

ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜ İÇ ORTAM PAH SEVİYELERİNİN PASİF ÖRNEKLEME YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ VE KAYNAKLARININ ARAŞTIRILMASI

**Ercan BERBERLER^{1(*)}, Sanaz LAKESTANI², Hatice KARADENİZ², Bahram
SARKARATI², Duran KARAKAŞ¹**

¹ Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
Gölköy/Bolu

² Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bilimsel Endüstriyel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma
Merkezi, Gölköy/Bolu

ÖZET

Günümüzde iç ortam hava kirliliği insan sağlığını tehdit eden en önemli risklerden biri olarak kabul edilmektedir. İç ortam havası farklı kaynaklara ve temaslara açık olup doğal ve yapay kirleticiler tarafından kirlenmektedir. Bunun yanında, iç ortamların hava kalitesini dış ortamdan gelen kirleticilerde etkilemektedir.

Bu çalışma iç ortam hava kalitesini belirlemek ve muhtemel kirletici kaynaklarını tespit etmek amacıyla üniversite kampüsünde belirlenmiş mekanlarda iç ve dış ortam hava örnekleri toplanması ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma pasif örnekleme yöntemiyle kış ve yaz dönemlerini kapsayacak şekilde ikişer haftalık örnekleme süresi ile yapılmıştır. Örnekleme, mevsimsel değişim, fiziki donanım, ortamı kullanan insan sayısı ve bina yaşı (yeni bina, eski bina) gibi değişkenler dikkate alınarak yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan iç ve dış ortam örnekleme noktaları, Abant İzzet Baysal Üniversitesinin farklı fakültelerinde belirlenen (fakülte, laboratuvar, sınıf, spor salonu, havuz, aktivite merkezi vb.) 10 farklı mekandan oluşmaktadır. Bu çalışmada iki dönem boyunca toplam 49 adet örnek toplanmıştır. Ekstrakte edilen örnekler 16 adet öncelikli PAH bileşikleri için ultra HPLC/DAD-FLD (Diode Array ve Floresans dedektörlü) cihazı kullanılarak analizlenmiştir.

Üniversite kampüsündeki iç ortam hava kalitesinin belirlenmesi ve iç ortamdaki seviyelere dış ortam ve diğer kaynakların katkılarının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada, yaz ve kış dönemi örneklerinde, analizler sonucunda molekül ağırlıklarına göre 4 ve 5 halkalı PAH'lar diğerlerine göre daha yüksek seviyelerde bulunmuştur.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

İç ortam, Pasif Örnekleme, PAH, Hava kalitesi, uHPLC

(*)ercan.berberler@ibu.edu.tr

ABSTRACT

Nowadays, indoor air pollution is accepted as one of the most important risks threatening human health. The indoor air is open to different sources and contacts and is polluted by natural and artificial pollutants. This, in turn, affects the quality of the indoor environment for pollutants from the outside.

This study was carried out by collecting indoor and outdoor air samples at selected sites in the university campus to determine indoor air quality and to identify the possible sources of pollutants. The study was carried out by two sampling campaigns including winter and summer periods with passive sampling method. The sampling strategy was planned by considering seasonal changes, physical equipments, the number of people using the environment and the age of the buildings (new building, old building).

The indoor and outdoor sampling points made in the scope of the study consisted of 11 different places determined in different faculties of Abant İzzet Baysal University (faculty, laboratory, classroom, sports hall, pool, activity center, etc.). In this study, a total of 49 samples were collected during the two semesters and their analysis have been continuing. Extracted samples were analyzed using ultra HPLC/DAD-FLD (Diode Array and Fluorescence Detectors) device for 16 priority PAH compounds.

In this study, the aims were to determine the indoor air quality in the university campus and to determine the contributions of outdoor and other sources to the indoor environment, in the winter and summer periods. The preliminary results showed that 4 to 5 ringed PAHs were found more frequently with higher concentrations compared to other PAH compounds.

KEYWORDS

Indoor, Passive Sampling, PAH, Air Quality, uHPLC

1. GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü kapalı (iç) ortamlarda geçirmektedir. Bu nedenle iç ortam havasının insan sağlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Buna bağlı olarak son yıllarda iç ortam hava kalitesi çalışmaları önem kazanmıştır.

İç ortam hava kalitesinin bozulmasında iç ortamlarda yaygın olarak kullanılan malzemelerin ve çeşitli çevresel faktörlerin etkili olduğu görülmüştür (Menteşe, 2009). Bunun yanı sıra iç ortam hava kirleticilerin kombine etkisi ve dış ortamda üretilen kirleticilerin infiltrasyon yoluyla iç ortamlara girişi iç ortamdaki konsantrasyonların olumsuz sağlık etkilerine neden olacak kadar yüksek olmasına neden olmaktadır (Carslaw, 2007).

Polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH)'lar düşük buhar basınçlarından dolayı toprak, su ve hava ortamlarında uzun süre kalabilen yarı uçucu organik bileşiklerdendir (Hautala vd., 1995). Ayrıca PAH' lar kaynaktan salındıktan sonra uzun süre atmosferde kalmalarının yanı sıra, tüm canlılara zarar verebilecek toksik ve kanserojenik etkiye sahiptirler (Osgood vd., 2013). PAH'lar, doğada

uzun süre bozulmadan kalabilme, besin zinciri vasıtasıyla canlı yapısında birikme ve zehirli etkileri nedeniyle sağlık sorunlarına yol açmalarından dolayı son yıllarda önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. PAH'ların çoğu mutajenik ve/veya kanserojenik özellik göstermektedirler (Netto vd., 2007).

