



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

PM10 ve PM2.5 Boyutundaki Atmosferik Partiküllerin Bölgesel, Mevsimsel Değişimlerinin ve Meteorolojik Parametrelerle İlişkilerinin İncelenmesi

Zehra Bozkurt ^{a,*}

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zehrabozkurt@duzce.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Marmara Temiz Hava Merkezi'ne (MTHM) ait hava kalitesi ölçüm istasyonlarından eş zamanlı PM10 ve PM2.5 örnekleme yapılan Edirne-Keşan, İstanbul-Silivri, İstanbul-Ümraniye, Kocaeli-Kandıra, Tekirdağ-Çerkezköy ve Yalova-Armutlu istasyonlarında 2017 yılında ölçülen PM10 ve PM2.5 kütle konsantrasyonlarının mevsimsel ve günlük değişimleri incelenmiştir. Çalışmada, PM10 ve PM2.5 konsantrasyonlarının mevsimsel farklılıklarını karşılaştırmak için Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. Mevsimsel farklılıkların en belirgin olduğu istasyonlar kentsel Tekirdağ ve Çerkezköy istasyonları ile kırsal Kandıra istasyonu olarak belirlenmiştir. Konsantrasyonlar, kentsel istasyonlarda kış mevsiminde artarken, kırsal istasyonlarda yaz mevsiminde artmaktadır. Partikül boyutu ile kirletici kaynakları arasındaki ilişkinin anlaşılabilmesi için PM2.5/PM10 oranları hesaplanmış ve bu oranlar incelenen istasyonların özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler, kış mevsiminde PM2.5, yaz mevsiminde ise PM10 boyutundaki kirleticilerin hakim olduğunu göstermektedir. İncelenen istasyonlar için hesaplanan ortalama konsantrasyonlar ve PM2.5/PM10 oranları, farklı ülkelerde farklı özelliklerde şehirlerde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılarak sonuçların literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, PM10 ve PM2.5 konsantrasyonlarının birbirleri ile ve meteorolojik parametrelerle anlamlı ilişkiler gösterdiği Spearman korelasyon katsayıları hesaplanarak anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Marmara, Hava kirliliği, PM10, PM2.5, PM2.5/PM10

Investigation of Regional, Seasonal Changes of PM10 and PM2.5 Particles and Relationships between Meteorological Parameters

ABSTRACT

In this study, simultaneously measured PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at Edirne-Keşan, İstanbul-Silivri, İstanbul-Ümraniye, Kocaeli-Kandıra, Tekirdağ-Çerkezköy and Yalova-Armutlu air quality measurement stations of Marmara Clean Air Center (MTHM) were investigated. Seasonal and diurnal changes of pollutant concentrations were investigated in the assessments. Mann-Whitney U test was applied to compare the seasonal differences of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations. The stations with the most prominent seasonal differences were

the urban Tekirdağ and Çerkezköy stations and the rural Kandıra station. In urban stations concentrations increase in winter season whereas for the rural stations this increase was observed in summer season. $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios were calculated to understand the relationship between particle size and pollutant sources and these ratios were evaluated with respect to the characteristics of the studied stations. The assessments showed that the pollutants in the size of $PM_{2.5}$ were dominant in winter season and PM_{10} were dominant in summer season. The calculated average concentrations and $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios for the studied stations were compared with similar studies in different cities of the world with different characteristics, and the results were found to be consistent with the literature. In the study, PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were correlated with each other and meteorological parameters were determined by Spearman correlation analysis.

Keywords: Marmara, Air pollution, PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{2.5}/PM_{10}$

I. GİRİŞ

Atmosferik partikül maddelerin (PM) neden olduğu hava kirliliği, önemli bir çevresel sorundur. Dünya üzerinde birçok kentte bu sorunun görülmesinde hızla sanayileşme ve kentleşmenin etkisi önemlidir. Bu nedenle hava kalitesi yönetimi programları yapılırken PM'nin izlenmesi, modellenmesi, kimyasal bileşiminin, sağlık ve çevresel etkilerinin araştırılması gerekmektedir [1]. Partiküler maddelerin çevre ve sağlık üzerine olan etkileri, boyutlarına ve bileşimlerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Özellikle ince boyuttaki PM'ler insan sağlığı ve çevre üzerinde birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Partikül maddeler, emisyon kaynakları ve oluşum yollarına bağlı olarak atmosferde çok farklı boyut ve bileşimlerde bulunabilmektedir. Karayolu trafiği de dahil olmak üzere tüm yanma kaynakları, atmosferde antropojenik PM emisyonlarının büyük bölümünü oluştururlar. Antropojenik kaynaklar ağırlıklı olarak $PM_{2.5}$ oluşumuna neden olurken, mekanik taşlama, kırma faaliyetleri, yerel toprağın yeniden süspanse olması, toz fırtınası ve yol tozları tipik olarak kaba partiküllerin ($PM_{2.5-10}$) oluşumuna neden olmaktadır. Bununla birlikte, özellikle ince partiküller ($PM_{2.5}$) atmosferde farklı kirleticiler arasında gerçekleşen çeşitli reaksiyonlar sonucunda ikincil kirleticiler olarak da oluşmaktadır [2,3]. Atmosferik PM'ler, birkaç saat ile birkaç hafta arasında değişen atmosferik ömürlere sahiptir. Bu nedenle seviyeleri ve kimyasal bileşimleri, emisyon kaynaklarına ve meteorolojik koşullara bağlı olarak zamansal ve mekansal olarak büyük farklılıklar gösterir. Kaba partiküller, yerçekimsel çökme gibi işlemlerle daha hızlı bir şekilde atmosferden uzaklaşırken, ince partiküller atmosferde daha uzun süre kalır ve bir bölgeden diğerine taşınabilir. İnce partiküllerin bölgesel veya uzun menzilli taşınımının fazla, kontrol edilebilmelerinin ise zor olması bir noktada oluşan kirliliğin bölgesel olarak sorun olmasına neden olmaktadır [2,3]. İnce ve kaba partiküllerin farklı kaynaklardan gelmesi ve farklı fiziksel ve kimyasal özellikler göstermesi nedeniyle, $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları partiküllerin kaynağı, oluşumu ve insan sağlığına etkileri ile ilgili önemli bilgiler sağlayabilmektedir. Bir noktada yapılan örneklemelerde $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının artması, atmosferik kirlenmeye araç emisyonları gibi antropojenik kaynakların ve ikincil oluşumların katkısını, azalması ise toprağın resirküle olması gibi nedenlerle toz emisyonlarının artması gibi doğal kaynakların katkısını işaret etmektedir. Bununla birlikte, $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları zamansal ve mekansal değişiklikler de gösterebilmektedir [4,5].

