

KAPALI SPOR SALONU İÇ ORTAM HAVASINDAKİ POLİSİKLİK AROMATİK HİDROKARBONLAR: KONSANTRASYON SEVİYELERİ VE SPORCU SOLUNUM MARUZİYETİ

Harun KURNAZ

Danışman: Doç. Dr. Yetkin DUMANOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Fiziksel aktivitenin insan sağlığı için temel bir işlev olmasıyla birlikte, kapalı spor tesislerinin sayısındaki artış iç ortam hava kalitesini önemli bir sorun haline getirmiştir. Özellikle spor salonlarında kullanılan petrol türevi zemin kaplama malzemeleri, polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) bileşiklerinin havaya salınmasına neden olmaktadır. Çalışmada ana PAH emisyon kaynağı olarak belirlenen geri dönüştürülmüş araba lastiğinden üretilen zemin kaplama malzemesinin iç ortamdaki emisyon ölçmek ve bu sonuçları sporcuların solunum maruziyetleri üzerinden değerlendirip sağlık etkileri incelenmiştir. Bulgular, iç ortamdaki gaz ve partikül fazdaki PAH seviyelerinin dış ortama göre yüksek olduğunu göstermektedir.

GİRİŞ

Hava kirliliği, hem iç hem de dış ortamdaki sağlık sorunlarına yol açan küresel bir problem olup, çoğu insan zamanının büyük kısmını kapalı alanlarda geçirmektedir ve iç ortam havası genellikle dışarıdan en az iki kat daha kirlidir. Özellikle kapalı spor salonları, insanların yoğun fiziksel aktivite yaptığı yerler olduğundan hava kalitesi büyük önem taşır. Spor salonlarında yaygın olarak kullanılan geri dönüştürülmüş kauçuk zemin kaplamaları, kanserojen özelliklere sahip polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) için önemli bir iç ortam kaynağıdır.

