

BOLU'DA YÜZEY OZON DERİŞİMLERİNİN UZUN SÜRELİ DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARIMSAL ÜRÜN VERİMLERİNE OLUMSUZ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Pelin ERTÜRK ARI¹, Akif ARI¹, Duran KARAKAŞ^{1*}, Serpil YENİSOY KARAKAŞ²

¹Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Gököy Kampüsü, BOLU

²Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gököy Kampüsü, BOLU

ÖZET

Yüzey ozon (O₃) derişimleri, son yüzyıldan beri, özellikle kuzey yarım küredeki artan atmosferik öncül gaz kirleticileri derişimleri sebebiyle yükselmiştir. Ozon, öncül uçucu organik bileşiklerin (UOB) ve azot oksitlerin (NO_x) fotokimyasal tepkimeleri yoluyla oluşan ikincil bir kirleticidir. Saha gözlemleri ve kontrollü deney odası çalışmaları, bu kirleticinin yüksek düzeylerinin bitkilerde yaprak hasarı, ürün verim kaybı ve ürün kalitesinde bozulma gibi çeşitli olumsuz etkilere neden olabileceğini göstermiştir. Bolu, yaklaşık 300.000 nüfusu ile Türkiye'nin Batı Karadeniz bölgesinde yer almaktadır. Kent yüzey alanının %65'inden fazlası ormanlarla kaplıdır ve arazinin %50'den fazlası 2.500 metre yüksekliğe ulaşabilen dağlarla kaplıdır. Genel olarak batı sektörü rüzgârlar yıl boyunca baskın olup, İstanbul, Kocaeli, Gebze, Adapazarı, Düzce, Rusya ve Doğu Avrupa ülkeleri gibi sanayileşmiş bölgelerin emisyonlarını kente taşımaktadır. Tarımsal üretim kentte önemli bir ekonomik faaliyetir ve başlıca ürünler patates, pirinç, domates, soğan, ıspanak, bakliyat, mısır, arpa ve buğdaydır. Saatlik O₃ derişimleri Ocak 2009–Ekim 2016 tarihleri arasında sekiz yıl boyunca Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi kampüsünde (40°42.86' kuzey ve 31°31.04' doğu, 874 m rakım), online O₃ analizörü ile (Thermo Scientific, 49i) ölçülmüştür. Tarımsal ve bahçe bitkileri üretiminde yüzey O₃'ten kaynaklanan olumsuz etkiler 9 mahsul türü için (patates, pirinç, mısır, buğday, domates, arpa, baklagiller, karpuz ve marul) AOT40 esaslı (gündüz saatlerinde 40 ppb'lik bir eşik O₃ derişimleri üzerinde biriken saatlik ortalama O₃ derişimleri) verim tepki fonksiyonları kullanılarak tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey O₃, AOT40, tarımsal hasar, tepki fonksiyonu, kritik seviyeler, verim

LONG TERM EVALUATION OF SURFACE OZONE CONCENTRATIONS AND ADVERSE EFFECTS OF OZONE ON AGRICULTURAL CROP YIELDS IN BOLU, TURKEY

ABSTRACT

Surface ozone (O₃) concentrations have been elevated by the increasing concentrations of atmospheric precursor gaseous pollutants since the last century, especially in the northern hemisphere. Ozone is a secondary pollutant that forms via the photochemical reactions of precursor volatile organic compounds (VOCs) and nitrogen oxides (NO_x). Field experiments and controlled experimental chamber studies have indicated that high levels of this pollutant can cause several adverse effects on plants such as leaf damage, crop yield reduction and product quality deterioration. Bolu is located at the Western Black Sea Region of Turkey with a population of around 300000. More than 65% of the city surface area is covered by the forests and over 50% of its territory is mountainous as high as 2500 m. Generally western sector winds dominate within a year, and transport the emissions of the most industrialized cities of Turkey, like İstanbul, Kocaeli, Gebze, Adapazarı, Düzce and Russia and Eastern European countries. Agricultural production is an important economic activity in the city, and main products are potato, rice, tomato, onion, spinach, pulses, maize, barley and wheat. Hourly O₃ concentrations were measured for a period of eight years; between January 2009 and October 2016 in the campus of Abant İzzet Baysal University (40°42.86' north and 31°31.04' east, 874 m altitude), Bolu (Turkey) by an online ozone analyzer (Thermo Scientific, 49i). Surface O₃ impacts on agricultural and horticultural crop production have been estimated by using AOT40 (hourly mean ozone concentrations accumulated over a threshold O₃ concentrations of 40 ppb during daylight hours) yield response functions for 9 crop types (potato, rice, maize, wheat, tomato, barley, pulses, watermelon and lettuce) in this study.

