

CAMİLERDE İÇ ORTAM PARTİKÜL MADDE SEVİYELERİNİN VE DIŞ ORTAM İLE İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Assessment Of Indoor Particulate Matter Levels In Mosques And Their Relationship With The Outdoor

**Kaan Sarı
Ahmet Yüksel
Müslüm Arıcı
Mihriban Civan**

ÖZET

Partikül madde (PM)'ler sebep olduğu sağlık riskleri ve taşıdıkları kanserojenik kirleticiler sebebi ile önemli iç ortam hava kirleticileri arasında yer almaktadır. Bu sebeple insanların çalıştıkları, yaşadıkları, vakit geçirdikleri iç ortamların seviyelerinin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Özellikle hassas alt gruplar tarafından ziyaret edilen camilerde iç hava kalitesi dikkat edilmesi gereken bir husustur. Duvardan duvara halı kaplı olması, özellikle Covid-19 pandemi sürecinde havalandırma için camların uzun süre açık tutulması, ziyaret sıklığı ve özel dini günlerde ziyaretçi sayısının fazlalığı camilerin iç ortam havasında partikül madde (PM) miktarlarını arttırabilmektedir. Bu çalışmada camilere en yüksek katılımın olduğu ramazan ayı boyunca toplam 18 camide iç ortam solunabilir boyutta partikül madde (inhalable, $D < 80-100 \mu m$) (PM_{80-100}) ve alveollere ulaşan partikül maddelerin (respirable, $D < 4 \mu m$) (PM_4) gravimetrik yöntemle ölçümleri yapılmıştır. İç ortam ölçümü yapıldığı gün, dış ortamın iç ortam etkisini değerlendirebilmek için PM_4 ölçümü dış ortamda paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Hava örnekleri SKC pompa ile teflon filtre üzerine toplanmış ve camilerin günlük ortalama konsantrasyonlarını ölçebilmek için sabah namazı başlatılmış ve yatsı namaz sonunda bitirilmiştir. Örneklemeye yapıldığı günler cemaat sayıları kayıt edilmiştir. Cami iç ortam ortalama PM_{80-100} ve PM_4 konsantrasyonları sırasıyla $159,3 \mu g/m^3$ ve $30,21 \mu g/m^3$ olarak hesaplanmışken dış ortam PM_4 konsantrasyonu $36,02 \mu g/m^3$ bulunmuştur. Cami iç ortam/dış ortam (I/D) değerlerinin 0.19 ila 9,78 arasında değişmiştir. PM_4 konsantrasyonu en yüksek tarihi binada halıları nispeten eski camide ölçülmüşken en yüksek PM_{80-100} konsantrasyonu trafiğin yoğun olduğu kent merkezinde bulunan camide tespit edilmiştir. Ayrıca Yenimahalle Cami (9,78) hariç diğer camilerde I/D oranları kıyaslanabilir seviyede olması camilerin dış ortam kirliliğinden etkilendiğini göstermektedir. Sınırlı sayıda örneklemeden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile cami yapım yılı, halı kullanım yılı, caminin konumu gibi birçok etkenin cami iç ortam PM kirliliğinin etkilediğini göstermektedir. Daha somut çıktılar elde edilebilmesi için farklı özellikteki daha çok sayıda camide ayrıntılı bir örnekleme programı ile çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cami iç ortam, partikül madde, iç/dış ortam oranları, insan aktiviteleri

ABSTRACT

Particulate matter (PM) is one of the most important air pollutants due to their carrying of carcinogenic pollutants and causing health risks. Therefore, it is crucial to determine their levels indoors where people work/live and spend their time. Indoor air quality in mosques where frequently visited by susceptible subgroups should be taken into consideration. The presence of wall-to-wall carpets, keeping the windows open for a long time for ventilation, especially during the Covid-19 pandemic, visit frequency and large number of congregations can increase the concentration of particulate

matter (PM) in the indoor air of mosques. This study aims to measure the indoor inhalable PM ($D < 80-100 \mu\text{m}$) (PM_{80-100}) and respirable PM ($D < 4 \mu\text{m}$) (PM_4) in 18 mosques during Ramadan, when the mosques have a large number of congregations. Concentrations were determined by gravimetric method. The outdoor PM_4 measurements were carried simultaneously with indoor measurements in order to evaluate the effects of outdoor levels on the indoor environment. Air samples were collected on a Teflon filter with SKC pump and morning prayer was started and ended at the end of night prayer in order to measure the daily average concentration of the mosques. The number of congregations on the days during the sampling was recorded. While the mean PM_{80-100} and PM_4 indoor concentrations of the mosques were calculated as $159.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $30.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, that of outdoor was $36.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The indoor/outdoor (I/O) ratios of the mosques varied between 0.19 and 9.78. The highest PM_4 concentration was measured in the historical building while the highest PM_{80-100} , was detected in the mosque located in the city center having high traffic load. Beside the I/O ratios are comparable in the mosques except for Yenimahalle Mosque (9.78), indicating affecting mosques from outdoor pollution. Evaluation of the data obtained from a limited number of samples shows that many factors such as the construction year of the mosque, the year of use of the carpet, the location of the mosque affect the indoor PM pollution of the mosque. The conduct of studies with a detailed sampling program in more different type of mosques are advised to obtain more concrete outputs.