Kanserojenik ve mutajenik özelliklerinden dolayı PAH'lar farklı mikro ve makro çevre ortamlarında incelenmektedirler (Krauss vd., 2005; Ravindra vd., 2008; Lu vd., 2008). İç ortamda PAH'lar genellikle sigara dumanından, odun ya da kömür kullanımı ile özellikle ızgara gibi yüksek sıcaklıklarda yemek pişirme sırasında açığa çıkmaktadırlar (Raiyani vd., 1993).

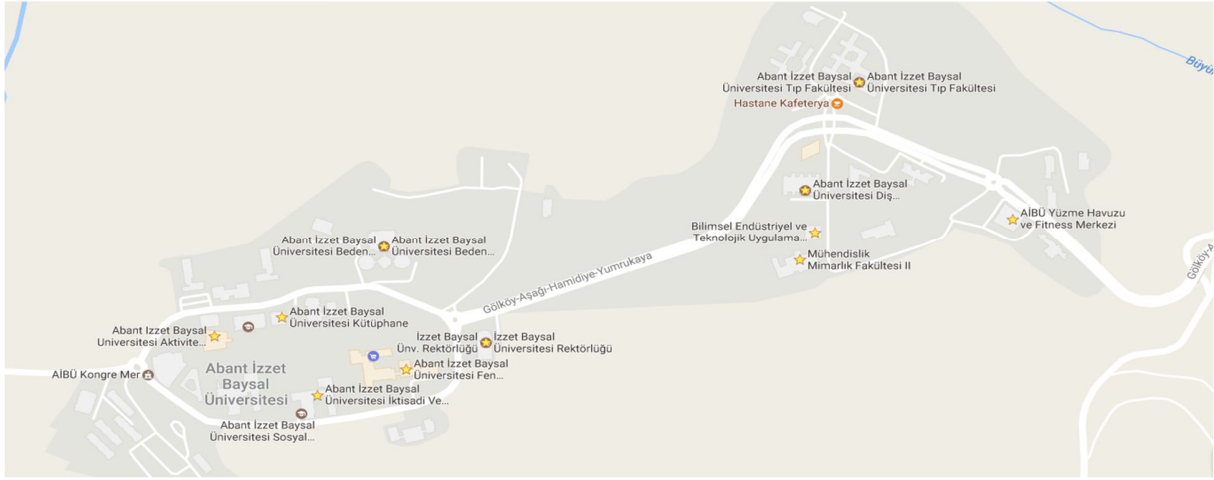
Bu çalışma Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesinde iç ortam hava kalitesini belirlemek ve muhtemel kirlenme kaynaklarını tespit etmek amacıyla farklı mekanlarda iç ve dış ortam hava örnekleri toplanarak gerçekleştirilmiştir. Örneklemeler pasif örnekleme yöntemiyle kış ve yaz dönemlerini kapsayacak şekilde ikişer haftalık örnekleme süresi ile yapılmıştır. Hedeflenen PAH bileşikleri: Nap (Naphthalene), Ace (Acenaphthylene), Acy (Acenaphthene), Flu (Fluorene), Phe(Phenanthrene), Fla (Fluoranthene), Pyr (Pyrene), BaA (Benzo(a) anthracene), Chr (Chrysene), BbF (Benzo(b) Fluoranthene), BkF (Benzo(k) fluoranthene), BaP (Benzo(a) pyrene), DaA(Dibenzo(a,h) anthracene), BgP (Benzo(g,h,i)perylene), Ind (Indeno(1,2,3) pyrene).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örnekleme

Örneklemler şehir merkezine 12 km uzaklıkta bulunan Abant İzzet Baysal Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir. PAH'ların iç ortam konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla Ocak-Temmuz 2017 tarihleri arasında farklı fakültelerde belirlenen 10 farklı mekandan 49 adet örnek toplanmıştır (Şekil 1). Örneklemeler için mekan seçimi; mevsimsel değişimler, fiziki donanımlar, ortamı kullanan insan sayıları ve bina yaşı gibi değişkenler dikkate alınarak yapılmıştır.

Hedeflenen PAH bileşiklerinin konsantrasyon düzeyleri, pasif örnekleme yöntemi ile toplanan örneklerin analiz edilmesiyle belirlenmiş, yaz ve kış dönemini kapsayan ikişer haftalık bir ölçüm periyodu boyunca yapılmıştır.



Şekil 1. Örnekleme Noktaları

Örneklemler alüminyum folyodan yapılmış koruma kapları içerisine Polyurethane Foam (PUF) yerleştirilerek yapılmıştır.