Keywords: Surface O₃, AOT40, agricultural deterioration, exposure functions, critical levels, yield

* Sorumlu yazar / Corresponding author: dkarakas@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Kentleşme ve endüstriyel büyüme gibi antropojenik faaliyetlerin sonucunda salınan atmosferik gaz kirletici miktarları hem yerel hem de küresel ölçekte ciddi bir sorun haline gelmiştir. Bu kirleticilerin başında ise özellikle motorlu taşıt egzozları, doğalgaz çevrim santralleri ve konutlardan salınan azot oksit (NO_x) bileşenleri ve çeşitli amaçlarla kullanılan organik çözücülerin buharları ile yine motorlu taşıtlardan salınan uçucu organik bileşikler (UOB) gelmektedir. Geçtiğimiz yüzyılda, özellikle kuzey yarımkürede bu atmosferik gaz kirleticilerinin derişimlerindeki hızlı artış, önemli bir ikincil kirletici olan yüzey ozon (O₃) derişimlerini de arttırmaktadır (17). Meteorolojik parametrelerle, özellikle güneşlenme şiddetiyle yakından ilişkili olan yüzey O₃; NO_x ve UOB'ler varlığında atmosferde gerçekleşen bir dizi zincirleme fotokimyasal tepkimelerin sonucunda oluşmaktadır. Tepkimelerin gerçekleşmesine öncülük eden etken güneş ışığı olması sebebiyle yaz aylarında yükselişe geçen O₃ derişimleri önemli seviyelere ulaşabilmektedir. Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde gerçekleştirilen uzun ve kısa süreli izleme çalışmaları neticesinde özellikle O₃ öncülü biyojenik ve antropojenik UOB'ler ve NO_x bileşenlerinin de dış ortam derişimlerine bağlı olarak yaz ayları ve öğlen saatlerinde oldukça yüksek yüzey ozon derişimlerine rastlanmıştır (15, 7, 8, 12). Bununla birlikte taşınım olayları veya yüzey sıcaklıklarının aşırı değişken olduğu denize yakın bölgelerde yaz aylarında gerçekleşen inversiyon olayları neticesinde zaman zaman sabah erken saatlerde veya akşam geç saatlerde de maksimum O₃ derişimlerine ulaşılabilirdiği çeşitli çalışmalarda belirtilmektedir (7). Troposferdeki en önemli yükseltgeyicilerden biri olan O₃ yüksek seviyelere ulaştığında; insan, bitki ve iklim üzerindeki olumsuz etkilere neden olması sebebiyle hava kalitesi izleme çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır (13, 9). Dünya nüfusunun hızla artması neticesinde tarımsal ürünlere, dolayısıyla gıda maddelerine olan talep artmıştır. Tarım arazilerinin sanayi kuruluşları ve konut ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla tahrip edilmesi, artan üretim maliyetleri sebebiyle tarımsal üretimin azalması ve çeşitli çevresel faktörlerin olumsuz etkileri neticesinde tarım ürünlerindeki verim kayıplarının bir sonucu olarak gıda maddelerinde önemli bir arz-talep dengesizliği ortaya çıkmış ve gıda fiyatları yükselişe geçmiştir (1, 2). İklim değişikliği ve

