



Düzce Hava Kalitesi İzleme İstasyonu 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 Tarihleri Arasındaki Verilerinin İncelenmesi

Semiha İSKENDER¹, Filiz BOLU¹, Muammer YILMAZ², Atilla Senih MAYDA¹

Öz

Düzce ilinin 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 tarihleri arasındaki hava kalitesi verilerinin haftanın günlerine, aylara ve kış-yaz sezonuna göre değişimlerini incelemek amaçlanmıştır. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi'nden Düzce'nin 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 tarihleri arasındaki partikül madde 10, SO₂, rüzgar hızı ölçüm sonuçları alınmıştır. Verilerin haftanın günlerine, hafta içi- hafta sonu günlerine, aylara ve sezonlara göre değişimleri incelenmiştir. PM₁₀ ve SO₂ ölçüm sonuçlarının en düşük olduğu günler cumartesi ve pazar iken, en yüksek olduğu günün çarşamba olduğu görülmüştür. Aylar arasında PM₁₀, SO₂ ortalamaları bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. En yüksek PM₁₀ ortalaması Aralık ayına aittir. En düşük PM₁₀ ortalaması Ağustos ayına aittir. Aylar arasında rüzgâr hızı ortalamaları bakımından da istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. En yüksek rüzgâr hızı ortalaması Temmuz, en düşük rüzgâr hızı ortalaması Kasım ayına aittir. En yüksek PM₁₀ değeri ve en düşük rüzgâr hızı ortalaması 2014-2015 kış sezonuna aittir. En düşük PM₁₀ değeri ortalaması 2012-2013 kış sezonuna aittir. En yüksek SO₂ değeri ortalaması 2013-2014 kış sezonuna aittir. En düşük SO₂ değeri ortalaması 2011-2012 kış sezonuna aittir. Düzce'de yıl boyunca PM₁₀ insan sağlığına zarar verebilecek boyutlara ulaşmaktadır. Hafta içi günlerde, ortalama rüzgâr hızının az olduğu aylarda ve kış sezonunda kirlilik oranlarının arttığı görülmektedir. Rüzgâr hızının en yüksek olduğu haziran, temmuz, ağustos aylarında ve endüstriyel aktivite ile şehir içi trafik yoğunluğunun azaldığı Pazar günlerinde PM₁₀ en düşük düzeylerde seyretmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzce; hava kirliliği; PM₁₀.

The Investigation of Data of Düzce Air Quality Monitoring Station Between 1 October 2011-31 March 2015

ABSTRACT

Analyzing the weather quality information of Duzce city between 1th of October 2011 and 31th of March 2015 by days of week, months and by summer and winter seasons. Particulate matter₁₀, SO₂, wind speed and wind direction measurement results in Duzce between October 1st, 2011 and March 31st, 2015 are obtained from Republic of Turkish, Ministry of Environment's website for Air Quality Monitoring Stations. Changes in data are analyzed by weekdays, weekends, months and seasons. While the lowest measurements of PM₁₀ and SO₂ are found to be on weekends, the highest values are on Wednesday's. The monthly analysis of average PM₁₀ and SO₂ levels are statistically significant different. The highest average value of PM₁₀ is in December and the lowest is in August. The statistical monthly analysis of average wind speed also differs significantly. The highest wind speed average measured in July, while November has the lowest average wind speed. Beside daily and monthly analysis, the seasonal statistical trends are also investigated. The highest PM₁₀ value and the lowest average wind speed belong to the 2014-2015 winter season. The lowest average value of PM₁₀ is found to occur 2012-2013 winter seasons. The highest average value of SO₂ is detected in 2013-2014 winter season. The lowest average value of SO₂ is detected in 2011-2012 winter season. The PM₁₀ concentration reaches in Duzce to the level that can damage human health in all of the year. The air pollution reaches high levels on the weekdays, in the winter season and on the months that have lower wind speed average. The PM₁₀ concentration was lowest on June, July, and August when the average wind speed was the higher, and on Sundays when the industrial activity and the urban traffic decrease.

Keywords: Duzce; air pollution; PM₁₀.

¹ Düzce Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı

² Düzce Merkez Toplum Sağlığı Merkezi

Correspondence: Dr. Semiha İSKENDER, e-posta: semiskender@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received: 16.11.2015 Kabul Tarihi / Accepted: 23.05.2016

GİRİŞ

Soluduğumuz dış havada kükürt dioksit (SO₂), partikülmadde (PM), nitrojen oksitleri (NO_x) ve ozon (O₃) gibi kirleticilerin çevre ve sağlık üzerinde olumsuz etkiler yapacak düzeylerde olması hava kirliliği olarak tanımlanır (1).

Hava kirliliğine yol açabilen kaynaklar; doğal kaynaklar ve evsel ısınma araçları, sanayi kuruluşları, taşıtlar gibi yapay kaynaklar şeklindedir (2). Hava kirliliği kaynaklarından asıl kirlilik problemi oluşturan grup yapay kaynaklardır. Yapay kaynaklardan dış ortama verilen kirleticilerin yıllık miktarları, birkaç yüz tondan milyonlarca tona kadar ulaşmaktadır (3). Hızlı kentleşme, sanayileşme, motorlu araç sayısının artması, meteorolojik koşullar, ısınmada kullanılan yakıtlar ve termik santrallerin yaygınlaşması hava kirliliğinin artmasında önemli rol oynamaktadır (4). Bütün bu etkenlere bağlı olarak Dünyada hava kirletici emisyonlarında 2030 yılına kadar beş katlık bir artış beklenmektedir (1).