Key Words: Mosque indoor air, particulate matter, indoor/outdoor Ratios, human activities

1. GİRİŞ

Farklı kirleticiler için rezervuar olan partikül madde'ler (PM) havada bir süre askıda kalırlar, çökerler ve ortam hareketleri ile tekrar havalanabilirler. Ortamda havada kalma süresi partikülün boyutu (çapı) ile ilgilidir. Bu sebeple partiküller çaplarına göre farklı şekillerde adlandırılabilir. Örneğin iç ortam maruziyetlerinde alveollere kadar ulaşabilen çapı $4 \mu\text{m}$ ve altı olan tozlar solunabilen (respirable) PM (PM_4) olarak, çapı 80-100 mikrometrenin altında kalan üst solunum sistemini (burun, ağız, boğaz) etkileyebilecek tozlar ise nefes alınan (inhalable) PM olarak adlandırılır (PM_{80-100}) [1]. Diğer yaygın sınıflandırma ise ultra ince ($D < 0,1 \mu\text{m}$), ince ($D < 2,5 \mu\text{m}$) ve kaba ($D > 2,5 \mu\text{m}$) partiküller olarak üç boyut aralığına ayrılabilir (Hinds, 1999). Çok sayıda araştırma, farklı PM boyutunun olumsuz sağlık etkileri olduğunu bildirmiştir [2,3].

Yapılan epidemiyolojik çalışmalar kısa süreli yüksek maruziyetin solunum ve kardiyopulmoner etkileri olduğunu ve kardiyopulmoner ölümleri artırdığını ortaya koymuştur [4,5]. PM maruziyeti çocuklarda ve yaşlılarda pulmoner inflamasyon [6] ve astımı tetikleme veya arttırmasına sebep olabilmektedir [7]. Uzun süreli kronik maruziyetlerde ise pulmoner ve kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümlerde artışa sebep olabilmektedir [8,9]. Pope ve ark. [10] tarafından 16 yıl süre ile 552.000 kişinin sağlık sorunları ve maruziyetleri incelenmiş ve her $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2,5}$ konsantrasyon artışının kardiyovasküler ölümlerde %8-18 artışa yol açtığını tespit etmişlerdir. PM'nin ana kaynağının dış ortam havası olduğu düşünülse de yürüme, oturma, toz alma, elektrik süpürgesi kullanımı gibi insan aktiviteleri ve çöken tozun yeniden havalanması ile sonuçlanan pek çok ikincil iç ortam kaynağı vardır [11, 12, 13]. İnsan faaliyetlerinin, özellikle elektrikli süpürge ile süpürmenin partikül boyutuna bağlı olarak konsantrasyonları 1,2 kat ila 29,5 kat artabilmektedir [14,15].

Camiler diğer dini yapılardan farklı olarak ayakkabıyla girilmesi yasak olan ve zemini duvardan duvara halı kaplı ibadethanelerdir. Özellikle Cuma namazı ve teravih gibi özel vakitlerde tamamen dolu hale gelmesinden dolayı yoğunluk $1,5 \text{ kişi}/\text{m}^2$ 'ye kadar çıkabilmektedir [16]. Süpürme sıklığı camiden camiye değişen halılar, namaz vakitleri dışında PM'ler için rezervuar olurken namaz vakitlerinde cemaatin hareketinden dolayı tekrar havalanmasından dolayı kaynak olmaktadır. Bununla birlikte, ibadet sırasında PM maruziyeti, solunum yolu hastalıkları olan kişiler ve yaşlılar gibi hassas alt grupları için bir sağlık sorunu olabilmektedir. Camilerdeki iç mekan hava kalitesi (IAQ) ile ilgili ulusal ve uluslararası literatürde yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Genelde yapılan çalışmalarda termal konfor sorunları incelenmiştir [17, 18]. Ocak ve ark [16] tarafından İzmir'de kırsal bir bölgede bulunan bir camide Cuma günleri öğle namazında dokuz örnekleme gününde, üç farklı temizlik

programında ortalama 4 saat boyunca $PM_{2.5}$ konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçülen $PM_{2.5}$ ortalaması ($44,5 \mu g/m^3$) literatürdeki diğer iç ortamlarla karşılaştırılabilir düzeyde olduğu bildirilmiştir [16].