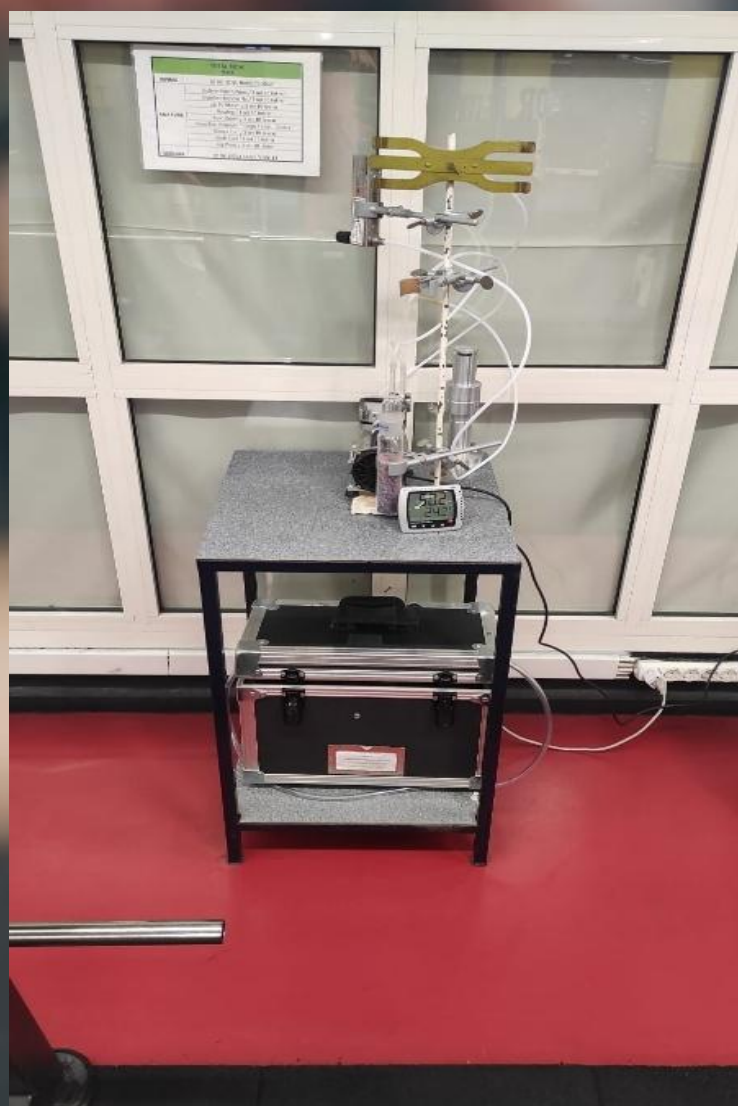
MATERYAL VE METOT

Örnekleme, 28 Nisan - 4 Mayıs 2025 tarihleri arasında, hafta içi (07:00-22:00) ve hafta sonu (08:30-22:00) çalışma saatleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Aktif örnekleme yöntemiyle, hem iç (insan solunum seviyesine yakın) hem de dış (binanın terasında aynı yükseklikte) eş zamanlı olarak PAH konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçümde hem gaz hem de partikül fazda (PM_{1.0})havada bulunan PAH konsantrasyonları tespit edilmiştir.



Şekil 1. Spor Salonun İçeriden Görünümü

Çalışmada, PM_{1.0} için Harvard impaktör ve cam elyaf filtreler (çap 37 mm), gaz fazı için ise Amberlite XAD-2 reçinesi ve poliüretan köpük (PUF) içeren kartuşlar kullanılmıştır. Örnekle debisi 15 L/dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Örnekleme Sistemleri



Şekil 3. PUF+XAD-2 kartuş ve cam yünü filtre



Spor salonunda etkinlik gerçekleştiren bireylerin iç ortamda bulunan PAH'lara solunum (inhalasyon) için maruziyetlerinin değerlendirilmesi ve kanserojen sağlık riski değerlendirmesi yapılmıştır. Solunum maruziyetinin tahmini için, USEPA (2011) tarafından önerilen aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Denklem 1).

$$CDI_i = \frac{C_i \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT} \quad (\text{Denklem 1})$$

Denklemde,

- C_i , her PAH bileşiği konsantrasyonu için benzo(a)piren eşdeğerleri (ng/m³);
- IR, inhalasyon hızı (m³/gün); ED, maruziyet süresi (yıl),
- EF, maruziyet sıklığıdır (gün/yıl), BW, vücut ağırlığıdır (kg),
- AT, ortalama zamandır (ED × 365 gün/yıl) olarak ifade edilmektedir.
- CDI_i , inhalasyon yoluyla kronik günlük alımdır (ng/kg.gün).

Σ₁₆PAH'lara maruz kalma ve bunların solunmasıyla ilişkili kanser riskleri, Denklem (2) (USEPA, 2005; USEPA, 1996) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R = CDI \times SF \quad (\text{Denklem 2})$$

(Burada R aşırı kanser riski, SF kirleticilerin eğim faktörüdür. 16 PAH bileşiği için SF değeri 3,91 (mg/(kg.gün)) olarak alınmıştır (CalEPA , 2015).

SONUÇLAR

Spor salonunda spor aletlerini bulunduğu ve salonun yaklaşık %85'nin kaplı olduğu zemin malzemesini PAH içeriğinin belirlenmesi amacıyla örnekler alınmıştır. Geri dönüştürülmüş kauçuk malzemelerin toplam PAH konsantrasyonları ve baskın bileşiklerin hangileri olduğu açıklanmaya çalışılmıştır. Salona döşeme işlemleri sırasında yedek olarak tutulan 4 adet kareden farklı noktalarından örnekler alınmış tüm örnekler homojen hale getirilmiş ve dört farklı örnek analiz edilmiştir.

KAYNAKLAR

USEPA (2005). *Guidelines for Carcinogen Risk Assessment*. EPA/630/P-03/001F, March 2005. USEPA (1996). *Exposure Factors Handbook* (EPA/600/P-95/002Fa). Office of Research and Development, Washington, DC.



Tablo 1. Geri dönüştürülmüş kauçuktan üretilmiş yer kaplama malzemesi PAH konsantrasyonları (mg/kg)