Hava kirliliğinin sağlık üzerine etkisini inceleyen çalışmalar, hava kirliliğine maruziyetin, hastane başvurularında, hastaneye yatışlarda ve ölüm oranlarında artışa neden olduğunu ortaya koymuştur. Hava kirliliği özellikle miyokardiyal iske mi, kalp yetmezliği, aritmi gibi kardiyovasküler hastalıklar ile astım ve akciğer kanseri gibi solunum sistemi hastalıklarından kaynaklanan ölümlerle ilişkilidir (5). Bu hastalıklara ek olarak Alzheimer ve Parkinson hastalığı ya da inme gibi nörolojik hastalıkların da hava kirliliği ile yakından ilişkili olduğunu gösteren çalışmalar vardır (6). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) hava kirliliğinin yılda üç milyondan fazla beklenmeyen ve önenebilir ölüme yol açtığını tahmin etmektedir (7).

Hava kirliliği araştırmalarının çıkış noktasını, 1934'te Belçika'da Meuse Vadisinde, 1947'de ABD'de Donora'da ve 1952'de Londra'da bir aydan kısa sürede binlerce kişinin ölümüyle sonuçlanan ve çok yüksek PM emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliği epizotları oluşturmuştur (8). Hava kirliliği kontrolü sağlamaya yönelik yasal düzenlemeler ilk olarak ABD'de 1955'te, daha sonra 1980 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde yapılmıştır. Hava kirliliği kontrolünün kanuni süreçlere girmesiyle dünyanın birçok ülkesinde hava kirleticiler için limit değerler kullanılmaktadır (9). Türkiye'de hava kalitesinin korunması ve kirliliğinin kontrol altına alınmasına ilişkin ilk yasal düzenleme 1986'da yürürlüğe giren Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ile getirilmiştir. Avrupa Birliği (AB) mevzuatına uyum çalışmaları sonucunda bu yönetmelik kaldırılarak 06.06.2008 tarihinde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda 81 il merkezine kurulan tam otomatik ölçüm istasyonlarında kükürt dioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) başta olmak üzere ozon (O₃), karbon monoksit (CO), nitrojen oksit (NO) gibi kirleticiler de ölçülmektedir (10,11).

Türkiye'de hava kirliliği, özellikle 1950'li yıllardan sonraki hızlı nüfus artışı, hızlı kentleşme ve endüstrileşme sonucu artan enerji talebinin daha çok petrol ve kömür gibi fosil yakıtlarla karşılanmaya çalışılması sonucu başta İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük kentlerde olmak üzere şiddetli epizotlarayol açmıştır (12).

Havadaki partikül maddeler insan sağlığını etkileyen en önemli kirleticilerden biridir (13). Partikül maddeler kısa süreli maruz kalındığında, akciğerleri irrite ederek öksürük ve nefes darlığına neden olmakta, özellikle PM_{2.5} de bulunan maddelerin çözülmesi durumunda hücre deformasyonu meydana gelmektedir. Uzun dönemli düşük konsantrasyonlara maruz kalındığında kanser ve prematüre ölümlere neden olmaktadır (3). Düzce ısınma, sanayi ve trafik kaynaklı kirlilikle birlikte topografik yapısı nedeniyle PM₁₀ kirliliğinin yaşandığı illerden biridir. Düzce'de PM₁₀ ölçümlerinin 24 saatlik ortalaması 2007-2011 yılları arasında tüm yıllarda sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur (14).

Hava kirliliği konusunda yapılmış çalışmalar PM₁₀ değerlerinin mevsimlere, günlere ve saatlere göre farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur (15). Bu çalışmada 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 tarihleri arasında Düzce ilindeki hava ölçüm istasyonlarından elde edilen PM₁₀, SO₂, rüzgâr hızı gibi verilerin günlük, aylık ve mevsimsel değişimlerini incelemek amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu kesitsel çalışmada Düzce iline ait 1 Ekim 2011- 31 Mart 2015 tarihleri arasındaki hava kalitesi verileri T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi'nden alınmıştır. Düzce ilinde bir adet ölçüm istasyonu bulunmakta ve bu istasyonda hava kirleticilerden PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin ölçümü yapılmaktadır (16). Araştırmada SO₂ ve PM₁₀ değerleri yaz ve kış sezonlarına, aylara, haftanın günlerine, hafta içi hafta sonu günlerine göre karşılaştırılmıştır. Araştırmanın bağımlı değişkenleri; bu siteden elde edilen PM₁₀, SO₂ ve rüzgâr hızı iken, bağımsız değişkenleri; hafta içi-hafta sonu günleri, aylar ve mevsimlerdir. Kış sezonu 1 Ekim-31 Mart tarihleri arasındaki değerleri, yaz sezonu ise 1 Nisan-30 Eylül arasındaki değerleri kapsamaktadır (11).

İstatistiksel Analiz

SPSS 18.0 paket programı kullanılarak yapıldı. Verilerin ortalama, standart sapma, standart hata, minimum ve maksimum değerleri hesaplandı. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile incelendi. PM₁₀, SO₂, rüzgâr hızı ortalamalarının kış-yaz sezonları ve hafta içi-haftasonu günlerine göre karşılaştırılmasında değerler normal dağılım göstermediği için Mann-Whitney U testi kullanıldı. Haftanın günlerine ve aylara göre ortalamaların karşılaştırılmasında ise Kruskal Wallis Varyans Analizi Testi kullanıldı. Çoklu karşılaştırmalarda gruplar arasındaki farklılıkların kaynağını araştırmak amacıyla homojen alt testler post hoc testiyle anlamlı farklılıkların belirlenmesi sağlandı. Çalışmada istatistiksel anlamlılık düzeyi p<0,05 olarak alındı.

