



## İZMİR HAVASINDA PARTİKÜL MADDE KİRLİLİĞİ: ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRME

(*THE AIR BORNE PARTICULATE MATTER POLLUTION IN IZMIR*)

Sinan YATKIN\*, Abdurrahman BAYRAM\*

### ÖZET/ABSTRACT

İzmir havasındaki partikül madde konsantrasyonları ( $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$ ), şehir merkezinde (Yeşildere semti) ve yarı-kırsal özellikteki Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nde eş zamanlı olarak bir yıl boyunca ölçülmüştür. Ölçüm dönemi Haziran 2004 ve Mayıs 2005 tarihleri arasındadır.  $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$  ortalama konsantrasyonları Tınaztepe'de sırasıyla  $24,1 \pm 12,2$  ve  $46,9 \pm 20,1 \mu g m^{-3}$ , Yeşildere'de  $64,4 \pm 38,5$  ve  $80,0 \pm 30,2 \mu g m^{-3}$ , olarak ölçülmüştür. Her iki partikül madde fraksiyonunda yaz konsantrasyonları Tınaztepe'de kış değerlerinden yüksekken, Yeşildere'de tam tersi olmuştur. Partikül madde konsantrasyonlarının rüzgar yönü, hızı, yağış gibi meteorolojik değişkenlerle ilişkisi irdelenmiş ve bu etmenlerin etkisinin önemli boyutlarda olduğu belirlenmiştir.

*The ambient air concentrations of particulate matter's fractions ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ) were determined concurrently at suburban and urban sites in Izmir, Turkey. The sampling season was between June 2004 and May 2005. The mean concentrations of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  were  $24.2 \pm 12.2$  and  $46.9 \pm 20.1 \mu g m^{-3}$  at the suburban site and  $64.4 \pm 38.5$  and  $80.0 \pm 30.2 \mu g m^{-3}$  at the urban site, respectively. The mean summer concentrations of two fractions were higher than winter ones at the suburban site; on the contrary, the concentrations at the urban site in winter were higher than in summer. The relationships between meteorological parameters such as wind direction, wind velocity and precipitation and the PM concentrations were evaluated. It was obtained that the PM concentrations were notably influenced by these parameters. It was also seen that  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratio was affected by the same parameters; and the temporal variation of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratio was significant, too. The measured  $PM_{10}$  concentrations were compared to data obtained from four online stations located in the city. The results indicated that the spatial variation of  $PM_{10}$  at the different sites of the city was significant.*

### ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Partikül madde,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , İzmir  
Particulate matters,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , Izmir

\* DEÜ, Müh. Fak., Çevre Müh. Bölümü, Kaynaklar Yerleşkesi Buca, İZMİR

## 1. GİRİŞ

Havada bulunan partikül maddeler (PM), önemli çevresel etkileri dolayısıyla izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken bir hava kirletici grubudur. Özellikle havada uzun süre askıda kalabilen 10 mikrondan küçük partiküller ( $PM_{10}$ ) ve solunum yollarına ulaşabilecek büyüklükteki partiküller ( $PM_{2,5}$ ) dünyada son yıllarda hızla artan sayıda çalışmaya konu olmuştur. PM'nin belirlenen en önemli çevresel etkileri arasında solar enerji ve görüş mesafesini düşürmeleri, güneş ışığını azaltmaları dolayısıyla çeşitli tarım ürünlerinin rekoltesini düşürmeleri, hava-su transferi ile sucül ekosistemleri etkilemeleri, uzun mesafe taşınımları ile deniz ekosistemini etkilemeleri, yüksek konsantrasyonlarda solunuma bağlı şikayetlere yol açması ve solunabilir kısımlardaki ağır metaller dolayısıyla toksisite yaratmaları öne çıkmaktadır (Polissar vd., 2001; He vd., 2001; Gao vd., 2002). Ayrıca, atmosferde PM varlığı astım atakları, öksürük, solunum yolu tahrişi, solunum güçlüğü, kronik bronşit, cenin ölümleri yaratma gibi sağlık etkilerine neden olabilir (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı web sayfası; [www.epa.gov](http://www.epa.gov)).

Atmosferdeki partikül maddelerin kaynakları toprak, çöl, deniz, bataklık, volkan v.b. doğal kaynaklar ile fosil yakıt yakılması, endüstri v.b. insan kaynaklı olup bunların etki oranları bölgesel olarak değişebilir. Hızla artan sanayileşme ve nüfus artışına paralel olarak fosil yakıt tüketiminin artması dünyanın birçok bölgesinde atmosferdeki PM konsantrasyonlarının yükselmesi sonucunu getirmiştir. Genellikle şehir atmosferindeki PM konsantrasyonlarının büyük bir kısmından bu tür kaynaklar sorumludur (Sun vd., 2004). Çöller ve aktif volkanların bulunduğu bölgelerde ise doğal kaynakların PM konsantrasyonlarına etkisi çok daha büyüktür.

Dünya üzerinde PM ile ilgili çalışmalar, konsantrasyonların ölçülmesi, mevsimsel ve yerel değişimlerin ortaya konması, elementel içeriğinin belirlenmesi ve kaynakların tespiti üzerine yoğunlaşmakta olup son yıllarda sayı hızla artmaktadır. Ülkemizde de bu türden çalışmalar yıllardan beri sürdürülmektedir. Çeşitli bölgelerde yapılan araştırmalar, PM konsantrasyonlarının kışın arttığını ve elementel içeriğinin genellikle toprak alkali elementlerden meydana geldiğini ortaya koymuştur (Örnektekin, 1997; Güllü vd., 2000; Yatin vd., 2000, Karaca vd., 2005). İzmir'de yapılan bazı çalışmalar da benzer yönde sonuçlar vermiştir. (Odabaşı vd., 2002; Yatkın, ve Bayram, 2005).

Bu çalışmanın amacı, İzmir şehir merkezinde ve yarı kırsal özellik gösteren Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nde  $PM_{2,5}$  ve  $PM_{10}$  konsantrasyonlarının ölçülmesi, mevsimsel ve yerel değişimlerin belirlenmesi ve meteorolojik faktörlerin etkisinin ortaya konulmasıdır. Ayrıca, ölçülen değerler, Belediye'ye ait sürekli ölçüm istasyonlarından elde edilen konsantrasyonlarla karşılaştırılarak şehir merkezinin değişik bölgelerindeki değişim ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1 Örneklem Bölgesi