Bu çalışmanın amacı, ramazan ayı boyunca Kocaeli'nin farklı bölgelerinde bulunan 18 camide iç ortam ve dış ortam PM seviyelerini değerlendirmek ve bu seviyelerin cami özellikleri, temizlik programı ve doluluk oranı ile ilişkisini araştırmaktır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1.Örnekleme:

Cami iç ve dış ortam partikül madde konsantrasyon ölçümleri camilerin en fazla ziyaretin olduğu Ramazan ayı boyunca gerçekleştirilmiştir. Örnekleme 8-24.04.2022 tarihleri arasında yapılmıştır. Örnekleme için Kocaeli'nin farklı bölgelerinde bulunan farklı dış ortam özelliklerine sahip 20 cami belirlenmiştir. Ancak ramazan ayı boyunca 19 camide örnekleme yapılabilmemiş, bir cami (Yeni Cuma) ve diğer camilerin bazı örneklerinde hatalı sonuçlar olduğu tespit edildiğinden toplam 18 cami ve 47 örnekleme sonucu değerlendirilmiştir. Örneklerin gün boyu PM kirliliğini temsil edebilmesi için örnekleme sabah namazı başlatılmış ve yatsı namazı sonunda bitirilmiştir.

Örnekleme Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) yöntemleri 0500 ve 0600'a (NIOSH 1994; 1998) göre 2,5 L/dk akış geçirilerek teflon filtreler ile (SKC 225-1709 (37) ve SKC 225-0102 (37); gözenek boyutu 2 μm , çap 37 mm, SKC, ABD) örnekleme yapılmıştır. Numune alma pompaları (SKC, ABD) numune alma işleminden önce ve sonra kalibre edilmiştir. Örnekleme SKC 225-69 siklon örnekleme başlığı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, %50'sinin aerodinamik çapı 4 mikrometrenin altında kalan alveollere ulaşabilen tozlar PM_4 olarak, %50'sinin aerodinamik çapı 80-100 mikrometrenin altında kalan trokal ve alveollere ulaşım üst solunum sistemini etkileyen tozlar ise PM_{80-100} olarak gösterilmiştir (EN 481, 1995). İç ortam partikül madde seviyelerinin cami özellikleri, cemaat sayısı, halı süpürme sıklığı ile ilişkisini değerlendirmek için bu bilgiler cami imamından toplanmış veya örnekleme boyunca camii içinde gözlemlenerek not edilmiştir. Örnekleme yapılan camilerde klima olduğu ancak örnekleme döneminde kullanılmadığı tespit edilmiştir. Örnekleme tarihleri, camilerin özellikleri ve halı süpürme sıklığı Tablo 1'de verilmiştir.

Teflon filtreler, İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü (İSGÜM) Kocaeli Şubesi'nde bulunan %40~45 bağıl nem ve 21~23°C sıcaklıkta olan tartım odasında örneklemeden önce ve sonra en az 24 saat bekletilerek dengelenmiş ve 0,00001 g doğrulukla hassas terazi (ME5-F, Sartorius, ABD) ile tartımları yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

3.1. PM Seviyeleri:

Tablo 2, örnekleme yapılan camilerde iç ve dış PM_4 ve iç PM_{80-100} konsantrasyonunun sonuçları sunulmuştur. Tüm camilerde ölçülen PM_4 ($n = 17$) konsantrasyonları 5,22 ile 57,64 $\mu g/m^3$ arasında değişirken PM_{80-100} ($n=14$) konsantrasyonları 20,86 ile 332,8 $\mu g/m^3$ aralığında ölçülmüştür.

PM_4 'ler genelde fiziksel, mekanik işlemler (rüzgar erezoyunu, kırma, ufala, araç hareketi gibi) veya deniz sprelerinin atmosfere deniz tuzu formundaki katı/yarı sıvı partiküllerin taşınımı ile oluşmaktadır [19]. Havalandırma ve infiltrasyon ile iç ortama taşınan PM'ler yürüme, oturma, toz alma, elektrik süpürgesi kullanımı gibi insan aktiviteleri ve çöken tozun yeniden havalanarak ikincil iç ortam kaynağı oluşturmaktadır. Kaydedilen en düşük ve en yüksek PM_4 konsantrasyonları, sırasıyla yarı kentsel bölgede bulunan Arızlı Irak Konutları Cami ve kent merkezinde bulunan Orhan Cami örnekleme

