

PM_{2.5} VE ULTRA İNCE PARTİKÜL MADDELERİN KÜTLESEL DERİŞİMLERİNİN VE TOKSİSİTESİNİN BELİRLENMESİ

Gülnihal KARA^(*), Merve KAYA

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya

ÖZET

Bu çalışmada, 2015 yılı Şubat ayında, Konya Sanayi bölgesi ve Diyarbakır Yenişehir ilçesinde 2 noktada PM_{2.5}, PM_{0.5-1}, PM_{<0.25} örnekleri toplanmış ve kütleli derişimleri belirlenmiştir. PM_{2.5} ve ince partikül maddelerin derişimleri sıralı toz örnekleyici kaskat impaktör kullanılarak tespit edilmiştir. Toplanan örneklerden elde edilen konsantrasyon değerleri Konya Sanayi bölgesi için PM_{2.5}, PM_{0.5-1}, PM_{<0.25} sırasıyla; 53.85 µg/m³, 53.15 µg/m³, 0,71 µg/m³; Diyarbakır Yenişehir ilçesi için PM_{2.5}, PM_{0.5-1}, PM_{<0.25} sırasıyla; 67.3 µg/m³, 29.05 µg/m³, 7.79 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Toplanan PM örneklerinin toksik düzeyleri *Lepidium sativum* toksisite testi ile değerlendirilmiştir. Önerilen testin güvenilirlik ve hassaslığı laboratuvarında K₂Cr₂O₇ kullanılarak test edilmiştir. Konya Sanayi bölgesinde gerçekleştirilen 24 saatlik örnekleme ile elde edilen PM_{2.5}, PM_{0.5-1}, PM_{<0.25} örneklerine uygulanan *Lepidium sativum* toksisite testinde %20 inhibisyona sadece PM_{<0.25} örneğinde GL₄ ile ulaşılmış, diğer örneklerde ise tespit edilmemiştir. Diyarbakır Yenişehir için %20 inhibisyon sadece PM_{2.5} örneğinde GL₈ ve GL₁₆ olarak tespit edilmiştir. Ancak örneklerin hiçbirinde EC₅₀ değeri tespit edilememiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava Kirliliği, Konya, *Lepidium Sativum* Toksisite Test, PM

1. GİRİŞ

Son yıllarda hava kirleticilerinin fiziko-kimyasal özellikleri ve olumsuz sağlık etkileri üzerinde çok fazla çalışma yapılmıştır. Gelişmiş ülkelerde, partikül madde (PM) seviyesinin genel olarak azaldığı düşünülse de yapılan birçok çalışmada ülkelerin çoğunda gelişmişlik düzeyine göre PM seviyelerinin arttığı belirlenmiştir.

Isınma amacıyla yakıt tüketimi ve motorlu araçlar sanayi devriminden bu yana özellikle kentsel alanlarda ciddi bir sorun oluşturmuş ve araçlar çeşitli kirleticilerin ana kaynağı olarak kabul edilmiştir. Benzin toksisitesi (Scala, 1988; Reese ve Kimbrough, 1993), egzoz gazı (Ulfvarson vd., 1987) ve dizel araçlar (Scheepers ve Bos, 1992) ile ilgili araştırmalar artmıştır. Yapılan araştırmalarda dizel egzoz partiküllerinin, akciğer ödemi ve farelerde astım gibi semptomlara neden olduğu tespit edilmiştir. Sanayi tesislerinde karşılaşılan önemli bir çevre sorunu partikül madde emisyonudur. Özellikle kömür (Linak ve Wendt, 1993), biyo-yakıtlar (Abbas vd., 1996) ve belediye atıklarının (Wendt, 1994) yanması esnasında açığa çıkan yarı uçucu kirleticiler ve ağır metaller toksik veya tehlikeli olabilmektedir (Davis vd., 2000). Bu partiküller gıda zinciri (Linak ve Wendt, 1993), dolaylı olarak su kirliliği (göller ve