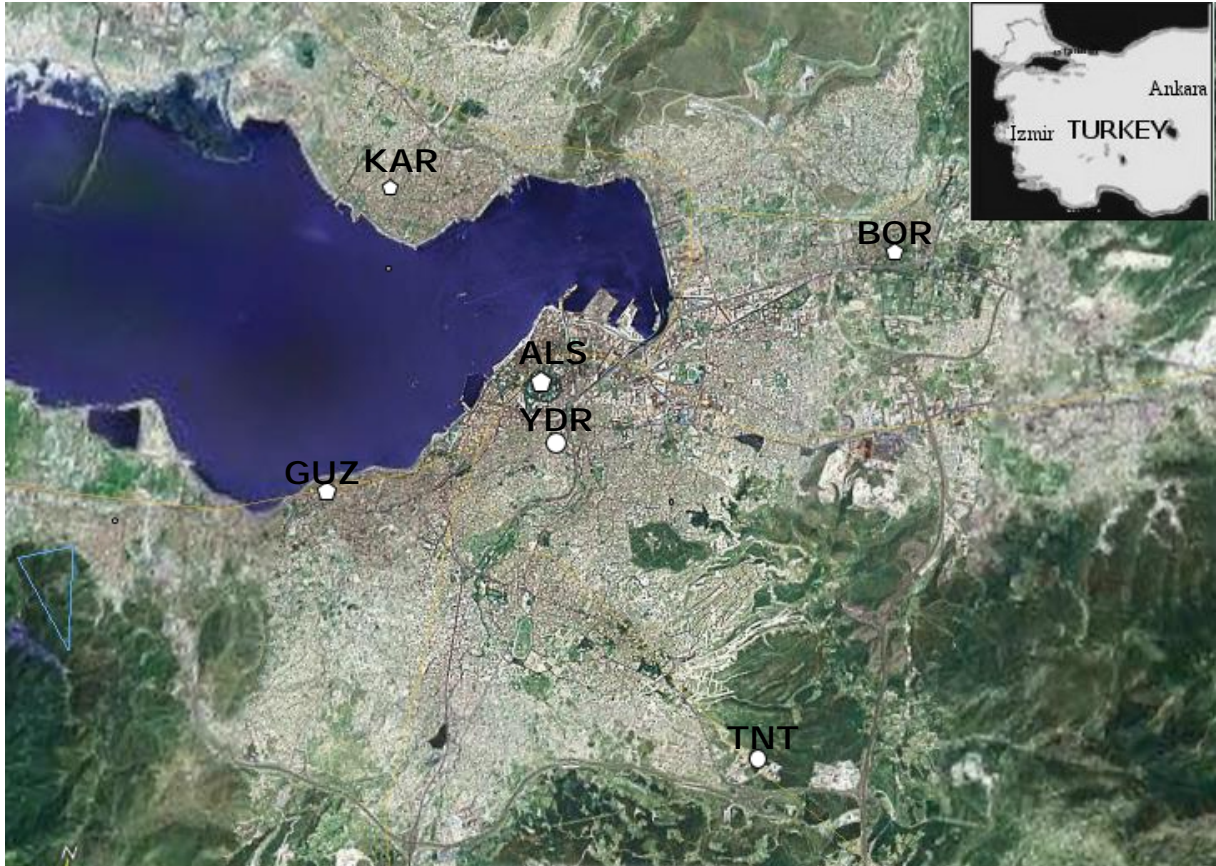
Örneklem bölgesi İzmir kent merkezi ve çevresidir. Örneklem bölgesinde çok sayıda sanayi tesisi yer almaktadır. Başlıca sanayi kuruluşları arasında, çimento, taş ocakları, seramik, asfalt, otomotiv, kimya, gıda sayılabilir. Ayrıca, şehrin yaklaşık 50 km kuzeyinde rafineri ve petrokimya tesisi ile birçok demir-çelik üreticisinin yer aldığı Aliağa Sanayi Bölgesi bulunmaktadır.

Ölçümler, şehir merkezinde bulunan Yeşildere yolunun kenarı (YDR) ve Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi (TNT) olmak üzere iki istasyonda gerçekleştirilmiştir. Bu

ölçümler, Haziran 2004 ve Mayıs 2005 tarihleri arasında altı günde bir olacak şekilde eş zamanlı olarak yapılmıştır. Saatlik  $PM_{10}$  verisi ise belediyeye ait dört sürekli ölçüm istasyonundan elde edilmiştir. Bu istasyonlar Bornova (BOR), Karşıyaka (KAR), Güzelyalı (GUZ) ve Alsancak (ALS) bölgelerinde yer almaktadır. Bütün ölçüm yerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

## 2.2. Örneklemeye

Tınaztepe istasyonunda kullanılan cihaz  $PM_{2,5}$  ve  $PM_{10}$  fraksiyonlarını aynı anda ölçme imkanı sağlamaktadır (Partisol 2025, Rupprecht&Patashnick Inc., ABD). Örneklemeye, yer seviyesinden 5 m yukarıda yer alan platformda yapılmıştır. Bu istasyonda ayrıca, rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, nem ve basınç gibi meteorolojik parametreler de sürekli olarak ölçülmektedir. Örnekler, teflon filtreler (Whatman Inc., ABD) kullanılarak toplanmıştır. YDR istasyonunda ise her seferinde  $PM_{2,5}$  ve  $PM_{10}$  fraksiyonlarından sadece birini örnekleyebilen bir cihaz kullanılmıştır (Model PF 20630, Zambelli Inc., İtalya). Her iki istasyonda fraksiyonların haftalık karşılaştırılmasının yapılabilmesi için örneklemeler altı günde bir, ardışık olarak iki günde gerçekleştirilmiştir. Ardışık günlerin ilkinde YDR istasyonunda  $PM_{10}$ , diğer günde ise  $PM_{2,5}$  örnekleme yapılmıştır. Örneklemeler, selüloz asetat filtre kullanılarak yerden 5 metre yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Örneklemeye süresi 24 saattir.



Şekil 1. Örneklemeye istasyonlarının yerleri

Filtreler, kullanımdan önce ve sonra  $105^{\circ}C$ 'de 2 saat tutularak ve sonrasında 1 saat desikatörde bekletilerek tartılmıştır. Tartımda,  $2 \mu g$  hassasiyetli terazi kullanılmıştır (Mettler-Toledo AG, İsviçre). Örneklemeye ve tartımdan gelebilecek bulaşmaları belirlemek amacıyla,

kullanılan her kutudan en az 3 filtreye aynı taşıma ve tartım prosedürü uygulanmıştır. Konsantrasyonlar hesaplanırken, bu düzeltmeler yapılmıştır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> Konsantrasyonları

PM fraksiyonlarının mevsimsel değişimi Çizelge 1’de özetlenmiştir. TNT istasyonunda yaz değerleri daha yüksek iken YDR istasyonunda durum tam tersidir. YDR istasyonundaki değerler her iki mevsimde de TNT istasyonundan yüksektir. YDR istasyonu şehir merkezinde yer aldığı ve trafik, endüstri gibi kaynaklardan daha çok etkilendiği için bu durum anlaşılabilir. Benzer şekilde, kış değerlerinin yüksekliği, ısınma amaçlı fosil yakıt yakılmasının etkisi ile açıklanabilir. Diğer taraftan, yarı kırsal özellik gösteren TNT istasyonunda yaz değerleri kışa oranla daha yüksektir ve bunun muhtemel nedeni toprak kaynaklı PM olabilir. Bu istasyon, bitki örtüsü zayıf geniş arazilerle çevrili olduğu gibi güneyinde önemli miktarda tarımsal faaliyet yapılmaktadır.

Çizelge 1. İki istasyondaki konsantrasyonların ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) mevsimsel değişimi

İstasyon	Fraksiyon	YAZ				KIŞ			
		n	Ort.(SS)	Min	Maks	n	Ort.(SS)	Min	Maks
TNT	PM <sub>10</sub>	60	52,8 (18,4)	19,8	106,4	34	35,8(18,2)	10,0	79,1
	PM <sub>2,5</sub>	60	26,5 (12,7)	7,0	69,6	34	19,9(9,9)	4,8	40,6
YDR	PM <sub>10</sub>	30	75,8(24,7)	17,9	133,8	20	91,7(35,8)	46,6	176,3
	PM <sub>2,5</sub>	30	52,5(21,9)	15,1	98,2	20	78,6(54,7)	22,0	224,3