BULGULAR

Tablo 1'de haftanın günlerine göre PM₁₀, SO₂, rüzgâr hızı dağılımı gösterilmiştir. Pazartesi günlerinin PM₁₀ ortalama ve standart hatası 95,63±5,9 µg/m³, salı günleri 98,24±6,4 µg/m³ çarşamba günleri 99,84±6,2 µg/m³, perşembe günleri 97,96±5,7 µg/m³, cuma günleri 96,14±5,9 µg/m³, cumartesi günleri 89,43±5,3 µg/m³, pazar günleri ise 89,0±5,2 µg/m³

ölçülmüştür. Pazartesi günlerinin SO₂ ortalama ve standart hatası 6,51±0,3 µg/m³, salı günleri 6,75±0,4 µg/m³ çarşamba günleri 6,87±0,4 µg/m³, perşembe günleri 6,55±0,4 µg/m³, cuma günleri 6,72±0,4 µg/m³, cumartesi günleri 6,51±0,3 µg/m³, pazar günleri 6,18±0,35 µg/m³ ise ölçülmüştür. PM10 ve SO₂ ölçümlerinin en düşük olduğu günler cumartesi ve pazar iken, en yüksek olduğu günün çarşamba olduğu görülmüştür. Rüzgâr hızı ortalama ve standart hatası pazartesi günü 0,94±0,3 m/s, salı günü 0,95±0,3 m/s, çarşamba günü 0,92±0,3 m/s, perşembe günü 0,95±0,3 m/s, cuma günü 0,98±0,3 m/s, cumartesi 0,98±0,3 m/s, pazar günü 0,95±0,3 m/s olarak ölçülmüştür. PM10, SO₂ ve rüzgâr hızı ölçümlerinde haftanın günlerine göre istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (p>0,05). Tablo 2’de PM10, SO₂ konsantrasyonlarının, rüzgâr hızı değerlerinin hafta içi-hafta sonu günlerine göre dağılımı gösterilmiştir. PM10 ortalama ve standart hatası hafta içi 97,4±2,7 µg/m³, hafta sonu 89,4±3,7 µg/m³ ölçülmüştür. SO₂ ortalama ve standart hatası hafta içi 6,65±0,18 µg/m³, hafta sonu 6,31±0,26 µg/m³ ölçülmüştür. Rüzgâr hızı ortalama ve standart hatası hafta içi 0,95±0,97 m/s, hafta sonu 0,016±0,02 m/s ölçülmüştür. PM10, SO₂, rüzgâr hızı ölçümlerinde hafta içi-hafta sonu günlerine göre anlamlı fark bulunmamıştır (p>0,05).

Tablo 3’te PM10, SO₂ ve rüzgâr hızı ölçümlerinin aylara göre dağılımı gösterilmiştir. PM10 ortalama ve standart hatası Ocak ayında 135,07±10,58 µg/m³, Şubat ayında 114,17±7,69 µg/m³, Mart ayında 99,99±5,43 µg/m³, Nisan ayında 78,65±4,11 µg/m³, Mayıs ayında 57,33±2,25 µg/m³, Haziran ayında 51,77±1,65 µg/m³, Temmuz ayında 53,81±1,71 µg/m³, Ağustos ayında 51,37±1,61 µg/m³, Eylül ayında 59,90±2,56 µg/m³, Ekim ayında 82,21±3,87 µg/m³, Kasım ayında 148,06±8,25 µg/m³, Aralık ayında 162,72±10,74 µg/m³ olarak ölçülmüştür. En yüksek PM10 değeri ortalaması Aralık ayına aittir. En düşük PM10 değeri ortalaması Ağustos ayına aittir. Aylar arasında PM10 ortalamaları bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur (p<0,001). Homojen alt testler post hoc testiyle yapılan analizde Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım, Aralık ayları PM10 düzeyleri Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına göre yüksek bulunmuştur. Kasım ve Aralık ayıtüm aylara göre, Şubat ayı Nisan ayına göre, Ocak ayı ise Ekim ayına göre yüksek olup anlamlı fark bulunmuştur. SO₂ ölçümlerinin aylara göre ortalama ve standart hatası Ocak ayında 7,21±0,38 µg/m³, Şubat ayında 7,70±0,60 µg/m³, Mart ayında 10,72±0,72 µg/m³, Nisan ayında 8,43±0,45 µg/m³, Mayıs ayında 6,68±0,47 µg/m³, Haziran

Tablo 1. Haftanın günlerine göre PM10, SO₂, rüzgâr hızı dağılımı

	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ki-kare*	sd	p
	Ort±SH	Ort±SH	Ort±SH	Ort±SH	Ort±SH	Ort±SH	Ort±SH			
PM10 (µg/m ³)	95,63±5,9	98,24±6,4	99,84±6,2	97,96±5,7	96,14±5,9	89,43±5,3	89,0±5,2	5,196	6	0,519
SO ₂ (µg/m ³)	6,51±0,3	6,75±0,4	6,87±0,4	6,55±0,4	6,72±0,4	6,51±0,3	6,18±0,35	0,690	6	0,990
Rüzgâr hızı (m/s)	0,94±0,3	0,95±0,3	0,92±0,3	0,95±0,3	0,98±0,3	0,98±0,3	0,95±0,3	2,680	6	0,840

*Kruskal Wallis Ki-kare (Veri sayısı:1177), Ort±SH: Ortalama±Standart hata, sd: serbestlik derecesi

