

**DÜĞÜN SALONLARINDA KULLANILAN HAVAI FİŞEKLERİN
İÇ ORTAM HAVASINDAKİ İNCE PARTİKÜLLERDE METAL
İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Mert KARAÇALI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜĞÜN SALONLARINDA KULLANILAN HAVAI FİŞEKLERİN İÇ ORTAM
HAVASINDAKİ İNCE PARTİKÜLLERDE METAL İÇERİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Mert KARAÇALI
Orcid no: 0000-0003-2758-0458

Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Mert KARAÇALI tarafından hazırlanan “Düğün Salonlarında Kullanılan Havai Fişeklerin İç Ortam Havasındaki İnce Partiküllerde Metal İçeriklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK
Orcid no: 0000-0001-7536-0332

Başkan : Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid no: 0000-0001-7536-0332

İmza


Üye : Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid no: 0000-0002-2544-9862

İmza


Üye : Doç. Dr. Burcu ONAT
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid no: 0000-0002-3036-2809

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
.././.....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/09/2019

Mert KARAÇALI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÜĞÜN SALONLARINDA KULLANILAN HAVAI FİŞEKLERİN İÇ ORTAM HAVASINDAKİ İNCE PARTİKÜLLERDE METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Mert KARAÇALI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK

Bu çalışmada Bursa'daki bazı düğün salonlarında eğlence amaçlı patlatılan meşalelerin havalandırmanın yetersiz olduğu iç ortamda ince partiküllerin konsantrasyonlarında ve içeriğinde nasıl bir değişiklik meydana getirdiği incelenmiştir. Kaskat kişisel maruziyet partikül örnekleyici kullanılarak iç ortamdan toplanan hava örnekleri üzerinde PM boyut konsantrasyonu ve metal tayinleri yapılmıştır.

Salonlarda 5 aşamalı Sioutas sıralı örnekleyici kullanılarak gerçekleştirilen örneklemeler sonucunda belirlenen partikül maddelerin ortalama konsantrasyonları $PM_{>2.5}$, $PM_{1.0-2.5}$, $PM_{0.5-1.0}$, $PM_{0.25-0.5}$ ve $PM_{<0.25}$ boyut aralıkları için sırasıyla $2,2 \text{ mg/m}^3$, $1,91 \text{ mg/m}^3$, $1,54 \text{ mg/m}^3$, $2,0 \text{ mg/m}^3$ ve $2,25 \text{ mg/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. İnce partiküllerin toplam partiküllere oranı %61,5 ile %91,5 aralığında değişim göstermiştir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından $PM_{2.5}$ için belirlenen sınır değerin tüm salonlarda 171,4 ve 685,7 kat arasında aşıldığı belirlenmiştir.

Farklı boyut aralığındaki metallerin konsantrasyonları ICP-MS ile belirlenmiştir. Fe, Ti, Sn, Al, Sr, Sb, Zn metallerine ait konsantrasyon değerleri $\mu\text{g/m}^3$ cinsinden hesaplanmış ve en yüksek konsantrasyonlar Al, Zn ve Fe elementi için sırasıyla $1269,77 \mu\text{g/m}^3$, $1877,06 \mu\text{g/m}^3$, $175,9 \mu\text{g/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Ülkemizde bu iç ortam kirleticileri için yasal bir düzenleme olmadığından sonuçlar OSHA'daki limitler ile kıyaslanmış ve Al ($PM_{2.5}$) ile Fe ($PM_{2.5}$) konsantrasyonlarının OSHA tarafından izin verilen sınır değeri geçmediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaskat, Kişisel maruziyet, Meşale, Gösteri, Hava kirliliği

2019, ix + 91 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF METAL CONTENT OF FINE PARTICLES IN INDOOR AIR
OF FIREWORKS USED IN WEDDING HALLS

Mert KARAÇALI

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof Dr. S. Sıddık CİNDORUK

In this study, it was investigated how some gerbs (firework fountains) exploded in some wedding halls in Bursa caused a change in the concentration and content of fine particles in the indoor environment where ventilation is insufficient. PM size concentrations and metal determinations were performed on air samples collected from the indoor environment by using cascade personal exposure particle sampler.

Sampling was performed using a 5-step Sioutas Personal Cascade Impactor. The mean concentrations of the particulate matter for the " PM_{>2.5}, PM_{1.0-2.5}, PM_{0.5-1.0}, PM_{0.25-0.5} ve PM_{<0.25}" size ranges are respectively determined as follows; 2,2 mg/m³, 1,91 mg/m³, 1,54 mg/m³, 2,0 mg/m³ ve 2,25 mg/m³. The ratio of fine particles to total particles varied from 61.5% to 91.5%. WHO has set a limit for PM_{2.5}. It was determined that this value was exceeded between 171,4 and 685,7 times in all halls.

Concentrations of metals in different size ranges were determined by ICP-MS. The concentration values of Fe, Ti, Sn, Al, Sr, Sb, Zn metals were calculated in µg / m³. The highest concentrations were found as 1269,77 µg / m³, 1877.06 µg / m³, 175.9 µg / m³ for Al, Zn and Fe, respectively. There is no legal regulation for these indoor pollutants in Turkey. Therefore, the results are compared with the OSHA. It was found that the concentrations of Al (PM_{2.5}) and Fe (PM_{2.5}) did not exceed the permissible limit values OSHA.

Key words: Cascade, Personal exposure, Fireworks, Festival, Air pollution

2019, ix + 91 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yanımda olup, tez çalışmasının konusunun belirlenmesinde ve tez çalışmamın her adımında desteğini ve bilgisini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK'a ve değerli jüri üyelerimize sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazımında ve tez çalışmasının oluşturulmasındaki değerli katkılarından dolayı İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü akademik personellerinden Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN ve Doç. Dr. Burcu ONAT'a, Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Atık Yönetimi Şube Müdürü ve Çevre Yüksek Mühendisi Yıldız ODAMAN CİNDORUK'a, Çevre Yüksek Mühendisi Mecit YILDIZ'a, Çevre Mühendisi Dinçer DİLEKOĞLU'na, bölümümde görev yapan ve desteğini gördüğüm bölüm öğretim üyelerine,

Beni her zaman maddi manevi içtenlikle destekleyen ve yanımda olan babam Mehmet KARAÇALI'ya ve annem Nuriye KARAÇALI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mert KARAÇALI
12/09/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Hava Kirliliği	3
2.1.1. Dış ortam hava kirleticiler ve etkileri.....	4
2.1.2. İç ortam hava kirliliği.....	7
2.2. Limit Değerler ve Standartlar.....	13
2.3. Partikül Madde (PM).....	18
2.4. Gösterilerde kullanılan patlayıcı/parlayıcı maddeler	20
2.4.1. Piroteknik bileşenler ve çeşitleri	22
2.4.2. Pirotekniklerin kimyası	26
2.4.3. Piroteknik ürünlerin yapımında kullanılan element ve bileşiklerin özellikleri.....	30
2.4.4. Yanma reaksiyonları ve termal dekompozisyon	36
2.5. Hava Kirliliği ve Pirotekniklerin Olumsuz Etkileri	38
2.5.1. İşitme kaybı.....	41
2.5.2. Çocuklara etkisi.....	42
2.5.3. Gürültü	42
2.5.4. Sağlığa olan diğer zararları	42
2.5.5. Göz yaralanmaları	43
2.5.6. Ciğerlerin zarar görmesi.....	43
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	47
3.1. Örnek Alma ve Analizlerde Kullanılan Cihazlar	47
3.2. Ekstraksiyon (Ayrıştırma).....	55

3.3. Metallerin Analizi	57
3.4. Hesaplamalar.....	59
3.4.1. Partikül maddelerin kütle konsantrasyon hesaplamaları.....	59
3.4.2. Element konsantrasyonları hesabı.....	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1. Partikül Madde Kütle Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi.....	61
4.2. Farklı Boyutlardaki Partikül Maddelerin Metal İçerikleri	69
5. SONUÇ	82
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
As	Arsenik
Ba	Baryum
Be	Berilyum
Cd	Kadmiyum
C ₆ H ₆	Benzen
Co	Kobalt
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
dB	desibel
dp	Partikül çapı
Fe	Demir
HCl	Hidroklorik asit
Hg	Cıva
Hz	Hertz
In	İndiyum
K	Potasyum
kg	kilogram
km	kilometre
l/dk	litre/dakika
m ³	Metreküp
mg	miligram
Mg	Magnezyum
ml	mililitre
mm	milimetre
Mn	Manganez
N ₂ O	Diazot oksit
N ₂ O ₃	Diazot trioksit
N ₂ O ₄	Diazot tetraoksit
N ₂ O ₅	Diazot pentaoksit
NH ₃	Amonyak
Ni	Nikel
nm	nanometre
NO ₂	Azotdioksit
NO _x	Azotoksitler
O ₂	Oksijen
O ₃	Ozon
Pb	Kurşun
ppb	part per billion (milyarda bir)
ppm	part per million (milyonda bir)

S	Kükürt
Sb	Antimon
Sb ₂ S ₃	Antimon trisülfid
Se	Selenyum
Si	Silisyum
Sn	Kalay
sn	saniye
SO ₂	Kükürtdioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
Sr	Stronsiyum
Ti	Titanyum
Zn	Çinko
µg	Mikrogram
µm	Mikrometre
°C	Santigrat derece

Kısaltmalar Açıklama

AB	Avrupa Birliği
AQI	Air Quality Index (Hava kalite indexi)
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Müh. Derneği)
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
HC	Hidrokarbon
HKDYY	Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HSE	Health and Safety Executive
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
NIOSH	Nacional Institute of Occupational Safety and Health (Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı)
PM	Partikül madde
PM _{2.5}	İnce partikül
PM ₁₀	Kaba partikül
PVA	Polivinil alkol
PVC	Polivinil klorid
REL	Reccomended Exposure Limits (Tavsiye edilen maruziyet limitleri)
SBS	Sick Building Syndrom (Hasta Bina Sendromu)
SKHKKY	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TBS	Tight Building Syndrom (Kapalı Bina Sendromu)
TSP	Total Suspended Particles (Toplam askıda partikül)
VOC	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. İç ortam hava kirliliğinin oluşumu	9
Şekil 2.2. İnsan saçı ve partiküller arasındaki boyut karşılaştırması	19
Şekil 2.3. Havai fişeklerin çeşitleri	23
Şekil 2.4. Volkanların yanmasının diyagramsal gösterimi	25
Şekil 2.5. Havai fişeklerin yapısı	29
Şekil 3.1. Örnekleme yapılan patlayıcı/parlayıcı materyallere ait resimler	49
Şekil 3.2. Eğlence amaçlı kullanılan patlayıcı/parlayıcı maddelerin patlatılma anı	49
Şekil 3.3. Örneklemede kullanılan filtreler	50
Şekil 3.4. SKC Leland Legacy pompa	52
Şekil 3.5. Sioutas sıralı örnekleyici	53
Şekil 3.6. Tartımlarda kullanılan Precisa marka hassas tartı	54
Şekil 3.7. Desikatörde filtrelerin neminin alınması	55
Şekil 3.8. MARS5 mikrodalga cihazı	57
Şekil 3.9. ICP-MS temel bileşenleri	58
Şekil 4.1. Örnekleme yapılan salonlardaki partikül madde boyut dağılımları	62
Şekil 4.2. İnce ve kaba partiküllerin toplam asılı partiküller içindeki yüzdesi (%)	66
Şekil 4.3. Tüm salonlarda ölçülen farklı boyut aralıklarındaki partiküllerin yüzdeleri ..	67
Şekil 4.4. Örnekleme yapılan salonlardaki PM konsantrasyon dağılımları	68
Şekil 4.5. Metal konsantrasyonlarının düşük salonları ve partikül çapına göre dağılımları	71
Şekil 4.6. Metallerin, PM >2,5 ve PM _{2,5} konsantrasyon oranları	76
Şekil 4.7. Farklı partikül boyutlarında incelenen element konsantrasyonları	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. İç hava kirleticilerin potansiyel kaynakları.....	12
Çizelge 2.2. Maksimum değerler, uyarı ve değerlendirme limitleri	14
Çizelge 2.3. İç ortamlarda mevcut bazı kirleticilerin kaynakları, olası mümkün konsantrasyonları ile iç/dış konsantrasyon oranları	16
Çizelge 2.4. Türkiye, İngiltere ve OSHA’da izin verilen metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması	17
Çizelge 2.5. Tüketici havai fişeklerinde kullanılan başlıca oksidanlar ve indirgeyiciler ile bunların ana kullanım alanları.....	27
Çizelge 2.6. Havai fişeklerde renk efektleri için kullanılan maddeler.....	28
Çizelge 2.7. Partikül boyutu ve solunum sistemine etkileri.....	39
Çizelge 3.1. Örnekleme yapılan maddelerin özellikleri	47
Çizelge 4.1. Farklı boyut aralığındaki partikül madde konsantrasyonları (mg/m ³).....	61
Çizelge 4.2. 5 farklı boyuttaki partikül konsantrasyonlarının istatistiksel değerleri.....	67
Çizelge 4.3. Partikül maddelerin boyut dağılımına göre metal konsantrasyonları	69

1. GİRİŞ

Hava kirliliği dünya çapında çoğu şehirleşmiş çevrenin kaçınılmaz gerçeğidir ve bu sebepten artan hastalıklar ve ölüm yükü nedeniyle herkesi ilgilendirmektedir. Dünya çapında bir milyardan fazla insan kabul edilemez hava kalitesine sahip bölgelerde yaşamaktadır (Onat 2015).