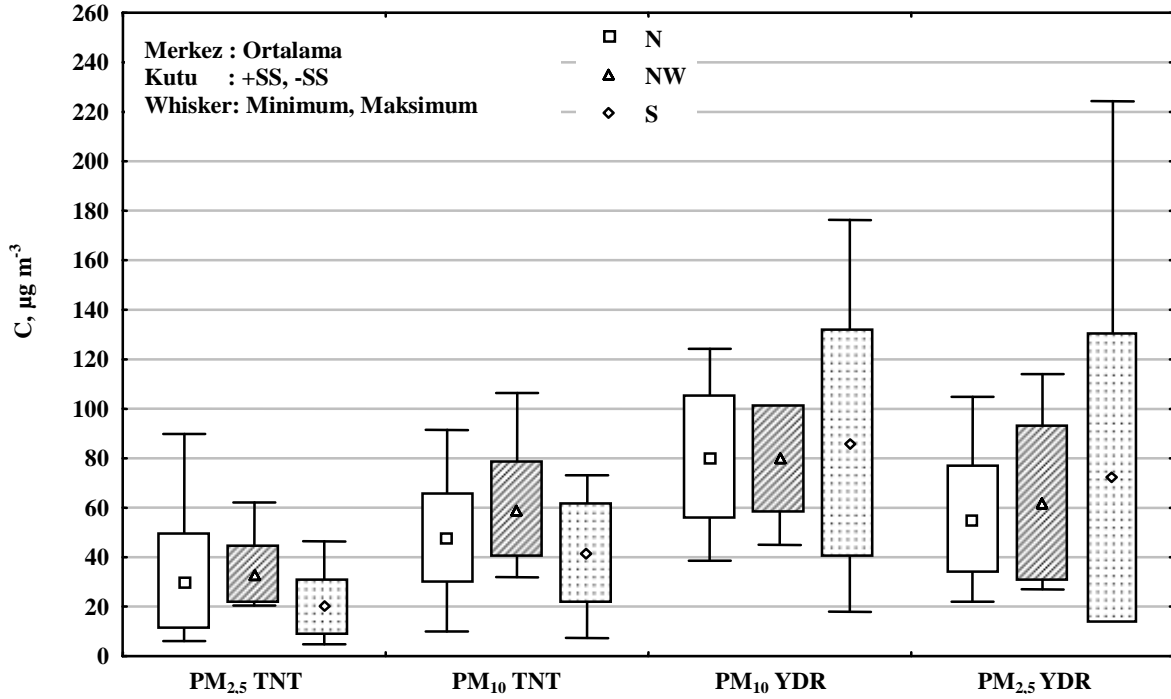
Ort.: Aritmetik ortalama

SS : Standart sapma

2 Kasım 1986 tarihli Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’nde PM<sub>10</sub> için sınır değerler tanımlanmışken, PM<sub>2,5</sub> için herhangi bir düzenleme getirilmemiştir. Günlük ve yıllık ortalama PM<sub>10</sub> sınır değerleri, yerleşim bölgeleri için sırasıyla 300 ve 150  $\mu\text{g m}^{-3}$  olup Avrupa Birliği’nde geçerli olanlara göre oldukça yüksektir. Avrupa Birliği’nde PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> için sınır değerler sırasıyla 50  $\mu\text{g m}^{-3}$  ve 15  $\mu\text{g m}^{-3}$ ’tür ve bu değerlerin yılın en fazla 30 gününde aşılmasına izin verilmektedir. Ölçülen bütün değerler, ülkemizdeki sınır değerlerin altında kalırken PM<sub>10</sub> TNT kış değeri hariç Avrupa Birliği sınır değerleri aşılmaktadır.

Mevsimsel değişimin yanında, rüzgar, yağış gibi meteorolojik faktörler de PM konsantrasyonlarını önemli oranda etkilediğinden Tınaztepe istasyonunda ölçülen meteorolojik bilgilerle partikül madde konsantrasyonlarının ilişkisi incelenmiştir. Her ne kadar TNT ve YDR arasındaki mesafe (Yaklaşık 10 km) ve iki bölgede topoğrafik farklılıklar önemli olsa da bir fikir vermesi açısından aynı meteorolojik veri YDR için de kullanılmıştır.

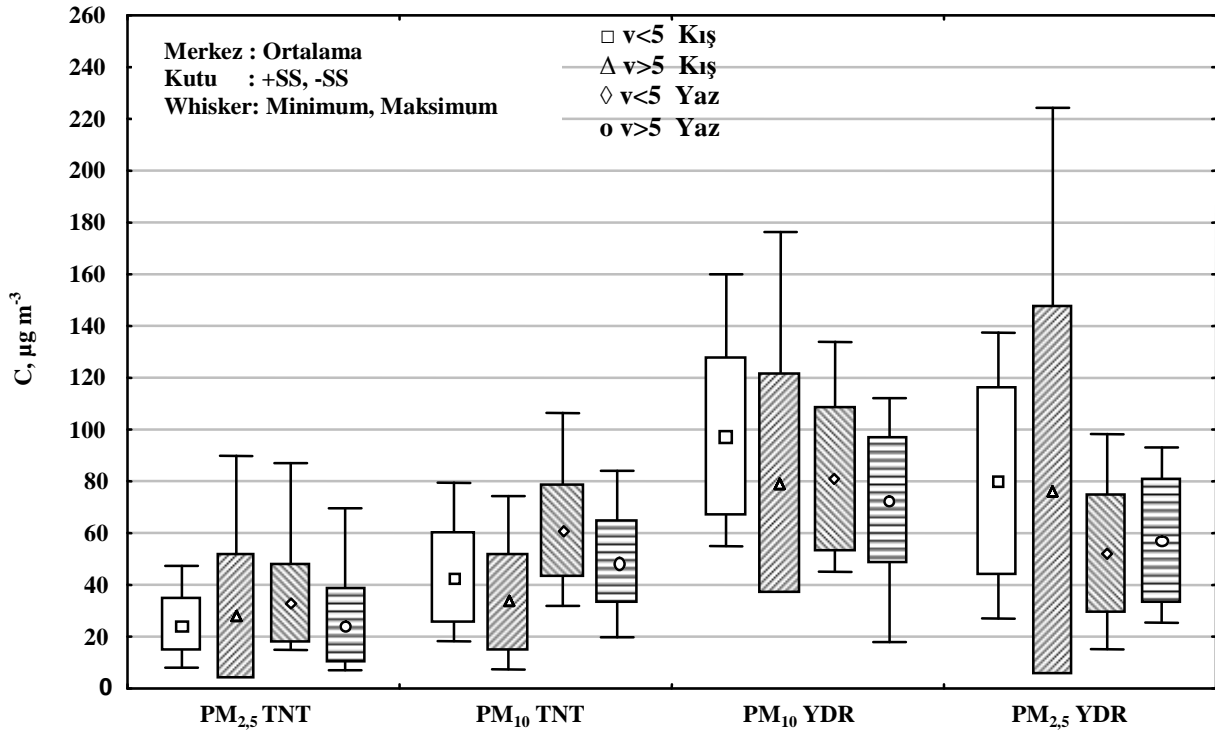
TNT istasyonu, şehrin güney-güneydoğu (S-SE) doğrultusunda yer aldığından dolayı, rüzgar yönünün bu bölgede PM konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkileyeceği düşünülmektedir. Örneklem periyodu boyunca genellikle 3 rüzgar esme yönü gözlenmiştir. Bunlar, kuzey (N), kuzeybatı (NW) ve güneydoğu (SE)’dur. N ve NW rüzgarları durumunda, şehirde yer alan kaynaklardan atmosfere bırakılan PM, TNT istasyonuna doğru taşınmaktadır. SE durumunda ise Torbalı ilçesindeki sanayi kuruluşları ve özellikle tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan PM bu istasyona doğru taşınmaktadır. Rüzgar yönü ve konsantrasyonlar arasındaki ilişki, Şekil 2.’de, kutu ve whisker çizilerek ortaya konulmuştur.