Tablo 2. Hafta içi-hafta sonu günlerine göre PM10, SO₂ ve rüzgâr hızı

	Hafta içi		Hafta sonu		P
	Ortalama	St. Hata	Ortalama	St. Hata	
PM10 (µg/m ³)	97,4	2,70	89,4	3,70	0,094
SO ₂ (µg/m ³)	6,65	0,18	6,31	0,26	0,544
Rüzgâr hızı (m/s)	0,95	0,97	0,016	0,02	0,506

Veri sayısı:1177, St. Hata: standart hata

Tablo 3. 2011-2015 yılları arasında aylara göre PM10, SO₂ ve rüzgâr hızı dağılımı

Aylar	PM10 (µg/m ³)		SO ₂ (µg/m ³)		Rüzgâr hızı (m/s)	
	Ortalama	Min-maks	Ortalama	Min-maks	Ortalama	Min-maks
Ocak	135,07	19-667	7,21	1-27	0,72	0,4-2,4
Şubat	114,17	19-455	7,70	1-30	0,68	0,4-2,0
Mart	99,9	17-305	10,72	2-34	0,99	0,4-3,0
Nisan	78,65	15-389	8,43	3-18	1,17	0,6-2,5
Mayıs	57,33	19-117	6,68	1-24	1,18	0,7-3,2
Haziran	51,77	25-103	4,82	1-19	1,29	0,7-2,6
Temmuz	53,81	26-98	2,69	1-13	1,36	0,7-2,7
Ağustos	51,37	20-98	2,74	0-19	1,25	0,7-3,2
Eylül	59,90	21-157	3,93	1-14	1,07	0,6-2,0
Ekim	82,21	9-206	5,80	1-20	0,91	0,4-2,3
Kasım	148,06	24-368	7,31	1-19	0,57	0,4-1,4
Aralık	162,72	18-506	8,00	2-32	0,63	0,4-2,1
	Ki-kare*= 282,107 sd=11 p<0,001		Ki-kare*=338,104 sd=11 p<0,001		Ki-kare*=491,930 sd=11 p<0,001	

*Kruskal Wallis (Veri sayısı:1177), min: minimum, maks: maksimum, sd: serbestlik derecesi

ayında $4,82 \pm 0,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Temmuz ayında $2,69 \pm 0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ağustos ayında $2,74 \pm 0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Eylül ayında $3,93 \pm 0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ekim ayında $5,80 \pm 0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Kasım ayında $7,31 \pm 0,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Aralık ayında $8,00 \pm 0,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olup, en yüksek SO₂ değeri ortalaması Mart ayına aittir. En düşük SO₂ değeri ortalaması ise Temmuz ayına aittir. Aylar arasında SO₂ ortalamaları bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,001$). Yapılan post hoc analizde en düşük SO₂ değeri Temmuz, Ağustos, en yüksek Mart ve Nisan aylarına aittir. Ocak, Şubat, Mayıs, Kasım, Aralık aylarında SO₂ düzeyleri birbirine benzer olup Haziran, Eylül ve Ekim aylarından yüksektir.

Rüzgâr hızının aylara göre ortalama ve standart hatası, Ocak ayında $0,72 \pm 0,03 \text{ m/s}$, Şubat ayında $0,68 \pm 0,02 \text{ m/s}$, Mart ayında $0,99 \pm 0,04 \text{ m/s}$, Nisan ayında $1,17 \pm 0,04 \text{ m/s}$, Mayıs ayında $1,18 \pm 0,05 \text{ m/s}$, Haziran ayında $1,29 \pm 0,05 \text{ m/s}$, Temmuz ayında $1,36 \pm 0,05 \text{ m/s}$, Ağustos ayında $1,25 \pm 0,04 \text{ m/s}$, Eylül ayında $1,07 \pm 0,04 \text{ m/s}$, Ekim ayında $0,91 \pm 0,04 \text{ m/s}$, Kasım ayında $0,57 \pm 0,01 \text{ m/s}$, Aralık ayında $0,63 \pm 0,02 \text{ m/s}$ olarak ölçülmüş olup, en yüksek rüzgâr hızı ortalaması Temmuz ayına aittir. En düşük rüzgâr hızı ortalaması Kasım ayına aittir. Aylar arasında rüzgâr hızı ortalamaları bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,001$). Post hoc testlerde Haziran, Temmuz, Ağustos ayları rüzgâr hızları birbirine benzer olup diğer aylardan anlamlı olarak yüksek bulunmuştur. Kasım ve Aralık aylarında rüzgâr hızları diğer aylara göre anlamlı olarak düşük bulunmuştur. Ocak ile Şubat, Mart ile Ekim ve Nisan, Mayıs ile Eylül aylarında rüzgâr hızları birbirine benzer bulunmuştur.

Tablo 4'te PM₁₀, SO₂ konsantrasyonlarının verüzgâr hızı değerlerinin sezonlara göre dağılımı gösterilmiştir. PM₁₀ ortalama ve standart hatası kış sezonlarında $133,2 \pm 4,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yaz sezonlarında $66 \pm 1,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüştür. PM₁₀ değerlerinde kış ve yaz sezonları arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,001$). SO₂ ortalama ve standart hatası kış sezonlarında $7,42 \pm 0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yaz sezonlarında $5,87 \pm 0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüştür. SO₂ değerlerinde kış ve yaz sezonları arasında anlamlı fark

bulunmuştur ($p < 0,001$). Rüzgâr hızı ortalama ve standart hatası kış sezonlarında $0,74 \pm 0,01 \text{ m/s}$ olup yaz sezonlarında $1,13 \pm 0,01 \text{ m/s}$ ölçülmüştür. Rüzgâr hızı değerlerinde kış ve yaz sezonları arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,001$).