PAH Bileşikleri	ZEMİN-01	ZEMİN-02	ZEMİN-03	ZEMİN-04	ORT*	SS**
Naftalin (Naph)	0,33	0,28	0,21	0,20	0,25	0,06
Asenaftilen (ACY)	0,29	0,26	0,30	0,30	0,29	0,02
Asenaften (ACT)	0,18	0,15	0,17	0,16	0,16	0,01
Floren (FLN)	5,08	4,16	5,04	4,29	4,64	0,48
Fenantren (PHE)	34,14	32,23	32,08	30,15	32,15	1,63
Antrasen (Ant)	7,93	7,30	8,41	8,27	7,98	0,50
Floranten (FL)	31,70	26,99	34,75	34,77	32,05	3,67
Piren (PY)	33,50	29,89	34,80	35,20	33,35	2,42
Benz(a)antrasen (BaA)	4,35	2,89	6,17	7,34	5,19	1,96
Krizen (CHR)	5,97	4,36	7,66	8,31	6,58	1,77
Benzo(b)Floranten (BbF)	1,77	1,23	4,52	6,77	3,57	2,57
Benzo(k)Floranten (BkF)	0,89	0,43	3,31	3,30	1,98	1,54
Benzo(a)piren (BaP)	1,24	0,95	3,55	4,33	2,52	1,68
Indeno(1,2,3-cd)piren (IcdP)	0,11	0,11	0,32	0,73	0,32	0,29
Dibenz(a,h)antrasen (DahA)	0,06	0,05	0,16	0,24	0,13	0,09
Benzo(g,h,i)perilen (BghiP)	0,87	0,93	0,94	1,32	1,02	0,21
TOPLAM	128,40	112,20	142,39	145,67	132,17	15,27

Naftalin, asenaftilen, asenaften, floren ve fenantren gibi 2 ve 3 halkalı PAH bileşiklerin zemin kaplama malzemesindeki toplam PAH konsantrasyonlarına yüksek katkı değerleri nedeniyle baskın bileşikler olmasına rağmen partikül fazdaki toplam PAH konsantrasyonuna önemli katkıları görülmemiştir. 4 halkalı floranten ve piren bileşiklerinin zemin malzemesindeki en yüksek konsantrasyona sahip bileşikler olması ve bu bileşiklerin dış havadan farklı olarak sadece iç ortam havasında tespit edilmesi iç ortamdaki hava kalitesini etkileyen PAH bileşikleri olduklarını göstermiştir.

Tablo 2. Partikül faz PAH konsantrasyonlarının değişimi (mg/kg)

PAH Bileşikleri	İÇ ORTAM							PAH Bileşikleri	DIŞ HAVA						
	1. GÜN	2. GÜN	3. GÜN	4. GÜN	5. GÜN	6. GÜN	7. GÜN		1. GÜN	2. GÜN	3. GÜN	4. GÜN	5. GÜN	6. GÜN	7. GÜN
Naftalin	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	Naftalin	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Asenaftilen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	Asenaftilen	t.l.a.	5,59	t.l.a.	t.l.a.	5,81	1,78	t.l.a.
Asenaften	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	Asenaften	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Floren	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	Floren	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Fenantren	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	Fenantren	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Antrasen	8,89	t.l.a.	5,37	8,00	6,06	9,34	14,43	Antrasen	14,28	15,11	15,09	8,05	10,03	9,68	7,43
Floranten	12,17	t.l.a.	16,11	19,01	21,03	28,16	22,81	Floranten	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Piren	12,86	t.l.a.	12,56	15,83	16,69	23,07	17,63	Piren	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Benz(a)antrasen	3,81	t.l.a.	0,61	0,50	2,03	3,24	2,65	Benz(a)antrasen	2,89	3,16	2,02	0,53	2,70	1,83	4,18
Krizen	4,94	t.l.a.	6,55	4,84	3,13	5,27	2,08	Krizen	5,60	4,57	3,50	1,41	5,45	3,35	t.l.a.
Benzo(b)Floranten	13,83	2,64	5,05	4,13	3,84	6,03	3,97	Benzo(b)Floranten	4,94	2,96	5,89	3,15	7,77	5,38	t.l.a.
Benzo(k)Floranten	16,67	5,09	6,54	2,79	3,77	8,72	5,34	Benzo(k)Floranten	7,79	4,39	4,52	3,26	6,31	5,95	t.l.a.
Benzo(a)piren	12,75	6,93	6,63	6,28	7,01	6,31	8,56	Benzo(a)piren	9,36	7,67	5,48	3,62	8,93	4,56	5,32
Indeno(1,2,3-cd)piren	9,89	2,74	3,35	1,55	3,42	3,81	1,55	Indeno(1,2,3-cd)piren	4,17	2,95	2,56	1,10	3,19	2,75	0,13
Dibenz(a,h)antrasen	6,67	3,50	2,36	2,27	3,64	5,32	4,79	Dibenz(a,h)antrasen	2,27	3,60	2,20	2,65	3,50	2,87	3,57
Benzo(g,h,i)perilen	16,22	4,95	7,48	3,59	7,58	11,18	5,11	Benzo(g,h,i)perilen	7,19	5,17	5,30	1,67	6,54	5,83	2,59
TOPLAM	118,7	25,8	72,6	68,8	78,2	110,4	88,9	TOPLAM	58,5	55,2	46,6	25,4	60,2	44,0	23,2

İki halkalı PAH bileşiği naftalin, iç ortam havasında gaz faz toplam PAH konsantrasyonuna en büyük katkı sağlayan bileşik olmuştur.