Modern yaşam hızla değişip gelişmektedir. Bunun sonucu olarak da hava kirliliği, büyük toplulukların bir arada yaşadığı şehirlerde hayatı olumsuz etkileyen etmenlerden biri durumuna gelmiştir. Hava kirliliği insan sağlığını olumsuz etkilediğinden dolayı uluslararası olarak alınan önlemler mevcuttur. Ayrıca ülkeler kendi bünyelerinde de bu sorunu çözebilmek adına kendi politikalarını oluşturup, kirlilik önleyici çalışmalarını uluslararası standartlar doğrultusunda devam ettirmektedirler.

Birleşmiş Milletler'in kurucu üyelerinden biri olan ülkemiz, Dünya Çalışma Örgütü'nün de doğal üyesi konumundadır. Ülkemiz, "İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu" ile Uluslararası Çalışma Örgütü'nün İş Sağlığı ve Güvenliği ve Çalışma Ortamına İlişkin Sözleşmesini onaylamıştır. Buna ek olarak Dünya Sağlık Örgütü'nün de doğal üyesi konumunda olan ülkemiz, Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) belirlediği Hava Kalite Standartlarını kendi sınır değerlerimize göre belirleyip "Hava Kalite İndeksini" oluşturmuştur (Hoşten ve Yalbay 2018).

Yoğun endüstrileşme ve ısınma için fosil yakıt kullanımı sonucu oluşan hava kirliliği problemleri 1950'lerden itibaren ön plana çıkmış ve önem kazanmıştır. Ancak günümüzde iç ortam kirleticilerine olan maruziyetin önemli bir morbidite ve mortalite nedeni olduğu konusundaki deliller de gittikçe artmaktadır.

İç ortam hava kirliliği, insanların vakitlerinin büyük çoğunluğunu geçirdikleri ev, okul, ticari ve idari ofis binaları, hükümet binaları gibi endüstri harici binaların ortam havasında bulunan kirleticilerin sağlığa olan etkilerinden korunması amacıyla gelişen ve halkın ilgisini çeken konulardan biridir (Güllü 2013).

Amerika’da gerçekleştirilen bir araştırmada, çalışan insanların zamanlarının %2’si kadarını dışarıda, %6’sını ulaşımda, %92 gibi büyük bir kısmını da kapalı ortamlarda geçirdiği belirlenmiştir (Hoşten ve Yalbay 2018).

Dünya Sağlık rgt (DSÖ) pek çok risk faktörünün küresel hastalık yüküne olan etkilerini incelemiş ve iç ortam kirliliğinin küresel hastalık yükünün %2,7’sinden sorumlu, sekizinci neden olduğunu ortaya koymuştur (Güllü 2013).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Bursa’da bulunan 10 farklı düğün salonunda eğlence amaçlı kullanılan patlayıcı/parlayıcı maddelerin patlatılmasından kaynaklanan partikül maddelerin rnekleme Sioutas sıralı Örnekleyci ve Leland Legacy pompa yardımıyla gerçekleştirilmiş, partikül maddelerin boyut dağılımları ve element (Fe, Ti, Sn, Al, Sr, Sb, Zn) konsantrasyonları hesaplanmış ve çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hava Kirliliği

Hava kirliliği; havanın bileşimini değiştiren katı, sıvı ve gaz halde bulunabilen kirleticilerin, insanların sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zarar verecek miktar veya sürelerde atmosferde bulunmasıdır (Cuci ve Polat 2015). Genel olarak hava kirleticileri, partikül maddeler (PM) ve gazlar şeklinde ifade edilmektedir. Gazlar; kükürt dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), ozon (O₃), amonyak (NH₃), azot dioksit (NO₂), uçucu organik bileşikler (VOCs) ve gaz halindeki hidrokarbonlar (HC) olarak kabul görünürken, partikül maddeler ise ince partiküller (PM_{2.5}, PM₁) ve kaba partiküllerdir (PM₁₀). Kaba partiküller hareket halindeki araçların yollardaki tozu ezmesi ve bunların havalanması gibi süreçler sonucu oluşurken, ince partiküller ise termik santraller, bazı endüstriye süreçler, taşıtlar ve odun yakılması gibi süreçler sonucunda oluşmaktadır (Güneş ve ark. 2015). Bu tipteki kirleticiler birincil kirleticiler olarak kabul görünürken, bunların atmosferdeki türevleri de (O₃ gibi) ikincil kirleticiler olarak adlandırılır (Cuci ve Polat 2015).

Hava kirleticileri atmosferin bileşim ve kimyasında değişikliklere neden olabilir. Bu da küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, insan, hayvan, bitki ve malzemelerde istenmeyen etkilerle sonuçlanır.

CO, NO_x (NO + NO₂), SO₂ ve PM içeren kriterler hava kirletici maddeleri genellikle ortam havasının kalite parametreleri olarak kabul edilir. Karbon monoksit (CO) atmosferde önemli bir eser gazdır ve hem doğal hem de antropojenik kaynakları vardır. Azot oksit (NO) ve azot dioksitin (NO₂) kombinasyonu olarak adlandırılan azot oksitlerin ana kaynağı yanma işlemidir, bu nedenle herhangi bir toplulukta çok sayıda NO_x kaynağı vardır. Toplam NO_x emisyonlarının önemli bir kısmından mobil kaynaklar sorumludur. NO_x, fotokimyasal reaksiyonların birincil girdi reaktiflerinden biridir.

Kükürt içeren yakıtların yanması başlıca kükürt oksit kaynaklarıdır. Genel olarak sabit yanma kaynaklarından yayılırlar. Yanma gazlarında kükürt dioksitin (SO₂) kükürt

trioksite (SO₃) oranı% 90'dan fazladır. Küresel ölçekte, SO₂'nin yaklaşık % 60'ının kömür yanmasından, %30'unun da petrolün rafine edilmesinden ve yanmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Taşdemir ve ark. 2005).

Hava kirliliği, atmosferin doğal süreçlerini bozarken, insan sağlığına da olumsuz etki etmektedir. Dünya üzerinde son 30 yılda hava kirliliği düzenli olarak izlenmekte ve kirlilik ile mücadele edilmektedir. Buna rağmen, halen daha özellikle büyük yerleşim yerlerinde hava kirliliği seviyeleri güvenli olarak kabul gören eşik değerlerin üzerindedir (Cengiz ve ark. 2013). Yapılan araştırmalarda 1980'li yıllara kadar dünya genelinde 1,3 milyar insanın hava kalitesi standartlarının üzerinde kirlilik barındıran şehirlerde hayatlarını sürdürdüğü görülmüştür. 19. yüzyılın ortalarından sonra büyük yerleşim yerlerinde, özellikle kış aylarında düşük kalitedeki fosil yakıtların yakılması atmosferi devamlı kirletmiştir. Bu sorun günümüzde de hala devam etmekte, motorlu araç emisyonları ile sanayi tesisleri de bu sorunun artışına katkı sağlamaktadır. Hava kalitesindeki bozulmalar ekosistemi ve insan sağlığını direkt olarak etkilemektedir. Doğal kaynaklardan biri olan havanın kalitesinin daha iyi olması adına bütün antropojenik kökenli kirleticilerin kaynaklarının belirlenip, yönetilmesi esastır (Cuci ve Polat 2015).

Hava kirliliği dış hava ve bina içi hava kirliliği olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Bulunulan ortam (iç veya dış) havasında hava kirleticilerinin miktarının artması, ortamın hava kalitesini azaltmaktadır (Sofuoğlu 2019). Hava kalitesi, iç ortam ve dış ortam havasının tanımlayıcı parametrelerinin mevcudiyeti ve konsantrasyonu ile tespit edilen özellikleri olarak ifade edilmektedir (Güneş ve ark. 2015).

2.1.1. Dış ortam hava kirleticiler ve etkileri

Partikül Madde: Havada asılı halde bulunan likit, katı ve hem likit hem katı olan partiküllerden meydana gelir. Aerodinamik çapı 2,5-10 µm olan kaba partiküller, 2,5 µm veya daha küçük olan ince partiküller ve 0,5 µm den küçük olan ultra küçük partiküller olarak ayrılır.

Kaba partiküller ezilme ve mekanik sürtünme sonucu oluşurken, trafik ve rüzgar gibi nedenlerle yayılmaktadır. İnce partiküllerin kaynakları ise, taşıtlar, enerji santralleri, odun fırınları gibi yanma kaynakları ile uçucu maddelerin yoğunlaşması olarak gösterilebilir. Çok küçük partiküller geniş yüzey alanına erişebilmektedir. Bu sebeple kardiyopulmoner sistemde çok daha zehirli etkilere sebebiyet verebilmektedir.

Dizel motorlardan kaynaklı egzoz dumanı, ince partikül ve ultra ince partikül kaynaklarından en önemlisi olup karsinojenik etkiye sahiptir (Çilingir 2016).

Azot oksitler(NO_x): Azot oksitler, yüksek sıcaklıklarda yakıt yandığında oluşur. NO_x 'in ana kaynakları motorlu taşıtlar, elektrik şirketleri ve yakıt kullanan endüstriyel, ticarethaneler ve konutlardır. Her kaynaktan katkıyı tahmin etmek zordur, ancak fosil yakıt yanması doğal kaynaklardan daha fazla katkıda bulunur. Sağlık tehlikesi olma potansiyeli ve fotokimyasal oksidanların oluşumundaki rolü nedeniyle, NO_x konsantrasyonunun izlenmesi çevrecilerin ilgisini çekmiştir. Birçok kentsel alanda, dış ortam havasındaki yıllık ortalama NO_x konsantrasyonlarının 20–90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında olduğu bulunmuştur.

NO_x troposferdeki fotokimyasal reaksiyonlarda önemli bir rol oynar. Oluşan NO_2 atmosferde fotolyze edilir ve salınan atomik oksijen moleküler oksijen ile birleşerek O_3 oluşturur. Ozon genellikle doğrudan havaya yayılmaz, ancak toprak seviyesinde, azot oksitleri (NO_x) ve ısı ve güneş ışığı varlığında uçucu organik bileşikler arasındaki kimyasal reaksiyonla oluşur (Esen ve ark. 2005).

Azot oksitler (NO_x 'ler), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO_2), diazot oksit (N_2O), diazot trioksit (N_2O_3), diazot tetraoksit (N_2O_4) ve diazot pentaoksit (N_2O_5) olmak üzere 6 farklı gazın karışımından oluşmaktadır. Bunlardan NO ve NO_2 önemli hava kirleticilerden kabul edilirler ve atmosferde kalış süreleri yaklaşık 2-5 gündür. NO_x 'ler volkanik patlamalar, orman yangınları ve biyolojik prosesler gibi doğal kaynaklardan atmosfere verildikleri gibi asıl önemli kaynakları kara, deniz ve hava taşıtları, endüstriyel bacalar ve evsel ısınmadır. Soluduğumuz havada %78 oranında bulunan azot, tüm yanma proseslerinde reaksiyona girerek NO_x 'leri oluştururlar ve NO ve NO_2 'nin toplamı

şeklinde değerlendirilirler. Azot oksitlerin (NO_x) atmosferde anahtar kimyasallar haline gelmesindeki en önemli neden, fotokimyasal sis oluşumundaki önemli rolleridir. Gün ışığının varlığında azot dioksit (NO_2)'in fotolizinin bir sonucu olarak çeşitli reaksiyonlarla ozon (O_3) meydana gelmektedir. Bu reaksiyon bir solar fotoliz reaksiyonu olup yakın UV bandında (300-390 nm) güneş ışığına ihtiyaç duyar (Cindoruk 2018).