Tablo 5'te PM₁₀, SO₂ ve rüzgâr hızı ölçümlerinin yıllara göre kış sezonlarındaki dağılımı gösterilmiştir. PM₁₀ ortalama ve standart hatası 2011-2012 kış sezonunda $127,03 \pm 6,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2012-2013 kış sezonunda $91,39 \pm 4,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2013-2014 kış sezonunda $132,40 \pm 6,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2014-2015 kış sezonunda $138,99 \pm 8,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. PM₁₀ ortalamaları yıllara göre kış sezonlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,001$). Yapılan post hoc testlerde 2012-2013 kış sezonuna ait PM₁₀ değerlerinin diğer yıllardan düşük olduğu bulunmuştur. SO₂ ortalamaları 2011-2012 kış sezonunda $5,82 \pm 0,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2012-2013 kış sezonunda $9,21 \pm 0,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2013-2014 kış sezonunda $9,24 \pm 0,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2014-2015 kış sezonunda $7,39 \pm 0,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. SO₂ ortalamaları kış sezonlarında yıllara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,001$). En yüksek SO₂ değeri ortalaması 2013-2014 kış sezonunda, en düşük SO₂ değeri ortalaması 2011-2012 kış sezonunda ölçülmüş olup, post hoc testlerde tüm yılların birbirinden anlamlı farklılık gösterdiği bulunmuştur.

Rüzgâr hızı ortalamaları 2011-2012 kış sezonunda $0,76 \text{ m/s}$, 2012-2013 kış sezonunda $0,80 \text{ m/s}$, 2013-2014 kış sezonunda $0,82 \text{ m/s}$, 2014-2015 kış sezonunda $0,64 \text{ m/s}$ olarak ölçülmüştür. Rüzgâr hızı ortalamaları yıllara göre kış sezonlarında istatistiksel olarak anlamlı fark göstermektedir ($p < 0,001$). Post hoc testlerde en düşük rüzgâr hızı değerlerinin ölçüldüğü 2014-2015 kış sezonunun diğer yıllara göre anlamlı farklılık gösterdiği bulunmuştur.

Tablo 6'da PM₁₀, SO₂ ve rüzgâr hızı ölçümlerinin yıllara göre yaz sezonlarında dağılımı gösterilmiştir. PM₁₀ ortalamaları 2012 yaz sezonunda $62,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2013 yaz sezonunda $44,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2014 yaz sezonunda $69,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. En yüksek PM₁₀ değeri ortalaması

Tablo 4. PM₁₀, SO₂ ve rüzgâr hızı ölçümlerinin kış ve yaz sezonlarına göre dağılımı (2011-2015)

	Kış Sezonu			Yaz Sezonu			p
	Ortalama	St. Hata	Min-Maks	Ortalama	St. Hata	Min-Maks	
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	133,20	4,21	9-667	66	1,42	15-270	<0,001
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,42	0,22	1-32	5,87	0,19	0-34	<0,001
Rüzgâr hızı (m/s)	0,7430	0,01	0,4-3	1,1316	0,01	0,4-302	<0,001

Veri sayısı:1177, st: standart hata, min: minimum, maks: maksimum

Tablo 5. PM₁₀, SO₂ ve rüzgâr hızı ölçümlerinin kış sezonlarında yıllara göre dağılımı

Sezon	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Rüzgâr Hızı (m/s)	
	Ortalama	St. Hata	Ortalama	St. Hata	Ortalama	St. Hata
2011-2012 kış	127,03	6,63	5,82	0,37	0,7634	0,02
2012-2013 kış	91,39	4,66	9,21	0,59	0,8013	0,02
2013-2014 kış	132,40	6,53	9,24	0,32	0,8207	0,03
2014-2015 kış	138,99	8,47	7,39	0,41	0,6400	0,30
Ki-kare	22,637		83,206		91,509	
sd	3		3		3	
p	<0,001		<0,001		<0,001	

Veri sayısı:1177, St. Hata: standart hata, sd: serbestlik derecesi

Tablo 6. PM10, SO2 ve rüzgâr hızı ölçümlerinin yaz sezonlarında yıllara göre dağılımı

Sezon	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Rüzgâr Hızı (m/s)	
	Ortalama	St. Hata	Ortalama	St. Hata	Ortalama	St. Hata
2012 yaz	62,83	1,89	3,56	0,11	0,9557	0,01
2013 yaz	44,50	1,28	5,16	0,28	0,9629	0,01
2014 yaz	69,1	1,91	6,08	0,38	1,7751	0,02
Ki-kare	136,719		8,637		332,939	
sd	2		2		2	
p	<0,001		0,013		<0,001	

(Veri sayısı:1177), St. Hata: standart hata, sd: serbestlik derecesi

2014 yaz sezonuna aittir. En düşük PM10 değeri ortalaması 2013 yaz sezonuna aittir. PM10 ortalamaları yıllara göre yaz sezonlarında istatistiksel olarak anlamlı fark göstermektedir ($p<0,001$). SO2 ortalamaları 2012 yaz sezonunda $3,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2013 yaz sezonunda $5,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2014 yaz sezonunda $6,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. En yüksek SO2 ortalaması 2014 yaz sezonuna aittir. En düşük SO2 ortalaması 2012 yaz sezonuna aittir. SO2 ortalamaları yıllara göre yaz sezonlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0,013$).