önemli bir hava kirletici olan O₃'ün tarım ürünleri üzerine zararlı etkileri sebebiyle küresel gıda güvenliği üzerinde bir tehdit oluşturduğu düşünülmektedir (11, 2). Bu bağlamda gerçekleştirilen sayısız çalışmada artan sıcaklık ve O₃ derişimlerine bağlı olarak tarım ürünlerinde dikkate değer bir verim azalmasının gerçekleştiği ve ürün kalitesinin düştüğü görülmüştür (10, 2, 1, 18, 3, 12, 14). 1994–2006 yılları arasında Mills ve ark. (2007), Avrupa genelinde 16 ülkede 30'un üzerindeki üründe ve 80 yarı-doğal bitki türleri üzerinde yaptıkları çalışmada atmosferik O₃ derişimlerinin biyokütleye bağlı verimi önemli ölçüde düşürdüğünü saptamışlardır. Farklı bir çalışmada ise hava kirliliği ve iklim değişimi üzerinde önlem alınmaması durumunda O₃ oluşumuna sebep olan atmosferik kirletici emisyonların gelecekte tarım ürünleri üzerinde önemli verim kayıplarına yol açabileceği model sonuçlarıyla açıklanmıştır. Çalışmanın neticesinde O₃ derişimlerini azaltmak adına önlem alınmaması durumunda 2050 yılında tarım ürünlerindeki verimliliğin özellikle Asya ülkelerinde %20'ye varacak kayıplara sebep olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (3). O₃ derişimlerinin azaltılması çalışmaları ise, ikincil bir kirletici olması sebebiyle dolaylı şekilde öncül UOB ve NO_x derişimlerinin kontrolü ile mümkün olmaktadır. Avrupa ve Amerikan mevzuat sistemlerinde, bitki örtüsünün korunması amacıyla kritik O₃ seviyeleri sürekli olarak izlenmekte, biriken O₃ derişimleri (AOT40–güneşlenmenin gerçekleştiği gündüz saatlerinde, saatlik olarak ölçülen O₃ derişimlerinin 40 ppb'yi aşan derişim farkları) hesaplanarak olası hasarların tahmini gerçekleştirilmektedir. Türkiye'de Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (6) O₃ parametresi detaylı olarak ele alınmıştır. Bu yönetmelik kapsamında Uzun Vadeli Sınır (UVS) değeri bildirilmemiş, ancak 1 saatlik ortalama bilgi eşiği değeri olarak 180 ve uyarı eşiği değeri olarak 240 µg m³ (~120 ppb) olarak belirlenmiştir. Ayrıca yönetmelik kapsamında 2022 yılı için bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalamalar için hedef değeri 120 µg m³ (~60 ppb), vejetasyonun korunması için Mayıs ayından Temmuz ayına kadar 1 saatlik değerlerden hesaplanacak AOT40 değerinin beş yıllık ortalaması 18000 µg m³-saat olarak belirlenmiştir. HKDYY'de ayrıca O₃ öncülü bileşenler ayrıntılı bir şekilde ele alınmış ve bu bileşenlerin ölçümünün gerçekleştirilmesi hususunda öneriler belirtilmiştir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından 1997 yılında

ulusal hava kalitesi standartlarında 1 saatlik ortalama değer 0,12 ppm (yaklaşık 235 $\mu\text{g m}^{-3}$) olarak belirlenmiştir. Bir saatlik ortalama değer ilerleyen zamanlarda ise insanlar üzerinde gerçekleştirilen maruziyet çalışmalarından elde edilen bulgulara istinaden 0,07 ppm'e indirilmiştir (http 1). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından ozon için öngörülen sınır değer ise 8 saat için 120 $\mu\text{g m}^{-3}$ 'tür (16). Bu çalışma kapsamında; 2009 yılı Ocak ayından 2016 yılı Ekim ayına kadar devam eden 8 yılı kapsayan zaman periyodu boyunca Abant İzzet Baysal Üniversitesi kampüsü içinde (yarı-kırsal) gerçekleştirilen saatlik O_3 ölçümleri detaylı olarak incelenmiştir. Ölçülen kirletici derişimlerinin yıllık, mevsimsel ve gün içi değışimleri (kısa vadeli) detaylı olarak incelenmiş, ayrıca AOT40 değerleri hesaplanarak birikimli derişimlerin Bolu tarımsal üretiminde önemli yere sahip patates, pirinç, mısır, buğday, domates, arpa, baklagil, karpuz ve marul üzerine olan olumsuz etkileri araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı ve Örnekleme İstasyonu

Bolu; Türkiye'nin iki büyük metropolü İstanbul ve Ankara arasında, Batı Karadeniz Bölgesinde 31°36' doğu boylamları ve 40°45' kuzey enlemlerinde konumlanmaktadır (Şekil 1). 8577 km^2 yüzölçümüne sahip şehrin nüfusu 2016 yılı adrese dayalı nüfus sayım verilerine göre 299896'dır (http 2). Çeşitli hafif ölçekli sanayi kuruluşları faaliyet göstermesine rağmen (süt ürünleri üretimi, tavukçuluk işletmeleri, çeşitli gıda sanayii, çimento üretimi ve orman ürünleri tesisleri), kentin temel ekonomisini tarımsal üretim oluşturmaktadır. Ortalama yüksekliği 1000 m olan kentin yüzölçümünün yaklaşık %59'unu ormanlar, %18'ini tarım arazileri, %15'ini otlaklar ve kalan %8'ini diğer kullanışsız araziler oluşturmaktadır (4, 5).