2.2. Ekstraksiyon

Toplanan PUF örnekleri 24 saat süresince petrol eteri (PE)-diklorometan karışımı (DCM) (4:1) kullanılarak sokslet ekstraksiyon tekniği ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonrası döner-buharlaştırıcı kullanılarak fazla çözücü uzaklaştırılıp örnek 1 mL ye kadar konsantre edilmiştir. Örnekler, safsızlık için temizleme kolonu uygulanmıştır. 10 cm uzunluğa ve 0,5 cm çapa sahip temizleme kolonu; cam yünü, 1 gram alüminyum oksit, 1 gram florisil ve 1 gram sodyum sülfat doldurularak hazırlanmıştır. Alüminyum oksit; metal oksit ve suyun adsorbe edilmesi, florisil; uçucu ve yarı-uçucu organik maddelerin ayrılması ve kirliliklerin uzaklaştırılması, sodyum sülfat ise örneklerdeki su ve nemin azaltılması amaçlarıyla kullanılmıştır. Hazırlanan kolon hekzan ile aktif hale getirildikten sonra kolona yüklenen örnekler etil asetat-hekzan karışımı (1:1) kolondan geçirilerek toplanmıştır. Elde edilen karışıma PAH'ların buharlaşmasını engellemek için dimetilformamid (DMF) eklenmiş ve yüksek saflıkta azot gazı altında uçurulmuştur. Ardından asetonitril ile bilinen bir hacime (0,5 ml) tamamlanmıştır.

PAH'ların tayini için Dionex marka Ultimate 3000 ultra yüksek performanslı sıvı kromatografisi ultra HPLC (Diode Array (UV/VIS) ve Floresans dedektörlü (FLD)) kullanılmıştır. PAH tayini sırasında Zorbax Eclipse PAH kolonu için önerilen metot esas alınmıştır. uHPLC çalışma şartları Tablo 1'de verilmiştir.

uHPLC sisteminin kalibrasyonu için, Floresans dedektörü ve UV dedektörü için hazırlanan kalibrasyon standardı kullanılmış, her bir kalibrasyon standardı 3'er defa enjekte edilerek çalışılmıştır. Kalibrasyon standartları harici kalibrasyon metodu ile hazırlanıp, çizdirilen grafiklerden doğrusallık değerleri tespit edilmiştir.

Tablo 1. uHPLC çalışma şartları

UHPLC (Dionex Ultimate 3000)	
Mobil faz	Asetonitril+Su
Akış hızı	0,42 ml/dk
Bir kromatogram süresi	18 dk
Kullanılan kolon	Zorbax Eclipse PAH 2.1x100mm, 1,8 µm
Enjeksiyon hacmi	5 µL
Dedektör dalga boyu (FLD)	DAD: 230 nm, reference 400 nm FLD: $\lambda_{ex} = 260$, $\lambda_{em} = 350$ (FLD A), 420 (FLD B), 440 (FLD C), 500 (FLD D)

3. SONUÇLAR

Bu çalışma, Abant İzzet Baysal Üniversitesi kampüsünde PAH'ların iç ortam konsantrasyonlarının belirlenmesi ve muhtemel kirletici kaynaklarını tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

Örnekleme pasif örnekleme yöntemiyle kış ve yaz dönemlerini kapsayacak şekilde Ocak-Temmuz 2017 tarihleri arasında farklı fakültelerde belirlenen 10 farklı mekandan toplamda 49 adet iç ve dış ortam hava örnekleri toplanarak gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktalarına ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Dış ortamdan iç ortama PAH katkısını tahmin edebilmek için iç ve dış ortam hava örnekleri eş zamanlı olarak toplanmıştır. Dış ortam örnekleme noktaları seçilirken iç ortam örnekleme noktaları yerleştirilen mekanların otopark ve yol tarafına bakan kısımları seçilmiştir. Dış ortama örnekleme noktaları yerleştirilemeyen yerler için ise iç ortamla kıyaslama yapılırken en yakınındaki dış ortamı temsil eden noktalar değerlendirilmiştir. Genel olarak, örnekleme noktaları tipik kentsel hava kirliliğini temsil eden iç ve dış ortamlardan seçilmiştir. Örnekleme dönemlerinde öğrenci ve çalışanlar günlük normal faaliyetlerini yürütmüşlerdir.

Örnekleme noktalarının yaz ve kış örnekleme dönemlerine ait PAH konsantrasyonlarının hakla sayılarına göre ortalamaları Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Örneklem Noktaları

Örneklem Noktası	Kısaltma	Örneklem Dönemi
Rektörlük-Bekleme Odası	RBO	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Rektörlük-Yönetim Kurulu Odası	RYK	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Mühendislik F.-Koridor	MK	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Mühendislik F.-Ofis	MO	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Mühendislik F.-Bilgisayar Laboratuvarı	MBL	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Mühendislik F.-Sekreterlik	MS	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Diş Hekimliği F.-Sınıf	DS	04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Diş Hekimliği F.-Muayenehane	DM	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Diş Hekimliği F.-Dolgu Odası	DDO	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Yüzme Havuzu-Havuz Bölümü	YHH	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Yüzme Havuzu-Kantin	YHK	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Yüzme Havuzu-Diş Ortam	YHDI	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
İktisadi İdari Bil.F.-Koridor	İK	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
İktisadi İdari Bil.F.-Sınıf	İS	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
İktisadi İdari Bil.F.-Diş Ortam	İD	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
BESYO-Sınıf	BESS	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Fen Edebiyat F.-Koridor	FEFK	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Fen Edebiyat F.-Sınıf	FEFS	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Fen Edebiyat F.-Laboratuvar	FEFL	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Fen Edebiyat F.- Diş Ortam	FEFD	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Aktivite Merkezi-Fotokopi Odası	AKMF	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Kütüphane-Depo Bölümü	KD	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
Kütüphane-Ödünç Verme Bölümü	KÖV	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
BETUM-Koridor	BK	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)
BETUM-Diş Ortam	BD	09-23/Ocak/2017(Kış) 04-18/Temmuz/2017 (Yaz)