Naftalin'in iç ortam ve dış hava da benzer konsantrasyonlarda bulunması, iç ortam havasının dış havadan etkilenebileceğini düşündürmektedir. Zemin kaplama malzemeleri dışında bir kaynağı bu bileşik için etki yaratabileceği düşünülmemektedir.

Tablo 3. Gaz faz PAH konsantrasyonlarının değişimi (ng/m³)

PAH Bileşikleri	İÇ ORTAM							PAH Bileşikleri	DIŞ HAVA						
	1. GÜN	2. GÜN	3. GÜN	4. GÜN	5. GÜN	6. GÜN	7. GÜN		1. GÜN	2. GÜN	3. GÜN	4. GÜN	5. GÜN	6. GÜN	7. GÜN
Naftalin	93,70	56,30	29,41	12,77	79,52	29,28	103,89	Naftalin	86,47	19,35	22,24	71,77	5,30	26,58	57,59
Asenaftilen	11,71	7,12	0,45	0,46	13,91	0,59	17,01	Asenaftilen	14,43	0,51	0,59	10,10	0,06	0,73	13,75
Asenaften	4,38	4,69	0,66	1,11	3,98	1,31	4,03	Asenaften	3,52	1,01	1,20	3,19	t.l.a.	1,84	3,72
Floren	4,87	3,50	1,07	1,43	5,17	1,84	4,95	Floren	5,08	1,47	1,56	5,65	t.l.a.	2,03	4,90
Fenantren	19,30	12,29	5,80	9,87	16,21	9,51	15,80	Fenantren	17,17	6,29	7,41	21,93	t.l.a.	12,43	17,63
Antrasen	1,19	0,93	0,45	0,35	1,28	0,57	1,21	Antrasen	1,32	0,44	1,12	1,03	t.l.a.	0,52	1,18
Floranten	1,65	1,11	0,23	0,45	1,31	0,39	1,29	Floranten	1,54	t.l.a.	t.l.a.	1,77	t.l.a.	0,56	1,36
Piren	1,78	1,44	0,26	0,41	1,80	0,45	1,60	Piren	1,93	0,22	t.l.a.	1,82	t.l.a.	0,61	1,66
Benz(a)antrasen	0,02	0,05	0,04	t.l.a.	0,03	0,02	0,05	Benz(a)antrasen	0,08	0,07	0,25	0,06	0,07	0,02	0,14
Krizen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	Krizen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Benzo(b)Floranten	0,08	0,04	0,06	0,10	0,03	t.l.a.	0,10	Benzo(b)Floranten	0,13	0,09	0,10	0,09	t.l.a.	t.l.a.	0,03
Benzo(k)Floranten	0,11	0,03	0,07	0,07	0,04	t.l.a.	t.l.a.	Benzo(k)Floranten	0,03	0,03	0,05	0,05	0,11	0,03	0,03
Benzo(a)piren	0,05	t.l.a.	0,04	0,02	0,05	t.l.a.	0,05	Benzo(a)piren	0,05	t.l.a.	t.l.a.	0,03	0,02	t.l.a.	t.l.a.
Indeno(1,2,3-cd)piren	t.l.a.	0,01	0,02	0,01	t.l.a.	t.l.a.	0,01	Indeno(1,2,3-cd)piren	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Dibenz(a,h)antrasen	0,07	0,04	t.l.a.	t.l.a.	0,03	t.l.a.	t.l.a.	Dibenz(a,h)antrasen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
Benzo(g,h,i)perilen	0,08	0,07	0,15	0,05	t.l.a.	0,07	t.l.a.	Benzo(g,h,i)perilen	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.	t.l.a.
TOPLAM	139,00	87,64	38,71	27,10	123,37	44,03	149,99	TOPLAM	131,73	29,46	34,52	117,48	5,56	45,34	102,00

Tablo 4. Kapalı spor salonunda bulunan sporcuların PAH'lara soluma yoluyla maruziyeti ile oluşan yaşam boyu kanser riski (R-Birimsiz)