* gkara@selcuk.edu.tr

nehirler üzerinde birikimi) ve doğrudan solunum yoluyla canlı bünyesine girmektedir. Partikül maddeler, birçok farklı hastalık için önemli bir çevresel risk faktörü olarak kabul edilmektedir. Partikül maddelere uzun süreli maruz kalındığında, akciğer kanseri riskinin arttığı, kısa süreli maruz kalındığında da solunum yolu hastalıklarının ilerlediği, damar sertliği, bronşit, astım, kalp atım hızında değişkenliğe sebep olduğu görülmüştür. Trafik, PM emisyonunun önemli bir kaynağı olduğundan, trafik yoğunluğunun PM üzerindeki nicel ve nitel kimyasal etkisi de dahil olmak üzere psikolojik ve toksikolojik karakteristikleri önemli bir etkiye sahiptir (Datta vd., 2003). Hoek vd., (2002), kentsel alanda sekiz yıl trafiğe maruz kalmanın akciğer fonksiyonuna zarar verdiğini, ayrıca şehir içi trafiğe maruz kalan çocukların akciğer gelişiminin olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir.

Son yıllarda, partikül maddenin zamansal ve mekansal dağılımının araştırıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar da, genellikle kentsel alanlarda ve banliyö (kenar mahalle) alanlarında gözlemlenen PAH kirlilik seviyesinde belirgin farklılıklar tespit edilmiştir. Kanserojen olan 5 ve 6 halkalı PAH'lar, genellikle ultrafine partiküllerde belirlenmiştir (Chiang vd., 2007).

Atmosferik partiküler maddeler, organik bileşik, mineral toz, eser elementler, amonyum, nitrat, sülfat ve suyun heterojen bir karışımıdır. Partiküllerin boyutları geniş bir aralığa yayılmaktadır. Sağlığa olumsuz etkisi fazla olan partiküller, aerodinamik çapı 10 µm. nin altındaki partiküllerdir. Bu partiküller, solunum sistemi içine girerek birikim yapabilir. 2.5 µm den daha küçük partiküller “ince partiküller” olarak adlandırılır. İnce partikül kaynakları, tüm yanma prosesleri ve bazı endüstriyel proseslerden oluşabilmektedir. Ultrafine partiküller, en yüksek toksisiteye sahip olup, organik maddelerin yüksek konsantrasyonlarını içerebilmektedir. Ayrıca, kimyasal karakteristikleri ve toksisite arasındaki ilişki ultrafine partiküllerde daha güçlüdür (Karakaş, 2015).

Emisyon azaltma stratejilerinde ve sağlık politikalarını geliştirilmesinde PM'nin fiziksel, kimyasal ve toksikolojik karakteristiklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ayrıca PM'nin kaynakları, fiziksel-kimyasal karakteristikleri ve toksisitesi arasındaki ilişkinin incelenmesi de oldukça önemlidir. Toksikite çalışmalarında kimyasalların veya toprak, sediment, atık ve hava gibi çevre örneklerindeki zehirli bileşiklerin balık, yaban hayatı ve bitkiler ve diğer yabancı canlılar üzerindeki etkileri ölçülmektedir (Persoone vd., 2007; Anne vd., 2009).

Partikül maddenin toksikolojik değerlendirmesinin yapılması güçtür. Partikül madde örneğinin genel olarak az miktarlarda ve aerosol içermesi analizleri zorlaştırmaktadır. Bu çalışma da farklı boyuttaki partikül maddelerin (aerodinamik çapı <0.25 µ, ve aerodinamik çapı, 0.5-1 µ arasındaki partikül madde ve PM_{2.5}) toksikolojik karakteristiği (PAH'lar gibi yarı uçucu veya uçucu olmayan organik bileşiklerin neden olduğu) *Lepidium sativum* toksisite testi ile incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada aktif örnekleme tekniğiyle Konya ilinin Sanayi bölgesi ve Diyarbakır ilinin Yenişehir bölgesinde partikül madde örnekleri toplanmış ve farklı boyutlardaki partikül maddelerin (PM_{2.5}, PM_{0.5-1}, PM_{<0.25}) içerdiği toksik etki incelenmiştir. PM_{2.5} ve ince partikül maddelerin derişimleri sıralı toz örnekleyici kaskat impaktör kullanılarak tespit edilmiştir. Hava örnekleri yer seviyesinden yaklaşık 1,5 m (yoğun trafik koşullarında potansiyel insan maruziyetinin belirlenmesi için 1,5 metre yükseklikte olması tercih edilir) yukardan yaklaşık