* BETUM: Bilimsel Endüstriyel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi

Tablo 3. Kış Örnekleme PAH Bileşiklerinin Halka Sayılarına Göre Ortalamaları (ng/m³)

Örnekleme Noktası	2-3 Halkalı	4 Halkalı	5 Halkalı	6 Halkalı
RBO	0,49	3,29	5,77	3,35
RYK	9,17	3,09	4,24	4,59
MK	0,53	9,91	7,38	7,40
MO	8,11	14,61	6,06	10,24
MBL	3,73	3,50	1,92	3,30
MS	0,40	4,53	2,42	3,82
DS				
DM	0,85	3,16	2,11	3,78
DDO	0,45	5,72	0,51	1,37
YHH	12,73	7,81	4,25	5,81
YHK	0,40	2,15	2,04	1,98
YHDI	0,46	4,47	1,66	2,40
İK	5,01	5,03	4,44	3,98
İS	0,08	2,13	0,74	1,94
İD	1,07	3,66	3,85	4,36
BESS	11,18	4,80	5,33	0,87
FEFK	4,45	3,01	3,40	4,05
FEFS	0,37	9,57	7,62	8,55
FEFL	0,84	8,32	2,96	4,82
FEFD	2,54	3,82	2,56	3,41
AKMF	0,76	3,36	1,19	2,97
KD	3,43	5,74	3,21	4,40
KÖV	5,64	7,25	1,56	4,25
BK	0,29	4,28	5,49	3,17
BD	4,65	4,59	6,43	6,71

Tablo 4. Yaz Örnekleme PAH Bileşiklerinin Halka Sayılarına Göre Ortalamaları (ng/m³)

Örnekleme Noktası	2-3 Halkalı	4 Halkalı	5 Halkalı	6 Halkalı
RBO	3,78	4,46	1,66	4,18
RYK	2,46	3,49	1,59	0,74
MK	1,39	2,96	4,39	0,51
MO	3,32	3,65	1,24	4,03
MBL	0,85	3,15	1,48	2,25
MS	1,83	4,55	0,78	1,90
DS	1,72	5,26	2,13	6,36
DM	0,57	3,31	1,30	2,01
DDO	0,88	1,99	1,38	2,25
YHH	0,25	1,57	0,20	0,52
YHK	3,85	1,61	0,26	0,29
YHDI	0,27	3,39	0,49	0,11
İK	6,09	6,02	1,82	5,94
İS	6,39	4,54	2,14	6,62
İD	2,71	2,76	0,93	3,95
BESS	8,49	3,68	1,54	4,97
FEFK	1,93	5,77	1,60	3,88
FEFS	2,26	6,56	1,63	4,49
FEFL	3,94	4,34		2,07
FEFD	0,56	4,43	12,65	1,25
AKMF	1,16	5,56	1,66	1,96
KD	1,10	4,69	8,81	4,93
KÖV	1,72	1,89	3,21	3,70
BK	0,21	0,77	0,32	0,11
BD	0,29	1,13	0,61	0,43

4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

2-3 halkalı PAH'lar genellikle çok uçucudur, ortamda gaz fazında bulunurlar ve yüzeyde birikmeleri gaz olarak kuru ya da yağ çökeltme ile olmaktadır. Daha az uçucu olan 5-6 halkalı PAH'ların iç ortamda çökelmeleri tanecikli kuru ve yağ çökeltme ile gerçekleşmektedir (Lane, 1988). Ancak yapılan çalışmada pasif örnekleme yöntemi kullanıldığından, elde edilen sonuçlar bahsi geçen yağ ve kuru çökeltme mekanizmalarını içermemekte olup, difüzyonla PUF'larda biriken PAH bileşiklerinin sonuçlarını kapsamaktadır.