Şekil 2. Her iki örnekleme bölgesinde PM konsantrasyonlarının rüzgar yönleriyle değişimi

Şekil 2 incelendiğinde, rüzgarın SE olması durumunda, PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının, TNT istasyonunda azaldığı görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu durum istasyonun şehire göre konumu dolayısıyla anlaşılabilir. Bu azalışın istatistiksel olarak önemli olup olmadığını anlamak amacıyla SE, NW ve N rüzgarları durumlarındaki konsantrasyon değerlerine t-testi uygulanmıştır. N ile NW, N ile SE ve NW ile SE için t-testlerinin, %95 güvenlik seviyesindeki p değerleri sırasıyla 0,57, 0,01 ve 0,01 olarak bulunmuştur. Bu durumda, N ile NW rüzgar yönlerindeki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının değişimi önemli değilken, rüzgarın SE olması durumundaki azalış, istatistiksel olarak önemli boyuttadır. Diğer tarafta, bu istasyonda PM<sub>10</sub> için durum tam tersidir. N ve SE yönleri arasında önemli bir farklılık yokken (p=0,18), NW durumunda konsantrasyon artmaktadır (N ile NW için p=0,02 ve NW ile SE için p=0,03). Öte yandan, YDR istasyonunda konsantrasyonların rüzgar yönünden etkilenmediği görülmekte ve durum t-testi sonuçlarıyla da desteklenmektedir (Tüm p değerleri 0,03'ten büyüktür).

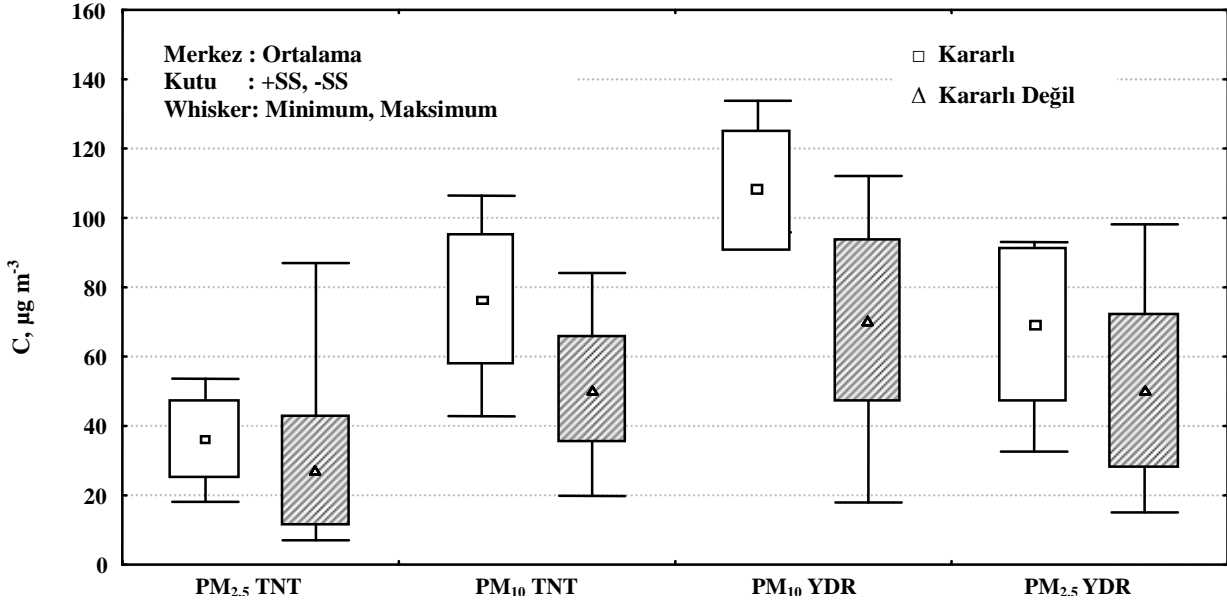
Rüzgar yönü yanında rüzgar hızının da PM konsantrasyonlarını önemli oranda etkileyebileceği ortaya konulmuştur. Birçok araştırmacı, rüzgar hızının PM'in atmosferdeki taşınımı ve ömrü konusunda önemli etkilere sahip olduğunu belirlemiştir. Rüzgar hızının en önemli etkileri arasında, PM'in kaynaklardan uzaklara taşınması, karışım yüksekliğini belirlemesi, kirleticileri seyreltmesi sayılabilir (Kim vd., 2005; Chaloulakou vd., 2003; Harrison vd., 2001; Marcazzan vd., 2001). Diğer taraftan, yüksek rüzgar hızları toprak yüzeyi ve yollardan PM'in tekrar havaya karışma oranlarını artırır. Düşük hızlarda ise, PM kaynaklardan uzaklaşamayacağından konsantrasyonlar önemli seviyelere ulaşabilir. Özellikle, kışın böyle kararlı hava durumlarında, büyük şehirlerde, ısınma kaynaklı PM yüzünden konsantrasyonlar çok artabilmektedir. (Chaloulakou vd., 2003). Rüzgar hızının konsantrasyonlar üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için hıza bağlı değerler mevsimsel olarak Şekil 3'te çizilmiştir.



Şekil 3. Rüzgar hızına bağlı PM konsantrasyonlarının değişimi (Rüzgar hızı birimi  $m s^{-1}$ )

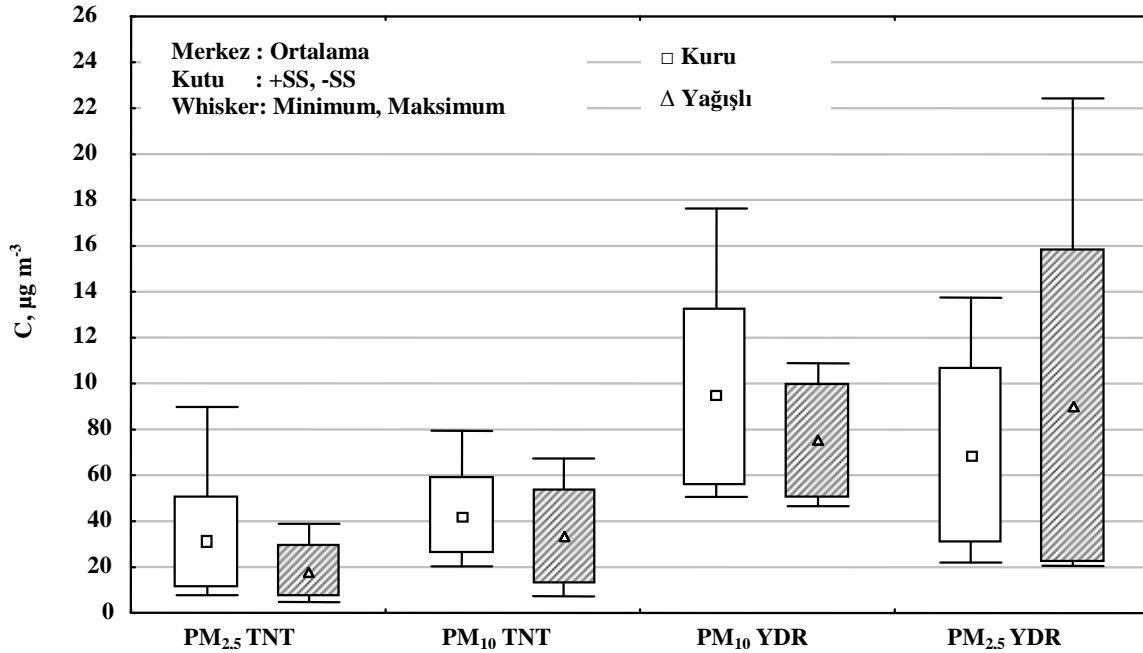
Genel olarak, tüm konsantrasyonlar artan rüzgar hızıyla beraber, her iki mevsimde de düşmüştür. Bu durum, muhtemelen, yüksek hızların seyreltme etkisini arttırmasının sonucudur. Diğer tarafta, yüksek hızlar, PM'in topraktan yeniden atmosfere karışma oranını ve uzun mesafelere taşınma etkisini arttırır (Chaloulakou vd., 2003; Harrison vd., 2001). Yaz periyodundaki konsantrasyonların artan rüzgar hızıyla beraber azalması durumu, seyreltme etkisinin topraktan PM taşınımı etkisinden daha büyük olduğu şeklinde açıklanabilir. TNT istasyonunda yüksek hızlardaki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarındaki yükseliş, muhtemelen şehirden bölgeye doğru PM taşınımının, özellikle fosil yakıt yakılması kaynaklı PM'in artmasına bağlanabilir.