Şekil 1. Çalışma alanı

Figure 1. Study area

Yüzey Ozon Ölçümleri ve Tarımsal Ürünler Üzerindeki Maruziyetinin Belirlenmesi

Dış ortam O_3 ölçümlerinde EPA onaylı (EQOA-0206-148) standart yöntem olan UV absorpsiyon prensibiyle çalışan 49i model Thermo marka sürekli ozon analizörü kullanılmıştır. Ölçümlerin güvenli şekilde sürdürülebilmesi adına analizöre harici sıfır filtresi ve dahili O_3 üretici eklenmiştir. Dahili O_3 üretici, kalibre edilmiş olduğu sabit bir değerde O_3 üreterek cihazın iki nokta kalibrasyonunun yapılmasını sağlamaktadır. Cihazın sıfır ve span kontrolleri

(aktif karbon ve MnO_2 kolonlarından süzülerek O_3 'ten arındırılmış havanın ve O_3 üretici tarafından üretilen ozonun değerlerinin olası sapmalarının kontrolleri) günlük olarak her gün aynı saatte (00:00) otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Ölçümler; AİBÜ merkez kampüsü içerisinde yer alan Rektörlük İdari Birimler binası çatısında, yer seviyesinden yaklaşık 20 m yükseklikte bulunan ölçüm istasyonunda gerçekleştirilmiştir. AİBÜ merkez kampüsünün deniz seviyesinden yüksekliği ise yaklaşık 900 m olarak belirlenmiştir. Saatlik O_3 ölçümleriyle birlikte aynı noktadan meteorolojik

sensör (Davis Vantage Pro II) sayesinde eş zamanlı olarak dış ortam meteorolojik parametrelerin ölçümü de gerçekleştirilmiştir. Yüzey O₃ derişimlerinin tarım ürünlerine olan olumsuz etkileri (verim azalması) ise AOT40 değerleri hesaplanarak ve bitkiye özel maruziyet tepki fonksiyonları (exposure response functions–ERF) kullanılarak belirlenmiştir. Bitki verimliliğine olumsuz etki eden AOT40 birikimli derişimlerinin hesaplanmasında eşitlik 1 (10, 3) kullanılmıştır:

$$\text{AOT40 (ppm.saat)} = \sum ([O_3 \text{ ni } =1]i-40), [O_3] \geq 40 \text{ ppb}-08:00-18:59 \text{ (1)}$$

Tarım bitkileri üzerinde O₃ maruziyeti kaynaklı görece bitki verim kaybı (relative yield loss–RYL) hesaplamalarında ise oldukça detaylı saha/deney odası çalışmaları ve literatür derlemeleri neticesinde belirlenen ve Çizelge 1’de açıklanan bitkiye özel ERF değerlerine bağlı regresyon eşitlikleri kullanılmıştır (10, 17, 2, 18, 3, 14).

Çizelge 1. Çeşitli tarım bitkileri için AOT40’a göre hesaplanmış verim tepki fonksiyonları ve kritik seviyeler (%5 verim kaybının gözleendiği AOT40 değeri–ppm.saat)

Table 1. AOT40 based yield response functions and critical levels (AOT40 for 5%yield reduction–ppm.h) for some agricultural crops

Bitki Crop	Verim hesaplamasında kullanılan ürün Crop used to calculate yields	Kritik seviye (ppm.saat, 3 aylık) Critical level	Fonksiyon (y=görece verim, x=AOT40, ppm.saat) Function
Karpuz / Watermelon	Meyve / Fruit	1.6	$y=-0.0321x+0.97$
Baklagil / Pulses	Bakla / Pods	3	$y=-0.0165x+0.96$
Marul / Lettuce	Yaprak / Foliage	4.6	$y=-0.0108x+1.04$
Domates / Tomato	Meyve / Fruit	6	$y=-0.0083x+1$
Patates / Potato	Yumru / Tubers	8.9	$y=-0.0057x+0.99$
Pirinç / Rice	Tane / Grain	12.8	$y=-0.0039x+0.94$
Mısır / Maize	Tane / Grain	13.9	$y=-0.0036x+1.02$
Buğday / Wheat	Tane / Grain	3.3	$y=-0.0161x+0.99$
Arpa / Barley	Tane / Grain	83.3	$y=-0.0006x+0.96$

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüzey Ozon Derişimlerinin Günlük ve Yıllık Değişimleri