yerlerinde gözlemlenmiştir. Her iki camiye gelen ortalama cemaat sayısı (Tablo 1) 12 ve 21 kişi iken iki cami arasında en belirgin özellik cami yapım yılları ve halı süpürme sıklığı olduğu görülmektedir. Orhan Camii her gün süpürülürken Arızlı Irak Konutları Cami ise iki haftada bir süpürülmektedir. Malezya'da 25 cami'de yapılan çalışmada süpürge ile temizleme işleminin PM₁₀ konsantrasyonunun düşürmek için etkili olmadığını vurgulamıştır [20]. Arızlı Irak Konutları Cami depremzedeler için 2014 yılında inşa edilmişken Orhan camii (1337) eski yerleşim yerinde olan tarihi bir camiidir. Orhan caminin halılarının değişimi 5 yıl önce yapılmışken Arızlı Irak Konutları Cami halıları daha yenidir (2 yıl). Orhan Cami'nin ibadet edilen bölümü ahşap ve tavan ahşap çitlidir. Muhtemelen ahşap kısımlarda biriken toz Orhan camii iç ortam PM₄ seviyesinin artmasına sebep olmaktadır. Örnekleme yapılan camiler arasında Orhan Cami gibi tarihi bir cami bulunmasa da Seka Cami 1956 yılında, Yenimahalle Cami 1957 yılında ve Yeşil Cami 1967 yılında inşa edilmiştir. Bu camiler arasında Yenimahalle Cami yüksek PM₄ konsantrasyonu (49,38 µg/m³) diğer iki camide ise sırasıyla 16,28 ve 10,61 µg/m³ seviyelerindedir. Özellikle Yenimahalle Cami PM₄ I/D oranı 9,78 olması bu cami için baskın bir iç ortam kaynağının olduğunu göstermektedir. Çalışma her ne kadar sınırlı sayıda cami ve sınırlı örnekleme ile yapılmış olsa tarihi camilerin kubbe kısımlarında uzun yıllarca toz birikebileceği, havalandırma ve insan hareketleri ile PM'lerin hava akımına karışabileceği ve dolayısıyla ince PM seviyelerine katkı yapabileceği düşünülmektedir.

PM₈₀₋₁₀₀ ise doğal süreçler veya toprak tozu, dizel kamyonlar, enerji santralleri, odun sobaları ve endüstriyel süreçler dahil olmak üzere insan faaliyetleri yoluyla atmosfere salınırlar [21]. Ölçülen en düşük PM₈₀₋₁₀₀ konsantrasyonları ise yine PM₄'de olduğu gibi Arızlı Irak Konutları Cami olurken ve en yüksek konsantrasyon Yeşilova Camii'de gözlemlenmiştir. Yeşilova camii ise trafik yoğunluğu yüksek olan Turan Güneş Caddesi üzerinde, daha çok düzensiz kentleşmenin olduğu mahallede bulunmaktadır. Örnekleme yapılan camiler arasında orta düzey kalabalıklığa sahip olan bu caminin iç ortam PM₄ konsantrasyonunda ölçülen en yüksek üçüncü sıradadır. Yeşil Camii dış ortam PM₄ konsantrasyonu ölçülen camiler arasında en yüksek değere sahip (78,92 µg/m³). olması bu caminin dış ortam kirliliğinden etkilendiğini göstermektedir.

Tablo 1 : Camii özellikleri

Camii Adı	Konum özelliği	Örnekleme Tarihi	Gün	Günde ibadete gelen ortalama kişi sayısı	Ayda Süpürme sıklığı	Havalandırma Süresi (dakika)	Bina Yapım Yılı	Hali Değişimi (yıl)
Akça Cami	kent merkez	08-04-22	Cuma	46	4	30	1968	8
42 Evler Cami	kent	19-04-22	Salı	44	4		1970	4
Akşemseddin Cami	yarı kentsel	27-04-22	Çarşamba (Kadir Gecesi)	188	4	232	2010	13
Arızlı Köyü Cami	yarı kentsel	12-04-22	Salı	12	2		1978	30
Bahçekent Cami	kırsal	24-04-22	Pazar	20	4		1995	28
Derince Gaziosmanpaşa Cami	yarı kentsel	25-04-22	Pazartesi	68	8		2012	11
Derince Yeni Merkez Cami	kent	22-04-22	Cuma	165	30	60	2011	11
Fevziye Cami	kent	15-04-22	Cuma	201	30	sürekli açık	2002	4
Hayrisevenler Cami	kent	18-04-22	Pazartesi	90	4		1988	4
Irak Kalıcı Konutları Cami	kent merkez	14-04-22	Perşembe	15	2		2014	9
Körfez Cami	yarı kentsel	23-04-22	Cumartesi	39	4		1989	10
Orhan Cami	kent merkez	26-04-22	Salı	21	30		1337	5
Seka Cami	kent merkez	09-04-22	Cumartesi	60	8	30	1956	7
Şirintepe Merkez Cami	kent	29-04-22	Cuma	48	4	70	1976	18
Umutepe Cami	yarı kentsel	20-04-22	Çarşamba	9	4		2014	9
Yenicuma Cami Cami	kent	16-04-22	Cumartesi	88	30	sürekli açık	1568	2
Yenimahalle Kuruçeşme Cami	kent	21-04-22	Perşembe	25	4		1957	8
Yeşil Cami	kent	10-04-22	Pazar	35	4	120	1967	7
Yeşilova Merkez Cami	kent merkez	28-04-22	Perşembe	87	4	150	2001	12