NO_2 , çözünme özelliği az olan bir gazdır. Akciğerlerde alveollere kadar geçebilir. En önemli kaynakları arasında, enerji santralleri, benzinli ve dizel motorlu araçlar gösterilebilir. Respiratuar patojenlere karşı akciğerlerin savunma sisteminin bozulmasına yol açarken, solunum sistemi enfeksiyonlarında artışlara sebebiyet verebilmektedir. (Çilingir 2016).

Ozon(O_3): Ozon, atmosferde az miktarlarda doğal olarak oluşmaktadır. Reaktif bir gaz olup atmosferdeki mevcut oksitleyici maddelerin en önemlisidir. Stratosferde bulunan ozon, yer küreyi güneşin zararlı radyasyonuna karşı korur. Yer seviyesinde bulunan ozon troposferik ozon olarak tanımlanmaktadır. Kirletici kaynaklardan atmosfere yayılan bir kirletici değildir. Atmosferde NO_x ve VOCs gibi kirletici etkileri ve güneş ışığı yardımıyla oluşum gösterir. İkincil tip bir kirleticidir. Bu sebeple hava kirliliğine neden olan diğer etkenler ve meteorolojik verilerle doğrudan bağlantılıdır.

Troposfer tabakası içerisinde yer aldığında solunan ozon olarak kabul görmekte ve hava kirleticilerinden olarak sayılmaktadır. Bu ozon fotokimyasal sise sebebiyet vermektedir. Ayrıca insan sağlığına olumsuz etki etmekle birlikte plastik, lastik ve boyalar üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Atmosferde bulunan oksitleyici etkiye sahip maddeler görüş mesafesinin azalmasına neden olmaktadır. Ozon, konsantrasyon seviyesi ve temas süresine bağlı olarak bütün canlıları ve yapıları etkilemektedir. $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük konsantrasyona 8 saat gibi bir süre ile maruz kalınması sonucu bitkilerde zarar oluşur. $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük konsantrasyon 1 saat gibi bir süre ile maruz kalındığında ise burun ve gırtlak tahrişi ile solunum fonksiyonlarında bozulma meydana gelmektedir (Özcan ve ark. 2006).

Sülfürdioksit(SO₂): Yakıt olarak kömür kullanılan enerji santrallerinin olduğu bölgelerde yüksek seviyelerdedir. Akciğer fonksiyonlarda azalma ve astım alevlenmelerinde artışlara sebebiyet verir.

Karbonmonoksit(CO): Renksiz ve kokusuz bir gazdır. Kömür, odun, sigara gibi karbon içeren maddelerin yanması sonucu açığa çıkar. Trafik akışının yoğun olduğu bölgelerde yüksek konsantrasyonlardadır. CO zehirlenmelerinde hipoksemi olmaksızın hipoksi görülebilmektedir. Santral kökenli hipoventilasyon ile CO₂ birikimi ile nonkardiyojenik pulmoner ödeme bağlı ventilasyon/perfüzyon dengesizliği sonucu hipoksemi bulunabilir.

Kurşun: Metal işleme işletmelerinin olduğu bölgelerde yüksek konsantrasyon seviyelerindedir. Çocukluğun erken dönemlerinde nörotoksik etkiye sahiptir ve mental retardasyona sebebiyet verebilmektedir.

Dış ortam hava kirliliğine sebebiyet veren toksik etkideki maddelerden bazıları; arsenik ve kadmiyum bileşikleri, asetaldehit, benzen, kloroform, karbon tetraklorür, formaldehit, etilen oksit, civa, manganez ve nikel bileşikleri, vinil klorür, kömür ocağı gazları ve heksaklorobenzendir (Çilingir 2016).

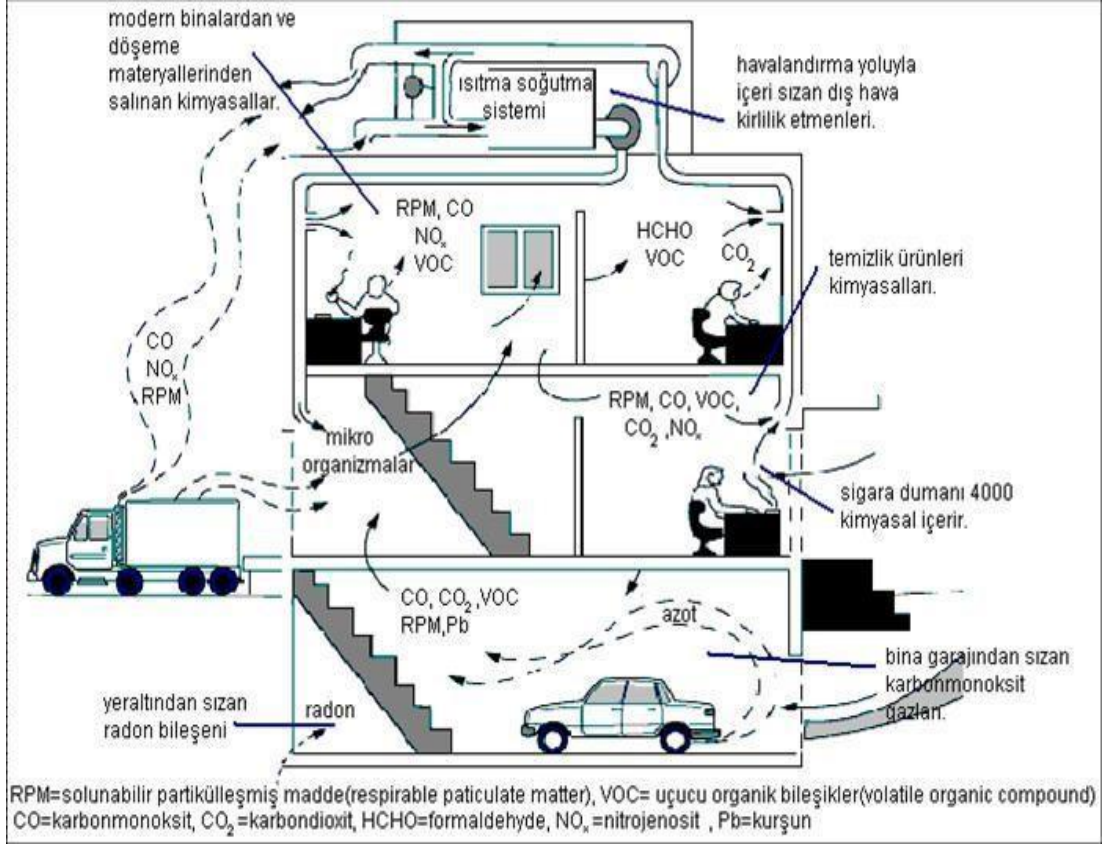
2.1.2. İç ortam hava kirliliği

Son yıllarda kişilerin zamanlarının büyük bir çoğunluğunu iç mekanlarda geçirmektedir ve süre giderek artış göstermektedir. Bu yüzden iç ortam hava kalitesi son yıllarda küresel bir öneme sahip olmuştur. 1992 senesinde Dünya Bankası tarafından, gelişmiş ülkelerdeki en önemli 4 global çevre problemlerinden biri olarak iç ortam hava kirliliği belirlenmiştir. Dış ortam havası iç ortam hava kirleticilerini etkilemektedir. Ayrıca iç ortam havası kirliliği; iç ortamın nemi, sıcaklığı, kullanılan eşyalar ve içeride bulunan yapı malzemeleri, kişilerin kullandığı ürünlere göre değişiklik göstermektedir. İç ortamda insan sağlığına olumsuz etki yapan kirleticiler; azotoksitler, karbonmoksit ve karbondioksit, VOCs, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, formaldehit, radon, sigara dumanı, hava kaynaklı patojenler, alerjenler, polimerler ve mineral lifler ile eşyalardan kaynaklanan toksik emisyonlardır. Bazı kirleticiler için dış ortam havasındaki

kaynaklarının iç ortam havasındaki seviyelerine dikkat çekecek seviyede katkısı olabilir (Onat ve ark. 2011).

Dış hava kirliliğinden kaynaklanan iç hava kirliliği araştırma ve politika oluşturma alanında önemli bir risk faktörüdür (Bruce ve ark. 2000). Nüfus artışı ve dünyadaki gelişmeler insanları kapalı mekanlarda birlikte yaşama zorunluluğuna itmiştir. İnsanların zamanlarının %90 gibi büyük bir kısmını evlerde, ofislerde ve alışveriş merkezlerinde geçirmektedir. Bu durum, iç ortam hava kalitesinin önemini tekrar ortaya koymuştur (Babaroğlu 2015). İç ortamda partikül madde (PM), düşük seviyelerde bile uzun maruz kalma süreleri nedeniyle önemli olumsuz sağlık etkilerine neden olabilmektedir (Liu ve ark. 2014). Yapılan araştırmalar, iç mekan hava kalitesi ile alerji durumları, aşırı duyarlılık, gözler ve kulaklarda oluşan tahriş durumları, solunum yolu enfeksiyonları, baş dönmeleri ve baş ağrıları, bulantılar gibi rahatsızlıkların ilişkili olduğunu göstermiştir (Anonim 2002).

İnsanlar yaşadıkları ortamdaki havanın temiz, taze ve sağlığını tehdit etmeyecek nitelikte olmasını isterler (Babaroğlu 2015). İç ortam havası, konutlar, işyerleri, okullar vb. binaların içerisindeki hava olarak tanımlanabilir. İç ortam hava kirliliği de, iç ortamlarda sağlık açısından zararlı solunabilir maddelerin bulunması durumudur (Akal 2013).



Şekil 2.1. İç ortam hava kirliliğinin oluşumu (Yurtseven 2007)

Son zamanlarda iç ortam hava kirliliği insan sağlığının en büyük sorunu olarak görülmektedir. İç ortam hava kalitesi, belirli bina özellikleri ve iç mekan etkinlikleri ile dış ortam havasından etkilenmektedir. İç mekan kirletici madde emisyonları sadece inşaat malzemelerinden veya mobilyalardan değil, aynı zamanda yemek pişirme, sigara, tütsü ve mumların yakılması gibi faaliyetlerden, insanların günlük olarak evlerinde kullandıkları çeşitli tüketici ürünlerinden de kaynaklanmaktadır. Hindistan'da iç hava ortam kirliliği, yüksek tansiyondan sonra en büyük ikinci sağlık problemi nedenidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), iç ortam hava kirliliği için partikül madde değerini 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlemiştir (Soni ve Dhankar 2015).

2.1.2.1. İç ortam hava kirleticileri

Bakteriler, Mantarlar ve Diğer Mikroorganizmalar: En çok bilineni *Legionella*'dır. Duşlar ve su fişkırtan mekanizmalar sonucunda su aerosol şekline gelmektedir.

Legionella salgınları kontamine haldeki suların aerosol şekline dönüşmesi ve inhalasyonu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak astım, alerjik alveolit ve rinit, hasta bina sendromu ve enfeksiyonlar görülebilmektedir.

Formaldehid: Yapımında kereste ve kontrplak kullanılan ev malzemeleri ile mobilyalar ve sigara dumanı formaldehit kaynakları olarak gösterilebilir. Ayrıca dezenfektanlar ile kozmetik ürünlerinde de bulunurlar. Göz, burun ve boğazda irritasyon, göğüste ağrı, öksürük ve bronşite sebebiyet vermektedir. Formaldehitin kronik inhalasyonu akciğer ve nazofarengeal insidansında yükselişe sebep olmaktadır.