2009–2016 arasında ölçülen yüzey O₃ derişimlerinin yıllık ortalama, minimum ve maksimum değerleri Çizelge 2’de özetlenmiştir. Yıl boyunca ölçülen bütün saatlik O₃ derişimlerinin ortalaması olan değerler incelendiği takdirde; 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 ve 2015 yıllarında yıllık ortalama olarak birbirine oldukça yakın değerler görülmektedir. 2014 yılında yaklaşık %25’lik bir düşüş göze çarparken, 2016 yılında ise elde edilen ortalamanın diğer yıllarda ölçülen değerlerin yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir. 2014 yılındaki düşük yıllık ortalamanın sebebi bu yılın Nisan–Haziran ayları arasında ölçüm yapılamaması, 2016 yılı için hesaplanan yüksek ortalamanın en önemli sebebi ise, ölçümün bu yılın Ekim ayında sona erdirilmiş olması ve Kasım–Aralık aylarında ölçüm yapılmamasıdır. Düşük dış ortam sıcaklıkları, daha doğru bir ifadeyle düşük güneşlenme şiddeti

ve gün içi güneşlenme süresinin minimum seviyelerde olduğu bu iki kış ayında gerçekleştirilen ölçümler genellikle yılın en düşük değerleri olarak göze çarpmaktadır. Bu sebeple 2016 yılı için hesaplanan yıllık yüzey O₃ derişimlerine bu minimum değerlerin dahil edilmemesinden dolayı yıllık ortalama diğer yıllara göre daha yüksek gibi görünmesine rağmen, Mayıs–Temmuz ayları arası ölçülen O₃ derişimleri ile hesaplanan AOT40 değerleri ile yorum yapılması daha doğru olacaktır.

Yüzey O₃ derişimlerinin saatlik derişimleri Şekil 2’de özetlenmektedir. Şekilden de açıkça görülebileceği üzere, gün içi maksimum O₃ derişimleri 8 yıl boyunca gerçekleştirilen saatlik ölçümlerin ortalaması olarak incelendiğinde özellikle öğlen saatleri ve bunu takip eden birkaç saat süresince gözlenmektedir. Saat 11:00’dan itibaren yükselmeye başlayan O₃ derişimleri, saat 16:00’a kadar en yüksek seviyelere ulaşmakta, ilerleyen saatlerde ise azalan güneşlenme şiddeti sebebiyle azalmaya ve nihayetinde gece saatlerinde minimum seviyelere düşmektedir. Şekil 2’de görülen saatlik ortalamlardaki oldukça

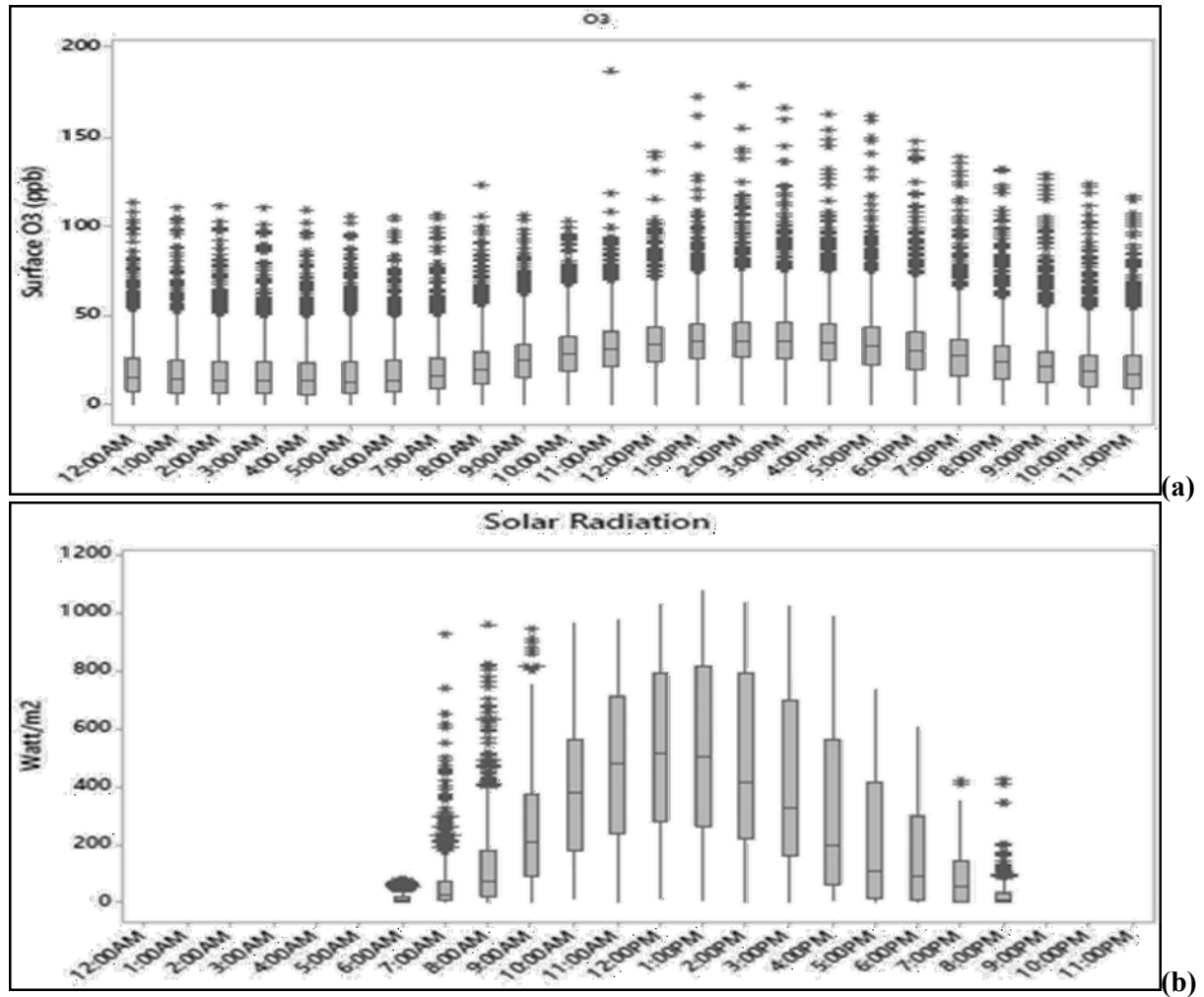
fazla sayıdaki aşırı değer ise, ifade edilen verinin 8 yıllık, ayrıca yılın 12 ayı için aynı saatlerdeki ölçüm sonuçları olduğu göz önüne alındığı takdirde aslında normal bir sonuçtur. Özellikle yaz aylarında artan güneş radyasyonu şiddeti ile günlük güneşlenme sürelerinin uzaması, yüzey O₃ oluşumunun iki önemli katalizidir. Atmosferik O₃ oluşum tepkimelerinde yer alan iki önemli girdi ise NO_x ve UOB derişimleridir. Bu iki parametreden NO_x, çoğunlukla trafik emisyonlarından kaynaklanmakta, bu sebeple yaz ve kış mevsimlerindeki atmosferik derişimleri bir miktar değışse de, büyük oranda sabit olmaktadır.