9,8 L/dk akış hızında 24 saat alınmıştır. Örnekleme öncesi filtrelerin ilk tartımı alınmış ve filtrelerin havayla temas etmemesi veya herhangi bir deneysel hata oluşmaması için filtreler petri kaplarına konulup streçle kaplanmıştır. Toksikite testleri yapılan dek filtreler tartımı yapıldıktan sonra +4°C'de bekletilmiştir. Toplanan PM örneklerinin toksik düzeyleri *Lepidium sativum* toksisite testi ile değerlendirilmiştir. Önerilen testin güvenilirlik ve hassaslığı laboratuvarında K₂Cr₂O₇ kullanılarak test edilmiştir.

Bu çalışma da organik kirleticilerin kümülatif toksisitelerinin belirlenmesi için metot optimizasyonu (kontrol testleri) yapılmış ve Konya ilinin Sanayi bölgesi ve Diyarbakır ilinin Yenişehir bölgesinden alınan partikül madde örneklerine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Organik kirleticilerin neden olduğu toksisite belirleme çalışmalarında partikül örneğinin hazırlanması Dong vd., (2008)'e göre, *Lepidium sativum* toksisite testi Devare ve Bahadır (1994)'a göre gerçekleştirilmiştir.

PM örneği makasla küçük parçalar haline getirilerek behere alındı. Üzerine 20 ml petrol eter, 20 ml aseton ilave edildi. Üzeri aliminyum folyo ile kapatıldı ve iki kez 20 dakika ultrasonik banyoya tabi tutuldu. Ultrasonik banyodan çıkan numuneler 15 dakika santrifüj edildi. Santrifüj edilen numuneler evaporatör'de 1 ml kalana kadar faz ayrımı gerçekleştirildi. 1 ml numune azot gazına tabi tutuldu. Azot gazı ile asetonu giderilen numune üzerine 50 ml dimetilsülfoxid eklenmiş ve belirli oranlarda (% 2.5, %1.25, % 0.625, % 0.312, % 0,156) seriler hazırlanmıştır. Testin numune setlerine uygulanmasından önce referans testler gerçekleştirilmiştir. Referans test için 3.2 mg/L, 5.6 mg/L, 10 mg/L, 18 mg/L, 32 mg/L ve 56 mg/L konsantrasyonunda hazırlanan K₂Cr₂O₇ solüsyonları kullanılmıştır. 21 adet (6 kontrol + 15 numune) petri kabı içerisine kesilen whatmann90 filtre kâğıtlarından 2 adet boşluk kalmayacak şekilde konuldu. Filtre kâğıtları üzerine eşit aralıklarla 25 adet *Lepidium sativum* tohumlarından yerleştirildi. Yerleştirilen tohumlar üzerine hazırlanan serilerden 5 ml alınarak damla damla ekim yapıldı. Ağızları kapatılan petri kapları 72 saat süresince karanlık ortamda, 25 °C sıcaklıkta inkübe edilmiştir. Test süresi sonunda her petri kabında bulunan *Lepidium sativum* tohumlarının en iyi gelişim gösteren 20 tanesinin kök uzunlukları ve kök yükseklikleri ölçülmüştür. Test süresi sonunda her bir numune seyrelmesindeki *Lepidium sativum* tohumlarında gözlemlenen kök uzunluk ortalama değerleri kontrol petri kaplarında ölçülen ortalama kök uzunluk değerleri ile kıyaslanarak % inhibasyon oranı ve EC₅₀ değeri belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Aktif örnekleme ile örneklenen havanın hacmi, pompanın akış hızı 9.8 L/dk, örnekleme süresi 24 saate göre 14.112 m³ olarak hesaplanmıştır. Örnekleme öncesi ve sonrası şartlandırılmış cam fiber filtrelerin ilk ve son tartımları Selçuk Üniversitesi-Çevre Müh. Lab'da hassas terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Partikül madde kütle derişimleri daha öncede belirtildiği gibi Konya ilinin Sanayi bölgesi ve Diyarbakır ilinin Yenişehir bölgesinde ölçülmüştür. Tablo 1'de gerçekleştirilen örnekleme ait sonuçlar verilmiştir.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Tablo 1. Kütleli konsantrasyon derişimleri, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	PM _{2.5}	PM _{0.5-1}	PM _{<0.25}
Diyarbakır (Merkez)	67.3	29.05	7.79
Konya (Sanayi)	53.85	53.15	0.71