Rüzgâr hızı ortalamaları 2012 yaz sezonunda $0,95 \text{ m/s}$, 2013 yaz sezonunda $0,96 \text{ m/s}$, 2014 yaz sezonunda $1,77 \text{ m/s}$ olarak ölçülmüştür. En yüksek rüzgâr hızı değeri ortalaması 2014 yaz sezonuna aittir. En düşük rüzgâr hızı değeri ortalaması 2012 yaz sezonuna aittir. Rüzgâr hızı ortalamaları yıllara göre yaz sezonlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,001$).

TARTIŞMA

Bu çalışmada 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 tarihleri arasında Düzce ilindeki hava kalitesi ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerin hafta içi, hafta sonu günlerine ve kış-yaz sezonuna göre değişimleri incelenmiştir.

HKDYY'nde PM10 için yıllık ortalama sınır değeri $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirtilmiş ve bu sınırın $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e indirilmesi planlanmıştır (11). Düzce'de çalışmanın kapsadığı dönemde bu değerler aşılmıştır. Çevre ve Orman Bakanlığı Temiz Hava Eylem Planına göre ülkemizde PM10 kirliliğinin Düzce gibi fazla olduğu ilk on il Iğdır, Karabük, Denizli, Çorum, Bolu, Batman, Kahramanmaraş, Siirt, Van ve Mardin'dir (17). Bu illerde 2009 yılı için PM10 yıllık ortalaması $100-130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişmektedir. 2013-2014 kış sezonunda PM10 ortalamalarının en yüksek ölçüldüğü hava kalitesi izleme istasyonları sırasıyla Iğdır, Bolu, Düzce olarak tespit edilmiştir (18). 2009 yılından 2014 yılına kadar geçen sürede kentimizde hava kirliliği sorununun arttığı görülmektedir. Kentimizde hava kirliliği trafik, sanayi ve ısınma kaynaklıdır. PM10 ve SO2 değerleri kış sezonlarında yaz sezonlarından yüksek ölçülmüştür. Sanayi tesislerinin faaliyetlerinin yılın tamamında devam ettiği düşünüldüğünde hava kirliliğine katkısı yılın her döneminde eşit olması gerekmektedir. Ancak kış sezonunda kirleticilerin daha yüksek olması ısınma kaynaklı kirlenmenin etkisinin önemini göstermektedir. Yapılan çalışmalarda kış aylarında görülen kirliliğin %90'ının ısınma kaynaklı olduğu belirtilmiştir (2). Van'da ve Karabük'te yapılmış çalışmalarda PM10 ve SO2'ye bağlı hava kirliliğinin kente doğal gazın gelmesinden sonra anlamlı oranda azaldığı bildirilmiştir (19,20). Düzce ilinde doğal gaz kullanımının başlangıcı çok

eski bir tarihe dayanmamaktadır ve bu tarihe kadar yeterince yaygınlaşmamıştır. 2015 yılı itibarı ile doğal gaz aboneliği olan konut sayısı 44931 olup, bu sayı toplam konutların yalnızca yarısını oluşturmaktadır (21). Çin'de 2004-2012 yıllarını kapsayan bir çalışmada, yaz aylarında fosil yakıtların kullanımının azalması nedeniyle PM10 değerlerinin düştüğü görülmüş ve fosil yakıtların hava kirliliği üzerine anlamlı bir etkisi olabileceği ortaya konmuştur (22).

Rüzgârlar esiş frekansına bağlı olarak kirli havayı dağıtabilir ya da uzaklaştırabilirler. Rüzgârın düşük frekansta olduğu dönemlerde kirli hava kütleleri kentlerin üzerine yığılırlar (3). Bu çalışmada ortalama rüzgâr hızının az olduğu aylarda kirlilik oranlarının arttığı görülmektedir. Rüzgâr hızının en yüksek olduğu haziran, temmuz ve ağustos aylarında, PM10 en düşük düzeylerde seyretmiştir. Ayrıca bu çalışmada 2014-2015 kış sezonu PM10 ortalaması diğer yıllardaki kış sezonu ortalamasına göre yüksek bulunmuştur. Rüzgâr hızının 2014-2015 kış sezonunda daha düşük olması ile bu sezonda PM10 ve SO2 ortalamalarının diğer yıllardan yüksek bulunması arasında bir neden-sonuç ilişkisinin varlığı düşünülebilir. Meteorolojik koşullar ile SO2 ve PM10 düzeylerinin ilişkisini inceleyen bir çalışmada bu çalışma ile uyumlu olarak yüksek PM10 düzeyleri düşük rüzgâr hızı ile ilişkili bulunmuştur (23). Rüzgâr hızı ile hava kirliliği arasındaki ilişki Konya'da yapılan bir çalışmada da tespit edilmiştir. Konya kent atmosferinde özellikle kış periyodunda yüksek basınç ve düşük rüzgâr hızının etkisiyle hava kalitesinin bozulduğu belirtilmiştir (24). Düzce'de PM10 düzeylerinin en yüksek olduğu aylar sırasıyla aralık ve kasım aylarıdır. Aralık ayı rüzgar hızı bakımından en düşük üçüncü değer ölçüldüğü aydır. Rüzgar hızının en düşük olduğu Kasım ayında PM10 kirliliğinin en yüksek seviyede olmaması, hava kirliliğinde rüzgarın tek faktör olmadığını düşündürmektedir. Görüldüğü gibi PM10 konsantrasyonları rüzgâr hızının azaldığı ve ısınma amaçlı yakıt tüketiminin arttığı kış aylarında yaz aylarına göre yüksek bulunmuştur. Sonuçlar rüzgar hızının etkisinin yanında kentsel ısınmanın havadaki PM10 konsantrasyonlarına katkısını akla getirmektedir. Kentte ısınma amaçlı yakıt tüketiminin başladığı Ekim ayından itibaren PM10 konsantrasyonlarında artışlar meydana gelmiştir.