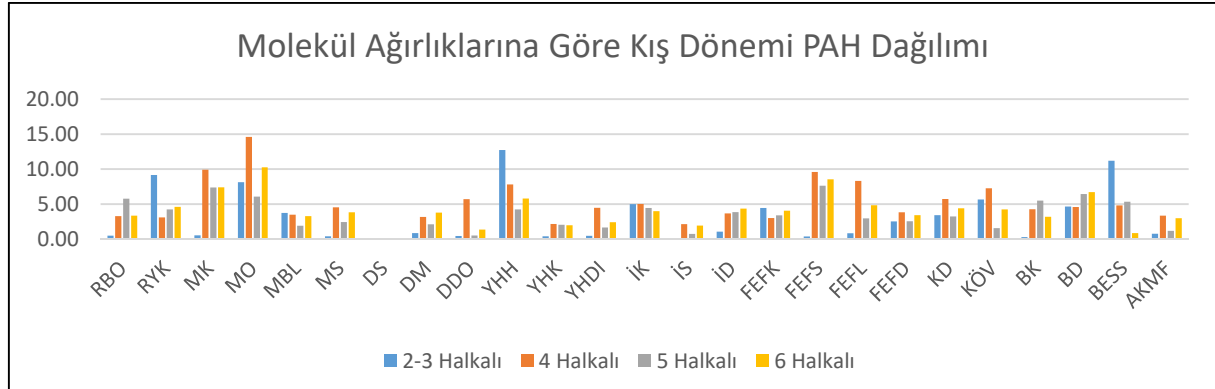
4.1. Kış dönemi PAH konsantrasyonu

Kış döneminde iç ve dış ortamda toplam 24 noktada örnekleme yapılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Kış örnekleme ortalaması, standart sapma, maksimum minimum ve medyan değerleri (ng/m³)

PAH Çeşidi	ORT.	MAK.	MİN.	MED.
Nap	6,31±6,73	24,21	0,02	5,59
Ace	1,47±2,10	7,97	0,27	0,75
Acy	0,18±0,19	0,63	0,03	0,12
Flu	2,09±3,33	11,61	0,08	0,81
Phe	10,34±4,19	20,77	3,84	9,66
Fla	6,44±7,01	33,30	0,03	4,07
Pyr	2,35±1,72	8,08	0,78	1,56
BaA	1,91±3,64	15,39	0,16	0,53
Chr	12,34±8,54	26,91	0,89	11,45
BbF	3,83±1,76	10,17	0,15	3,49
BkF	1,03±0,52	1,89	0,10	1,11
BaP	0,90±0,71	2,78	0,25	0,62
DaA	0,56±0,29	1,61	0,19	0,51
BgP	5,58±3,74	17,03	0,20	5,16
Ind	2,95±1,16	5,59	1,36	2,69

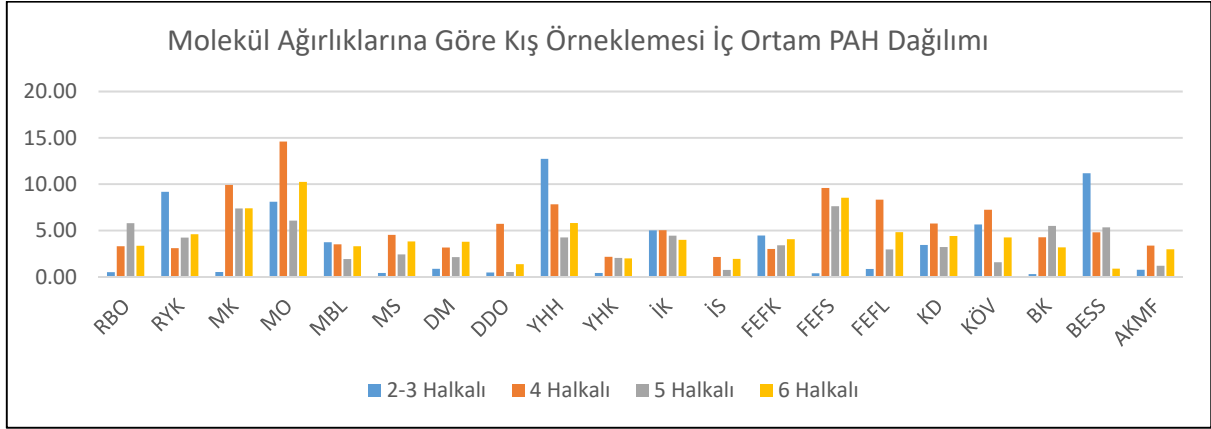
Kış dönemi örnekleme sonuçlarında PAH konsantrasyonları 33,30 ng/m³ ile 0,03 ng/m³ arasında değişmektedir. En yüksek konsantrasyonlar, molekül ağırlıklarına göre sırasıyla 4 halkalı, 5 halkalı, 2-3 halkalı ve 6 halkalı PAH bileşikleri şeklinde tespit edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Kış Örnekleme PAH Dağılımı

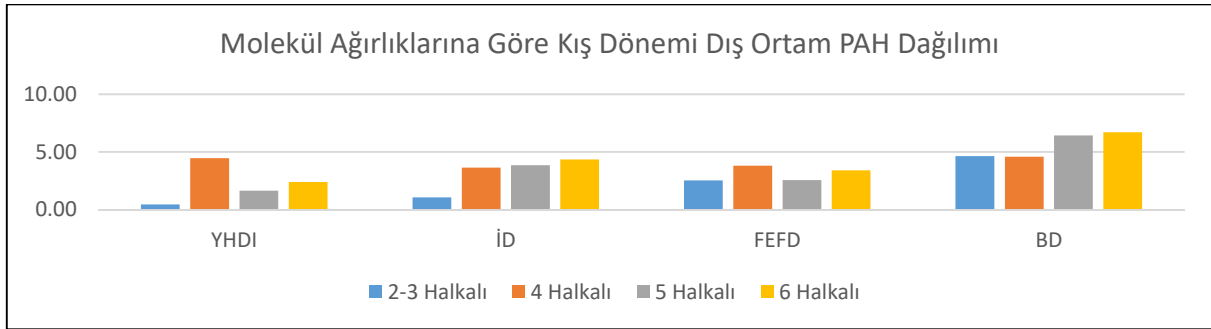
Şekil 3 ve Şekil 4' te görüldüğü üzere halka sayılarına göre PAH dağılımları örnekleme noktalarına göre değişkenlik göstermektedir.