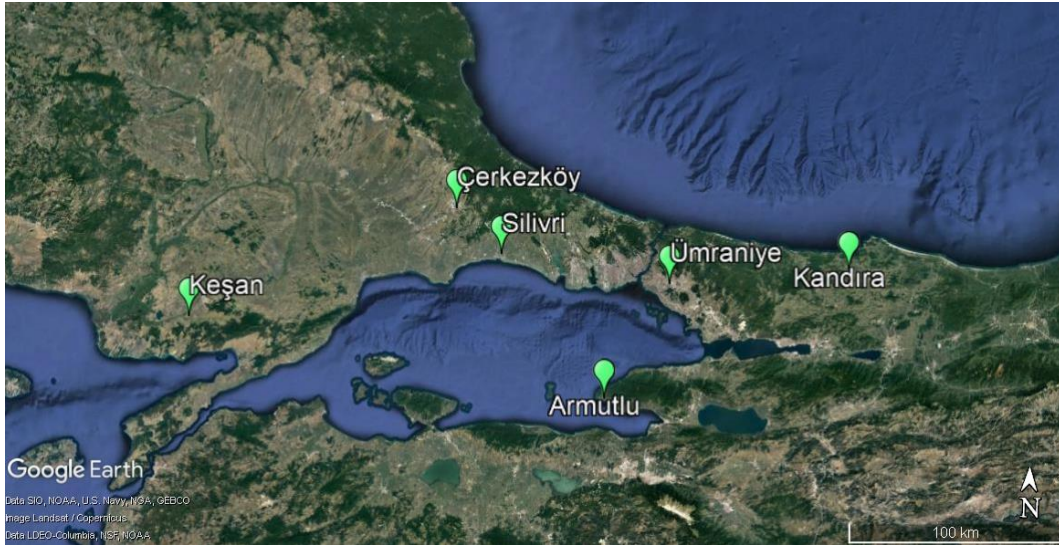
Bu çalışmada Marmara Bölgesinde bulunan, Marmara Temiz Hava Merkezi ne ait istasyonlardan aynı anda hem PM_{10} hem de $PM_{2.5}$ ölçümleri yapılan Edirne-Keşan, İstanbul-Silivri, İstanbul-Ümraniye,

Kocaeli-Kandıra, Tekirdağ-Çerkezköy, Yalova-Armutlu istasyonlarında 2017 yılında ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonları incelenmiştir. Çalışmanın amacı PM_{10} ve $PM_{2.5}$ boyutundaki partiküllerin farklı özellikteki istasyonlarda mevsimsel ve günlük değişimlerinin ve meteorolojik parametrelerle ilişkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla ortalama konsantrasyonlarla birlikte her bir istasyon için mevsimsel ve günlük $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları hesaplanmış incelenen istasyonların özelliklerine göre değerlendirilmiştir.

II. YÖNTEM

Bu çalışmada, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, MTHM'nin Marmara Bölgesinde eş zamanlı PM_{10} ve $PM_{2.5}$ örnekleme yapan Edirne-Keşan, İstanbul-Silivri, İstanbul-Ümraniye, Kocaeli-Kandıra, Tekirdağ-Çerkezköy, Yalova-Armutlu istasyonlarının ulusal hava kalitesi izleme ağında sunulan 2017 yılına ait verileri kullanılmıştır. MTHM tarafından istasyonlar bölgedeki kirletici kaynaklarına göre sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırmaya göre Edirne-Keşan kentsel istasyon, İstanbul-Silivri yarı-kırsal İstasyon, İstanbul-Ümraniye trafik istasyonu, Kocaeli-Kandıra kırsal istasyon, Tekirdağ-Çerkezköy kentsel-sanayi istasyonu, Yalova-Armutlu kırsal istasyon olarak tanımlanmıştır. Çalışmada incelenen istasyonların konumu Şekil 1'de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan meteorolojik parametreler de ulusal hava kalitesi izleme ağından temin edilmiştir.

Verilerin istatistiksel analizi ve korelasyon katsayıları Sosyal Bilimler İstatistiksel Paket programı (SPSS Inc., Chicago, USA, Version 21) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, mevsimsel konsantrasyon değişikliklerinin anlamlı bir farklılığa sahip olup olmadığının belirlenmesi için de SPSS kullanılarak parametrik olmayan bir test olan Mann Whitney U testi uygulanmıştır. Test sonucunda belirlenen p değerlerinin 0,05 değerinden düşük olması (%95 güven seviyesinde) karşılaştırma yapılan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olduğunu göstermektedir [6].



Şekil 1. Marmara Bölgesi, MTHM Tarafından PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Ölçümlerinin Eş zamanlı Yapıldığı İstasyonlar

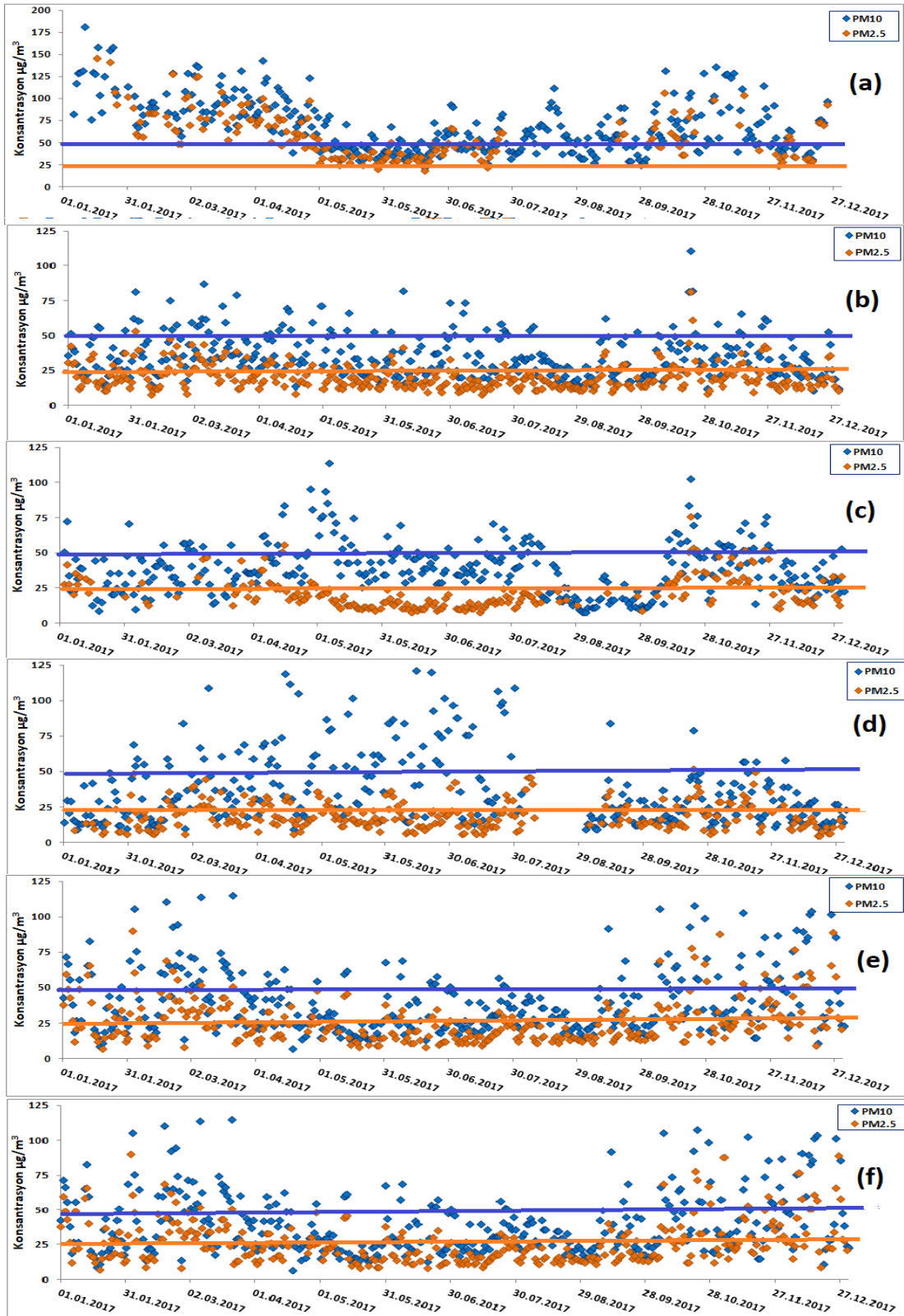
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. PM₁₀, PM_{2.5} KONSANTRASYONLARININ VE PM_{2.5}/PM₁₀ ORANLARININ MEVSİMSEL VE GÜNLÜK DEĞİŞİMİ