Azot oksitler: Yemek pişirmede kullanılan benzinli ve gazlı ocaklar ile sigara dumanı azot oksitlerin kaynakları arasında gösterilebilir. İç ortamlardaki seviyeleri bina dışı seviyelerine göre kış aylarında iki ila üç kat arasında artış gösterebilmektedir. İnhalasyonu ile alt solunum yollarına kadar ilerleyebilir. Bulantı, kusma, nefes darlığı, kanlı balgam, paroksizmal öksürük, yorgunluk ve anksiyete görülebilir.

Mineral Lifler: Asbest yüksek lifli, basınç ve ısı karşısında dirençli, yüksek elektriksel dayanıklılığa sahip bir grup minerale verilen addır. Tekstil sektöründe, elektrik, ısı, ve akustik izolasyon malzemesi olarak, debriyaj ve fren balatalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kişilerin mineral liflere maruz kalması sonucu plevra ile periton tümörleri ve akciğer kanseri oldukça sık görülebilmektedir.

Radon: Kaynakları olarak bina yapımında kullanılan malzemeler ile toprak gösterilebilir. Sigara kullanımından sonra akciğer kanserine en çok neden olan maddedir. (Çilingir 2016).

Uçucu Organik Bileşenler (VOCs) ve Pestisitler: Bunların çoğu kanserojen karakterlidir. Benzen ve tuluen gibi aromatik hidrokarbonlar, alkoller, boya ve yapıştırıcılar, tiner, klorlu hidrokarbonlar gibi endüstriyel olmayan mahallerde tespit edilen ve alınan hava numunelerinde normalde bulunan 50-300' e kadar değişik çeşitte madde mevcuttur (Köksal 2001). Kuru temizlemede temizlenen kıyafetler, oda spreyleri, mobilya koruma ürünleri, güve öldürmede kullanılan kimyasallar, yapı malzemeleri,

daksil ve tutkal gibi ofislerde kullanılan ürünler, vernik ve boya belli başlı kaynaklarıdır. Bu ürünlerin akut maruziyeti merkezi sinir sistemi depresyonu, yorgunluk, baş ağrısı, konfüzyon, gözler, burun ve boğazda yanmaya sebebiyet verirken, kronik maruziyeti ile psikoorganik sendrom ya da presenil demans görülebilir. Benzenin kronik maruziyet durumu ise kemik iliği hasarı ve bunun sonucu hematolojik hastalıklar ve kan kanserine sebebiyet verebilir.

Çevresel Sigara Dumanı: En çok bilinen kanserojen madde sigara dumanıdır. Sigaranın kendi kendine yandığı esnada oluşan duman en toksik olanıdır. Çevresel sigara dumanı içerisinde 3800 çeşitten fazla kimyasal bileşen mevcuttur. İçerisinde barındırdığı toksik maddelerden başlıcaları katran, nikotin, CO, CO₂, NH₃, NO_x ve fenollerdir (Çilingir 2016).

Kapalı mahallerde iç hava kirleticileri olarak tablolarla verilen formaldehit, karbondioksit, karbonmonoksit, azot dioksit, ozon, toz tanecikleri, kükürt dioksit ve radon gazı ve bioaerosollerin dışında ayrıca şu maddeler de bulunur:

- Hidrojen sülfür, amonyak gibi kötü kokulu gazlar,
- Motorlu araçların egzoz gazları,
- Yapay aydınlatma,
- Titreşim,
- Gürültü, özellikle düşük frekanslı 100 Hz' den küçük ses dalgaları,
- Yüksek miktarda iyonize olmuş veya olmamış elektromanyetik radyasyon
- Elektrostatik ve elektronik dalgalar,
- Üretimden, bakım ve temizlikten geride kalan temizlik maddeleri ve kimyasallar,
- Fotokopi, lazerli yazıcı gibi büro malzemeleri (Köksal 2001).

Çizelge 2.1'de iç hava kirleticilerinin potansiyel kaynakları özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. İç hava kirleticilerin potansiyel kaynakları (Bulgurcu ve ark. 2005)

Kirleticiler	Potansiyel Kaynakları	
Uçucu Organik Bileşikler	Parfümler, saç spreyleri Mobilya cilaları Temizlik solventleri Hobi ve sanat malzemeleri Pestisitler Halı ve iplik boyaları Tutkal, yapıştırıcı ve sızdırmazlık malzemeleri	Boyalar, vernikler, yapıştırıcı bantlar, ahşap koruyucular Kuru temizlenmiş elbiseler, güve ilaçları Hava temizleyeci kokular Depolanmış yakıtlar ve otomotiv ürünleri Kirlenmiş sular, plastikler
Formaldehit	Parçacık tutucular, kontraplaklar, dolaplar, mobilyalar	Formaldehit köpük yalıtım katkıları Halı ve kumaşlar
Pestisitler	Böcek ve karınca öldürücüler Fare ilaçları	Mantar ilaçları, mikrop öldürücüler Ot ilaçları
Kurşun	Kurşun esaslı boyalar	Dış tozlar ve toprak
Karbondioksit Karbonmonoksit Azotdioksit	Uygunsuz çalıştırılan gaz veya yağ kazanları, sıcak su ısıtıcıları, ocaklar, odun sobaları	Havalandırmasız gaz sobaları-kerosen ısıtıcılar Tütün ürünleri, gazlı pişirme sobaları Araç egzozları
Kükürtdioksit	Kükürt içeren yakıtların yanması	
Solunabilir Parçacıklar	Ocaklar, odun sobaları Havalandırmasız gaz ısıtıcıları	Türün ürünleri Havalandırmasız kerosen ısıtıcıları
Çevresel Tütün Dumanı	Türün ürünleri	
Biyolojik Kirleticiler	Bitkiler, hayvanlar, kuşlar, insanlar Yastıklar, yataklar, ev tozları Islak veya nemli malzemeler	Durgun sular
Asbest	Boru ve kazan yalıtımı Tavan ve döşeme levhaları	Dekoratif spreyleyler Kaplama ve lambriler
Radon	Toprak ve kaya Bazı bina malzemeleri	Yer altı suları

2.2. Limit Değerler ve Standartlar

“Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Yönetmeliği” (SKHKKY) 03.08.2009 tarihinde resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Hava kalitesi yönetimi için ülkemizde bu mevzuat hükümleri uygulanmaktadır. Zaman içerisinde çıkarılan yönetmeliklerle uygulamalar revize edilmiştir. Ayrıca, Avrupa Birliği yasalarının kendi yasalarımıza uyarlanması sonucu, “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” (HKDYY) yürürlüğe girmiş olup hala yürürlükte dir.

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nin hedefi; insanlar ve çevre üzerinde hava kirliliğinin oluşturduğu olumsuz etkileri önlemek ve azaltmaktır. Bunun için hava kalitesi hedeflerini tanımlanmış ve oluşturulmuş, tanımlanan metotlar ve standartlar esas alınarak hava kalitesi değerlendirilmiştir. Hava kalitesinin ideal olduğu bölgelerde mevcut durumu korumak ve aksi mevcut durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile alakalı veri toplamak ve uyarı eşikleri yardımıyla halkı bilgilendirmek yönetmeliğin diğer amaçlarıdır. Yönetmelikteki maksimum seviyeler ile değerlendirme ve uyarı limitlerine ait veriler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir (Orhun 2013).

İnsanların şimdilerde zamanlarının çoğunu iç ortamlarda geçirmesi beraberinde çeşitli sorunların ortaya çıkmasına yol açmıştır. İç ortam hava kalitesi terimi bu durumda ortaya çıkmaktadır. İç hava kalitesi, iç ortamdaki havanın temiz olması durumu ile alakalı olup komplike bir yapıdadır. İç hava kalitesi, havada bulunan ve insanların sağlığı ve rahatlığına etki eden ısı olmayan tüm noktaları içerir. İnsanların içerisinde bulunduğu havadan beklentileri farklıdır ve farklı algılamalar mevcuttur. Bu yüzden iç ortam hava kalitesi için net sınırlar belirlemek ve tanımlamak güçtür. Tüm bu sebeplerden dolayı, "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. Kabul edilebilir iç hava kalitesi "İçinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" şeklinde açıklanmıştır. İç hava kalitesi ile ilişkili olan Sick Building Syndrom-SBS (Hasta Bina Sendromu), Tight Building Syndrom -TBS (Kapalı Bina Sendromu) ve Building Related illness-BRI (Bina Bağlantılı Hastalıklar) olarak

isimlendirilen sağlık sorunları tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen araştırmaların çoğunda iç ortamlarda mevcut kirletici konsantrasyonlarının dış ortamdakilere oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bulut 2008).

Çizelge 2.2. Maksimum değerler, uyarı ve değerlendirme limitleri (HKDYY, 2019)

Kirletici	AB Limit Değerler			Türkiye Limit Değerler	
	Süre	Limit Değer($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Aşma Sayısı	Süre	Limit Değer($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SO_2	Saat	350	24 kez/yıl	Saat	350
	24 saat	125	3 kez/yıl	24 saat	125
	Kış dönemi	20(ekosistem)	-	Kış dönemi	-
	Yıl	20(ekosistem)	-	Yıl	-
NO_2	Saat	200	18 kez/yıl	24 saat	200
	Yıl	40	-	Yıl	40
NO_x	Yıl	30(ekosistem)	-	-	-
PM_{10}	24 saat	50	35 kez	24 saat	50
	Yıl	40	Yıl	Yıl	40
Pb	Yıl	0,5	-	Yıl	0,5
C_6H_6	Yıl	5	-	-	5
CO	8 saat	10.000	-	24 saat	10.000
O_3	8 saat	120 (hedef değer)	25 gün/yıl	-	120
	Saat	-	-	-	-

İç ortam hava kalitesi ölçümlerinde Uluslararası Çalışma Örgütü'ne bağlı İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (OSHA) tarafından belirlenmiş genel bir standart mevcut değildir. Hava Kalite İndeksi (Air Quality Index/ AQI), Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından oluşturulan standart değerler, ülkelerin kendi sınırlarına göre dönüştördükleri değerlerden oluşmaktadır. Ülkemizde kullanılan Ulusal Hava Kalitesi İndeksi, EPA Hava Kalitesi İndeksi ulusal mevzuatımız ve sınır değerlerimize uyarlanarak oluşturulmuştur ve 5 temel

kirletici; partikül maddeler (PM₁₀), karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂), azotdioksit (NO₂) ve ozon (O₃) için hava kalitesi indeksi hesaplaması yapılmaktadır.

EPA, kapalı ortam hava kalitesi ölçümleri için standartları belirlemiştir. Kapalı ortam hava kalitesini belirlemek için, iç ortamdaki sıcaklık (T), bağıl nem (BN), hava hızı, karbondioksit (CO₂), solunabilinir asılı partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOCs), azotoksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), ozon (O₃), kükürtdioksit (SO₂), radon, formaldehitler (HCHO), bakteri sayısı gibi parametreler ölçülerek değerlendirilmesi yapılmaktadır. Türkiye'nin de üye olduğu uluslararası bir dernek olan ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) tarafından kapalı ortam hava kalitesi değerlendirilmesi "ASHRAE 2004 Standartları" kullanılarak yapılmaktadır (Hoşten ve Yalbay 2018).

Çizelge 2.3'te iç mahallerde bulunabilecek bazı kirleticilerin maksimum konsantrasyon oranları verilmiştir.

