668
2014	19256	7755	1894	10910	7641	6634	14591
2015	12690	11285	4873	10666	4331	6666	26427
Ortalama	12677	10512	4904	13442	6990	5866	18895
Aşım(%)	322	250	63	348	133	95	529

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Kırsal istasyonların büyük bölümünde ozon mevsimi süresince ozon aşırımları görülmüştür. Ayrıca, Marmara Bölgesi'ndeki 15 kentsel ve 7 kırsal istasyonun her ikisinde ozon seviyeleri de yaz aylarında maksimum, kış aylarında minimumda bir dağılım göstermiştir. Mevsimlik ozon konsantrasyonları, kırsal ve kentsel alanlar için sırasıyla en yüksek yaz> bahar> sonbahar> kış mevsimlerinde görülmüştür. Bu durum, NO ve NO₂ için bunun tam tersi yönündedir. Hafta sonu O₃ konsantrasyonlarının en yüksek ortalaması Yalova Armutlu istasyonunda gerçekleşmiştir. Sonuçlar, yüksek ozon konsantrasyonlarının, çoğunlukla Kuzeydoğu ve Kuzey yönlerinden (yaklaşık%80) Bulgaristan ve Ukrayna'nın ağır sanayileşmiş bölgelerinden güney bölgelerden ve İstanbul-Kocaeli çevresinden geldiği görülmüştür. AB Yönergesinde tanımlanan bitki örtüsünü ve ormanları korumak için belirtilen maruziyet sınırlarının aşılması Marmara Bölgesi'ndeki özellikle tarımsal üretim alanlar, orman ve bitki örtüsünü tehdit ettiğini göstermektedir. Bu çalışmanın

ardından Marmara Bölgesinde tarım ürünleri ve orman alanları üzerinde ozon seviyelerinin yol açtığı ayrıntılı bir etki değerlendirme çalışmasının yapılması da kaçınılmazdır.

Türkiye'nin tarım alanlarının%12'sine sahip olan Marmara Bölgesi'ndeki AOT40 endeksi değerleri, hava kalitesi yönetimi konusunda karar vericiler için son derece önemli göstergelerdir. Bu nedenle, ozon öncüllerini içeren kontrol önlemleri bu değerli araziler için acilen yaşama geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Amann, M., Derwent, D., Forsberg, B., Hänninen, O., Hurley, F., Krzyzanowski, M., de Leeuw, F., Liu, S. J., Mandin, C., Schneider, J., Schwarze, P., and Simpson, D. (2008). Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution WHO. Copenhagen, Denmark.
- Atalay, I., and Efe, R. (2010). Structural and distributional evaluation of forest ecosystem in Turkey, J. of Env. Biology, 31, 61-70.
- Anteplioglu, U., S. Topçu and S. Incecik, 2003, An application of a photochemical model for urban airshed in Istanbul, Journal of Water, Air & Soil Pollution: Focus, 3(5-6), 55-66.
- Barnes, J.D., Reiling, K., Davison, A.W., Ranner, C.J., 1988. Interaction between ozone and winter stress. Environmental Pollution, 53, 235-25.
- Debaje, S.B. (2014). Estimated crop yield losses due to surface ozone exposure and economic damage in India. Environ Sci Pollut Res Int., 21(12), 7329–7338. doi: 10.1007/s11356-014-2657-6
- Debaje, S.B., Kakade, A.D. (2006). Measurements of surface ozone in rural site of India. Aerosol Air Qual. Res., 6, 444–465.
- Duenas, C., Fernández, M.C., Canete, S., Carretero, J., Liger, E. (2004). Analyses of ozone in urban and rural sites in Málaga (Spain). Chemosphere, 56, 631–639.
- Dumanoglu Y ve A. Bayram, 2013, İzmir’de Kent Merkezi ve Yakın Çevresinde Ölçülen Ozon ve Azot Dioksit Seviyelerinin Zamansal Değişiminin İncelenmesi, Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi 2, 65 – 73
- Fine, R., Miller, M.B., Burley, J., Daniel, A., Jaffe, R., Pierce, B., Lin, M., Gustin, M.S. (2015). Variability and sources of surface ozone at rural sites in Nevada, USA: results from two years of the Nevada Rural Ozone Initiative, Sci. Total Environ., 530–531, 471–482.
- Fuhrer, J. (2009). Ozone risk for crops and pastures in present and future climates. Naturwissenschaften, 96, 173-194.