Kış dönemine ait iç ortam örnekleme sonuçlarında en yüksek ortalama PAH konsantrasyonu (4 halkalı) Mühendislik Fakültesine ait sigara kullanımının olduğu ofiste tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Kış Dönemi İç Ortam PAH Dağılımı

Kış dönemine ait dış ortam örneklemelerinde ise en yüksek ortalama PAH konsantrasyonu (6 halkalı) olarak otopark ve yol tarafına bakan örnekleme noktasının bulunduğu BETUM' da tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kış Dönemi Dış Ortam PAH Dağılımı

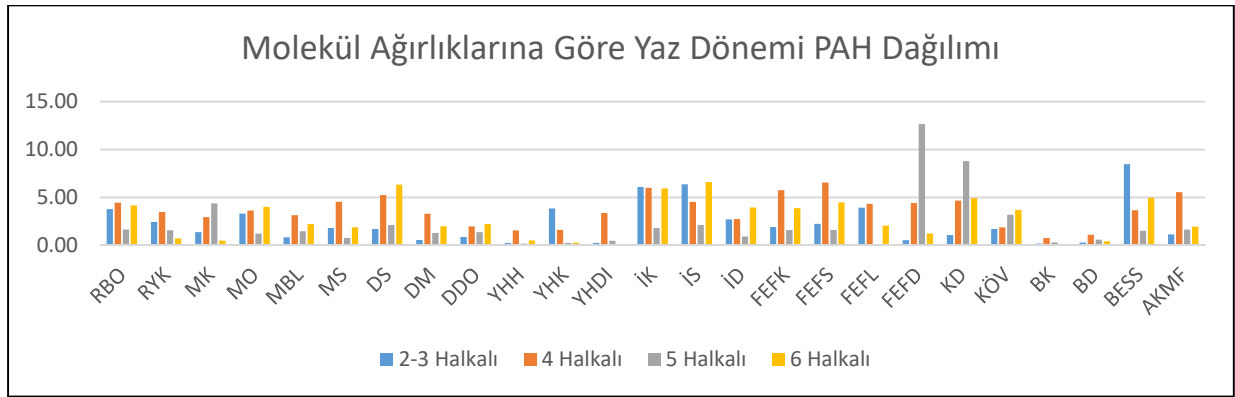
4.2. Yaz dönemi PAH konsantrasyonu

Yaz döneminde iç ve dış ortamda toplam 25 noktada örnekleme yapılmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Yaz örnekleme ortalaması, standart sapma, maksimum minimum ve medyan değerleri (ng/m³)

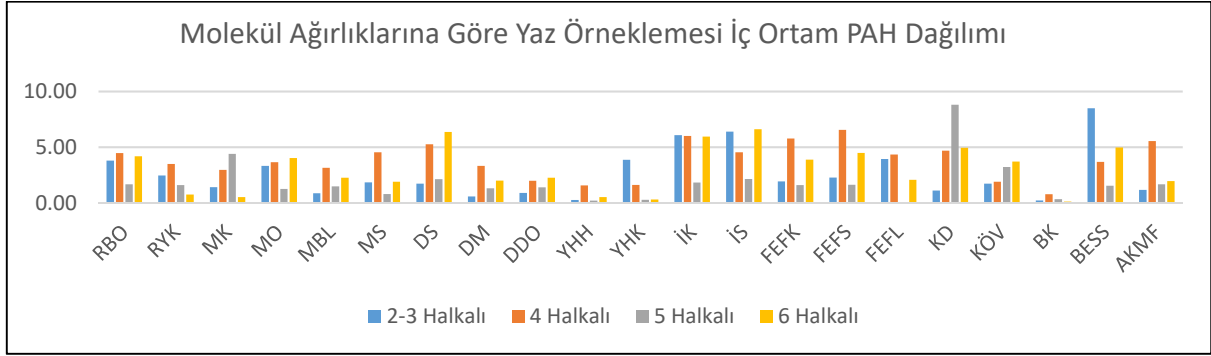
PAH Çeşidi	ORT.	MAK.	MİN.	MED.
Nap	4,42±5,19	24,91	0,33	3,61
Ace	1,58±1,48	4,68	0,01	1,00
Acy	0,05±0,05	0,10	0,01	0,04
Flu	0,26±0,17	0,55	0,07	0,20
Phe	6,83±5,49	16,80	0,42	6,31
Fla	3,80±2,40	9,74	0,44	3,23
Pyr	3,25±2,49	9,14	0,07	3,37
BaA	0,91±0,72	2,34	0,04	0,78
Chr	6,88±15,11	60,98	0,13	1,16
BbF	2,64±1,55	5,46	0,25	3,03
BkF	0,96±0,56	1,95	0,10	1,01
BaP	1,14±0,97	3,17	0,06	1,06
DaA	0,32±0,19	0,90	0,06	0,30
BgP	3,44±2,94	9,29	0,06	2,40
Ind	2,21±1,55	4,80	0,05	2,28

Yaz örnekleme PAH konsantrasyonları 60,98 ng/m³ ile 0,01 ng/m³ arasında değişmektedir. En yüksek konsantrasyonlar, molekül ağırlıklarına göre sırasıyla 4 halkalı, 5 halkalı, 2-3 halkalı ve 6 halkalı PAH bileşikler şeklinde tespit edilmiştir. Tablo 6'da verilen değerlerde iç ve dış ortam örneklerinin sonuçları birlikte verilmektedir. Yaz dönemi, molekül ağırlıklarına göre PAH gruplarının konsantrasyonları Şekil 5'te sunulmuştur.