Çizelge 2.3. İç ortamlarda mevcut bazı kirleticilerin kaynakları, olası mümkün konsantrasyonları ile iç/dış konsantrasyon oranları (Köksal 2001)

Kirletici	İç Kirletici Kaynakları	Mümkün olan iç konsantrasyon	İç/dış konsantrasyon oranı	Yeri
Karbon monoksit	Yakma cihazları, motorlar, hatalı ısıtma sistemleri	100 mg/kg	>>1	Araba yarış pistleri, ofisler, evler, arabalar, dükkanlar
Tanecikler	Sobalar, şömineler, sigaralar, buharların yoğunlaşması, aerosol spreyleyler, pişirme	100 ila 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>>1	Evler, ofisler, arabalar, kamu görevleri, barlar, lokantalar
Organik buharlar	Yanma, solventler, reçine imalatı, tanecikler, aerosol spreyleyler	-	>1	Evler, lokantalar, kamu görevleri, ofisler, hastaneler
Azot dioksit	Yanma, gaz sobaları, su ısıtıcıları, kurutucular, sigaralar, motorlar	200 ila 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>>1	Evler, araba yarış pistleri
Kükürt dioksit	Isıtma sistemleri	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 1	Sistem içinde
Dumansız toplam uçucu parçacıklar	Yanma, ısıtma sistemi	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1	Evler, ofisler, nakil vasıtaları, lokantalar
Sülfat	Kibritler, gaz sobaları	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 1	Sistem içinde
Formaldehit	Yalıtım, ürün bağlayıcıları	0,05 ila 1,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$	> 1	Evler, ofisler
Radon ve türevleri	İnşaat malzemeleri, yer suları, toprak	0,1 ila 200 nCi/m ³	>> 1	Evler, binalar
Amyant	Yanmaz malzeme	< 10 ¹⁵ lif/ m ³	1	Evler, okullar, ofisler
Mineral ve sentetik lifler	Kumaş, halı, duvar malzemeleri	-	-	Evler, okullar, ofisler
Karbon dioksit	Yanma, insanlar, evcil hayvanlar	3000 mg/kg	>> 1	Evler, okullar, ofisler
Canlı organizmalar	İnsanlar, evcil hayvanlar, kemirgen hayvanlar, böcekler, bitkiler, mantarlar, nemlendiriciler, iklimlendirme cihazları	-	> 1	Evler, hastaneler, okullar, ofisler, kamu binaları
Ozon	Elektrik arki	20 $\mu\text{g}/\text{kg}$	< 1	Uçaklar

Çizelge 2.4'te, ülkemizdeki Tozla Mücadele Yönetmeliği ve Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik'teki limitler (KMÇY 2019), İngiltere'de çalışma ortamlarında belirlenen limitler ve OSHA'da belirlenen limitlere göre (OSHA 2019), partikül maddelerde izin verilen element konsantrasyonları verilmiştir. Türkiye'de iş yerlerinde aşılması gereken çeşitli elementlerin izin verilen konsantrasyonları incelendiğinde, diğer ülkelerdeki standartlara göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye için belirlenen Pb, Hg, As ve Cd değerlerinin izin verilen en yüksek konsantrasyonları; İngiltere'de çalışma ortamında aynı elementler için izin verilen en yüksek konsantrasyonlar ile karşılaştırıldığında; Pb ve Hg için limit değerinin ülkemizde ve İngiltere'de aynı olduğu; diğer metallerin ise sırasıyla; ülkemizde 5 ve 4 kat daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.4. Türkiye, İngiltere ve OSHA'da izin verilen metal konsantrasyonlarının karşılaştırılması

	Tozla Mücadele Yönetmeliği ve Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik(mg/m ³)	HSE, mg/m ³ (8 saatlik)	OSHA NIOSH REL (mg/m ³)
Pb	0,15	0,15	0,05
Hg	0,02	0,02	-
As	0,5	0,1	0,01
Cd	0,1	0,025	0,01
Al (PM ₁₀)	-	10	10
Al (PM _{2,5})	-	4	5
ZnO	5	-	2
TiO ₂	-	-	10
Ba	0,5	-	0,5
Cu	1	1	1
Fe (PM ₁₀)	-	10	10
Fe (PM _{2,5})	-	4	5
Sn	2	-	2
Mn	-	0,5	1
Ni	-	0,5	0,015
Sb	-	-	0,5
Si (PM ₁₀)	-	10	-
Si (PM _{2,5})	-	4	-
Ag	-	0,1	0,01

(HSE: Health and Safety Executive – NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health, REL: Recommended Exposure Limits)

2.3. Partikül Madde (PM)

Partikül madde (PM) aerodinamik çapı 0,002µm- 100 µm aralığında bulunan, bir süre askıda kalabilen, fiziksel ve kimyasal yapıları farklı maddelerden meydana gelen sıvı veya katı maddelerdir (Şahin, 2005).

Partikül madde, nefes alınmasıyla insanların vücuduna alabileceği oranda küçük olan ve geniş bir aralıkta havada askıda bulunan maddelerin genel ismidir. İç ortamlarda mevcut partiküllere maruz kalınması durumu hırıltılı soluk alma ve öksürük gibi bulgulara neden olabilir. Partikül madde kısaca PM olarak gösterilir (Bulut 2007). Partikül maddeler rüzgar, deniz ve volkanlar gibi doğal kaynaklardan veya antropojenik kaynaklı aktivitelerden ortaya çıkan ve bir gaz içerisindeki ince katı veya sıvı maddelerin oluşturduğu süspansiyon olarak tanımlanır ve literatürde genel olarak aerosol olarak geçer. PM₁₀ (kaba partiküller) ve PM_{2,5} (ince partiküller), sırasıyla aerodinamik çapı 10 ve 2,5 µm'den küçük partiküllerin kütlelerini temsil etmektedir (Özdemir ve ark. 2010). İnce partiküller, akciğerlerin içlerine kadar nüfuz edebildiklerinden dolayı, insanların sağlığı için önemli bir tehdit sebebidir (Bulut 2007).

Doğada partikül maddenin kaynakları ve bileşimi çok karmaşıktır. Troposferdeki partikül maddenin ise önemli bir kısmı insan kaynaklıdır ve sülfat, amonyum, nitrat, sodyum, klor, iz metaller, karbonlu maddeler, toprak elementleri ve su içerir (Özdemir ve ark. 2010). Hava kirleticiler, gazla ve partiküller olarak iki başlıkta incelenebilirler. Partiküller gözle görülebilecek oranda büyük oldukları gibi birçok filtreden geçebilecek mikroskobik boyutlarda da olabilmektedir. Partiküller ayrıca katı veya likit olabilirler.

60 µm bir insan saçının ortalama boyutudur. Şekil 2.2'de insan saçı boyutu ve partikül madde boyutları karşılaştırılmıştır (Bulut 2007).

İç ortam PM konsantrasyonları, iç mekan kirletici kaynakları, ortam hava koşulları, yapı materyalleri, insan davranışları ve faaliyetleri, havalandırma ve partikül büyüklüğü dağılımları gibi birçok unsurdan oluşan karmaşık kombinasyonudur (Li ve Chen 2003).

Geçtiğimiz yüzyılda partikül madde oluşumuna sebep olan insan kaynaklı emisyonlar çarpıcı bir biçimde artmış ve buna bağlı olarak insan sağlığında olumsuz etkilere, kentsel ve kırsal alanlarda görüş mesafesinde düşüşe, asit birikimine ve dünyanın radyasyon dengesinin bozulmasına sebep olmuştur (Özdemir ve ark. 2010).

Havai fişek gösterilerinin sayısındaki artış nedeniyle, çevresel etkiler üzerine araştırmalar yapılmıştır. Ses basınçlarına maruz kalma veya kusurlu havai fişekler gibi doğrudan olası tehlikelerin yanı sıra, havai fişeklerden yayılan gaz halinde reaksiyon ürünleri ve partikül maddenin (PM) çevreye ve topluma zarar verme potansiyeli yüksektir (Dutschke ve ark. 2011).

2.4. Gösterilerde kullanılan patlayıcı/parlayıcı maddeler

“Piroteknik maddeler” farklı kullanım alanlarına sahip olsa da toplum tarafından bilinmemekte ya da “piroteknik madde” ismiyle tanınmamaktadır. Piroteknik ürünlerin icadı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Keşfedilen ilk piroteknik malzeme kara baruttur. Pek çok piroteknik malzeme çeşidi, ateşlendiği zaman yanan (combustible), ışık, ısı, ses ve sis gibi özel efektler oluşturan materyaller olarak tanımlanmıştır. İşlevleri odak alınarak yapılan diğer bir tanımlamada da parlak ışık üreterek aydınlatma oluşturan ya da duman çıkararak yer belirtme, yer işaretleme, sinyal verme amaçları için kullanılan maddeler şeklinde nitelendirilmektedir. Sözcük anlamı olarak Yunancada ateş anlamına gelen “pyr” ve sanat anlamındaki “techne” kelimelerinden üretilmiş bir sözcük olan “pyrotechnics-piroteknik”, aslında görsel etkiyi açıklayan bir kavramdır. Renkli sis, ses ve anlık parlak ışık gibi görselliklere sahip piroteknik maddeler aslında endüstriyel olarak ısı üreteçleri, mühimmat ateşleme mekanizmalarında geciktirici eleman veya başlatıcı/tutuşturucu olarak da kullanılmaktadır. Esasen bakıldığında piroteknik ürünler, bazı mühimmat yakıtlarına ve patlayıcı maddelere oldukça benzer yapıda bir özellik ve bileşim göstermektedirler. Özellikle reaksiyona girme ve reaksiyonun gelişimi yönünden karşılaştırıldıklarında, patlayıcı maddelerin çok hızlı bir şekilde gaz haline dönüştüğü, ayrıca sevk yakıtlarının daha yavaş yanarak gaz fazına geçtiği, piroteknik ürünlerin ise gözle görülebilir oranlarda gaz haline dönüşüm reaksiyonu gösterdiği ve yanma hızı açısından farklılıklar olduğu görülmektedir (Durdu ve Cantürk 2017).

Havai fişekler ve türevleri, nitrat ve odun karışımıyla yapılan, gökyüzünde renkli basit gösterilerde kullanılan kutlama araçlarıdır, üretimi eski Romalılara dayanmaktadır. Fizik, kimya formülleri ve teknikler kullanılarak üretilmektedirler. Havai fişeklerin el yapımı kapsülleri, patlama ve sesleri çıkaran kimyasal maddelerden oluşan tozları içermekte ve bunların içine giren farklı metaller de patlamayla çıkan renkleri belirlemektedir.

Havai fişek gösterilerinin; özel günlerde önemli bir faktör olup binlerce insani aynı anda etkilemenin etkin yoludur. Havai fişek gösterisi genelde yeni yıl kutlamalarında, spor müsabakalarında, büyük açılış törenlerinde, şenliklerde, karnavallarda, fuarlarda, sergilerde, belediyelerin etkinliklerinde, otellerin turistik gecelerinde, düğünlerde, doğum günlerinde ve bunun gibi sayamadığımız kutlamalarda yapıldığını bilmekteyiz (Rende 2012).

Havai fişekler, atmosferdeki en sıradışı kirlilik kaynaklarından biridir. Geçici olmalarına rağmen, yüksek konsantrasyonlardaki partikül (özellikle metaller ve organik bileşikler) ve gazların sebebidir (Vecchi ve ark. 2008).