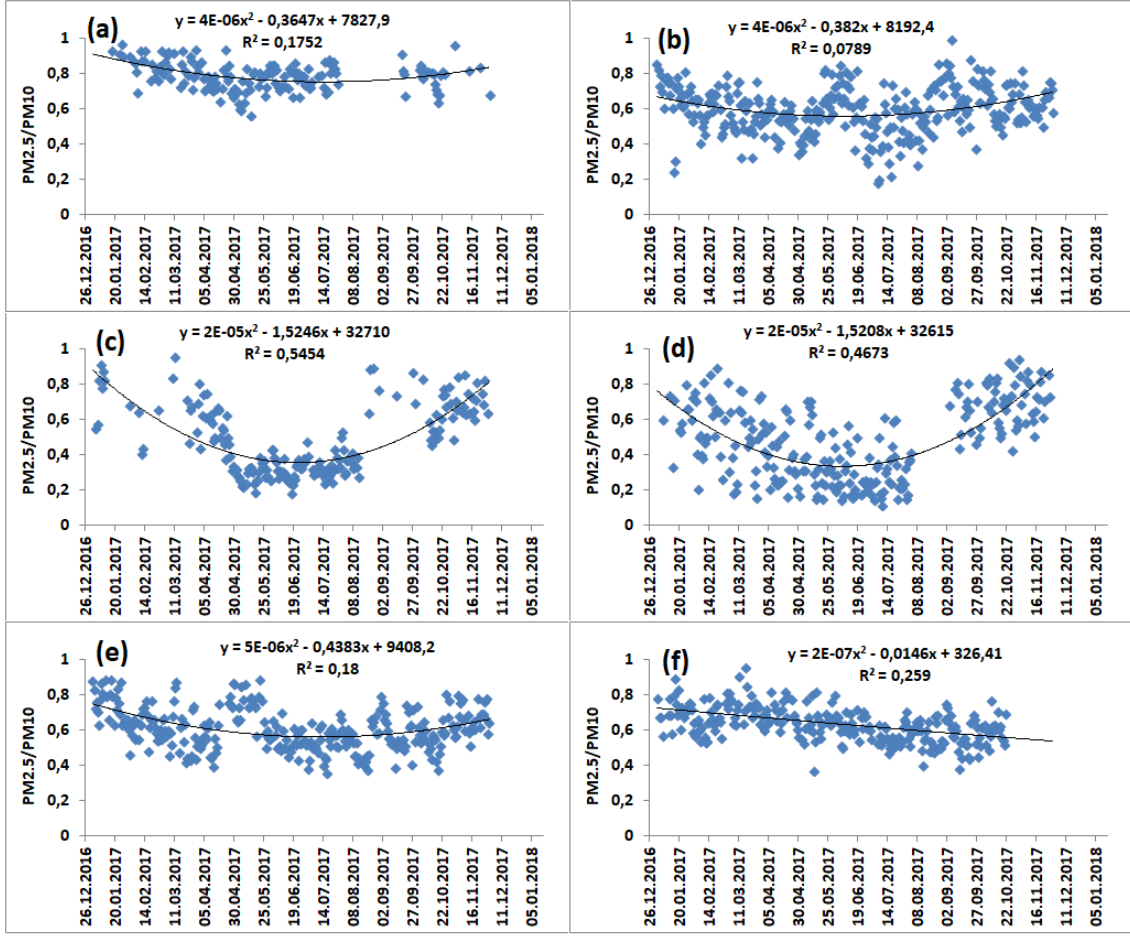
Marmara bölgesinde eş zamanlı PM₁₀ ve PM_{2.5} örnekleme yapılan istasyonlarda 2017 yılı içinde ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarının zamansal değişimi günlük ortalama değerler kullanılarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde hem PM₁₀ hem de PM_{2.5} için kış aylarında yaz aylarına göre daha yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü Keşan ve Çerkezköy'de bulunan kentsel özellikteki istasyonlar için en belirgin mevsimsel değişimin izlendiği görülmektedir. Bu durum, kış aylarında Kentsel istasyonlarda evsel ısınmanın etkisini işaret etmektedir. Yarı-kırsal istasyon olan Silivri ve trafik istasyonu olan Ümraniye'de konsantrasyonların mevsimsel olarak belirgin farklılıklar göstermediği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, bu istasyonlar için de yıl içerisinde PM_{2.5} konsantrasyonlarına ait maksimum değerlerin ölçüldüğü günler kış aylarına aittir. Kırsal istasyonlar olan Kandıra ve Armutlu istasyonlarında ise özellikle PM₁₀ konsantrasyonlarının yaz aylarında kış aylarına göre daha yüksek ölçüldüğü bir mevsimsel değişim gözlenmiştir.

Bir bölgede kirlilik değerlendirmesi yapılırken yıl içerisinde sınır değerleri aşan gün sayısının belirlenmesi kirliliğin boyutunun anlaşılabilmesi için gereklidir. Çalışmada sınır değer olarak Avrupa Birliği yönetmeliklerinde PM₁₀ için 50 µg/m³ olarak belirtilen günlük sınır değer ve PM_{2.5} için 25 µg/m³ olarak belirtilen yıllık sınır değer referans olarak alınmıştır. PM₁₀ için verilen sınır değer yönetmelikte bir yılda 35 defadan fazla aşılmaması gereken değer olarak belirtilmektedir. PM_{2.5} için ise yalnızca yıllık ortalama sınır değer bulunduğundan böyle bir sayı bulunmamaktadır. Şekil 2 incelendiğinde PM₁₀ konsantrasyonlarının sınır değerleri aştığı gün sayısı Keşan istasyonu için örnekleme yapılan 347gün içinde 236 gün, Silivri istasyonu için 349 gün içinde 73 gün, Ümraniye istasyonu için 338 gün içinde 83 gün, Kandıra istasyonu için 327 gün içerisinde 96 gün, Çerkezköy istasyonu için 350 gün içinde 102 gün ve Armutlu istasyonu için 350 gün içinde 21 gün şeklindedir. Sonuçlar, yönetmelikte belirtilen günlük PM₁₀ konsantrasyonlarının bir yılda 35 defadan fazla aşılmaması şartının yalnızca Kırsal Armutlu istasyonunda gerçekleştiğini göstermiştir. PM_{2.5} için günlük sınır değer bulunmadığı için karşılaştırma yıllık sınır değer üzerinden yapılmıştır. PM_{2.5} konsantrasyonlarının sınır değerleri aştığı gün sayısı ise Keşan istasyonu için örnekleme yapılan 207 gün içinde 203 gün, Silivri istasyonu için 354 gün içinde 96 gün, Ümraniye istasyonu için 226 gün içinde 75 gün, Kandıra istasyonu için 272 gün içerisinde 67 gün, Çerkezköy istasyonu için 322 gün içinde 141 gün ve Armutlu istasyonu için 271 gün içinde 69 gün şeklindedir. Bununla birlikte, PM_{2.5} için verilen sınır değer yıllık ortalama değerdir. Bu nedenle incelenen istasyonlar arasından yalnızca yıllık ortalama PM_{2.5} konsantrasyonu 26 µg/m³ olarak hesaplanan Keşan istasyonunda sınır değerini aştığı belirlenmiştir.