Diğer bir girdi olan UOB'lerden antropojenik kaynaklı olanlar özellikle yaz mevsiminde buharlaşmanın artması sebebiyle atmosferde daha yüksek derişimlere erişmektedirler. Biyojenik kaynaklı UOB derişimleri ise, çok yıllık bitkilerin birçoğunun kış mevsiminde yaprak dökmesi ve ilkbahar–yaz mevsimlerinde yeşillenmesi sebebiyle yine yaz mevsimlerinde önemli miktarda artmaktadır. Bütün bu etmenler neticesinde ikincil bir kirletici olan yüzey O₃ derişimleri yaz mevsiminde anlamlı şekilde artmaktadır.

Çizelge 2. 2009–2016 yılları arasında ölçülen yüzey O₃ derişimlerinin veri özeti (ppb)

Table 2. Summary data of surface O₃ concentrations measured between the years of 2009–2016 (ppb)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ort.±Std. sapma	24.9±16.5	26.7±14.9	23.2±12.4	21.8±12.3	22.9±13.6	17.0±11.9	22.1±13.8	52.3±21.3
Minimum	1.0	1.0	0.54	02.0	1.0	0.01	0.06	0.15
Maksimum	125.5	84.1	123.0	186.8	84.8	61.4	78.3	178.8



Şekil 2. Saatlik yüzey O₃ derişimleri (a) ve saatlik güneş radyasyonu (b)

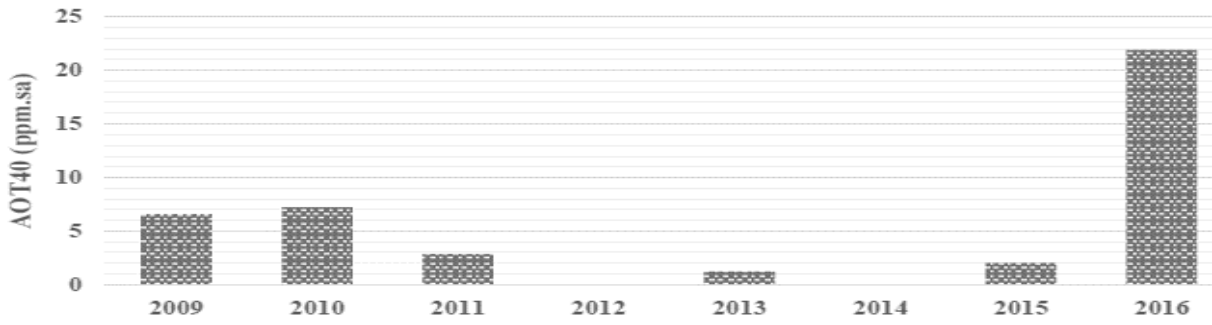
Figure 2. Hourly surface O₃ concentrations (a) and hourly solar radiation (b)