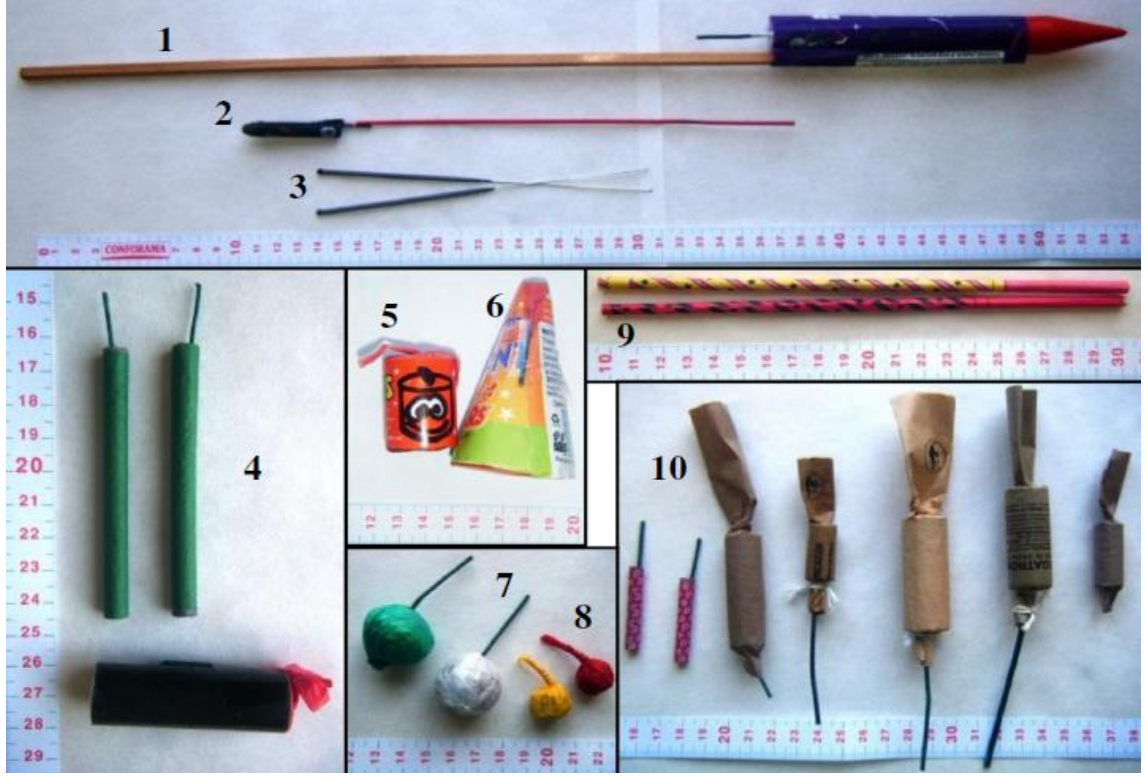
Almanya'da havai fişek kullanımı yılda bir saat ile sınırlıdır. Hollanda'da, yılın başlangıcından hemen önce yalnızca birkaç gün boyunca satın alınabilir ve Yılbaşı Gecesi yalnızca bir gün kullanılabilir. İngiltere'de, havai fişekler geleneksel olarak Guy Fawkes Günü, Yeni Yıl Arifesi gibi etkinliklerden sadece birkaç gün önce satın alınabilir. Fransa'da havai fişekler 14 Temmuz'da Bastille Günü'nde civarında kullanılmaktadır. İspanya ve Malta gibi Akdeniz ülkelerinde, havai fişeklerin kullanımı gerçekten yaygındır ve yıl boyunca kullanılmaktadırlar (Alberca ve Ruiz 2014). Amerika Birleşik Devletleri'nde Bağımsızlık Günü, 4 Temmuz'da çok yoğun havai fişek gösterileri ile kutlanılmaktadır. Hindistan'daki Divali Festivali, İspanya'daki Las Fallas ve Pekin'deki Fener Festivali'nde her yıl yüz binlerce ton havai fişek gösterisi yapılmaktadır. Tayvan'da ise havai fişekler genellikle yeni yıl kutlamaları, 10 Ekim Ulusal Günü kutlamaları ve 15 Ekim Fener Festivali'nde kullanılmaktadır. Fener Festivali'nde Tainan, Yanshui bölgesinde on milyonlarca çatapat(kestane fişeği) ve şişe roketleri ateşlenmektedir. Bunların yanmasından kaynaklanan duman festivalden sonraki günlerde bile şehri ve çevresini kaplamakta, çok yüksek seviyelerde ciddi hava kirliliğine neden olmaktadır.

Havai fişeklerin yanması O₃, SO₂, NO₂, CO ve askıda bulunan partikül madde de dahil olmak üzere havadaki kirletici maddelerin kaynağıdır. Havai fişekler tarafından yayılan havadaki asılı partiküller, K, Al, Ba, Mn, Cd, Cu ve insan sağlığına çok zararlı olan diğer ağır metaller de dahil olmak üzere çeşitli elementlerden oluşur. Havai fişek gösterileri, atmosfere potasyum nitrat ve odun kömürü içeren siyah tozlar yayar ve atmosfere ek olarak sucul ekosistemlere perkloratlar da salar. Havai fişeklerin yanmasından kaynaklanan havadaki partiküller şeklinde çeşitli ağır metallerin birikmesi, dünyadaki tüm canlı organizmalar ve ekosistemler için en büyük endişelerden biridir (Do ve ark. 2012).

2.4.1. Piroteknik bileşenler ve çeşitleri

Piroteknik bileşimler, genellikle duman, ışık, yüksek ses, gürültü ve hareket gibi görsel, termal, duyulabilir veya mekanik terminal efektleri üretmek için organik veya inorganik kimyasal oksitleyicilere ve yakıtlara dayanır (Alberca ve Ruiz 2014). Patlayıcı ürünler ve sevk yakıtlarına oranla çok fazla çeşidi olan piroteknik bileşikler genel olarak toz halde, yakıt olarak ametal ve metal maddeler ile bileşikte oksijen kaynağı olarak görev alan çeşitli türlerde kimyasal tuzlardan meydana gelmektedir (Durdu ve Cantürk 2017). Havai fişekler, potasyum nitratlar, potasyum klorat, potasyum perklorat, kömür, kükürt, manganez, sodyum oksalat, alüminyum ve demir tozu tozu, stronsiyum nitrat ve baryum nitrat, vb. gibi kimyasalları içerir (Wang ve ark. 2007).

Tüketiciler için sunulan havai fişekler ve türevleri yanmaları ile duman, kıvılcım, gürültü, renk ve alev gibi bazı efektler üretmek için tasarlanmıştır. Profesyonel patlayıcılara oranla daha zayıf patlama gücüne sahiptirler. Bu havai fişekler ve türevleri halka satılmakta ve evliliklerde, partilerde veya diğer kutlama etkinliklerinde kullanılmaktadır. Şekil 2.3'te farklı etkilere sahip havai fişeklerden bazı örnekler verilmiştir (Alberca ve Ruiz 2014).



1. Roket, 2. Mini düdük roketi, 3. Maytap, 4. Kestane fişegi, 5. Şelale, 6. Volkan, 7. Duman bombaları, 8. Gürültü bombası, 9. Çok renkli fişekler, 10. Havai fişekler (farklı boyut ve kategorilerde)

Şekil 2.3. Havai fişeklerin çeşitleri (Alberca ve Ruiz 2014)

Dizaynlarında piroteknik bileşiklerin kullanıldığı piroteknik maddeler; sürtünmeli veya iğne vuruşlu olarak çalışan başlatıcı, başlatıcı kimyasalı, gecikme maddesi, ara kimyasal ve esas dolgu malzemesi olmak üzere birçok bileşenden oluşmaktadır. Bunlar istenilen özelliklerde çeşitli alt aşamaların ilave edilmesiyle oluşturulan ve patlama özelliği arz eden ürünlerdir.

Piroteknik maddeler, inisiyal patlayıcı olarak kullanılan piroteknik malzemeye verilen ilk enerji ile görevini yerine getirmeye başlar. Reaksiyon için gerekli enerji, genelde içerisinde hassas patlayıcı madde bulunan küçük bir kapsüle uygulanan kuvvet, kapsül içindeki elektrik enerjisi ile ya da sürtünme kuvveti yardımıyla oluşan ısı enerjisi sayesinde sağlanmaktadır. Son aşamada üretilen alev ve parlamaya başlayan partiküller ateşlemenin sonunda ışık, ses, ısı, duman gibi ürünün esas fonksiyonunu meydana getiren ana dolgu malzemesini ateşlemektedir.

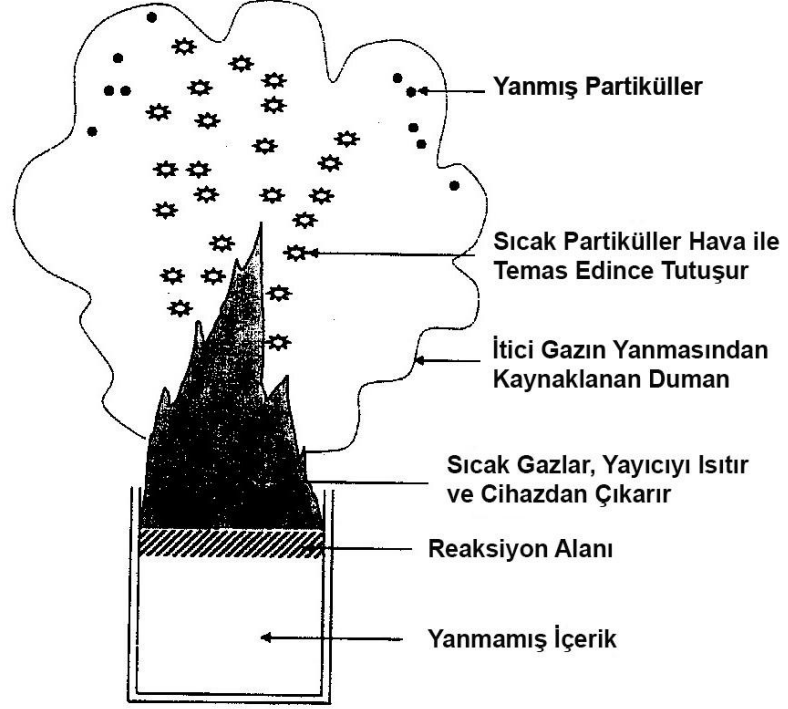
Türkiye’de havai fişek, torpil, çatlayan top, kızkaçıran gibi piroteknik ürünlerin ticari olarak satışı gerçekleştirilmektedir. Bunlar tasarımı oldukça basit ürünlerdir. Örnek olarak, “çatapat” bir kağıt şerit üzerine yerleştirilmiş bir miktar kimyasal maddeden oluşmaktadır. Bu madde de sert bir zemine sürtülür ise ateş almakta ve minik patlamalar gerçekleşmektedir. Silindirik karton ya da plastik koruma kabına sahip olan ve “torpil” olarak isimlendirilen başka bir üründe, bu muhafazaya irtibatlı fitilin ateşlenmesi ile çalışmakta ve patlama işlemi gerçekleşerek ses efektleri oluşmaktadır (Durdu ve Cantürk 2017).

Bataryalar belli miktarlarda; potasyum nitrat, potasyum perklorat, stronsiyum ve bakır karbonat, baryum nitrat, alüminyum, kömür, titanyum, kükürt, Mg/Al, dekstrin, fenol reçine ve PVC homojen olarak karıştırılarak hazırlanır.

Volkanlar belli miktarlarda; potasyum perklorat, amonyum perklorat, nitroselüloz, potasyum nitrat, kükürt, gomalak, titanyum, Al/Mg ve fenol reçinenin homojen olarak karıştırılmasıyla yapılır (Anonim 2013).

Volkan ve şelale diye tabir edilen piroteknik ürünler popüler havai fişeklerdir ve çapı yaklaşık 15 mm olan küçük cihazlardan 125 mm veya daha fazla profesyonel havai fişeklere kadar çeşitlilik gösterir. Parlak bir kıvılcım akışı sağlamak için, tek başlarına ya da grup halinde yakılırlar. Volkanlarda kullanılan bileşimler genellikle siyah toz itici maddelere dayanmakla birlikte, fıskiye etkisinden sorumlu olan kıvılcımlar bileşimdeki diğer maddelerden kaynaklanır. Bu maddeler "yayıcılar" olarak bilinir ve yayıcının özelliklerini belirleyen yayıcıların fiziksel ve kimyasal özellikleridir. Görsel etkileri arttırmak veya kompozisyonu ucuzlaştırmak için çeşitli katkı maddeleri de kullanılır. Genel olarak, itici gazın bileşenleri, yayıcı parçacıklarını ısıtan ve onları havai fişek gövdesinden çıkan sıcak yanma gazları üretmek üzere reaksiyona girer. Hava ile temasında, sıcak yayıcı partiküller, fıskiye efektini üretmek için tutuşur. Bu havai fişeklerde kullanılan tipik yayıcılar arasında karbon, titanyum, alüminyum, demir veya bir magnezyum/alüminyum alaşımı bulunur. Antimon trisülfid (Sb_2S_3), barut ve alüminyum ile bir dizi kimyasal reaksiyonda “ışılıtlı” etkiyi arttırmak için de yaygın

olarak kullanılır. Şekil 2.4'te volkan tipi ürünlerin yanması diyagramı olarak gösterilmiştir (Russell 2000).



Şekil 2.4. Volkanların yanmasının diyagramsal gösterimi (Russell 2000)

Sis bombaları belirli miktarlarda; sodyum bikarbonat, potasyum klorat, laktoz, kükürt, nitroselüloz, dekstrin ve toz boya karışımının homojen olarak karıştırılması ile oluşturulur.

Gök bombaları; potasyum nitrat, potasyum perklorat, stronsiyum ve bakır karbonat, baryum nitrat, alüminyum, kömür, Mg/Al, titanyum, PVC, kükürt, fenol reçine ve kükürtün homojen olarak karıştırılması ile hazırlanır.