İncelenen istasyonların PM_{2.5}/PM₁₀ kütle konsantrasyon oranlarının 2017 yılı içerisindeki zamansal değişimi Şekil 3'de verilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde PM_{2.5}/PM₁₀ oranlarının özellikle trafik istasyonu olan Ümraniye ile kırsal istasyon olan Kandıra'da yaz mevsiminde belirgin olarak azaldığı görülmektedir. PM_{2.5}/PM₁₀ oranlarının kış mevsiminde artması PM_{2.5} boyutundaki partiküllere kış mevsiminde etki eden antropojenik katkılardan kaynaklanabilirken, yaz aylarında gözlenen azalmanın nedeni emisyonlardaki azalmadan çok atmosferde kaba partiküllerin kış mevsimine göre daha kurak geçen bu aylarda daha yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmesi ile ilişkili olabilir.



Şekil 2. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarının zamansal değişimi (a) Keşan, (b) Silivri, (c) Ümraniye, (d) Kandıra, (e) Çerkezköy, (f) Armutlu



Şekil 3. $PM_{2,5}/PM_{10}$ kütle konsantrasyon oranlarının zamansal değişimi (a) Keşan, (b) Silivri, (c) Ümraniye, (d) Kandıra, (e) Çerkezköy, (f) Armutlu

Çalışmada incelenen istasyonlarda ölçülen PM_{10} ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonlarının istatistiksel sonuçları Tablo 1'de verilmektedir. Mevsimsel farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının anlaşılabilmesini sağlayan Mann Whitney U testi p değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde en yüksek konsantrasyonların Kentsel örnekleme istasyonu olan Keşan'da, en düşük konsantrasyonların ise kırsal istasyon olan Armutlu'da ölçüldüğü görülmektedir. Her bir istasyon için mevsimsel karşılaştırmalar yapıldığında PM_{10} konsantrasyon değişimleri Keşan için, Kış>İlkbahar>Sonbahar>Yaz; Silivri için İlkbahar>Sonbahar>Kış~Yaz; Ümraniye için İlkbahar>Yaz>Sonbahar>Kış; Kandıra için Yaz>İlkbahar>Sonbahar~Kış; Çerkezköy için Kış>Sonbahar>İlkbahar>Yaz ve Armutlu için İlkbahar>Yaz>Sonbahar>Kış şeklindedir. $PM_{2,5}$ konsantrasyon değişimleri de benzer şekilde Keşan için, Kış>Sonbahar~İlkbahar>Yaz; Silivri için Sonbahar~Kış=İlkbahar~Yaz; Ümraniye için Sonbahar>Kış=İlkbahar>Yaz; Kandıra için İlkbahar=Sonbahar>Yaz>Kış; Çerkezköy için Kış>Sonbahar>İlkbahar>Yaz ve Armutlu için İlkbahar>Yaz=Kış~Sonbahar şeklindedir. Görüldüğü gibi Kentsel istasyonlar olan Keşan ve Çerkezköy'de en yüksek konsantrasyonlar kış mevsiminde ölçülürken; Kırsal istasyon olan Kandıra ve Armutlu'da en yüksek ortalama konsantrasyonlar yaz ve bahar mevsimlerinde ölçülmüştür. Yarı-Kırsal ve trafik örnekleme istasyonları olan Silivri ve Ümraniye'de hem PM_{10} hem de $PM_{2,5}$ örnekleme için mevsimsel olarak belirgin bir farklılık görülmemiştir. Tablo 2'de Silivri istasyonunda PM_{10} için kış-yaz, kış-sonbahar, yaz-sonbahar ve $PM_{2,5}$ için kış-ilkbahar ve kış-sonbahar mevsimsel farklılıklarının anlaşılabilmesi için verilen p değerleri de farkların istatistiksel olarak anlamlı seviyede

olmadığını doğrulamıştır. Ümraniye istasyonunda da PM_{10} için kış-sonbahar, yaz-sonbahar ve $PM_{2.5}$ için kış-ilkbahar ilişkisini ifade eden p değerleri 0,05 değerinin üzerinde belirlenerek mevsimsel farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı anlaşılmıştır. Kandıra istasyonunda PM_{10} kirliliğinin yaz mevsiminde kış mevsimine göre belirgin bir şekilde artmasının, bölgede yaz mevsiminde artan tarımsal faaliyetlerin etkisi ile toprak partiküllerinin atmosfere sirküle olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kış mevsiminde evsel ısınma kaynağının da etkisi ile atmosferik kirletici konsantrasyonlarının artması beklenmektedir. Ancak, neredeyse tüm örnekleme istasyonlarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının PM_{10} 'a göre daha az mevsimsel değişim gösterdiği görülmektedir. Bu durum, konsantrasyonların $PM_{2.5}$ boyutundaki partiküller için kış mevsiminde kaynak sayısının artmasına bağlı olarak, yaz mevsiminde ise artan sıcaklık ve güneş ışıklarının etkisi ile fotokimyasal reaksiyonların (ikincil aerosol oluşumları) artmasına bağlı olarak yükselmesiyle ilişkilili olabilir.

Atmosferik partiküler maddelerin kaynaklarının araştırıldığı birçok çalışmada kaba partiküllerin daha çok doğal kaynaklardan, ince partiküllerin ise antropojenik kaynaklardan yayıldığı belirtilmektedir [4,5]. Bu nedenle $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları partiküler madde kirlenmesinin kaynağının belirlenmesinde kullanılabilir. Bu oranın 0,5'in üzerinde olması kirlenmeye ince partiküllerin katkısını, altında olması ise kaba partiküllerin katkısını göstermektedir. Tablo 1'de söz konusu istasyonlarda mevsimsel olarak belirlenen $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları da verilmiştir. Yıl içerisinde $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının en yüksek olduğu istasyon Keşan, en düşük olduğu istasyon ise Kandıra istasyonudur. Ortalama $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları mevsimsel olarak karşılaştırıldığında Keşan istasyonu için kış mevsiminde en yüksek oranlar belirlenmesine rağmen bütün mevsimler için 0,8-0,9 arasında değişen ve yüksek seviyelerde antropojenik kaynak katkısını gösteren değerler hesaplanmıştır. Silivri istasyonu yarı-kırsal özellikte bir istasyondur. Bu nedenle tüm mevsimlerde $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları kirlenmeye Keşan istasyonu kadar olmasa da antropojenik kaynakların katkısını gösteren 0,6-0,7 arasında değerler almıştır. Ümraniye istasyonu trafiğin etkisinin incelendiği bir istasyondur. Bu istasyon için belirlenen oranlar sonbahar ve kış mevsiminde 0,7 ve 0,6 iken ilkbahar ve yaz mevsimlerinde 0,4 civarındadır. Bu durumda kış mevsiminde antropojenik kaynakların katkısının, yaz mevsiminde ise doğal kaynakların katkısının fazla olduğu söylenebilir. Trafik kaynağı hem kış hem de yaz aylarında etkili olan bir kaynaktır. Bununla birlikte, yaz mevsiminde meteorolojik parametrelerinde etkisi ile toprak gibi doğal kaynakların katkısı da artmaktadır. Aynı zamanda Trafik yoğunluğu yaz mevsiminde, kış mevsimine göre tatillerin etkisi ile ilişkili olarak azalabilmektedir. Bu nedenle kış aylarında yüksek, yaz aylarında nispeten düşük $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları hesaplanmıştır. Kandıra istasyonu kırsal bir istasyondur. Daha önceden de belirtildiği gibi konsantrasyonlar yaz mevsiminde kış mevsimine göre yüksektir. Bununla birlikte, $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları incelendiğinde aynı durumun geçerli olmadığı kış mevsiminde (0,6), yaz mevsimine (0,3) göre daha yüksek oranların belirlendiği görülmektedir. Bu durum, kırsal istasyon olan Kandıra'da yaz mevsiminde PM_{10} konsantrasyonlarındaki artışın, $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarına göre daha fazla olması ile ilgilidir. Çerkezköy istasyonu, sanayinin de etkisinin gözlendiği kentsel bir istasyondur. Bu istasyonda tüm mevsimlerde belirlenen oranlar 0,5'in üzerindedir. Ancak sıralama kış (0,7); ilkbahar (0,6), sonbahar (0,6), yaz (0,5) şeklindedir. Değerlerin kış mevsiminde bir miktar daha yüksek olması sanayi kaynaklı kirlenmeye evsel ısınma kaynağının katkısını işaret etmektedir. Armutlu istasyonu kırsal bir istasyon olmasına rağmen $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarına göre bölgede tüm mevsimler için (0,6-0,7) antropojenik kirlenmenin etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bir bölgedeki kirlenmeye yalnızca o yöreye ait kirletici kaynaklar katkı sağlamaz. Özellikle $PM_{2.5}$ boyutundaki partiküller atmosferde uzun süre kalabildikleri için meteorolojik parametrelerin etkisi ile kaynaktan uzağa taşınabilmektedir. Bu nedenle de Armutlu istasyonu kırsal bir istasyon olmasına rağmen uzun mesafeli taşınımların da etkisi ile nispeten yüksek $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları hesaplanmıştır.