Tablo 1 incelendiğinde PM_{2.5} derişiminin Diyarbakır ve Konya (Sanayi bölgesinde) Diyarbakır'da hafif yüksek olmakla beraber benzer olduğu görülmüştür. Ancak PM_{0.5-1} derişiminin Konya'da, Diyarbakır'da tespit edilenden yaklaşık 2 kat yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum özellikle ultra ince partikül olarak nitelendirilen PM_{<0.25} için Diyarbakır örneklemede Konya'dan 7 kat yüksek sonuç olarak karşımıza çıkmıştır. Diyarbakır örneklemede örnekleme günü ve öncesinin yağışlı sezon olduğu düşünüldüğünde Konya'ya göre ortam havasının partikül madde kirleticisine göre daha kirli olduğunu göstermektedir.

Kütleli konsantrasyon derişimleri ülkemizde ve yurtdışında yapılan çalışmalar ile Tablo 2'de karşılaştırılmıştır. Bu çalışma da elde edilen PM_{2.5} değerleri (ultrafine partiküllerle ilgili çalışma sayısı sınırlı olduğu için) karşılaştırmalar PM_{2.5} için gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Elde edilen değerlerin ülkemizde ve yurtdışında yapılan sonuçlar ile karşılaştırılması

Şehir	PM _{2.5} Konsantrasyonu $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Örnekleme Dönemi	Bölge	Kaynak
Zonguldak	34.17	(Aralık 2004 Ekim 2005)	Kent Merkezi	Tecer vd., 2007
	25.03	(Aralık 2004 - Ekim 2005)		
İzmir	24.1 ± 12.2	Haziran 2004 - Mayıs 2005	Tınaztepe	Yatkın ve Bayram, 2007
	64.4 ± 38.5	Haziran 2004 - Mayıs 2005	Yeşildere	
Belçika	36 ± 14	48 saat	Antwerp	Stranger, 2007
Çin	115	-	Pekin	He vd., 2001
İngiltere	9.1	48 saat	Oxford	Lai vd., 2004
Konya	53.85	Şubat (24 saat)	Sanayi	Bu çalışma
Diyarbakır	67.3	Şubat (24 saat)	Yenişehir	Bu çalışma

Ülkemizde Zonguldak ve İzmir-Tınaztepe'den yurtdışında Belçika ve İngiltere'den yüksek, İzmir- Yeşildere'de ve Çin'den düşük PM_{2.5} seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar 24 saatlik ortalamalar olduğu için yıllık ortalama değer ile karşılaştırılması doğru olmamakla birlikte EPA, Kanada ve WHO'nün standart değerlerinden yüksek olduğu Tablo 3'de görülmektedir. Ancak ülkemizde PM_{2.5} için sınır değeri olmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Tablo 3. Hava kalitesi limit değerleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması

PM _{2.5} (µg/m ³)	HKKY (µg/m ³)	WHO (µg/m ³)	EPA (µg/m ³)	KANADA (µg/m ³)
Konya-53,85 Diyarbakır-67,3	-	25	35 (Yıllık) 65 (Saatlik)	40 (8 saat) 100 (1 saat)

Çalışma periyodunda örneklenen 24 saatlik Diyarbakır ili için; PM_{2.5}, PM_{0.5-1} ve PM_{<0.25} kütle konsantrasyonları sırasıyla 67.3 µg/m³, 29.05 µg/m³, 7.79 µg/m³, Konya ili için PM_{2.5}, PM_{0.5-1} ve PM_{<0.25} kütle konsantrasyonları sırasıyla 53.85 µg/m³, 53.15 µg/m³ ve 0.71 µg/m³ olarak bulunmuştur. Kütle derişimlerinin pek çok Avrupa kentinden, AB ve EPA sınır değerlerinden yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır (Tablo 3).

Yapılan toksisite analiz sonuçlarında organik kirleticilerin neden olduğu (kök ve gövde yüksekliklerine göre ayrı olarak hesaplanmış) inhibisyon oranı, *Lepidium sativum* için tespit edilen %50 inhibisyondan daha düşük olduğundan EC₅₀ değeri tespit edilememiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Numunelerin EC₅₀ (%50) inhibisyona neden olan konsantrasyon değerleri

Numune	Lepidium Sativum 72 saat EC ₅₀	
	Kök Uzunluğu	Gövde Uzunluğu
Diyarbakır PM _{2.5}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Diyarbakır PM _{0.5-1}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Diyarbakır PM _{<0.25}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Konya PM _{2.5}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Konya PM _{0.5-1}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Konya PM _{<0.25}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
DMSO	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Referans Testi: Dikromat	14.31	48.62

Tablo 4 incelendiğinde K₂Cr₂O₇ referans bileşğinin toksisitesi *Lepidium sativum* için 14 mg/L olarak tespit edilmiş olup, bu değerler ISO metotlar tarafından kabul edilen olması gereken limit değerleri sağlamaktadır. PM örneklerinin EC₅₀ değeri tespit edilemediğinden %20'den daha az inhibisyona sebep olan numunenin ilk seyrelme seviyesini gösteren GL₂₀ değerleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5'de görülmektedir.

Tablo 5. Partikül madde örneklerinin GL₂₀ (%20'den daha az inhibisyona sebep olan numunenin ilk seyrelme seviyesi) değerleri

Numune	Lepidium Sativum 72 saat GL ₂₀	
	Kök Uzunluğu	Gövde Uzunluğu
Diyarbakır PM _{2,5}	GL ₁₆	GL ₈
Diyarbakır PM _{0,5-1}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Diyarbakır PM _{< 0,25}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Konya PM _{2,5}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Konya PM _{0,5-1}	Belirlenmedi	Belirlenmedi
Konya PM _{< 0,25}	GL ₄	Belirlenmedi

GL₁:% 100, GL₂:%50, GL₄:%25, GL₈: % 12.5, GL₁₆: % 6.25

Lepidium sativum toksisite testinde %20 inhibisyona sadece PM_{<0.25} örneğinde GL₄ ile ulaşılmış, diğer örneklerde tespit edilmemiştir. Diyarbakır Yenişehir için %20 inhibisyon sadece PM_{2,5} örneğinde GL₈ ve GL₁₆ olarak tespit edilmiştir. Ancak örneklerin hiçbirinde EC₅₀ değeri tespit edilememiştir.

KAYNAKLAR

Abbas, T., Costen, P. G., and Lockwood, F. C. 1996. "Solid Fuel Utilization: Coal to Biomass. In Twenty-Sixth (International) Symposium on Combustion", The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 3041- 3058.

Anne, E., Cavanagh, J., Trought, K., Brown, L., Duggan, S., 2009. "Exploratory investigation of the chemical characteristics and relative toxicity of ambient air particulates from two New Zealand cities", Science of the Total Environment, 407:5007–5018.