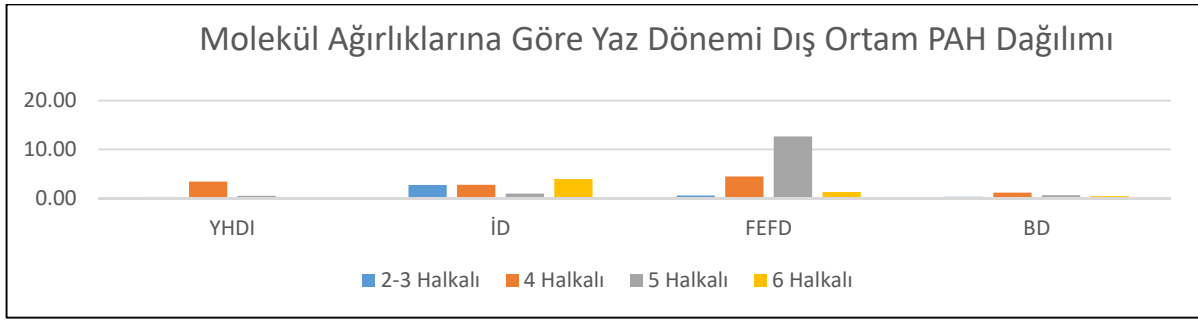
Şekil 5. Yaz Örnekleme PAH Dağılımı

Yaz dönemine ait iç ortam örnekleme sonuçlarında en yüksek ortalama PAH konsantrasyonu (5 halkalı) belirli dönemlerde havalandırmanın çalıştırıldığı Kütüphaneye ait depo bölümünde tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Yaz Dönemi İç Ortam PAH Dağılımı

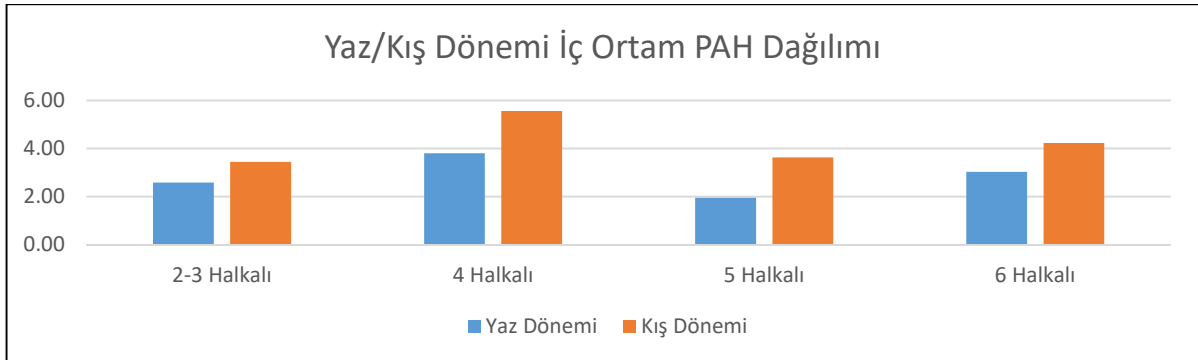
Yaz dönemine ait dış ortam örnekleme sonuçlarında ise en yüksek ortalama PAH konsantrasyonu (5 halkalı) olarak Fen Edebiyat Fakültesine ait otopark ve çıkış kapısının bulunduğu yoğun bir şekilde sigara dumanına maruz kalan noktada tespit edilmiştir (Şekil 7).



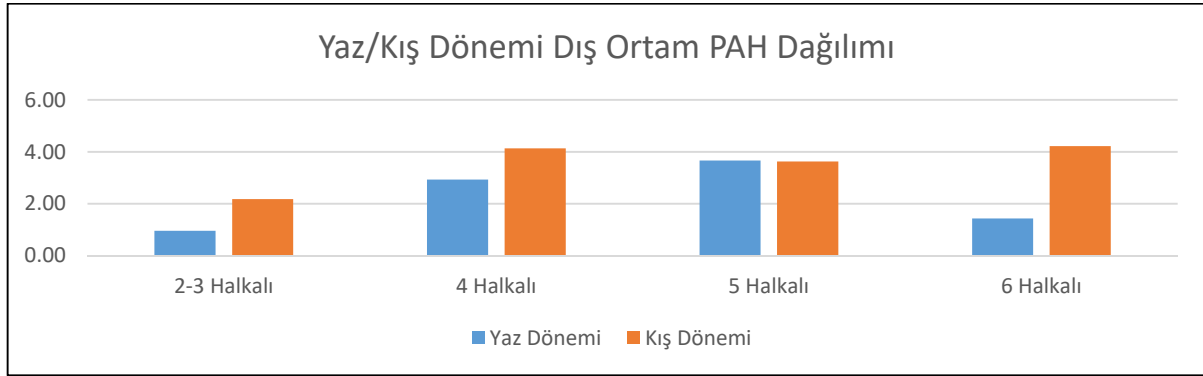
Şekil 7. Yaz Dönemi Dış Ortam PAH Dağılımı

4.3. İç ve dış ortam PAH konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Yaz ve kış dönemi örnekleme sonuçlarında PAH konsantrasyonları hem iç ortamda hem de dış ortamda kış döneminde yaz dönemine göre daha yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 8, 9).