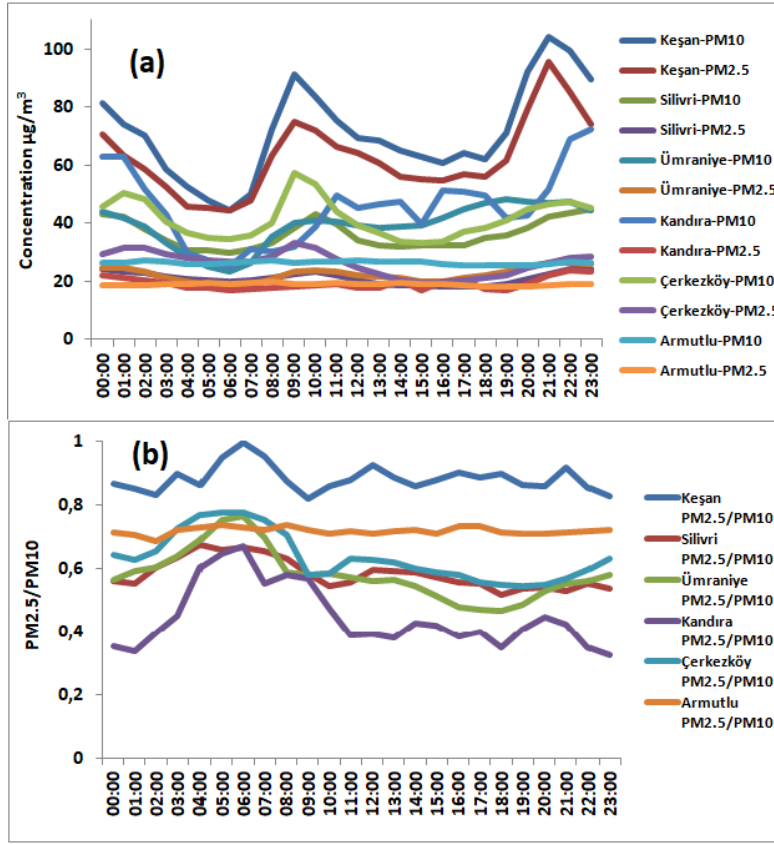
Tablo 1. PM₁₀ ve PM_{2,5} konsantrasyonlarının istatistiksel sonuçları

Mevsim		Keşan- PM10	Keşan- PM2.5	PM2.5/ PM10	Silivri- PM10	Silivri- PM2.5	PM2.5/ PM10	Ümraniye- PM10	Ümraniye- PM2.5	PM2.5/ PM10
Kış	Ort	88	68	0,86	34	22	0,65	33	22	0,63
	Std.									
	Sp.	36	32	0,09	15	10	0,13	12	8	0,12
	Mak.	182	147	0,97	82	54	0,95	73	42	0,91
İlk Bahar	Min.	31	24	0,57	11	8	0,25	9	11	0,41
	Ort	76	61	0,77	41	22	0,56	47	22	0,45
	Std.									
	Sp.	29	25	0,08	15	8	0,11	19	11	0,19
Yaz	Mak.	143	126	0,94	88	44	0,83	114	56	0,96
	Min.	26	21	0,56	14	9	0,32	14	9	0,19
	Ort	52	40	0,78	33	17	0,56	40	15	0,35
	Std.									
Son Bahar	Sp.	17	12	0,06	15	6	0,16	14	4	0,13
	Mak.	112	67	0,88	83	42	0,86	71	25	0,89
	Min.	22	19	0,67	14	8	0,18	9	8	0,18
	Ort	68	63	0,79	37	23	0,65	37	34	0,66
Yıllık Ortalama	Std.									
	Sp.	28	20	0,07	17	11	0,11	22	14	0,11
	Mak.	136	107	0,96	111	82	1	103	76	0,87
	Min.	25	37	0,64	12	9	0,38	8	9	0,45
Kış	Ort	69	58	0,79	36	21	0,6	39	22	0,49
	Std.									
	Sp.	30	26	0,09	16	9	0,14	18	11	0,19
	Ort	26	14	0,59	51	34	0,68	19	17	0,68
İlk Bahar	Std.									
	Sp.	15	9	0,14	31	19	0,11	10	6	0,08
	Mak.	84	49	0,9	141	90	0,89	49	28	0,89
	Min.	9	5	0,2	9	7	0,46	5	7	0,53
Yaz	Ort	62	21	0,41	37	25	0,63	34	24	0,7
	Std.									
	Sp.	46	8	0,18	21	11	0,13	13	7	0,09
	Mak.	236	45	0,81	115	52	0,89	72	39	0,96
Son Bahar	Min.	9	6	0,15	7	8	0,4	10	12	0,37
	Ort	76	19	0,29	32	18	0,54	30	17	0,59
	Std.									
	Sp.	58	10	0,12	12	6	0,09	10	6	0,07
Yıllık Ortalama	Mak.	303	46	0,62	69	35	0,8	52	33	0,72
	Min.	13	6	0,11	13	8	0,36	11	8	0,4
	Ort	28	21	0,7	46	29	0,61	23	16	0,59
	Std.									
Kış	Sp.	15	11	0,13	27	17	0,1	13	6	0,08
	Mak.	84	52	0,95	140	88	0,81	58	39	0,77
	Min.	9	6	0,43	15	11	0,38	4	8	0,38
	Ort	46	19	0,49	42	27	0,62	26	19	0,64
Yıllık Ortalama	Std.									
	Sp.	42	10	0,21	25	16	0,12	13	7	0,1