Tablo2: Camilerde iç ve dış ortamda ölçülen partikül madde konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Cami ismi	PM ₄	PM ₈₀₋₁₀₀	PM ₄	PM ₄
	İÇ		DIŞ	I/D
Akça Cami	23,01		9,21	2,5
42 Evler Cami	-	105,8	-	-
Akşemseddin Cami	32,52	268,5	10,84	3,01
Arızlı Irak Konutları Cami	5,22	20,86	20,86	0,25
Arızlı Köyü Cami	21,02		10,41	2,02
Başiskele Bahçekent Cami	39,77	141,1	56,82	0,69
Başiskele Körfez Cami	41,56	131,2	46,75	0,89
Derince Gazi Osman Paşa Cami	11,2	121,7	22,41	0,5
Derince Yeni Merkez Cami	48,19	139,7	72,29	0,67
Fevziye Cami	11,41	170,4	57,06	0,19
Hayirsevenler Cami	5,46	107,1	21,86	0,25
Orhan Cami	57,64	166,7	55,64	1,04
Seka Cami	16,28		21,71	0,75
Şirintepe Merkez Cami	41,45	286,2	31,09	1,33
Umuttepe Cami	53,33	103,3	51,33	1,04
Yenimahalle Cami	49,38	134,3	5,05	9,78
Yeşil Cami(Kuruçeşme)	10,10	-	-	-
Yeşilova Cami	45,98	332,8	78,82	0,58
Örnek Sayısı	17	14	16	16
Ortalama	30,21	159,3	36,02	1,59
Standart Sapma	18,14	83,09	24,1	2,33
En düşük konsantrasyon	5,22	20,86	5,05	0,19
En yüksek konsantrasyon	57,64	332,8	78,82	9,78

Daha önce de bahsedildiği gibi cami iç ortam hava kalitesi ile ilgili PM değerlendirmesi yapan çok fazla çalışma mevcut değildir. Yapılan sınırlı çalışmalar Tablo 3'de listelenmiştir. Tabloda listelenen PM boyutları çalışmada ölçülenlerden farklı olsa da kaba bir kıyaslama yapabilmek için faydalı olacaktır. Kocaeli oldukça fazla sayıda sanayiye ev sahipliği yapan nüfus yoğunluğu en yüksek şehirlerden biri olmasına rağmen İzmir'de kırsal alanda bulunan camide ölçülen ortalama PM_{2,5} konsantrasyonlarından daha düşük PM₄ konsantrasyonu ölçülmüştür. İzmir'deki camide cemaat sayısı 120 ila 155 arasında değişirken bu çalışmada camiye ibadet için gelenlerin sayısı 9 ila 201 arasında değişmektedir. Ayrıca örnekleme sürelerinde de farklılıklar vardır. İzmir Gülbahçe'de bulunan Camii'de PM_{2.5} ölçümü Cuma namazı süresince yapılmışken bu çalışmada yaklaşık 18 saat örnek toplanmıştır. Dolayısıyla dış ortam kirliliğinin yanında camilerin halı süpürme sıklığı, halı yaşı, camiye ibadet için gelenlerin sayısı ve örnekleme süresi PM konsantrasyonlarını etkileyen önemli parametreler arasında olacağı düşünülmektedir. Bunun dışında Malezya/Pulau Pinang ölçülen PM₁₀ konsantrasyonu ($27,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bizim değerlerimizden oldukça düşük Hindistan/Kumbar'da ölçülen değerler ($658,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ise oldukça yüksektir [20, 22].

Tablo 3: Farklı ülke ve şehirlerde cami iç ortamında ölçülen PM konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ülke/Şehir	Cami konumu	PM	Örnek sayısı	Konsantrasyon (ortalama+Std Sapma)	Kaynak
Türkiye/Kocaeli	Kent, yarı kentsel, kırsal	PM ₄	17	30,21±18,14	Bu çalışma
		PM ₈₀₋₁₀₀	14	159,29±83,09	
Türkiye/İzmir	yarı kentsel	PM _{2,5}	9	44,5±34.5	Ocak ve ark. [16]
Malezya/Pulau Pinang	kent	PM ₁₀	25	27,95±17,75	Rasli ve ark. [20]
Hindistan/Kumbar	kent	PM _{2,5}	10	658.30± 112.6	Bhadoria ve ark [22]

3.2. I/D Oranları

PM konsantrasyonlarının iç ortam seviyeleri hem dış ortam seviyelerinden hem de bina malzemeleri ve insan faaliyetleri gibi iç mekan kaynaklarından etkilenebileceği için iç/dış (I/D) oranları oldukça önemlidir. Bazı iç ortam kirletici seviyeleri dış ortama göre çok yüksek olabilir [23]. Cami PM₄ I/D oranları Tablo 2'de listelenmiştir. Yenimahalle cami (I/D=9,78) hariç diğer ölçüm yapılan camilerde I/D oranları kıyaslanabilir seviyede veya dış ortam seviyelerinin yüksek olduğu görülmektedir. Yenimahalle hariç diğer camilerin I/D oranı ortalaması 0,97 hesaplanmıştır. 1957 yılında yapılan Yenimahalle cami yarı kentsel bölgede olduğu için dış ortam PM seviyesi oldukça düşük ölçülmüşken eski bina ve halıların 8 yıllık olmasından dolayı iç ortam PM₄ konsantrasyonu ortalamasının üzerinde ölçülmüş olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu cami için I/D oranı oldukça yüksek ve iç ortam kaynaklı PM₄ kirliliği olduğu görülmektedir.