Şekil 8. Yaz ve Kış Dönemi İç Ortam PAH Dağılımları



Şekil 9. Yaz ve Kış Dönemi Dış Ortam PAH Dağılımları

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

İç ve dış ortam PAH konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri incelendiğinde, halka sayıları dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Genel olarak bakıldığında hem iç ortam ve hem de dış ortamda kış dönemine ait örneklerde PAH konsantrasyonları çok daha yüksek seviyelerde tespit edilmiştir ve bu durum ısınma sezonu olması nedeniyle beklentilerde olduğu şekilde sonuçlanmıştır.
- İç ortamlarda; kış örnekleme dönemine ait konsantrasyonlar, yaz dönemine göre 2-3 halkalı, 4 halkalı ve 6 halkalı bileşiklerde yaklaşık olarak 1,4 kat daha yüksek, 5 halkalı bileşiklerde de yaklaşık olarak 2 kat daha yüksek seviyelerde bulunmuştur.
- Dış ortam örneklerinde de yine kış örnekleme döneminde, yaz örnekleme dönemine göre daha yüksek konsantrasyonlarda sonuç elde edilmiştir. Kış örnekleme döneminde, yaz örnekleme sonuçlarına göre 2-3 halkalı bileşikler yaklaşık olarak 2,4 kat, 4 halkalı bileşikler 1,45 kat ve 6 halkalı bileşikler de 2,9 kat daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Beş halkalı PAH bileşikler ise dış ortam örneklerinde mevsimsel farklılık göstermemiştir. Beş halkalı bileşikler, dış ortam örnekleme sonuçlarında sıkça karşılaştığımız sigara içimi ile alakalı bir kaynak olabileceği düşüncesini çağrıştırmakta ve sanki sürekli ve diğer kaynaklara göre daha baskın bir 5 halkalı PAH kaynağının var olduğu anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak, PAH bileşiklerinin ısınma sezonlarında çok daha yüksek değerlere ulaştığı, bunun en önemli nedeninin de sürekli kaynaklar arasında olan (yaz ve kış) trafik kaynağına ek olarak Bolu Şehir havasının da yerleşkeyi etkileyebildiği gözlemlenmektedir. Elbette ki bu artışta yerleşke içerisindeki ısınma amaçlı aktivitelerinde katkısının var olduğu düşünülmelidir.

Öneri: Bazı iç ortamlarda, dış ortama göre daha düşük PAH konsantrasyonlarına rastlanırken, bazı iç ortamlarda da dış ortama göre daha yüksek PAH konsantrasyonlarına rastlanılmıştır. Çalışma sonuçlandığında, ilgili fakülte veya birimlerin bina içi havalandırma konularında bilgilendirilmeleri planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)(1995), “Toxicological profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)”, Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service
- Carslaw, N. 2007. A new detailed chemical model for indoor air pollution. *Atmospheric Environment* 41: 1164-1179.
- Hautala, E. L., Reikola, R., Tarhanen, J., Ruuskanen, J. 1995. Deposition of motor vehicle emissions and winter maintenance along roadside assessed by snow analyses. *Environ. Pollut.* 87, 45-49.
- Krauss, M., Wilcke, W., Martius, C., Bandeira, A.G., Garcia, M.V.B., Amelung, W., 2005. Atmospheric versus biological sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a tropical rain forest environment. *Environ. Pollut.* 135, 143–154.
- Lane, D.A., 1988. The Fate of Polycyclic Aromatic Compounds in the Atmosphere and During Sampling. In *Chemical Analysis of Polycyclic Aromatic Compounds*, Vo-DINH T, ol. 101. Wiley, New York Comment: pp. 31–58,
- Lu, H., Zhu, L.Z., Chen, S.G. 2008. Pollution level, phase distribution and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor air at public places of Hangzhou China. *Environ. Pollut.* 152, 569-575.
- Menteşe, S., 2009. Bina İçi HAVA Kalitesinin Belirlenmesi ve Kaynaklarının Tespiti. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Osgood R. S., Upham B. L., Hill T., Helms K. L., Velmurugan K., Babica P., Bauer A. K. 2013. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Induced Signaling Events Relevant to Inflammation and Tumorigenesis in Lung Cells Are Dependent on Molecular Structure.8, 65150.
- Ravindra, K., Wauters, E., Van Grieken, R. 2008. Variation in particulate PAHs levels and their relation with the transboundary movement of the air masses. *Sci. Total. Environ.*, 396, 100–110.