AOT40 ve Tarımsal Bitkilere Negatif Etkileri

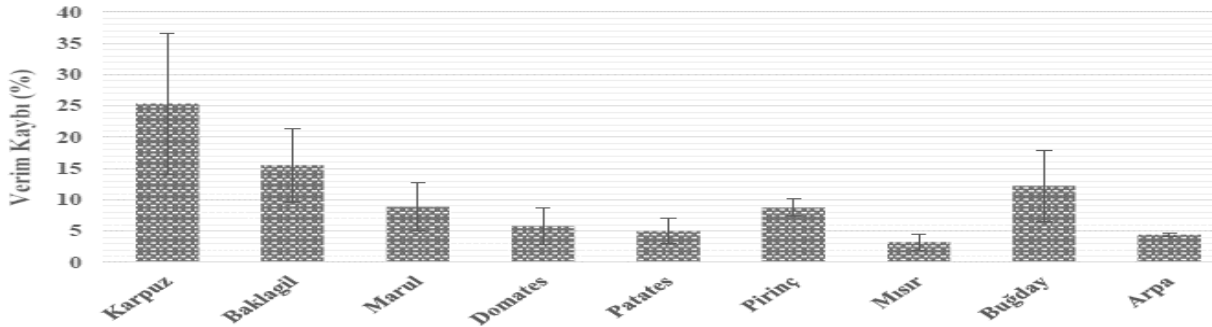
2009–2016 yılları arasında tarımsal bitkilerin yetiştirildiği dönem olan Nisan–Haziran ayları arasında ölçülen saatlik yüzey O₃ derişimleri kullanılarak hesaplanan AOT40 miktarları Şekil 3’te özetlenmiştir. 2012 ve 2014 yıllarında Nisan–Haziran aylarında ölçümlerin gerçekleştirildiği cihazda meydana gelen teknik arızalar sebebiyle ölçüm alınamadığından dolayı AOT40 hesaplaması yapılamamıştır. Elde edilen AOT40 değerleri incelendiğinde, yıllık değerlerin 1.2 ppm.sa ile 21.9 ppm.sa arasında değiştiği ve

ölçüm gerçekleştirilen 6 yılın ortalamasının 6.9 ± 7.1 olduğu görülmüştür.

Elde edilen AOT40 değerleri ve Bolu ilinde yoğun olarak yetiştirilen 9 tarımsal bitki için literatürden derlenen AOT40’a dayalı maruziyet–tepki eşitlikleri kullanılarak hesaplanan verim kayıpları Şekil 4’te özetlenmektedir. Verim kayıpları incelendiğinde, O₃’a oldukça duyarlı olan karpuz, baklagiller, marul ve buğdayda meydana gelebilecek verim kayıplarının sırasıyla $\%25 \pm 11.3$, $\%15 \pm 3$, $\%9 \pm 4$ ve $\%12 \pm 6$ seviyelerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Yıllık AOT40 miktarları
Figure 3. Annual AOT40 amounts



Şekil 4. AOT40’a dayalı verim kayıpları
Figure 4. AOT40 based yield losses

SONUÇLAR

Yapılan araştırma neticesinde hesaplanan 3’er aylık birikimli AOT40 miktarlarının 6.9 ± 7.1 ppm.sa olan ortalamasının, tarımsal ürünlerden O₃’e hassas olan karpuz, baklagiller, marul, buğday ve domates için belirlenen kritik seviyeler olan sırasıyla 1.6, 3, 4.6, 3.3 ve 6 ppm.sa değerlerinden yüksek olduğu, dolayısıyla bu türlerin tamamında kayda değer verim kayıplarına sebep olabileceği görülmüştür. Gerçekleştirilen verim kaybı hesaplamalarına göre en büyük verim kaybının karpuzda, sonrasında ise baklagiller, marul, buğday ve domateste meydana geleceği

sonucuna ulaşılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma neticesinde çeşitli antropojenik kaynaklardan salınmakta olan azot oksitler ve çeşitli uçucu organik bileşenlerin güneş ışığı katalizindeki tepkimeleri sonucu oluşan ikincil bir kirlenici olan ozonun, insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin haricinde, tarımsal ürünlere de kayda değer oranda zararlar vermekte olduğu ortaya çıkmaktadır. Gerek halk sağlığının korunması, gerekse besin gıda ihtiyacının karşılanması amacıyla gerçekleştirilen tarımsal üretimde meydana gelebilecek kayıpları engellemek için atmosferik O₃ derişimlerinin azaltılması gerekmektedir. Bu bağlamda O₃ bileşeninin oluşumunda doğrudan