Literatürde çeşitli araştırmalar okullarda PM I/D oranlarını hesaplamış ancak özellikle iç ortamlarda birçok olası faktör PM seviyelerini etkilediğinden tutarlı sonuçlar elde edilememiştir. Cavallo ve ark. [24] PM₁₀ konsantrasyonlarının iç ve dış mekanlarda kıyaslanabilir seviyede olduğunu bildirirken Blondeau ve ark. [25] I/D PM oranlarının 1'den büyük olduğunu bulmuş ve insan yoğunluğunun iç mekan PM konsantrasyonları üzerinde etkisini olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacılar, I/D oranının birden büyük olması anaokullarında biriken partiküllerin yeniden havalandırılmasının, anaokulu çocuklarının sınıf içinde daha çok hareketli olması nedeniyle ilkököl veya ortaokullardakinden çok daha yüksek olabileceğini vurgulamışlardır. Fromme ve ark. [26] anaokullarındaki PM konsantrasyonunun Almanya'daki sigara içilmeyen evlerdekinden yaklaşık iki kat daha yüksek olduğunu ve sınıftaki sürekli hareket sırasında parçacıkların yeniden havalandırılmasının bir neden olabileceğini belirtmişken Mon ve ark. [27] insan faaliyetinin evlerdeki yüksek iç mekan seviyelerinde önemli bir faktör olduğunu bildirmiştir. Örnekleme günü en yüksek cemaat sayısı olan Fevziye Cami (201 kişi), Akşemseddin Cami (188 kişi) ve Derince Yeni Merkez Cami (165 kişi) I/D PM oranları sırasıyla 0,19, 3,01, ve 0,67 hesaplanmışken en düşük cami yoğunluğuna sahip Umuttepe Cami (9), Arızlı Cami (12) ve Arızlı Irak Konutları Cami (15) 'de I/D oran 1,04, 2,02 ve 0,25 olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla bu çalışmada ölçülen I/D oranlarının doğrudan camiye ibadet için gelen kişi sayısı ile ilişkisi bulunamamıştır. Bunun dışında cami yapım yılı, halı kullanım yılı, caminin konumu gibi birçok etkenin cami iç ortam kirliliğinin etkilediği düşünülmektedir.

4. SONUÇ

Toplam 18 cami'de iç ve dış ortam partikül madde konsantrasyon ölçümleri camilerin en fazla ziyaretin olduğu Ramazan ayı boyunca gerçekleştirilmiştir. Cami iç ortam ortalama PM₈₀₋₁₀₀ ve PM₄ konsantrasyonları sırasıyla 159,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 30,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmışken dış ortam PM₄ konsantrasyonu ortalaması 36,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Örnekleme yapılan camiler arasında en yüksek PM₄ konsantrasyonları tarihi camilerde ölçülmüştür. Tarihi camilerin kubbe kısımlarında uzun yıllarca toz birikebileceği, havalandırma ve insan hareketleri ile PM'lerin hava akımına karışabileceği ve