PAH Bileşikleri	İÇ ORTAM						
	1. GÜN	2. GÜN	3. GÜN	4. GÜN	5. GÜN	6. GÜN	7. GÜN
Naftalin	3,3x10 ⁻⁷	2,0x10 ⁻⁷	1,0x10 ⁻⁷	4,5x10 ⁻⁸	2,8x10 ⁻⁷	1,0x10 ⁻⁷	3,7x10 ⁻⁷
Asenaftilen	4,2x10 ⁻⁸	2,5x10 ⁻⁸	1,6x10 ⁻⁹	1,6x10 ⁻⁹	4,9x10 ⁻⁸	2,1x10 ⁻⁹	6,0x10 ⁻⁸
Asenaften	1,6x10 ⁻⁸	1,7x10 ⁻⁸	2,3x10 ⁻⁹	4,0x10 ⁻⁹	1,4x10 ⁻⁸	4,7x10 ⁻⁹	1,4x10 ⁻⁸
Floren	1,7x10 ⁻⁸	1,2x10 ⁻⁸	3,8x10 ⁻⁹	5,1x10 ⁻⁹	1,8x10 ⁻⁸	6,5x10 ⁻⁹	1,8x10 ⁻⁸
Fenantren	6,9x10 ⁻⁸	4,4x10 ⁻⁸	2,1x10 ⁻⁸	3,5x10 ⁻⁸	5,8x10 ⁻⁸	3,4x10 ⁻⁸	5,6x10 ⁻⁸
Antrasen	4,2x10 ⁻⁸	3,3x10 ⁻⁸	1,6x10 ⁻⁸	1,3x10 ⁻⁸	4,5x10 ⁻⁸	2,0x10 ⁻⁸	4,3x10 ⁻⁸
Floranten	5,9x10 ⁻⁹	4,0x10 ⁻⁹	8,3x10 ⁻¹⁰	1,6x10 ⁻⁹	4,7x10 ⁻⁹	1,4x10 ⁻⁹	4,6x10 ⁻⁹
Piren	6,3x10 ⁻⁹	5,1x10 ⁻⁹	9,1x10 ⁻¹⁰	1,5x10 ⁻⁹	6,4x10 ⁻⁹	1,6x10 ⁻⁹	5,7x10 ⁻⁹
Benz(a)antrasen	7,6x10 ⁻⁹	1,8x10 ⁻⁸	1,6x10 ⁻⁸		1,2x10 ⁻⁸	8,2x10 ⁻⁹	1,9x10 ⁻⁸
Benzo(b)Floranten	2,9x10 ⁻⁸	1,5x10 ⁻⁸	2,1x10 ⁻⁸	3,4x10 ⁻⁸	9,9x10 ⁻⁹		3,6x10 ⁻⁸
Benzo(k)Floranten	4,0x10 ⁻⁸	8,9x10 ⁻⁹		2,4x10 ⁻⁸	1,5x10 ⁻⁸		
Benzo(a)piren	1,7x10 ⁻⁷			1,4x10 ⁻⁷	8,1x10 ⁻⁸	1,7x10 ⁻⁷	1,7x10 ⁻⁷
Indeno(1,2,3-cd)piren		2,8x10 ⁻⁹	5,3 x10 ⁻⁹	2,1x10 ⁻⁹			2,5x10 ⁻⁹
Dibenz(a,h)antrasen	2,6x10 ⁻⁷	1,5x10 ⁻⁷			1,2x10 ⁻⁷		
Benzo(g,h,i)perilen	2,8x10 ⁻⁹	2,5x10 ⁻⁹	5,5x10 ⁻⁹	1,9x10 ⁻⁹		2,6x10 ⁻⁹	
TOPLAM	1,0x10 ⁻⁶	5,4x10 ⁻⁷	3,6x10 ⁻⁷	2,5x10 ⁻⁷	8,1x10 ⁻⁷	1,9x10 ⁻⁷	8,0x10 ⁻⁷

DEĞERLENDİRME

Ölçümler, yoğun kullanım sırasında PAH seviyelerinin dış ortama kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu artış, yetersiz havalandırma ve kauçuk zeminde kullanılan geri dönüştürülmüş lastikler ilişkilendirilmiştir. Egzersiz sırasında artan solunum hızıyla birlikte PAH maruziyeti risk oluşturmaktadır. Sonuç olarak, iç hava kalitesinin düzenli izlenmesi ve düşük emisyonlu malzeme kullanımı ve mekanik havalandırmaya geçilmesi önerilmektedir.