Bazı örnekleme günlerinde, rüzgar hızı çok düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Bu durumlarda günlük ortalama rüzgar hızı  $1 m s^{-1}$ 'den daha düşük olmuştur. Bu rüzgarsız, sakin atmosferik durumların konsantrasyonlar üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için Şekil 4 çizilmiştir. Sakin atmosferik koşullar sonbahar aylarında, ısınma periyodu başlangıcından hemen önce meydana geldiği için, bu günlerde ölçülen konsantrasyonlar yaz aylarında ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır (Isınma periyodu olarak Kasım başı - Mart sonu esas alınmıştır). Şekil 4'te de açıkça görüldüğü gibi, yatay yönde taşınımın ve seyrelmenin daha az olduğu bu sakin atmosferlerde PM konsantrasyonları, her iki istasyonda da önemli miktarlarda artmıştır. Bu durum başka araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir. (Chaloulakou vd., 2003; Marcazzan vd., 2001).



Şekil 4. Kararlı atmosferik koşullarda PM konsantrasyonlarının değişimi

Bir diğer meteorolojik faktör olan yağış da PM konsantrasyonlarını önemli oranlarda etkilemektedir. Bu etki, yıkama ile partiküllerin atmosferden uzaklaştırılması yanında toprağın ıslanması ile partiküllerin rüzgar etkisiyle yeniden havaya karışmasının azalması ile havadaki konsantrasyon değerlerinin düşmesidir. (Chaloulakou vd., 2003). İzmir’de yağış, genellikle ısınma periyodu olan kış ile bahar aylarının kışa yakın olan Kasım ve Mart-Nisan aylarında gözlenir. Dolayısıyla, yağışın PM konsantrasyonları üzerinde olan etkisinin belirlenmesi amacıyla, yağışlı günlerde ölçülen değerler, ısınma periyodundakilerle kıyaslanmış ve Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Bahar ve kış aylarında yağışlı ve kuru günlerde ölçülen PM konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 5'te de açıkça görüleceği gibi, yağışlı günlerde PM konsantrasyonu her iki örnekleme bölgesinde de önemli oranda düşmektedir. Yalnızca YDR istasyonunda PM<sub>2,5</sub> değerleri yağışla birlikte artmış görünmektedir. Bu durum, büyük oranda, bu istasyonda ölçülen maksimum PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonunun (224,3 µg m<sup>-3</sup>) yağmurlu bir günde ölçülmesinden ileri gelmiştir. Bu değer göz önünde tutulmadığında, azalış eğilimi bu parametre için de gözlenebilmektedir.

Bu bölümde, meteorolojik faktörlerin PM konsantrasyonları üzerinde olan etkileri ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, bu faktörlerin konsantrasyonlar üzerindeki etkisi, her iki örnekleme bölgesinde, özellikle TNT'de, önemli boyutlardadır. Genel olarak rüzgar yönü, hızı ve yağış durumları değişik oranlarda PM değerlerini etkilese de en önemli etken kararlı atmosferik durumlar olarak ortaya çıkmıştır.

### 3.2. Örnekleme Bölgelerinde PM Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

İki istasyondaki eş zamanlı örnekleme, bölgelerdeki PM seviyelerini günlük olarak karşılaştırma imkanı vermiştir. Bu karşılaştırma Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Her iki örnekleme bölgesinde eş zamanlı konsantrasyonlarının mevsimsel olarak karşılaştırılması

	PM <sub>10</sub> (YDR)/PM <sub>10</sub> (TNT)		PM <sub>2,5</sub> (YDR)/PM <sub>2,5</sub> (TNT)	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz
<b>Minimum</b>	1,1	0,7	1,0	0,7
<b>Maksimum</b>	8,6	4,0	46,7	4,0
<b>Ortalama</b>	2,9	1,6	6,1	1,9
<b>Standart Sapma</b>	1,9	0,7	10,7	0,9

Önceki bölümde de belirtildiği gibi, TNT'de yaz değerleri daha yüksekken, YDR'de konsantrasyonlar kışın daha yüksektir. Bunun sonucunda, YDR'deki değerlerin TNT'dekilere oranı kışın çok daha yüksek olmuştur. Yaz aylarında, PM<sub>10</sub> oranları ortalaması 1.6 iken bu değer kışın yaklaşık iki katına çıkmıştır. Mevsimsel artış, PM<sub>2,5</sub> oranlarında çok daha büyük olmuş; 1.9'dan 6.1'e çıkmıştır. Bu yüksek artış, büyük oranda, YDR'deki maksimum değer oluştuğu günde, TNT'de en düşük konsantrasyonlardan birinin ölçülmesinden kaynaklanmıştır. Diğer tarafta, PM<sub>2,5</sub> oranlarındaki PM<sub>10</sub>'e göre daha yüksek artış, ısınma amaçlı yakıt yakılmasının, atmosfere büyük oranda küçük PM yaymasına da bağlanabilir.