Ses bombaları; kağıttan iki yarım kürenin (Yarım kürelerin içerisinde ses çıkmasını sağlayan kimyasal karışım vardır) birleştirilerek küre oluşturulması ve sonrasında silindirik boru içerisine yerleştirilmesi şeklinde hazırlanırlar (Anonim 2013).

2.4.2. Pirotekniklerin kimyası

Fazla sayıda havai fişek türü ve kompozisyonu mevcuttur. İstenilen etkiye bağlı olarak, kimyasal formülasyonun farklı olması gerekir. İstenilen her etki için, doğru bir reaktif seçimi, konfigürasyon ve uygun cihaz kullanılarak tam olarak hazırlanır ve kalibre edilir. Havai fişeklerde, karakteristik piroteknik etkilerin elde edilmesi için oksitleyici maddeler, yakıtlar, bağlayıcılar, renklendiriciler ve/veya metalik tuzlar gibi bazı temel bileşenlerin kullanılması gerekir. Çizelge 2.5'te havai fişekleri hazırlamak için en yaygın olarak kullanılan oksitleyiciler ve yakıtlar gösterilmiştir. Perklorat, nitrat ve klorat tuzları gibi inorganik oksitleyiciler, en sık kullanılanlardan bazılarıdır.

En çok kullanılan tuzlar potasyum perklorat ve potasyum nitrattır. Serbest oksijenin reaksiyona girip oksitlenmiş ürün ve ısı üretebilmesi için yakıt gereklidir. Enerji, piroteknik etkilerin ortaya çıkmasını sağlar. Magnezyum, alüminyum ve kömür yakıt olarak sıklıkla kullanılır. Örneğin, bazı piroteknik karışımlarda, alüminyum veya magnezyum potasyum perklorat ile yakıt görevi görür. Kömür kullanıldığında potasyum nitrat oksidandır.

Çizelge 2.5. Tüketici havai fişeklerinde kullanılan başlıca oksidanlar ve indirgeyiciler ile bunların ana kullanım alanları (Alberca ve Ruiz 2014)

Ana kullanım	
Oksidanlar	
<i>Potasyum perklorat</i>	Mevcut havai fişeklerde en çok kullanılan oksitleyicidir. Gürültü, ışık gibi etkiler üretmek için kullanılabilir.
<i>Potasyum nitrat</i>	Siyah tozun bir bileşeni olarak kullanılan oksitleyicidir.
<i>Potasyum klorat</i>	Genellikle boya dumanı karışımlarında, kibritlerde kullanılır. Kükürt ile birlikte bulundurulmamalıdır. Çoğu ülkede yasaklanmıştır.
<i>Stronsiyum nitrat</i>	Tek oksitleyici olarak nadiren görülür. Kırmızı renk sağlar.
<i>Baryum nitrat</i>	Alev, duman ve parlaklık karışımlarında oksitleyici ve yeşil renk verici olarak kullanılabilir. Alüminyum ile beyaz veya gümüş efekti üretebilir.
<i>Baryum klorat</i>	Yeşil duman karışımlarında ve yeşil renkli ateş kompozisyonlarında oksitleyici ve renk verici olarak kullanılır. Sülfür, realgar(arsenik sülfid minerali), kırmızı fosfor veya potasyum klorat ile karıştırılmamalıdır.
Yakıtlar	
<i>Magnezyum</i>	Parlama tozlarında ve renkli alevlerde kullanılır.
<i>Alüminyum</i>	En yaygın kullanılan yakıttır. Parlak alevler ve beyaz kıvılcıklar çıkarır.
<i>Mangal kömürü</i>	Siyah tozda kullanılan organik yakıttır. Turuncu kıvılcıklar üretebilir. Bazen, kömürle değiştirilebilir.
<i>Magnalium</i>	Sarımsı beyaz kıvılcıklar vermek için kullanılan magnezyum ve alüminyum alaşımıdır. Aynı zamanda renkli ve çatırtı karışımlarıdır. Siyah toz(barut) bileşiminde veya potasyum perklorat ile birlikte kullanılabilir.
<i>Titanyum</i>	Beyaz-gümüşümsü veya sarımsı beyaz parlak kıvılcıklar üretir. Piroteknik volkanlarda kullanılır. Aynı zamanda siyah toz tipi bir kompozisyon ile karıştırılabilir.
<i>Demir</i>	Demir tozları yakıt olarak kullanılır ve çoğunlukla havai fişeklerde ve volkan tipi ürünlerde altın sarısı dallanma kıvılcıkları oluşturur.
<i>Ferrotitanyum</i>	Volkan ve yıldız tipi ürünlerin kompozisyonlarında sarı beyaz kıvılcıklar oluşturmak için kullanılan demir ve titanyum alaşımı.
<i>Sülfür</i>	Beyaz ve renkli duman kompozisyonlarında, parlaklık ve ses için kullanılır. Siyah tozun bir bileşenidir. Bazı karışımlarda oksitleyici olarak da kullanılabilir.
<i>Karbonhidratlar: sukroz, glukoz, laktoz, nişasta veya dekstrin</i>	Renkli duman karışımlarında yakıt olarak kullanılabilirler. Ayrıca bağlayıcı özelliklere sahiptir.
<i>Accroised reçine veya acaroid sakızı</i>	Bitkilerden elde edilen bir reçinedir. Yakıt ve bağlayıcı olarak kullanılabilir. Genellikle renkli ateş ve duman bileşimlerinde ve flaş tozunda kullanılır.
<i>Polivinil klorür</i>	Renkli alevlerde kullanılır. Plastik bir bileşiktir.
<i>Gomalak</i>	Renkli alevlerde yakıt ve bağlayıcı olarak kullanılır.
<i>Antimon trisülfür</i>	Bazen ışıltılı ve volkan kompozisyonlarında parlak ışık elde etmek için kullanılır. Ses karışımlarının bir bileşimidir.
<i>Potasyum benzoat</i>	Işık efekti tozudur. Yüksek ses çıkarmak için kullanılır.
<i>Sodyum benzoat</i>	Sıklıkla ışık sesi efekti çıkarmak için kullanılır.

Diğer durumlarda, farklı etkiler yaratmak için az miktarda yardımcı madde gerekir. Çizelge 2.6’da renk efektlerinin bağlı olduğu katyonlar gösterilmektedir. Stronsiyum veya baryum nitrat, sırasıyla kırmızı ve yeşil renkler üretir. Bunlar oksitleyici ve renk verici olarak çift işleve sahiptirler. Az miktarlarda kullanıldıklarında ise genelde genelde renk verici olarak görev almaktadırlar. Islık efekti, benzoat veya sodyum benzoat karışımına dahil edilerek elde edilir.

Çizelge 2.6. Havai fişeklerde renk efektleri için kullanılan maddeler (Alberca ve Ruiz 2014)

Katyon	Renk efekti	Renk üreten maddeler / bileşikler
Stronsiyum	kırmızı	stronsiyum karbonat, stronsiyum nitrat
Kalsiyum	turuncu	kalsiyum karbonat
Sodyum	sarı	sodyum oksalat, sodyum nitrat, sodyum heksafloroalüminat (cryolite)
Baryum	yeşil	baryum karbonat, baryum klorat, baryum nitrat
Bakır	mavi	bakır tozu, bakır (II) klorür, bakır (II) karbonat, bakır oksit

Duman bileşimlerinde renkli duman üretmek için renkli boyalar kullanılır. Bu tür bir karışımdaki bir başka önemli reaktif, bileşimin tozunu bir topakta bir arada tutmak için kullanılan bağlayıcıdır. Yaygın bir bağlayıcı, aynı zamanda yakıt olarak da işlev gören dekstrindir. Diğer bağlayıcılar nitroselüloz, polivinil alkol ve laminaktır (Alberca ve Ruiz 2014).

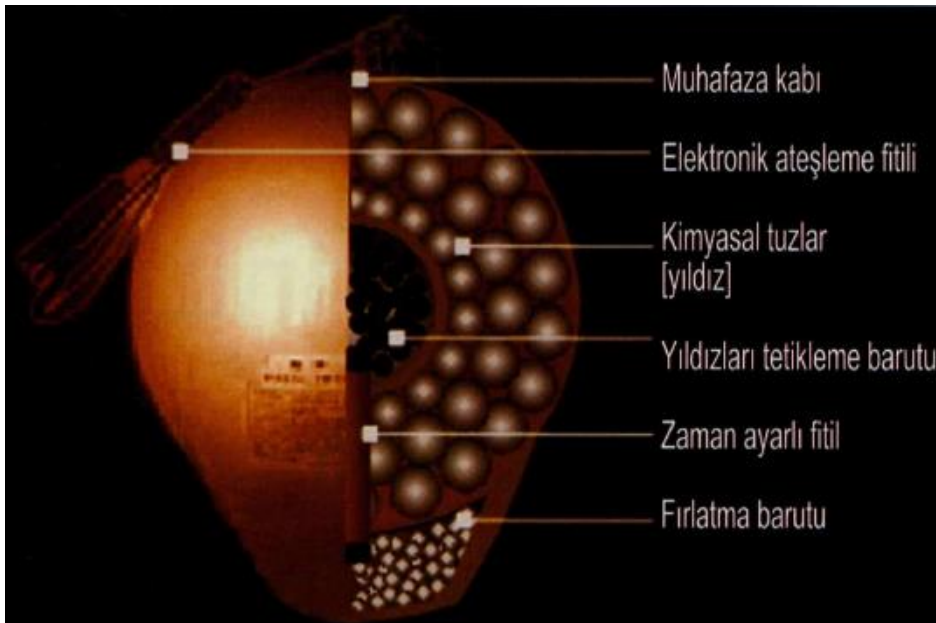
Patlama sesi, kapsüldeki tozdan gelmektedir. Bunun için eskiden fotoğrafçılıkta flaş yaratmak için kullanılan magnezyumdan oluşan flaş tozu kullanılır. Havai fişeklerde metal bazlı tozun yanına patlama yaratmak için de oksijen eklenir.

Metal ve oksitlerin farklı kombinasyonları farklı seslerin yaratılmasında işe yaramaktadır. Bunu sağlayan ise Antik Romalıların kozmetik ürünlerinde kullandığı bizmut adlı açık gri renkli tozdur. Bizmut bugün dahi havai fişeklere katılmaktadır. Havai fişek üretilirken,

flaş tozunun içine bizmut trioksit katılır; bu madde havai fişeğe patlama sesini verir. Sesi daha da güçlendirmek için tozun içine vazelin katılmaktadır.

Havai fişeklerin renkleri ve sesleri için farklı metaller konulmaktadır. Örneğin, bakır mavi ışık verirken, fare zehrinde kullanılan baryum yeşil, kalsiyum turuncu ve sodyum da sarı renk vermektedir. Alüminyum ve titanyum karışımı beyaz renk çıkarır. Örneğin, kırmızı, beyaz ve mavi renklerin bir karması için bu metallerin tozları karıştırılarak fişek kapsülünün içine konulur. Fişek patlamasının havada oluşturduğu şekil, bu tozların kapsülün içinde farklı sıra ve dizide yerleştirilmesiyle belirlenmektedir.

Profesyonel gök bombalan temelde; muhafaza kabı, fırlatma barutu ve onu tetikleyen elektronik fitil, zaman ayarlı fitil, piroteknik tuzlar ve bu tuzları ateşleyen tetikleme barutundan oluşur. Prensipde gök bombalan; elektronik ateşleme sistemiyle patlatılan fırlatma barutunun, muhafaza kabındaki havai fişeği gökyüzüne fırlatıp aynı zamanda yanmaya başlayan zaman ayarlı fitilin yeterli yüksekliğe ulaşan havai fişegin muhafaza kabının ortasına yerleştirilmiş tetikleme barutunu patlatması ve ısının piroteknik tuzları kimyasal reaksiyona sokması sonucu renkli efektler oluşturmasıdır. Şekil 2.5'te havai fişeklerin yapısı gösterilmiştir (Rende 2012).



Şekil 2.5. Havai fişeklerin yapısı (Rende 2012)

2.4.3. Piroteknik ürünlerin yapımında kullanılan element ve bileşiklerin özellikleri

Toprak metallere kadar halojenlere kadar birçok farklı element havai fişeklerin içeriğinde bulunur (Russell 2000).