Düzce hava kalitesi verilerine göre PM10'un en düşük olduğu günler cumartesi ve pazar iken, en yüksek olduğu günün çarşamba olduğu görülmüştür. PM10 konsantrasyonlarının cumartesi ve pazar günleri diğer günlerden düşük olma nedeni hafta içi ile karşılaştırıldığında endüstriyel aktivitenin azalması, şehir

içindeki trafik yoğunluğunun daha az olması, yol tozlarının azalması ve buna bağlı PM prekürsörlerinin emisyonunun azalması olabilir. İzmir’de yapılan çalışmada trafik yoğunluğunun günlere göre dağılımı incelendiğinde en yoğun günün kent genelinde Cuma günü olduğu, en sakin günün ise Pazar günü olduğu görülmüştür (25). California’da yapılmış bir çalışmada PM10 düzeyleri, ölçüm yapılan 20 noktadan 12’sinde pazar günleri haftanın diğer günlerine göre düşük bulunmuştur. Bu durum trafik verileri ile karşılaştırılmış ve pazar günleri ağır taşıtların trafikte olmamasına bağlanmıştır (26). Düzce ili, şehir içi trafiği ve sanayi kaynaklı kirliliğin yanında ısınma ve şehirlerarası trafik kaynaklı kirliliğinin de etkisi altındadır. Düzce’yi pek çok diğer kentten farklı kılan unsur, TEM otoyolunun kentin çevresinden ve İstanbul-Ankara Devlet Yolunun kentin içerisinden geçmesidir. Kent şehir içi trafiği hafta sonu azalsa da Düzce’nin içinden geçen otoyollar nedeniyle hem hafta içi hem hafta sonunda yoğun araç trafiği devam etmektedir (27). İzmir’de yapılan bir çalışmada kent merkezindeki motorlu karayolu taşıtlarından kaynaklanan kirlenici emisyonların, kentteki sanayi tesislerinden ve konutlardan atılan toplam emisyonlar kadar önemli olduğu belirlenmiştir (25). Düzce’de PM10 ve SO₂ konsantrasyonlarının hafta sonu ortalaması hafta içine göre düşük bulunmakla birlikte arada istatistiksel anlamlı bir farkın bulunmaması; ısınma amaçlı yakıt kullanımının ve motorlu taşıt trafiğinin haftanın tüm günlerinde devam etmesinden kaynaklanıyor olabilir.

Kış sezonları arasında en düşük PM10 düzeyi 2012-2013 kış sezonunda ölçülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 2013 yılı iklim değerlendirmesinde Türkiye genelinde kış mevsimi ortalama sıcaklıkları önceki yıllara göre 1,7 °C yüksek bulunmuştur (28). Buna bağlı olarak 2012-2013 yılı kış sezonunda ısınma amaçlı yakıt kullanımının daha az olabileceği ve bu durumun o dönemdeki düşük PM10 düzeyleriyle ilişkili olabileceği düşünülebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava İzleme İstasyonu verileri incelendiğinde Düzce’de PM10’un insan sağlığına zarar verebilecek boyutlara ulaştığı görülmektedir.

PM10 değerlerinin en düşük olduğu gün, endüstriyel aktivitenin ve şehir içindeki trafik yoğunluğunun en az olduğu Pazar günüdür. Kentimizde sanayi kuruluşları ve yerleşim yerleri iç içe bulunmaktadır. Sanayi kuruluşlarının yer seçiminin insan sağlığını en az etkileyecek biçimde yapılması, temiz enerji kaynakları kullanılması, filtre sistemlerinin kurulması gibi tedbirler hava kalitesini olumlu etkileyecektir.

Kentimizde hava kirliliği yaz aylarında da yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Kentte hava kirliliğine yol açan diğer bir etken olduğu düşünülen kış aylarındaki ısınma kaynaklı kirliliği önlemek için düşük kükürtlü yakıt kullanımını yaygınlaştırma, konutlarda termal izolasyonu sağlama, merkezi ısıtma ve doğal gaz kullanımını yaygınlaştırma ve insanlarda çevre bilinci oluşturma çalışmaları yapılabilir.

Kentin içerisinden geçen İstanbul-Ankara Devlet Yolunun trafik akışının çevre yolu ile şehir dışına taşınması trafik kaynaklı kirliliği azaltabilir.