dolayısıyla ince PM seviyelerine katkı yapabileceği düşünülmektedir. Dış ortamı nispeten daha kirli camilerde PM₈₀₋₁₀₀ konsantrasyonlarının yüksek tespit edilmesi dış ortam kirliliğinin iç ortam PM₈₀₋₁₀₀ konsantrasyonlarını etkilediğini göstermektedir. Yenimalle cami (I/D=9,78) hariç diğer ölçüm yapılan camilerde I/D oranları kıyaslanabilir seviyede veya dış ortam seviyelerinin yüksek olduğu görülmektedir. /D oranlarının doğrudan camiye ibadet için gelen kişi sayısı ile ilişkisi bulunamamıştır. Sınırlı sayıda örneklemeden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile cami yapım yılı, halı kullanım yılı, caminin konumu gibi birçok etkenin cami iç ortam PM kirliliğinin etkilediğini göstermektedir. Hassas grupların ziyaret ettiği camilerde daha iyi bir iç ortam hava kalitesi elde edebilmek için etkin çözümlerin alınmasına katkı sağlayacak farklı özellikteki daha çok sayıda ve organik ve inorganik kirlleticilerin ölçüleceği çalışmaların yapılması, kaynakların ve katkı oranlarının tespit edilmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi BAP biriminin desteklediği FYL-2021-2578 Yüksek Lisans Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada İSGÜM Laboratuvarı'na ait örnekleme cihazları kullanılmıştır. KOU BAP birimine, İSGÜM Laboratuvarı'na ve örneklememize katkı veren cami çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] EN 481, İşyeri Atmosferleri. Havadan Kaynaklanan Parçacıkların Ölçümü İçin Boyut Kesir Tanımları, 1995.
- [2] HAUSER, R., GODLESKI, J.J., HATCH, V., CHRISTIANI, D.C., "Ultrafine particles in human lung macrophages" Archives of Environmental Health 56, 150-156, 2001.
- [3] POPE, C.A., DOCKERY, D.W., "Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect" Journal of the Air and Waste Management Association 56, 709-742, 2006
- [4] SAMET, J.M., DOMINICI, F., CURRIERO, F.C., COURSAK, I., ZEGER, S.L., "Fineparticulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities" 1987-1994. N. Engl. J. Med. 343, 1742-1749, 2000.
- [5] LE TERTRE, A., MEDINA, S., SAMOLI, E., FORSBERG, B., MICHELOZZI, P., BOUMGHAR, A., VONK, J.M., BELLINI, A., ATKINSON, R., AYRES, J.G., SUNYER, J., SCHWARZ, J., KATSOUYANNI, K., "Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities." J. Epidemiol. Community Health 56, 773-779, 2002.
- [6] GHIO, A.J., KIM, C., DEVLIN, R.B., "Concentrated ambient air particles induce mild pulmonary inflammation in healthy human volunteers" American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 162, 981-988, 2000.
- [7] ANDERSEN, Z.J., WAHLIN, P., RAASCHOU-NIELSEN, O., KETZEL, M., SCHEIKE, T., LOFT, S., "Size distribution and total number concentration of ultrafine and accumulation mode particles and hospital admissions in children and the elderly in Copenhagen, Denmark." Occupational and Environmental Medicine 65, 458-466, 2008.
- [8] GEHRING, U., HEINRICH, J., KRAMER, U., GROTE, V., HOCHADEL, M., SUGIRI, D., KRAFT, M., RAUCHFUSS, K., EBERWEIN, H.G., WICHMANN, H.E., "Long-term exposure to ambient air pollution and cardiopulmonary mortality in women. Epidemiology 17, 545-551, 2006.
- [9] MILLER, K.A., SISCOVICK, D.S., SHEPPARD, L., SHEPHERD, K., SULLIVAN, J.H., ANDERSON, G.L., KAUFMAN, J.D., "Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. N. Engl. J. Med. 356, 447-458, 2007.
- [10] POPE, C.A., BURNETT, R.T., THURSTON, G.D., THUN, M.J., CALLE, E.E., KREWSKI, D., GODLESKI, J.J., "Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution. Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease." Circulation 109, 71-77, 2004.