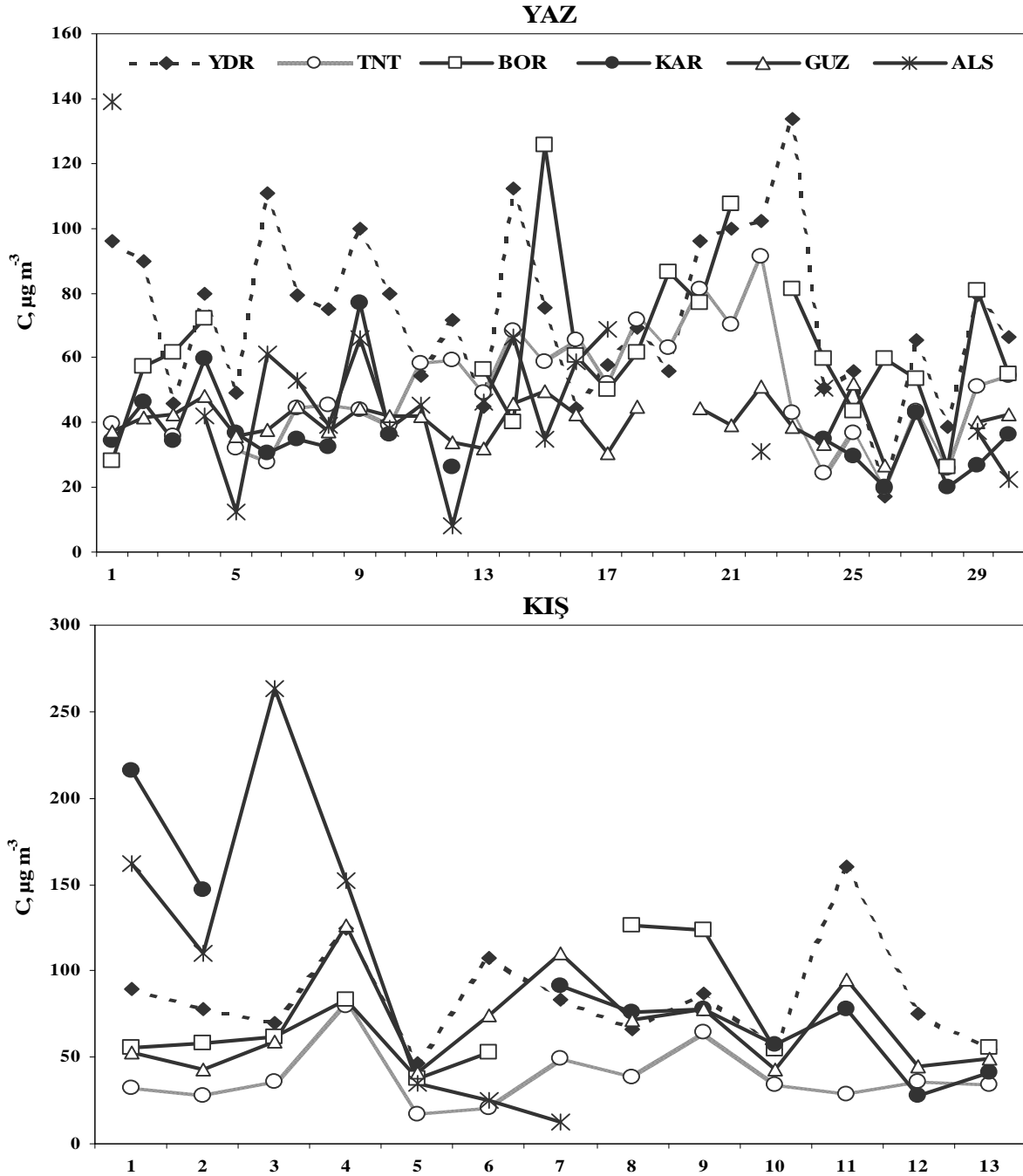
### 3.3. PM Konsantrasyonlarını Sürekli Ölçüm İstasyonları Değerleriyle Karşılaştırılması

Şekil 1'de de gösterildiği gibi, İzmir'de, belediyeye ait dört sürekli ölçüm istasyonu yer almaktadır. Bu istasyonlarda, sürekli ölçüm cihazları ile 15'şer dakikalık ortalama PM<sub>10</sub> değerleri ölçülmektedir. Her ne kadar hiçbir sürekli ölçüm istasyonun yeri, hem TNT hem de YDR bölgelerini tam olarak temsil etmese de, bir fikir vermesi açısından değerler karşılaştırılmıştır. Sürekli ölçüm istasyonlarında sık meydana gelen arızalardan dolayı, örnekleme periyodu boyunca birçok veri eksik kalmıştır. Mevsimsel eş zamanlı PM<sub>10</sub> değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6'da açıkça görüldüğü gibi, benzer şekilde PM<sub>10</sub> konsantrasyonları kışın artmaktadır. Bu durum, çok büyük oranda ısınma amaçlı yakıt yakılması sonucu oluşmuştur. Kışın en küçük değerler, yarı kırsal özellik gösteren TNT istasyonunda ölçülmüştür. Genellikle, hem örnekleme hem de sürekli ölçüm istasyonlarındaki konsantrasyonların değişimi uyumludur. Yaz aylarında, TNT'deki PM<sub>10</sub> değerleri, BOR hariç diğer sürekli ölçüm istasyonlarından daha yüksektir. TNT, BOR, KAR, GUZ ve ALS istasyonlarındaki ortalama



yaz PM<sub>10</sub> değerleri sırasıyla 49,8, 63,9, 36,7, 40,8 ve 48,5  $\mu\text{g m}^{-3}$  olarak ölçülmüştür. Yarı kırsal özellikteki TNT bölgesinde, şehir merkezindeki yerlere göre yazın ölçülen daha yüksek değerler, büyük ihtimalle TNT'nin, topraktan kaynaklanan (Özellikle tarımsal faaliyetlerden) PM'den daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Daha önce bahsedildiği gibi, TNT bölgesinde PM değerleri yazın kışa göre daha yüksektir ve yukarıdaki bulguyu desteklemektedir. Özellikle, bölge ve çevresindeki geniş araziler (Bitki örtüsü zayıf) ile tarımsal faaliyetler, toprağı yaz mevsiminde önemli bir PM kaynağı haline getirebilmektedir.



Şekil 6. İki örneklem bölgesi ve dört sürekli ölçüm istasyonunda eş zamanlı PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

### 3.4. PM Fraksiyonlarının Mevsimsel Değişimi

Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü tarafından gerçekleştirilen bazı çalışmalarda, hem TNT hem de YDR bölgesinde çeşitli zamanlarda PM ölçümü yapılmış ve bunların zamanları, bu çalışmanın örnekleme periyoduyla çakışmıştır. Dolayısıyla, bazı günlere ait toplam askıda partikül madde (TAPM) konsantrasyonları elde edilmiştir. TAPM örneklemeleri yüksek hava hacimli bir cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (PS1 örnekleyici, Andersen Inc., ABD). Ne yazık ki, bu TAPM verisi oldukça azdır. TAPM ile eş zamanlı PM konsantrasyonlarının karşılaştırılması, mevsimsel olarak Şekil 7’de gösterilmiştir.

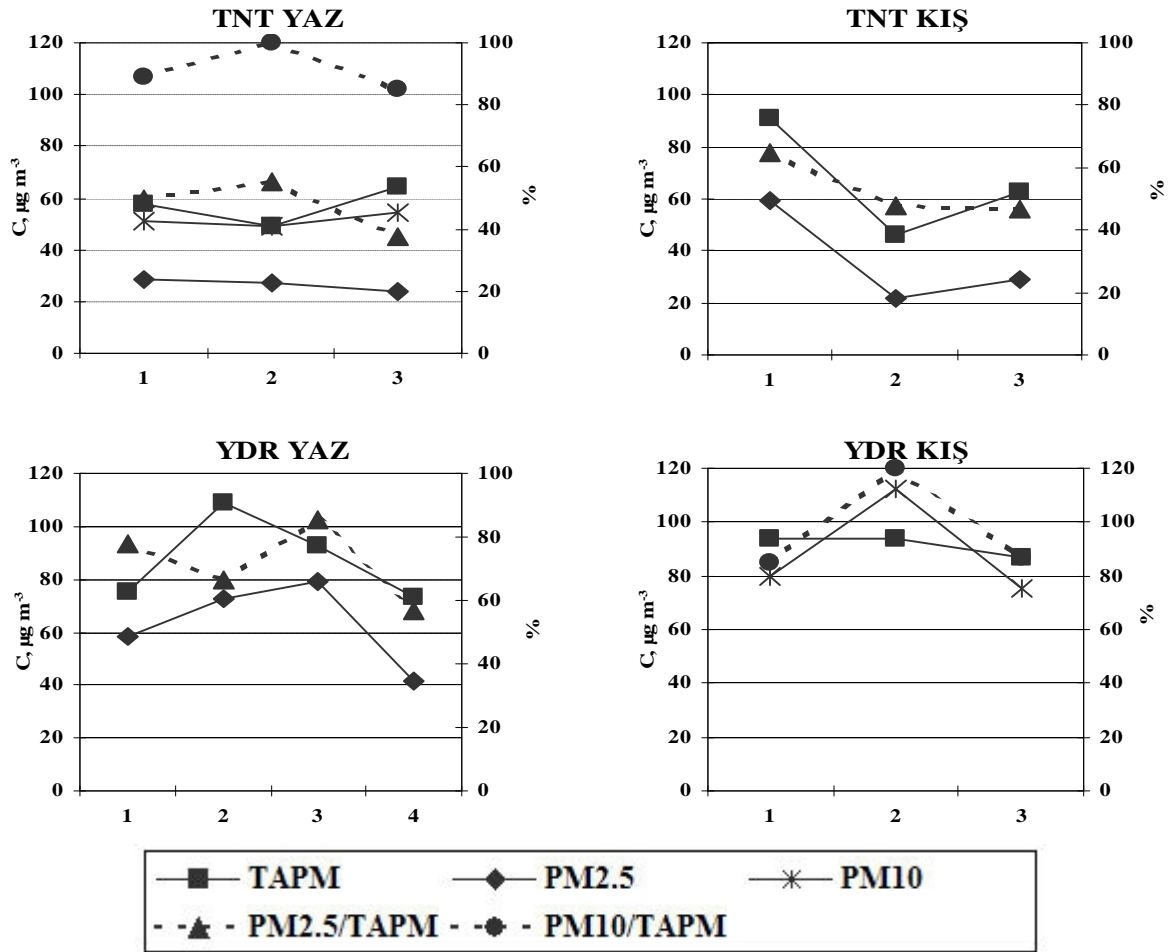
TAPM ile eş zamanlı PM fraksiyonlarının ölçümü, bazen Partisol 2025, bazen de Zambelli marka örnekleyicilerin kullanıldığı zamanlara denk gelmiştir. Sadece 2004 yazında yapılan örneklemelerde Partisol 2025 kullanılmıştır. Dolayısıyla, Şekil 7’nin ilk kısmı, TAPM’nin hem PM<sub>10</sub>, hem de PM<sub>2,5</sub> ile kıyaslamasını içermektedir. Bu yaz periyodunda, TAPM’in yaklaşık %80’i, PM<sub>10</sub>, %50’si de PM<sub>2,5</sub>’tan oluşmuştur. Kışın, ısınma amaçlı fosil yakıt yakılmasından dolayı, PM<sub>2,5</sub> oranının artması beklenirken, bu oran önemli bir değişiklik göstermemiştir. TNT istasyonundaki PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> oranlarının değişimi, sonraki bölümde ele alınacaktır.