Chiang, C., Pin, K., Chio, C., Chiang, H., Liao, C., 2007. "Assessing hazardous risks of human exposure to temple airborne polycyclic Aromatic hydrocarbons", Journal of Hazardous Materials, 676–685.

Datta, C., Das, R., 2003. "Influence of some abiotic environmental factors on acute toxicity of inorganic lead to *Cyprinus carpio* var *communis* (Linn.) and *Catlacatla* (Ham.) in simulated toxic aquatic environment, Toxicological & Environmental Chemistry", 85:4-6, 203-219.

Davis, B., Gale, K., Wendt, J., 2000. "Competition for Sodium and Toxic Metals Capture on Sorbents, Aerosol Science and Technology", 32:2, 142-151.

Devare M, Bahadır M. 1994. Biological monitoring of landfill leachate using plants and luminescent bacteria, Chemosphere, 28: 261-271.

Dong, T.T., Kyu, Lee, B., 2008. "Characteristics, toxicity, and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Ulsan, Korea", Chemosphere, 1245–1253.

Dong, T.T., Lee, B., 2008. "Characteristics, toxicity, and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Ulsan, Korea", *Chemosphere*, 1245–1253.

He, K., Yang, F., Ma, Y., Zhang, Q., Yao, X., Chan, C.K., Cadle, S., Chan, T., Mulawa, P., 2001. The characteristics of PM_{2.5} in Beijing, China. *Atmospheric Environment* 35, 4959-4970.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., 2002. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet*, 360, 1203-1209.

Karakaş, B., 2015. "İç ve Dış Hava Ortamlarında Partiküler Madde (PM₁₀, PM_{2.5} ve PM₁) Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.

Lai, H., Kendall, M., Ferrier, H., Lindup, I., Alm, S., Hanninen, O., Jantunen, M., Mathys, P., Colvile, R., Ashmore, M.R. Cullinan, P., Nieuwenhuijsen, M.J. 2004, Personal exposures and microenvironment concentrations of PM_{2.5}, VOC, NO₂ and CO in Oxford, UK. *Atmospheric Environment*, 38 (37): 6399-6410.

Linak, W. P., and Wendt, J. O. L. 1993. Toxic Metal Emissions from Incineration: Mechanisms and Control, *Prog. Energy Combust. Sci.* 19:145-185.

Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Torokne, A., Zarina, D., Manusadzianas, L., Nalecz-Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L., Kolar, B., 2003, A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters, *Environmental Toxicology*, 18 (6): 395-402.

Reese, E., and Kimbrough, R. D. 1993. Acute toxicity of gasoline and some additives. *Environ. Health Perspect.* 101:115–131.

Scala, R. A. 1988. Motor gasoline toxicity. *Fundam. Appl. Toxicol.* 10:553–562.

Scheepers, P.T.J., and Bos, R.P., 1992. "Combustion of diesel fuel from a toxicological perspective II. Toxicity" *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64:163–177.

Tecer, L.H, Alagha, O., Karaca, F., 2007. "Particulate matter (PM_{2.5}), (PM_{10-2.5}), and (PM₁₀) and children's hospital admissions for asthma and respiratory diseases: a bidirectional case-crossover study". *J Toxicol Environ Health A*;71(8):512-20.

Ulfvarson, U., Alexandersson, R., Aringer, L., Svensson, E., Hedenstierna, G., Hogstedt, C., Holmberg, B., Ros, G., and Sorsa, M. 1987. "Effects of exposure to vehicle exhaust on health". *Scand J. Work Environ. Health* 13:505–512.

Wendt, J. O. L. 1994. "Combustion Science for Incineration Technology". In *Twenty-Fifth (International) Symposium on Combustion*, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 271-289.



6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Yatkın, S., Bayram, A., 2007. “İzmir Havaında Partikül Madde Kirliliği: Ölçüm ve Değerlendirme”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir, Türkiye, 16-27.