etkisi olan ve özellikle motorlu taşıt emisyonlarından kaynaklanan NO_x gibi O₃ öncülü gazların salınımını azaltmaya yönelik önlemlerin acilen ulusal hava kalitesi denetimi yönetmeliklerine entegre edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Alexandratos, N., Bruinsma, J., 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*.
2. Avnery, S., Mauzerall, D.L., Liu, J., Horowitz, L.W., 2011. Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. year 2000 crop production losses and economical damage. *Atmospheric Environment* 45:2284–2296.
3. Chuwah, C., van Noije, T., van Vuuren, D.P., Stehfest, E., Hazeleger, W., 2015. Global impacts of surface ozone changes on crop yields and land use. *Atmospheric Environment* 106:11–23.
4. Çamdalı, Ü., Tunç, M., 2012. Ground temperature estimations for Bolu, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 184:3721–3729.
5. Çamdalı, Ü., Tuncel, E., 2013. An economic analysis of horizontal ground source heat pumps (GSHPs) for use in heating and cooling in Bolu, Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 8:3, 290–303.
6. HKDYY: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. Resmi Gazete Tarihi 06.06.2008, Resmi Gazete Sayısı: 26898. [http 1: Amerikan Çevre Koruma Ajansı \(USEPA\) Dış ortam kirletici sınır değerleri. https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaq-table](http://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaq-table) (Erişim Tarihi: 04.04.2018). [http 2: Bolu Valiliği Resmi internet sitesi. http://www.bolu.gov.tr](http://www.bolu.gov.tr) (Erişim Tarihi: 04.04.2018).
7. İm, U., Poupkou, A., İncecik, S., Markakis, K., Kindap, T., Unal, A., Melas, D., Yenigün, O., Topçu, S., Odman, M.T., Tayanç, M., Güler, M., 2011. The impact of anthropogenic and biogenic emissions on surface ozone concentrations in İstanbul. *Science of the Total Environment* 409:1255–1265.
8. İm, U., İncecik, S., Güler, M., Tek, A., Topçu, S., Unal, Y.S., Yenigün, O., Kindap, T., Odman, M.T., Tayanç, M., 2013. Analysis of surface ozone and nitrogen oxides at urban, semi-rural and rural sites in İstanbul, Turkey. *Science of the Total Environment* 443:920–931.
9. Karlsson, P.E., Klingberg, J., Engardt, M., Andersson, C., Langner, J., Karlsson, G.P., Pleijel, H., 2017. Past, present and future concentrations of ground level ozone and potential impacts on ecosystems and human health in northern Europe. *Science of the Total Environment* 576:22–35.
10. Mills, G., Buse, A., Gimeno, B., Bermejo, V., Holland, A., Emberson, L., Pleijel, H., 2007. A synthesis of AOT40-based response functions and critical levels of ozone for agricultural and horticultural crops. *Atmospheric Environment* 41:2630–2643.
11. 11. Ground-level Ozone in the 21st century: future trends. *Impacts and Policy Implications Science Policy Report 15/08, UK*.
12. Sarı, D., İncecik, S., Ozkurt, N., 2016. Surface ozone levels in the forest and vegetation areas of the Biga Peninsula, Turkey. *Science of the Total Environment* 571:1284–1297.
13. Simpson, D., Arneth, A., Mills, G., Solberg, S., Uddling, J., 2014. Ozone the persistent menace: interactions with the N cycle and climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 9–10, 9–19.
14. Tai, A.P.K., Martin, M.V., 2017. Impacts of ozone air pollution and temperature extremes on crop yields: Spatial variability, adaptation and implications for future food security. *Atmospheric Environment* 169:11–21.
15. Topcu, S., İncecik, S., 2002. Surface ozone measurements and meteorological influences in the urban atmosphere of İstanbul. *International Journal of Environmental Pollution* 17:390–404.
16. WHO (World Health Organization–Dünya Sağlık Örgütü) Regional Office for Europe, 2000. Air quality guidelines for Europe; second edition, WHO regional publications. *European series; No:91*.
17. Van Dingenen, R., Dentener, F.J., Raes, F., Krol, M.C., Emberson, L., Cofala, J., 2009. The global impact of ozone on agricultural crop yields under current and future air quality legislation. *Atmospheric Environment* 43:604–618.
18. Yue, X., Unger, N., 2014. Ozone vegetation damage effects on gross primary productivity in the United States. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14:9137–9153.