YDR istasyonunda, sadece Zambelli marka örnekleyici kullanıldığından, TAPM ile ya PM<sub>2,5</sub> yada PM<sub>10</sub> karşılaştırılabilmiştir. Ne yazık ki, kış periyodunda herhangi bir eş zamanlı örnekleme denk gelmemiştir. Yazın, TAPM’nin yaklaşık % 60’ı PM<sub>2,5</sub>’tan meydana gelmiştir. Bu istasyonun, trafiğin yoğun olduğu bir caddenin yakınında olduğu için PM<sub>2,5</sub> oranı yüksektir. Araç egzozlarından havaya verilen PM genellikle küçük boyutludur (Harrison et al., 2001; Chan et al., 2001). Bu bölgede, PM<sub>10</sub>’de de durum benzerdir. Eş zamanlı konsantrasyonların birinde PM<sub>10</sub> değeri TAPM’den büyük ölçülmüştür. Bu değer hariç tutulduğunda, TAPM’in yaklaşık % 80’inin PM<sub>10</sub>’den meydana geldiği söylenebilir. Bu sonuçlar, bu bölgede PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> oranının yüksek olduğunu göstermektedir; ki bu, trafikten kaynaklanan PM’in büyük oranda küçük çaplı olduğu şeklindeki bulguları desteklemektedir. Trafikin çok yoğun olduğu ve yakınında önemli başka kaynağın olmadığı bir kavşakta yapılan çalışma da bu bulguyu güçlendirmektedir (Yatkin, 2005). 5 adet eş zamanlı ölçümün sonucunda, PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> yüzdesi 81,2±14,9 (Ortalama±Standart sapma) olarak hesaplanmıştır.

Ne yazık ki, eş zamanlı TAPM ve PM fraksiyonlarının ölçümünün sayısı, daha kesin ve güvenilir sonuçlara ulaşmak için oldukça yetersizdir. Diğer tarafta, TNT istasyonunda üretilen veri, PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> oranının mevsimlere ve meteorolojik durumlara göre değişimi konusunda daha sağlıklı bilgi verebilmektedir.

### 3.5. Tınaztepe İstasyonunda PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> Oranındaki Değişim

Tınaztepe istasyonundaki PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> oranının çeşitli durumlara göre değişimi Çizelge 3’te verilmiştir. Çizelge 1’de de görüldüğü gibi kış aylarında PM<sub>10</sub> konsantrasyonları yarı yarıya azalırken, PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonlarının düşüşü daha az olmuştur. Dolayısıyla, PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> oranı kışın artmıştır. Bu sonuç, şehirden TNT’ye PM taşımının kışın daha etkili olduğunu düşündürmektedir. Isınma amaçlı fosil yakıt yakılması genel olarak küçük çaplı PM kaynağı olduğu için bu durum anlaşılabilir. Bununla birlikte, kışın azalan PM<sub>10</sub> konsantrasyonları, TNT’ye büyük oranda sadece küçük çaplı PM’nin ulaştığı sonucunu verebilmektedir.



Şekil 7. İki istasyondaki TAPM ve PM fraksiyonlarının mevsimsel olarak karşılaştırılması (X eksenindeki sayılar, eş zamanlı ölçüm günlerini, kesikli çizgiler ise ilgili yüzdeleri göstermektedir)

Çizelge 3. TNT’de çeşitli koşullardaki  $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$  oranları (%)

Durum	Yaz				Kış			
	n	Ort. (SS)	Min.	Maks.	n	Ort. (SS)	Min.	Maks.
Toplam	57	49,5(14,1)	16,9	90,5	36	56,6(11,6)	30,9	81,4
Yağışlı	-	-	-	-	14	60,2(13,8)	30,9	81,4
Kuru	-	-	-	-	22	54,4(9,6)	34,3	74,6
N	30	49,3(14,5)	19,8	90,5	16	54,1(9,7)	35,7	74,6
NW	13	53,5(11,0)	33,3	73,8	4	57,4(9,6)	46,4	68,3
SE	10	48,2(19,1)	16,9	67,7	11	54,7(14,8)	30,9	73,6
$v < 1 \text{ m s}^{-1}$	10	49,9(12,5)	33,3	70,6	-	-	-	-
$v > 1 \text{ m s}^{-1}$	47	49,5(14,5)	16,9	90,5	-	-	-	-
$v < 5 \text{ m s}^{-1}$	30	50,3(11,1)	33,3	76,3	28	57,1(12,3)	30,9	81,4
$v > 5 \text{ m s}^{-1}$	27	48,7(16,9)	16,9	90,5	8	57,4(6,7)	49,6	68,8