İlimizde trafik ve sanayi sektörlerinden kaynaklanan PM10 ve SO₂ emisyonlarını değerlendirmek için multidisipliner geniş kapsamlı çalışmalar yapılmasının gerekli olduğu görülmektedir. Bu sektörlerin toplam emisyon miktarları hesaplanarak kirlenici miktarlarının dağılımını göstermek amacıyla kirlilik haritaları hazırlanması alınacak önlemler için yol gösterici olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu makalenin hazırlanmasında emeği geçen Düzce Üniversitesi Tıp Fakültesi İntern Doktorları Songül Taştan, Hüseyin Güloğlu, Elif Karasal, Reyhan Evcı, Vildan Kara, Mustafa Uğureli, Mürşide Demir, Yasin Selvi, Kadir Bal, Ezgi Doğa Akaoglu ve Mehmet Fatih Şahin’e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- 1-World Health Organisation. Urban airpollution in mega cities of the world. Oxford: Blackwell; 1992.
- 2- Ay EF, Balta M, Çolak M, Semercioğlu H. Hava kirliliği ve modellemesi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü; 2010.
- 3- Karaca A, Şenol A, Denizli F, Çiçek M, Derman Y. Erzurum hava kalitesi değerlendirme raporu. Erzurum: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; 2013.
- 4- Güler Ç, Vaizoğlu SA. Hava kirliliği. Güler Ç, Akın L, editörler. Halk sağlığı temel bilgiler. Ankara: Hacettepe Yayınları; 2006. s. 540-55.
- 5-Chen H, Goldberg MS, Villeneuve PJ. A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient airpollution and chronic diseases. Rev Environ Health. 2008; 23(4): 243-97.
- 6- Genç S, Zadeoğulları Z, Fuss SH, Genc K. The adverse effects of air pollution on the nervous system. Journal of Toxicology. 2012; 2012: 1-23. Article ID 782462.
- 7- who.int [Internet]. World Health Organisation. Ambient (outdoor) air quality and health, Fact Sheet N°313. [Updated: 2014 March 14; Cited: 2016]. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.
- 8-Filleul L, Medina S, Cassadou S. Urban particulate airpollution: from epidemiology to health impact in public health. Rev Epidemiol Sante Publique. 2003; 51(5): 527-42.
- 9-Assessment of the effectiveness of European air quality policies and measures. Belgium: National Environmental Research Institute; 2004.
- 10-Türkiye’nin hava kirliliği ve iklim değişikliği sorunlarına sağlık açısından yaklaşım. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü; 2010.
- 11-www.cevreorman.gov.tr [Internet]. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. [Erişim tarihi: 03.02.2016]. Erişim adresi: www2.cevreorman.gov.tr/yasa/yonetmelik.asp.
- 12- Bayram H, Dikensoy Ö. Türkiye’de hava kirliliği sorunu: nedenleri, alınan önlemler ve mevcut durum. Toraks Dergisi. 2005; 6(2): 159-65.
- 13-Kuenzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Oberfeld G, Horak F. Health costs due to road traffic-related air

- pollution: an assessment project of Austria, France and Switzerland. London: Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications Bureau for Transport Studies; 1999.
- 14-Mayda A, Yılmaz M. Düzce hava kalitesi izleme istasyonu 2007-2011 yılları arası verilerinin değerlendirilmesi. *Taf Prev Med Bull.* 2013; 12(1): 11-8.
- 15-González-Santiago O, Badillo-Castaneda CT, Kahl JD, Ramírez-Lara E, Balderas-Rentería I. Temporal analysis of pm10 in metropolitan Monterrey, Mexico. *J Air Waste Manag Assoc.* 2011; 61(5): 573-9.
- 16-havaizleme.gov.tr [Internet]. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı. [Erişim tarihi: 23.01.2016]. Erişim adresi: www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx.
- 17-cygm.gov.tr [Internet]. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Temiz hava eylem planı (2010-2013). [Erişim tarihi: 27.01.2016]. Erişim adresi: www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/Temiz_Hava_Eylem_Plani.pdf.
- 18-csb.gov.tr [Internet]. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Hava Kalitesi Bülteni, 2013-2014 Kış sezonu. [Erişim tarihi: 13.01.2016]. Erişim adresi: <http://Www.Csb.Gov.Tr/Gm/Cygm/Index.Php?Sayfa=Sayfa.html&Id=2577>.
- 19-Çay Y, Yıldız A. Fosil kaynaklı yakıtların neden olduğu hava kirliliğinin doğal gaz kullanımı ile değişimi, Van ili örneği. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi.* 2011; 8(4): 45-52.
- 20-Yıldız A, Çay Y, Özer F. Karabük ilindeki hava kirliliğinin doğal gaz kullanımı ile değişimi. *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi.* 2012; 1(4): 497-506.
- 21-www.epdk.org.tr [Internet]. Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. Doğal gaz piyasası 2014 yılı sektör raporu. [Erişim tarihi: 03.01.2016]. Erişim adresi: www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/2500.
- 22-Xiao Q, Ma Z, Li S, Liu Y. The impact of winter heating on air pollution in China. *Plos One.* 2015; 10(1): E0117311.
- 23-Turalioğlu FS, Nuhoglu A, Bayraktar H. Impact of some meteorological parameters on SO2 and TSP concentrations in Erzurum, Turkey. *Chemosphere.* 2005; 59(11): 1633-42.
- 24-Kara G. Kentsel hava kirleticilerine meteorolojinin etkisi: Konya örneği. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.* 2012; 27(3): 73-86.
- 25-Elbir T, Bayram A, Kara M, Altıok H, Seyfioğlu R, Ergün P ve ark. İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 2010; 12(1): 1-17.
- 26-Motallebi N, Tran H, Croes B and Larsen L. Day-of-week patterns of particulate matter and its chemical components at selected sites in California. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 2003; 53(7): 876-8.
- 27-www.duzce.bel.tr [Internet]. Düzce Belediye Başkanlığı. 2010 - 2014 dönemi stratejik planı. [Erişim tarihi: 05.01.2016]. Erişim adresi: www.duzce.bel.tr/Upload/Tr/Dosya/Icerikyonetimi/210/22032012155616-1.Pdf.
- 28-mgm.gov.tr [Internet]. Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 2013 Yılı İklim Değerlendirmesi. [Erişim tarihi: 03.01.2016]. Erişim adresi: www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/2013-yili-iklim-degerlendirmesi.