- [11] FROMME, H., DIEMER, J., DIETRICH, S., CYRYS, J., HEINRICH, J., LANG, W., KIRANOGLU, M., TWARDELLA, D., "Chemical and morphological properties of particulate matter (PM10, PM2.5) in school classrooms and outdoor air." Atmospheric Environment 42, 6597-6605, 2008.
- [12] STRANGER, M., POTGIETER-VERMAAK, S.S., VAN GRIEKEN, R., "Characterization of indoor air quality in primary schools in Antwerp, Belgium." Indoor Air 18, 454, 2008.
- [13] BRANIS, M., SAFRANEK, J., HYTYCHOVA, A., "Exposure of children to airborne particulate matter of different size fractions during indoor physical education at school." Building and Environment 44, 1246-1252, 2009
- [14] CORSI, R.L., SIEGEL, J.A., CHIANG, C., "Particle resuspension during the use of vacuum cleaners on residential carpet" Journal of Occupational and Environmental Hygiene 5, 232-238, 2008
- [15] QIAN, J., FERRO, A.R., FOWLER, K.R., "Estimating the resuspension rate and residence time of indoor particles" Journal of the Air and Waste Management Association 58, 502-516, 2008.
- [16] OCAK, YILMAZ, AKIN KILIÇVURAN, AYKUT BALKAN EREN, AYSUN SOFUOGLU, SAIT C. SOFUOGLU. "Exposure to particulate matter in a mosque." Atmospheric environment 56, 169-176, 2012.
- [17] AL-HOMOUD, M.S., ABDOU, A.A., BUDAIWI, I.M., "Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates". Energy and Buildings 41, 607-614, 2009.
- [18] AL-AJMI, F.F., "Thermal comfort in air-conditioned mosques in the dry desert climate". Building and Environment 45, 2407-2413, 2010.
- [19] KARACA F., ÜNAL B., GÖREN S., AĞA Ö., KARABURUN A "İç Ortam Hava Kalitesinin Dolmabahçe Saray Envanterinde Bulunan Tarihi ve Kültürel Mirasa Etkilerinin Araştırılması, Risk Değerlendirmesi ve Uygun Kirlilik Kontrol Sistemlerinin Önerilmesi", Tübitak 109Y272 proje sonuç raporu, 2012
- [20] RASLI N. B. I, RAMLI N. A, ISMAIL M. R, SHITH S, YUSOF N. F. F. M, ZAINORDIN N. S, EL-BAYOUMI M, NAZIR A. U. M. "Effects of Hoovering Activities on Biological Contaminants and Particulate Matter Levels in Main Prayer Halls of Malaysian Mosques. Curr World Environ;14(1). 2019
- [21] LİN, C.W., YEH, J.F. AND KAO, T.C "Source characterization of total suspended particulate matter near a riverbed in Central Taiwan. Journal of hazardous materials" 157(2-3), 418-422. 2008.
- [22] BHADAURIA, VISHAL, DIPTEEK PARMAR, RAJIV GANGULY, ABHINAV KUMAR RATHI, AND PRASHANT KUMAR. "Exposure assessment of PM2. 5 in temple premises and crematoriums in Kanpur, India." Environmental Science and Pollution Research 29, no. 25, 38374-38384, 2022.
- [23] GODİSH, T. "Indoor air pollution control" CRC press. 1989.
- [24] CAVALLO D, ALCINI D, DE BORTOLI M, CARRETTONI D, CARRER P, BERSANI M, MARONI M , Cemical contamination of indoor air in schools and office buildings in Milan, Italy. In: Proceedings, 1993
- [25] BLONDEAU P, IORDACHE V, POUPARD O, GENIN D, ALLARD F "Relationship between outdoor and indoor air quality in eight" French schools. Indoor Air 15:2-12, 2005
- [26] FROMME H, LAHRZ T, HAINSCH A, ODDOY A, PILOTY M, RÜDEN H "Elemental carbon and respirable particulate matter in the indoor air of apartments and nursery schools and ambient air in Berlin (Germany)". Indoor Air 15:335-341, 2005
- [27] MONN CH, FUCHS A, HÖGGER D, JUNKER M, KOGELSCHATZ D, ROTH N, WANNER HU "Particulate matter less than 10 um (PM10) and fine particles less than 2.5 um (PM2.5): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations" Sci Total Environ 208:15-2, 1997



ÖZGEÇMİŞ

Kaan SARI

1996 Aydın doğumludur. 2020 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü tamamlamıştır. 2020 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans yapmaya başlamış ve devam etmektedir. İç ve dış ortam hava kirleticileri konularında çalışma yapmaktadır.

Ahmet YÜKSEL

1991 yılı Erzurum doğumludur. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü tamamlamıştır. 2016 yılında Yalova Üniversitesi'nden Yüksek Mühendis ünvanı almıştır. Kocaeli Üniversitesi'nde Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalında doktora çalışmaları devam etmektedir. 2019 yılından beri Yalova Üniversitesi Yalova Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2019 yılından beri Bölüm Başkan Yardımcılığı ve 2022 yılından beri İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Program Başkanlığı görevlerini yürütmektedir. Isı pompalı yaş meyve-sebze kurutma sistemleri, indüksiyonlu akışkan ısıtıcıları, iç ortamlarda termal konfor ve binalarda enerji tüketimi konularında çalışmaktadır.

Müslüm ARICI

1980 yılı Şanlıurfa doğumludur. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2007 yılında von Karman Enstitüsünün "Diploma Course" programını bitirmiş ve Kocaeli Üniversitesinden 2010 yılında Doktora ünvanını almıştır. 2022 yılından beri Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak görev almaktadır. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects; Gazi University Journal of Engineering and Architecture; Journal of Thermal Engineering; ve Energy, Ecology and Environment gibi dergilerde yardımcı editör/bölüm editörü olarak, ve Journal of Cleaner Production (Elsevier), Sustainable Energy Technologies and Assessment (Elsevier), Energy and Buildings (Elsevier), Energy for Sustainable Development (Elsevier) gibi dergilerde misafir editör olarak görev yapmaktadır. Stanford Üniversitesi raporuna göre 2020 ve 2021 yıllarında dünyanın en iyi %2'lik diliminde olan bilim insanları arasına girmiştir. Uzmanlık alanları arasında enerji verimli binalar, nanoakışkanlar, yenilenebilir enerji sistemleri, termal enerji depolama ve faz değiştiren malzemelerle termal yönetim yer almaktadır.

Mihriban CİVAN

1977 yılı Manisa doğumludur. 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde 2010 yılında bütünleşik doktora programını tamamlamıştır. 2002-2010 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi, 2011 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Uzmanlık alanları arasında hava kirliliği, organik kirleticiler, iç ortam hava kirliliği, kirletici maruziyetleri yer almaktadır.