Tablo 2. Mann Whitney U testi p değerleri

<i>P</i> Değeri	Keşan- PM10	Keşan- PM2.5	PM2.5/ PM10	Silivri- PM10	Silivri- PM2.5	PM2.5/ PM10	Ümraniye- PM10	Ümraniye- PM2.5	PM2.5/ PM10
Kış- İlkbahar	0,11	0,24	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,42	0,00
Kış-Yaz	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kış- Sonbahar	0,00	0,73	0,00	0,50	0,53	0,85	0,50	0,00	0,17
Yaz- İlkbahar	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,92	0,05	0,00	0,01
Yaz- Sonbahar	0,00	0,00	0,63	0,21	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
İlkbahar- Sonbahar	0,05	0,47	0,47	0,03	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Kış- İlkbahar	Kandıra- PM10	Kandıra- PM2.5	PM2.5/ PM10	Çerkezköy- PM10	Çerkezköy- PM2.5	PM2.5/ PM10	Armutlu- PM10	Armutlu- PM2.5	PM2.5/ PM10
Kış- İlkbahar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Kış-Yaz	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00
Kış- Sonbahar	0,19	0,00	0,00	0,42	0,08	0,00	0,08	0,68	0,00
Yaz- İlkbahar	0,13	0,08	0,00	0,48	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
Yaz- Sonbahar	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,92
İlkbahar- Sonbahar	0,00	0,65	0,00	0,02	0,17	0,40	0,00	0,00	0,00

İstasyonların bir yıl içerisindeki saatlik konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması alınarak hazırlanan 24 saatlik (a) PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının ve (b) $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının değişimi Şekil 4'te sunulmuştur. Şekil 4(a)'ya bakıldığında hem PM_{10} hem de $PM_{2.5}$ değerlerinin gün içerisinde 00:00 ile 06:00 arasında düştüğü, 06:00 ile 09:00 arasında arttığı, 09:00 ile 18:00 arasında yeniden düştüğü ve 18:00 ile 21:00 arasında yeniden artışa geçtiği görülmektedir. Bu durumda günlük konsantrasyonların iki farklı saat aralığı için pik değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu pik değerler gün içerisinde mesai başlangıç ve bitiş saatlerine karşılık gelen artan trafik yoğunluğunu göstermektedir. Şekil 4(b) incelendiğinde ise günlük $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının 00:00 ile 06:00 saatleri arasında arttığı günün geri kalan saatlerinde benzer salınımlar gösterdiği görülmektedir. $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının 00:00 ile 06:00 saatleri arasında artması; söz konusu saatlerde ısınma kaynağının etkisi ile ince partiküllerin kaba partiküllere oranla daha fazla oluşması ve kaba partiküllerin çökme hızının ince partiküllere göre daha yüksek olması ile bağlantılı olabilir.



Şekil 4. 2017 yılı için (a) PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerlerinin ve (b) $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının ortalama saatlik değişimi

B. SONUÇLARIN BENZER ÇALIŞMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışma kapsamında belirlenen ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları literatürde farklı özelliklerde kentlerde gerçekleştirilen benzer çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve Tablo 3'te sunulmuştur. Tablo 3 incelendiğinde çalışmada incelenen sonuçlardan Keşan istasyonunda ölçülen sonuçların Eeftens ve diğ. (2012) tarafından Avrupa'da farklı ülkelerde yapılan çalışmalara [7] göre yüksek, Chaloulakou ve diğ. (2003) ve Marcazzan ve diğ. (2003) tarafından sırasıyla Yunanistan [8] ve İtalya'da [9] yapılan çalışmalara yakın bulunmuştur. İncelenen diğer istasyonlar olan Silivri,

Ümraniye, Kandıra, Çerkezköy, Armutlu istasyonlarında elde edilen sonuçlar ise Eeftens ve diğ. (2012) tarafından [7] Avrupa'da yapılan çalışmalara yakın bulunmuştur. Sonuçlar Çin'de Xu ve diğ. [5] ve Hindistan'da Tiwari ve diğ. [13] tarafından yapılan çalışmalardan düşük, Suudi Arabistan [11] ve Hong Kong'da [12] yapılan çalışmalara yakın; ABD'de [13] yapılan çalışmadan ise yüksek bulunmuştur. Karşılaştırma PM_{2.5}/PM₁₀ oranları açısından yapıldığında ise Kentsel istasyonlar olan Keşan ve Çerkezköy istasyonlarında belirlenen oranlar, Honk Kong [13] ve İzmir'de [14] bulunan kentsel örnekleme istasyonlarına yakın, ABD'de [13] bulunan istasyondan düşük, karşılaştırma yapılan diğer istasyonlardan ise yüksek bulunmuştur. Ümraniye trafik istasyonunda belirlenen oranlar Hindistan'daki [13] trafik istasyonu ile neredeyse aynı sayısal değere sahipken Suudi Arabistan'daki [11] trafik istasyonundan düşüktür. Çalışmada Kırsal istasyonlar olan Kandıra ve Armutlu için belirlenen oranlar, arka-plan istasyonları için belirlenen oranlarla karşılaştırılmıştır. Kandıra istasyonu için hesaplanan oran, Çin'de [5] bulunan arka-plan istasyonundan düşük Hong Kong'da [12] bulunan arka-plan istasyonuna ise yakın bulunmuştur. Oranlar, Armutlu istasyonu için ise Çin'deki [5] istasyona yakın, Hong Kong'da [12] bulunan istasyonundan ise yüksek hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırmalara göre sonuçların genel olarak literatürde raporlanan sonuçlarla karşılaştırılabilir düzeylerde olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Sonuçların Türkiye ve Dünyadaki benzer çalışmalarla karşılaştırılması

		PM10	PM2.5	PM2.5/PM10	Kaynak	
Türkiye	Keşan	69,2	58	0,79	Bu Çalışma	Kentsel
	Silivri	36,3	21,1	0,6		Yarı-Kırsal
	Ümraniye	39,1	22,2	0,49		Trafik
	Kandıra	45,6	19	0,49		Kırsal
	Çerkezköy	41,5	26,5	0,62		Kentsel-Sanayi
	Armutlu	26,5	19,1	0,64		Kırsal
Suudi Arabistan	Makkah	44,5	23,3	0,64	[11]	Kentsel-Trafik
Çin	Wuhan	122	74	0,62	[5]	Kentsel
		89	59	0,68		Arka-plan
Hindistan	Delhi	232,1	118,3	0,51	[10]	Kentsel-Trafik
Avrupa	Oslo	14,8	8,6	0,66	[7]	Her şehir için bölgesel
	Manchester	17,6	9,8	0,57		arka-plan,
	Londra	18,6	11,2	0,6		kentsel
	Münih	22,1	14,3	0,66		arka-plan ve
	Paris	25,6	16	0,64		trafikten etkilenen
	Roma	37	19,8	0,54		noktaların ortalaması alınmıştır.
Suudi Arabistan	Jeddah	87,3	28,4	0,33	[15]	Kentsel
Lübnan	Beyrut	103,8	38,9	0,37	[16]	Kentsel

Türkiye	Erzurum	30,6	12,7	0,42	[17]	Kentsel
Türkiye	İzmir	80	64	0,8	[14]	Kentsel
Türkiye	Zonguldak	44,1	28,1	0,64	[18]	Kentsel
USA	Oxford	16	16	0,97	[13]	Kentsel
Hindistan	Mumbai	61	41	0,7	[19]	Kentsel
	Hung Hom	83,5	50,9	0,61		Trafik
Hong Kong	Kwun Tong	73,1	57,4	0,78	[12]	Kentsel- Endüstri- Trafik
	Hok Tsui	80	42,4	0,53		Arka-plan
Yunanistan	Atina	75,5	40,2	0,53	[8]	Kentsel
İtalya	Milan	63	45	0,71	[9]	Kentsel