Ort.:Ortalama

SS :Standart sapma

Kış dönemindeki yağışlı günlerde  $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$  oranı, genel kış ortalamasının biraz üzerinde çıkmıştır. Bu durum, iri partiküllerin yağışla birlikte havadan daha kolay uzaklaşması veya dış etkilerle açıklanabilir. Örneklem döneminde yağış, genellikle güneyli

rüzgarlar durumunda oluşmuştur (14 yağışlı günün 9'unda). Bu rüzgarların Kuzey Afrika'dan Sahra tozlarını getirme ihtimali vardır ve uzun mesafeler boyunca taşınan PM, genellikle küçük çaplıdır. Şehrin güneyinde tarımsal faaliyet yoğun olduğundan, toprak önemli bir PM kaynağı olabilir. Ancak, kış boyunca toprak ıslak olduğundan bu kaynağın etkisi sınırlıdır ve kışın güneyli rüzgarlarda uzun mesafeden taşınan PM'in etkisinin arttığı düşünülebilir. Sonuç olarak, yağış durumunda  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranını artması buna bağlanabilir. Ancak, daha kesin ve güvenilir sonuçlar için daha fazla veriye ihtiyaç vardır. Rüzgarın NW olması durumunda,  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranı, hem yaz hem de kışın artmaktadır. Bu da, şehirden atmosfere verildikten sonra TNT bölgesine ulaşabilen PM'in, büyük oranda küçük çaplı olduğu bulgularını desteklemektedir. Kararlı atmosfer durumunun  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranı üzerinde önemli bir değişiklik yaratmadığı görülmektedir. Bu durum, kararlı koşullarda, şehirden bölgeye PM taşınımının sınırlı olduğunu göstermektedir. Rüzgar hızının  $5 \text{ m s}^{-1}$ 'den küçük olduğu durumlarda,  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranı biraz artmaktadır. Diğer tarafta, kış aylarında, rüzgar hızı ile  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranı arasında önemli bir ilişki görülmemektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada; İzmir örneğinde şehir merkezleri ve yarı kırsal alanlarda havadaki partikül madde konsantrasyonlarının değişimleri incelenmiştir. Sonuçlar,  $PM_{10}$  ve  $PM_{2,5}$  konsantrasyonlarının yersel ve mevsimsel değişimlerin önemli boyutta olduğunu göstermiştir. Rüzgar yönü, hızı ve yağışın konsantrasyonlar üzerinde önemli etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Mevsimsel değişimler ve meteorolojik faktörlerin etkileri incelendiğinde, Tınaztepe Bölgesinde, toprak ve bağlı faaliyetlerin önemli bir PM kaynağı olarak ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır. Özellikle, toprağın ıslak olduğu kış aylarında, ısınma amaçlı fosil yakıt yakılması artışına rağmen, konsantrasyonlardaki azalış ve güneyli rüzgarlardaki yüksek değerler bu bulguyu güçlendirmiştir. Tınaztepe Bölgesinde,  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranları da meteorolojik faktörlerden kısmen etkilense de genellikle 0,55 civarında gerçekleşmiştir. Diğer tarafta, şehir merkezindeki Yeşildere istasyonunda, meteorolojik faktörlerin etkisi nispeten sınırlı olmuştur. Şehir merkezinin değişik bölgelerinde bulunan sürekli ölçüm cihazlarından elde edilen veriler incelendiğinde, benzer mevsimsel değişimler gözlemlenmiştir.

Şehir atmosferinin değişik karakterler gösteren bölgelerinde yapılan bu çalışmada, PM konsantrasyonlarının değişimi irdelenebilmiştir. Çalışmanın İzmir'de ve diğer şehirlerde daha fazla ölçüm noktasında tekrarlanması ile veri sayısı artırılarak daha güçlü değerlendirme ve saptamalar yapılabilecektir. Ancak, partikül maddelerin kaynaklarının tam olarak belirlenebilmesi için ise havadaki partikül maddelerin sadece konsantrasyonlarının değil elementel içeriklerinin de bilinmesi gerekmektedir. PM'in elementel içeriği esas alınarak, çeşitli istatistiksel metot ve modeller kullanılarak kaynaklar ve bunların konsantrasyonlara katkısı hakkında bilgi edinmek mümkündür. Çalışmanın sonraki kısmı, bu hedeflere ulaşmayı amaçlamaktadır.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK Proje No. 103Y031) ve Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü tarafından desteklenmiştir. Projenin gerçekleşmesini sağlayan TÜBİTAK ve Üniversitemiz Rektörlüğü ile çalışmanın her aşamasında bize desteklerini esirgemeyen Doç.Dr.Mustafa ODABAŞI ve Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kirliliği Laboratuvarı ekibine teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

- Chaloulakou A., Kassomenos P., Spyrellis N., Demokritou P., Koutrakis P. (2003):: "Measurements of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> Particle Concentrations in Athens, Greece", *Atmospheric Environment*, 37, sf. 649-660.
- Chan L.Y., Kwok W.S., Lee S.C., Chan C.Y. (2001): "Spatial Variation of Mass Concentration of Roadside Suspended Particulate Matter in Metropolitan Hong Kong", *Atmospheric Environment*, 35, sf. 3167-3176.
- Gao Y., Nelson E.D., Field M.P., Ding Q., Li H., Sherrell R.M., Gigliotti C.L., Van Ry D.A., Glenn T.R., Eisenreich S.J. (2002): "Characterization of Atmospheric Trace Elements on PM<sub>2,5</sub> Particulate Matter Over the New York-New Jersey Harbor Estuary", *Atmospheric Environment*, 36, sf. 1077-1086.
- Güllü G.H., Ölmez I., Tuncel G. (2000): "Temporal Variability of Atmospheric Trace Element Concentrations over the Eastern Mediterranean Sea", *Spectrochimica Acta Part B*, 55, sf. 1135-1150.
- Harrison R.M., Yin J., Mark D., Stedman J., Appleby R.S., Booker J., Moorcroft S. (2001):: "Studies of the Coarse Particle (2,5-10 µm) Component in UK Urban Atmospheres", *Atmospheric Environment*, 35, sf. 3667-3679.
- He K., Yang F., Ma Y., Zhang Q., Yao X., Chan C.K., Cadle S., Chan T., Mulawa P. (2001):: "The Characteristics of PM<sub>2,5</sub> in Beijing, China", *Atmospheric Environment*, 35, sf. 4959-4970.
- Karaca F., Alagha O., Ertürk F. (2005): "Statistical Characterization of Atmospheric PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> Concentrations at a Non-impacted Suburban Site of Istanbul, Turkey", *Chemosphere*, 59, sf. 1183-1190.
- Kim K.H., Kim M.Y., Hong S.M., Youn Y.H., Hwang S.J. (2005): "The Effects of Wind Speed on the Relative Relationships between Different Sized-fractions of Airborne Particles", *Chemosphere*, 59, sf. 929-937.
- Marcazzan M.G., Vaccaro S., Valli G., Vecchi R. (2001): "Characterization of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> Particulate Matter in the Ambient Air of Milan (Italy)", *Atmospheric Environment* 35, sf. 4639-4650.
- Odabaşı M., Müezzinoğlu A., Bozlaker A. (2002): "Ambient Concentrations and Dry Deposition Fluxes of Trace Elements in Izmir, Turkey", *Atmospheric Environment*, 36, sf. 5841-5851.
- Örnektekin S. (1997): "The Effects of Industrialization on Air Quality in Iskenderun, North East Mediterranean", *Environmental Research Forum*, Volumes 7-8, 1997, sf. 51-57.
- Polissar A.V., Hopke P.K., Poirot R.L. (2001): "Atmospheric Aerosol Over Vermont: Chemical Composition and Sources", *Environmental Science and Technology*, 35, sf. 4604-4621.
- Sun Y., Zhuang G., Wang Y., Han L., Guo J., Dan M., Zhang W., Wang Z., Hao Z. (2004): "The Air-borne Particulate Pollution in Beijing-Concentrations, Composition, Distribution and Sources", *Atmospheric Environment* 38, sf. 5991-6004.
- Yatin M., Tuncel S., Aras N.K., Ölmez I., Sezer Aygun S., Tuncel G. (2000): "Atmospheric Trace Elements in Ankara, Turkey: 1.Factors Affecting Chemical Composition of Fine Particles", *Atmospheric Environment* 34, sf. 1305-1318.
- Yatkin S., Bayram A. (2005): "Measurements of Some Air Pollutants Around a Cement Plant in Izmir, Turkey", 1<sup>st</sup> International Conference on Combustion and Air Pollution (CAPAC), 2005, Ankara, Turkey.