- Fuhrer, J., Skarby L., Ashmore, M.R. (1997). Critical levels for ozone effects on vegetation in europe, Environ. Pollut., 97, 91–106
- Gibson, M.D., Guernsey, J.R., Beauchamp, S., Waugh, D., Heal, M.R., Brook, J.R., Maher, R., Gagnon, G.A., McPherson, J.P., Brydeng, B., Gould, R., Terashima, M. (2009). Quantifying the spatial and temporal variation of ground-level ozone in the rural Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada using nitrite-impregnated passive samplers, Journal of the Air & Waste Management Association, 59, 310–320.
- Han, S., Zhang, M., Zhao, C., Lu, X., Ran, L., Han, M., Li, P., Li, X. (2013). Differences in ozone photochemical characteristics between the megacity Tianjin and its rural surroundings, Atmos. Environ., 79, 209–216.
- 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, 920931.
- 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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Climate Change 2007 Synthesis Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Sweden: World Meteorological Organization (WMO).
- Miller, M.B., Fine, R., Pierce, A.M., Gustin, M.S. (2015). Identifying sources of ozone to three rural locations in Nevada, USA, using ancillary gas pollutants, aerosol chemistry, and mercury, Sci. Total Environ., 530–531, 483–492
- Monks, P. S. (2014). European pollution: Investigate smog to inform policy. Nature, 509, 427–427.
- National Research Council (NRC). (1991). Committee on tropospheric ozone: rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution. Retrieved from <https://books.google.com.tr/> (Original work published 1991).
- Ooka, R., Khiem, M., Hayami, H., Yoshikado, H., Huang, H., Kawamoto, Y. (2011). Influence of meteorological conditions on summer ozone levels in the central Kanto area of Japan, Procedia Environmental Sciences, 4, 138–150.
- 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.

- Pinto D.M., Blande, J.D., Souza, S.R., Nerg, A-M., Holopainen, J.K. (2010). Plant volatile organic compounds (VOCs) in ozone (O₃) polluted atmospheres: the ecological effects, *Journal of Chemical Ecology*, 36, 22–34.
- Sillman, S. (1999). The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments, *Atmospheric Environment*, 33, 1821- 1845.
- Silva, R.A., West, J.J., Zhang, Y., Anenberg, S.C., Lamarque, J.-F., Shindell, D.T., Collins, W.J., Dalsoren, S., Faluvegi, G., Folberth, G., Horowitz, L.W., Nagashima, T., Naik, V., Rumbold, S., Skeie, R., Sudo, K., Takemura, T., Bergmann, D., Cameron-Smith, P., Cionni, I., Doherty, R.M., Eyring, V., Josse, B., MacKenzie, I.A., Plummer, D., Righi, M., Stevenson, D.S., Strode, S., Szopa, S., and Zeng, G. (2013). Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change, *Environ. Res. Lett.*, 8, 034005, doi:10.1088/1748-9326/8/3/034005.
- Staehelin, J., Poheraj, S. (2008). Long-term Tropospheric Ozone Trends: A Critical Review. In S. Brönnimann, J. Luterbacher, T. Ewen, H.F. Diaz, R.S. Stolarski, U. Neu (Eds.), *Climate Variability and Extremes during the Past 100 years* (1st ed., Vol. 33, pp. 271-282). Netherlands, Springer.
- Stevenson, D. S., Dentener, F. J., Schultz, M. G., Ellingsen, K., van Noije, T. P. C., Wild, O., Zeng, G., Amann, M., Atherton, C. S., Bell, N., vd. (2013). Tropospheric ozone changes, radiative forcing and attribution to emissions in the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP). *Atmos. Chem. Phys.*, 13 (6), 3063–3085. doi:10.5194/acp-13-3063-2013.
- 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.
- Topcu, S., and S.İncecik, 2003, Characteristics of surface ozone concentrations in urban atmosphere of Istanbul: A Case Study, *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, 413-417.
- Vingarzan, R. (2004). A review of surface ozone background levels and trends, *Atmospheric Environment*, 38, 3431–3442.
- Walsh, K.J., Milligan, M., Woodman, M., Sherwell, J. (2008). Data mining to characterize ozone behavior in Baltimore and Washington, DC. *Atmos. Environ.*, 42, 4280–4292.
- Young, P.J., Archibald, A. T., Bowman, K. W., Lamarque, J.-F., Naik, V., Stevenson, D. S., Tilmes, S., Voulgarakis, A., Wild, O., Bergmann, D., vd. (2013). Pre-industrial to end 21st century projections of tropospheric ozone from the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 2063-2090.