C. KORELASYON ANALİZİ

Çalışma kapsamında değerlendirilen istasyonlarda ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının birbirleri ile ilişkisi Spearman korelasyon analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Birbirleri ile anlamlı korelasyonlar gösteren kirleticilerin kaynaklarının ortak olduğu, benzer atmosferik şartlara ve kimyasal proseslere maruz kaldıkları düşünülebilir. Korelasyon analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının kendi aralarında gösterdikleri ilişkiler incelendiğinde tüm istasyonlarda birbirleri ile kuvvetli korelasyonlar (Spearman korelasyon katsayıları (0,6-0,9 $p<0,01$) gösterdikleri görülmüştür. Değerlendirmeler istasyon bazında yapıldığında en kuvvetli korelasyon Kentsel-Keşan istasyonu (0,9 $p<0,01$) için, en düşük korelasyonun ise Ümraniye-Trafik istasyonu (0,6 $p<0,01$) için belirlenmiştir. Keşan istasyonu aynı zamanda $PM_{2.5}/PM_{10}$ (0,8-0,9) oranlarının en yüksek hesaplandığı istasyondur. Bu durumda söz konusu istasyonda PM_{10} ve $PM_{2.5}$ partiküllerinin benzer antropojenik kaynaklardan geldiği ve atmosferde daha çok ince partiküllerin bulunduğu söylenebilir. Ümraniye istasyonunda ise $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranlarının sonbahar ve kış mevsimlerinde 0,6; ilkbahar ve yaz mevsimlerinde 0,4 civarında olduğu görülmektedir. Bu istasyon için PM_{10} ve $PM_{2.5}$ boyutundaki partiküllerin benzer kaynaklar kadar farklı kaynaklardan da atmosfere taşındığı söylenebilir. Oransal değerlendirmede de görüldüğü gibi incelenen istasyonlarda ölçülen kirletici konsantrasyonlarına kış mevsiminde antropojenik kaynakların, yaz mevsiminde ise doğal kaynakların katkısı fazladır.

Tablo 4'te partikül madde konsantrasyonu ile sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bağıl nem gibi meteorolojik parametrelerin ilişkisini gösteren Spearman korelasyon katsayıları da yer almaktadır. Ümraniye istasyonunda meteorolojik parametreler ölçülmediği için meteorolojik parametrelerle konsantrasyonlar arasındaki korelasyon katsayıları bu istasyon için hesaplanamamıştır. Tablo 4 incelendiğinde kirletici konsantrasyonlarının rüzgar hızı değerleri ile negatif bir ilişkiler gösterdiği görülmektedir. Bu durum rüzgar hızının artması ile konsantrasyonların azaldığını göstermektedir. Rüzgar yönü olası kirletici kaynaklarının belirlenmesinde kullanılabilen bir parametredir. Bununla birlikte, bu çalışmada böyle bir değerlendirme yapılmamıştır. Korelasyon analizinde derece olarak verilen rüzgar yönleri kullanılmış ve rüzgar yönünün kirletici konsantrasyonları üzerinde az da olsa etkili olduğu hesaplanan korelasyon katsayıları (0,2-0,4 $p<0,01$) ile anlaşılmıştır. Atmosferik partiküllerden özellikle ince partiküllerin bir kısmı ikincil reaksiyonlar ile oluşmaktadır. Bu reaksiyonların oluşumu bağıl nemin artması ile artmakta, ve böylece gaz fazındaki kirleticiler partikül fazına geçmektedir. Bu nedenle özellikle Keşan ve Silivri istasyonlarında bağıl nem ile $PM_{2.5}$ konsantrasyonları arasında zayıf da olsa (0,1-0,2 $p<0,01$) pozitif korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Kandıra ve Armutlu istasyonu dışındaki diğer istasyonlar için sıcaklık ile kirletici konsantrasyonları arasında zayıf negatif katsayılar (0,2-0,4 p<0,01) belirlenmiştir. Bu durum özellikle kış mevsiminde kaynak sayısının artması ile kirletici konsantrasyonlarının yaz mevsimine göre yüksek olmasına bağlı olabilir. Kandıra ve Armutlu istasyonlarında ise sıcaklık ile PM₁₀ konsantrasyonları arasında pozitif yönde anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Bu durumun ise kırsal istasyonlar da sıcaklığın artması ile tarımsal faaliyetlerin artması ve buna bağlı olarak kaba partikül konsantrasyonlarında artışa neden olan toprak kaynaklı tozların atmosfere daha çok taşınması ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Tablo 4. Korelasyon analizi

Örnekleme İstasyonu	PM10	PM2.5	Sıcaklık	Rüzgar Yönü	Rüzgar Hızı	Bağlı Nem
Keşan- PM10	1,00	0,94**	-0,30**	-0,04**	-0,17**	0,03**
Keşan-PM2.5	0,94**	1,00	-0,41**	-0,11**	-0,12**	0,10**
Silivri-PM10	1,00	0,77**	-0,07**	0,16**	-0,32**	0,01
Silivri-PM2.5	0,77**	1,00	-0,19**	0,19**	-0,41**	0,20**
Ümraniye-PM10	1,00	0,64**	-	-	-	-
Ümraniye-PM2.5	0,64**	1,00	-	-	-	-
Kandıra-PM10	1,00	0,81**	0,23**	0,14**	-0,33**	-0,10**
Kandıra-PM2.5	0,81**	1,00	0,08**	0,22**	-0,40**	-0,05**
Çerkezköy-PM10	1,00	0,87**	-0,03**	0,39**	-0,24**	-0,09**
Çerkezköy-PM2.5	0,87**	1,00	-0,25**	0,45**	-0,28**	0,13**
Armutlu-PM10	1,00	0,84**	0,28**	0,04**	-0,17**	-0,04**
Armutlu-PM2.5	0,84**	1,00	-0,05**	0,13**	-0,18**	0,08**

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, Marmara Temiz Hava Merkezi'ne ait hava kalitesi ölçüm istasyonlarından Edirne-Keşan, İstanbul-Silivri, İstanbul-Ümraniye, Kocaeli-Kandıra, Tekirdağ-Çerkezköy, Yalova-Armutlu istasyonlarında 2017 yılında eş zamanlı ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının günlük ve mevsimsel değişimleri incelenmiştir. Çalışmada sınır değer olarak Avrupa Birliği yönetmeliklerinde PM₁₀ için 50 µg/m³ olarak belirtilen günlük sınır değer ve PM_{2.5} için 25 µg/m³ olarak belirtilen yıllık sınır değerler referans olarak alınmıştır. Sonuçlar, yönetmelikte belirtilen günlük PM₁₀ konsantrasyonlarının bir yılda 35 defadan fazla aşılmaması şartının yalnızca Kırsal-Armutlu istasyonunda gerçekleştiğini göstermiştir. PM_{2.5} için günlük sınır değer bulunmadığı için karşılaştırma yıllık sınır değer üzerinden yapılmıştır. İncelenen istasyonlardan, yalnızca yıllık ortalama PM_{2.5} değeri 26 µg/m³ olarak hesaplanan Kentsel-Keşan istasyonunda sınır değerini aştığı belirlenmiştir.

Partikül boyutu ile kirletici kaynakları arasındaki ilişkinin anlaşılabilmesi için PM_{2.5}/PM₁₀ oranları hesaplanmış ve oranlar incelenen istasyonların özelliklerine göre değerlendirilmiştir. PM_{2.5}/PM₁₀ oranları özellikle trafik istasyonu Ümraniye ile kırsal istasyon Kandıra'da yaz mevsiminde belirgin olarak azalmaktadır. PM_{2.5}/PM₁₀ oranlarının kış mevsiminde artması PM_{2.5} boyutundaki partiküllere kış mevsiminde etki eden antropojenik katkılardan kaynaklanabilirken, yaz aylarında gözlenen azalma kaba partiküllerin bu aylarda atmosferde daha çok bulunması ile bağlantılı olabilir. İncelenen istasyonlarda ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarının mevsimsel farklılıkları değerlendirildiğinde, kış ve yaz mevsimleri için ortalama konsantrasyonlar arasında en yüksek mevsimsel fark zıt yönde olacak şekilde Keşan ve Kandıra istasyonları için hesaplanmıştır. Şöyle ki, Keşan istasyonu için

konsantrasyonlar kış mevsiminde, Kandıra istasyonu için ise yaz mevsiminde yüksektir. Konsantrasyonların gün içerisinde saatlik değişimleri incelendiğinde, günlük konsantrasyonların mesai başlangıç (06:00 ile 09:00) ve bitiş saatlerine (09:00 ile 18:00) karşılık gelen saatlerde artan trafik yoğunluğuna bağlı olarak arttığı görülmüştür. İncelenen istasyonlar için hesaplanan ortalama konsantrasyonlar ve $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları dünyanın farklı ülkelerinde farklı özelliklerde şehirlerde yapılan benzer örneklemelerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırılan her bir kent farklı bölgelerde, farklı kaynak profillerine ve topografyaya sahip olsalar da elde edilen oranların benzerlikler gösterdiği anlaşılmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen istasyonlarda ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının birbirleri ile ve meteorolojik parametrelerle ilişkisi Spearman korelasyon analizi yapılarak değerlendirilmiştir. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının tüm istasyonlarda kuvvetli korelasyonlar gösterdiği görülmüştür (Spearman korelasyon katsayıları 0,6-0,9 $p<0,01$). Partikül madde konsantrasyonu ile meteorolojik parametrelerin ilişkisini gösteren Spearman korelasyon katsayıları incelendiğinde kirletici konsantrasyonlarının rüzgar hızı değerleri ile negatif bir ilişki gösterdiği görülmektedir. Bu durum rüzgar hızının artması ile konsantrasyonların azaldığını göstermektedir. Korelasyon analizinde derece olarak verilen rüzgar yönleri kullanılmış ve rüzgar yönünün kirletici konsantrasyonları üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Keşan ve Silivri istasyonlarında bağıl nem ile $PM_{2.5}$ konsantrasyonları arasında pozitif katsayılar hesaplanmıştır. Keşan, Silivri, Ümraniye ve Çerkezköy istasyonları için sıcaklık ile kirletici konsantrasyonları arasında zayıf negatif korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Bu durum sıcak mevsimlerde ısınma kaynağının olmamasına bağlı olarak konsantrasyonların azalması ile ilişkili olabilir. Kandıra ve Armutlu istasyonlarında ise bu istasyonların kırsal istasyonlar olmalarına bağlı olarak sıcaklığın artması ile tarımsal faaliyetlerin artmakta ve buna bağlı olarak da atmosferik kaba partikül konsantrasyonları artabilmektedir. Bu nedenle kırsal istasyonlarda sıcaklık ile PM_{10} konsantrasyonları arasında pozitif yönde anlamlı ilişkiler belirlenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] T. M. A. Habeebullah, "Chemical Composition of Particulate Matters in Makkah – Focusing on Cations, Anions and Heavy Metals," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 16, no. 2, pp. 336-347, 2016.
- [2] H.X. Co, " Levels and Composition of Ambient Particulate Matter at a Mountainous Rural Site in Northern Vietnam," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 14, pp. 1917-1928, 2014.
- [3] S. Munir, "Analysing Temporal Trends in the Ratios of $PM_{2.5}/PM_{10}$ in the UK," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 17 no. 1, pp. 34-48, 2017.
- [4] V. Evagelopoulos, S. Zoras, A.G. Triantafyllou, T.A. Albanis, "PM₁₀-PM_{2.5} time series and fractal analysis," *Global NEST: The International Journal Global NEST Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 234-240, 2013.
- [5] G. Xu, L. Jiao, B. Zhang, S. Zhao, M. Yuan, Y. Gu, . . .X. Tang, "Spatial and Temporal Variability of the $PM_{2.5}/PM_{10}$ Ratio in Wuhan, Central China," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 17, no. 3, pp. 741-751, 2017.

- [6] A.I. Calvo, V. Pont, C. Lioussé, B. Dupré, A. Mariscal, C. Zouiten, . . . R. Fraile, "Chemical composition of urban aerosols in Toulouse, France during CAPITOUL experiment," *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 102, pp. 307–323, 2008.
- [7] M. Eeftens, M. Tsai, C. Ampe, B. Anwander, R. Beelen, T. Bellander, T., . . . G. Hoek, "Spatial variation of PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5} absorbance and PM_{coarse} concentrations between and within 20 European study areas and the relationship with NO₂ – Results of the ESCAPE project," *Atmospheric Environment*, vol. 62, pp. 303-317, 2012.
- [8] A. Chaloulakou, P. Kassomenos, N. Spyrellis, P. Demokritou, P. Koutrakis, "Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece," *Atmospheric Environment*, vol. 37, no. 5, pp. 649-660, 2003.
- [9] G. Marcazzan, M. Ceriani, G. Valli, R. Vecchi, "Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in Milan (Italy) using receptor modelling," *Science of the Total Environment*, 317(1-3), 137-147, 2003.
- [10] S. Tiwari, P.K. Hopke, A.S. Pipal, A.K. Srivastava, D.S. Bisht, S. Tiwari, . . . S.D. Attri, "Intra-urban variability of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and its relationship with optical properties of aerosols over Delhi, India," *Atmospheric Research*, vol. 166, pp. 223-232, 2015.
- [11] S. Munir, T.M. Habeebullah, A.M. Mohammed, E.A. Morsy, M. Rehan, K. Ali, "Analysing Temporal Trends in the Ratios of PM_{2.5}/PM₁₀ in the UK," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 17, no. 1, pp. 34-48, 2017.
- [12] K. Ho, S. Lee, C.K. Chan, J.C. Yu, J.C. Chow, X. Yao, "Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong," *Atmospheric Environment*, vol. 37, no. 1, pp. 31-39, 2003.
- [13] B. Wojas, C. Almqvist, "Mass concentrations and metals speciation of PM_{2.5}, PM₁₀, and total suspended solids in Oxford, Ohio and comparison with those from metropolitan sites in the Greater Cincinnati region," *Atmospheric Environment*, vol. 41, no. 39, pp. 9064-9078, 2007.
- [14] S. Yatkin, A. Bayram, "Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} using positive matrix factorization and chemical mass balance in Izmir, Turkey," *Science of The Total Environment*, vol. 390, no.1, pp. 109-123, 2008.
- [15] M. Khodeir, M. Shamy, M. Alghamdi, M. Zhong, H. Sun, M. Costa, . . . P. Maciejczyk, "Source apportionment and elemental composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Jeddah City, Saudi Arabia," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 3, no. 3, pp. 331-340, 2012.
- [16] N. Saliba, F.E. Jam, G.E. Tayar, W. Obeid, M. Roumie, "Origin and variability of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) mass concentrations over an Eastern Mediterranean city," *Atmospheric Research*, vol. 97, no 1-2, pp. 106-114, 2010.
- [17] H. Bayraktar, F.S. Turalioğlu, G. Tuncel, "Average mass concentrations of TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} in Erzurum urban atmosphere, Turkey," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 24, no. 1, pp. 57-65, 2008.

- [18] M. Akyüz, H. Çabuk, "Meteorological variations of PM_{2.5}/PM₁₀ concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 170, no. 1, pp. 13-21, 2009.
- [19] R. Kumar, A.E. Joseph, "Air Pollution Concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀ and NO₂ at Ambient and Kerbsite and Their Correlation in Metro City – Mumbai," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 119, no. 1-3, pp. 191-199, 2006.