Magnezyum (Mg): Gümüş beyazlığına sahip hafif bir metaldir. Isı ve elektriği iyi iletir. Toz halinde yanıcı özelliktedir. Piroteknik maddelerde yakıt işlevi görür. Yandığı zaman beyaz parlak ışık verir. Oda sıcaklığında su ile reaksiyona girer. Erime sıcaklığı 650 °C'dir.

Alüminyum (Al): Gümüş-beyaz renginde, kolay alevlenmeyen ve suda çözünmeyen, yumuşak bir metaldir. Piroteknik ürünlerde beyaz renkli kıvılcım üretmek amacıyla kullanılır. Erime sıcaklığı 660 °C'dir. Yangına maruz kalması durumunda toz hali yanar. Elektriği iletir.

Magnezyum/Alüminyum (Mg/Al): Yanıcıdır, su ile reaksiyonunda oluşan yanıcı gazlar alev alabilir. Gümüş gri renkte kokusuz ve toz haldedir. 660 °C'de erir. Piroteknik maddelerde yakıt olarak kullanılır.

Titanyum (Ti): Gümüş gri renktedir. Yüksek sıcaklıkta yanıcıdır. Granül (tanecikli yapı) ya da toz halinde olabilir. Erime sıcaklığı 1660 °C'dir. Suda çözünmez, elektrik iletkenlik özelliği zayıftır. Piroteknik ürünlerde gümüş renkli kıvılcım üretmek amacıyla tercih edilir.

Kriyolit (Na₃AlF₆): Hafif renkli, beyaz kristal toz halindedir. Erime sıcaklığı 1027 °C'dir ve yanmaz. Su ile çözünür. Piroteknik ürünlerde sarı rengin oluşturulması amacıyla kullanılır.

Amonyum Perklorat (NH₄ClO₄): Beyaz kristal toz halindedir. Piroteknik ürünlerde oksitleyici olarak kullanılır. Tek başına yanma özelliği yoktur. Kolay tutuşabilen maddelerle karıştırıldığında patlayıcı özellik kazanır. Suda bir miktar çözülür. 200 °C'den yüksek ısılarda erimeden egzotermik parçalanma olur.

Potasyum Perklorat (KClO₄): Beyaz kristal toz halindedir. Piroteknik ürünlerde oksitleyici olarak görev alır. Tek başına yanıcı özelliği yoktur. Kolay tutuşabilen maddelerle karıştığında patlayıcı özellik kazanır. Suda çözülür. 610 °C’de erir.

Potasyum Nitrat (KNO₃): Beyaz kristal toz halindedir. Piroteknik ürünlerde oksitleyici şeklinde görev alır. Tek başına yanıcı değildir. 334°C’de erir. Yanıcı maddelerle birleştiğinde yangına sebebiyet verebilir.

Potasyum Klorat (KClO₃): Beyaz kristal toz halindedir. Piroteknik ürünlerde oksitleyici şeklinde görev alır. Tek başına yanıcı özelliği yoktur. Erime sıcaklığı 365 °C’dir. Kolay tutuşabilen yanıcı maddelerle karıştığında patlayıcı özellik kazanır. Suda çözülür.

Kükürt (S): Sarı kristal toz halindedir. Piroteknik ürünlerde yakıt olarak tercih edilir. Isıtıldığında yangın tehlikesine sebep olur. Çevre sıcaklığında stabildir. 206 °C’de alevlenmektedir. Erime sıcaklığı 119 °C’dir.

Baryum Nitrat (Ba(NO₃)₂): Beyaz kristal yapıdadır. Piroteknik ürünlerde yakıcı olarak ve yeşil rengin elde edilmesi amacıyla kullanılır. 592°C’de erir. Yakıcı bir maddedir. Diğer maddelerle yangına sebebiyet verebilir.

Nitroselüloz ([C₆H₇(NO₂)₃O₅]_n): Sarı plastifiye granül halindedir. Piroteknik ürünlerde dumansız efekt verme özelliğine sahiptir. Kuru hali yanıcı özelliindedir.

Sodyum Benzoat (C₇H₅NaO₂): Beyaz granül veya toz şeklindedir, suda çözülür. Asitlerle, oksitleyicilerle ve güçlü yakıcılarla uyumsuzluk oluşturur. Yüksek sıcaklıklarda yanıcı özelliindedir. İnce toz hali havaya karıştığı zamanlarda ateşle birlikte potansiyel patlama tehlikesi oluşturur. Piroteknik maddelerde oksitleyici maddelerle birlikte ses efekti amacıyla tercih edilir. Katalizör etkisine sahiptir.

Stronsiyum Karbonat (SrCO₃): Beyaz toz halindedir. Piroteknik maddelerde parlak kırmızı renk elde etme amacıyla tercih edilir. Yanma ve patlama tehlikesi yoktur. Asitlerle uyumsuzdur.

Borik asit (H₃BO₃): Beyaz kristal halindedir. Patlayıcı veya yanıcı değildir. 185°C’de erimektedir. Suda çözünür. Piroteknik maddelerde yavaşlatıcı ve bağlayıcı olarak görev almaktadır.

Kalsiyum Karbonat (CaCO₃): Beyaz toz şeklindedir. Piroteknik maddelerde dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir. Yanıcı ya da patlayıcı özelliği yoktur. Asitlerle uyumsuz haldedir. 1340 °C’de erir.

Fenol reçine: Beyaz ve pembe arası bir renkte toz şeklindedir. Piroteknik maddelerde bağlayıcı olarak görev alırlar.

Vernikler: Sıvı haldedirler. Piroteknik ürünlerde yüzey kaplamalarda kullanılır. Yanabilir özelliktedirler. Çevreye zarar verebileceğinden dolayı su şebekesine karışmamalıdır.

PVA: Beyaz granül halindedir. Piroteknik maddelerde tutkal yapımı için kullanılmaktadır. Su ile çözülür. Yüksek sıcaklıklarda yanıcıdır.

Kırmızı fosfor: Koyu kırmızıdır ve toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde katalizör olarak kullanılır. 260°C’de alev alır. Suda çözünmez. Yanıcı özelliğe sahiptir. Oksitleyiciler ile karıştığında patlayıcı olur.

Sodyum Oksalat (Na₂C₂O₄): Beyaz kristal bir formdadır. Yanıcı değildir. Erime sıcaklığı 250-270 °C’dir. Piroteknik maddelerde sarı rengi elde etmek için kullanılır.

Potasyum Fitalat / Bifitalat: Mavi beyaz renkte ve kristal yapıdadır. Piroteknik maddelerde formülasyonun yanmasını hızlandırmak amacıyla kullanılır. Yüksek sıcaklıkta yanıcı olabilmektedir. Suda çözünür. 297°C’de erir.

Sodyum Nitrat (NaNO₃): Granül ya da toz halde olup beyaz renklidir. Piroteknik ürünlerde kırmızı rengi elde etmek için kullanılır. Erime sıcaklığı 308 °C'dir. Suda çözünür.

Titanyum dioksit (TiO₂): Beyaz renge sahiptir. Piroteknik ürünlerde yavaşlatıcı ve bağlayıcı olarak kullanılır. Erime sıcaklığı 1850 °C'dir. Yanıcıdır ve suda çözünmez.

Pik tozu: Dökme demir tozu gri ve siyah renkte olup granül şeklindedir. Piroteknik maddelerde kıvılcım efekti oluşturmak amacıyla kullanılır. Yanıcıdır ve suda çözünmez.

Perlit: Beyaz granül şeklindedir. Piroteknik maddelerde dolgu malzemesi şeklinde tercih edilmektedir. Yanıcı özelliği yoktur ve suda az çözülür.

Mürdesenk: Sarımsı bir kırmızı renkte olup toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Yanıcı özelliktedir. Erime sıcaklığı 888 °C'dir.

Boncuk Tutkalı: Doğal kahverengi ve siyah renkte katı granül formdadır. Piroteknik malzemelerde kimyasalların birbirine tutunmasını sağlar. 90 °C'den büyük sıcaklıklarda erimektedir.

Arap Tutkalı: Sarı ile kahverengi arası bir renkte olup katı reçine şeklindedir. Piroteknik ürünlerde bağlayıcı ve yapıştırıcı olarak tercih edilmektedir. Suda çözülür.

Demir Oksit: Toz kırmızı kristal şeklindedir ve suda çözünmez. Piroteknik ürünlerde reaksiyonu hızlandırır ve renk verici olarak görev alır. Erime sıcaklığı 1538 °C'dir.

Klorteks S 10: Beyaz ile sarı arası bir renge sahiptir ve toz formdadır. Piroteknik ürünlerde bağlayıcı ve renk veren madde olarak kullanılmaktadır. Suya karşı dirençlidir.

Dekstrin ((C₆H₁₀O₅)_n): Beyaz ve açık sarı bir renge sahip olup toz şeklindedir. Yüksek sıcaklıklarda yanıcı olabilirler. Piroteknik ürünlerde yapıştırıcı ve bağlayıcı olarak tercih edilirler.

Magnezyum Oksit (MgO): Beyaz renkte olup toz formundadır. Piroteknik ürünlerde dolgu malzemesi yapmak için kullanılır. Suda çok az çözülür. Erime sıcaklığı 2800 °C'dir.

Magnezyum klorür (MgCl₂): Renksizdir ya da beyaz renge yakın katı bir formdadır. Piroteknik ürünlerde dolgu materyali yapımında tercih edilir. Erime sıcaklığı 117 °C'dir. Yanıcı özelliği yoktur.

Kaolin: Kirli beyaz bir renge sahip olur toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde dolgu malzemesi gibi tercih edilir. Yanıcı değildir ve suda çözünmez.

Baryum sülfat (BaSO₄): Beyaz toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde yeşil renk elde etmek için kullanılır. Suda çok az çözülmemektedir ve yanıcı özelliğindedir. Erime sıcaklığı 1580 °C'dir.

Stronsiyum sülfat (SrSO₄): Beyaz toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde kırmızı renk elde etmek için kullanılır. Erime sıcaklığı 1605 °C'dir. Suda çözülmesi çok azdır.

Alkol (deri kimyasalı): Sıvıdır. Renksiz olup yanıcı özelliğindedir. Piroteknik ürünlerde çözücü gibi tercih edilir. Kaynama sıcaklığı 64 °C'dir. Suda çözülür.

Bakır oksit (Cu₂O): Siyah toz haldedir. Piroteknik ürünlerde mavi renk eldesinde tercih edilir. Erime sıcaklığı 1250 °C'dir. Yanıcı özellikte olup, suda çözünmemektedir.

Bakır karbonat (Cu₂(OH)₂CO₃): Katı toz şeklindedir ve yeşildir. Piroteknik ürünlerde mavi renk elde etmede tercih edilir. Yanıcı özelliği yoktur ve suda çözünmez.

Söğüt / Çam Kömürü: Siyah renge sahip olup toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde yakıt olarak tercih edilmektedir. Suda çözülür, yanıcıdır.

Antimon trisülfid (Sb_2S_3): Grimsi siyah bir renge sahip olur toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde parlak bir ışık elde etmek amacıyla kullanılır. $550^{\circ}C$ 'de erimektedir. Suda çözünmesi çok azdır. Yüksek sıcaklıklarda yanıcı özellik kazanabilmektedir.

Gomalak: Kahverengimsi ve sarımsı renge sahip parçalar halinde olup doğal bir reçinedir. Piroteknik ürünlerde bağlayıcı ve yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Erime sıcaklığı $78-82^{\circ}C$ 'dir. Zayıf çözünürlük özelliğine sahiptir. Toz halinde yanıcı özellikte olabilmektedir.

Nişasta: Beyazdır ve toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde bağlayıcı ve yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Yanıcı özelliğe sahip olup suda çözünmesi azdır.

Potasyum Benzoat ($C_7H_5KO_2$): Beyaz kristal şeklindedir. Piroteknik ürünlerde reaksiyonu gerçekleştirmede ve hızlandırmada kullanılır. Suda çözünme özelliğine sahip olup yüksek sıcaklık derecelerinde yanıcı özelliktedir.

PVC Resin: Beyaz toz şeklinde olup yanıcı özelliktedir. Suda çözünmesi azdır. Piroteknik ürünlerde bağlayıcı madde olarak ve renk katkı malzemesi olarak tercih edilir.

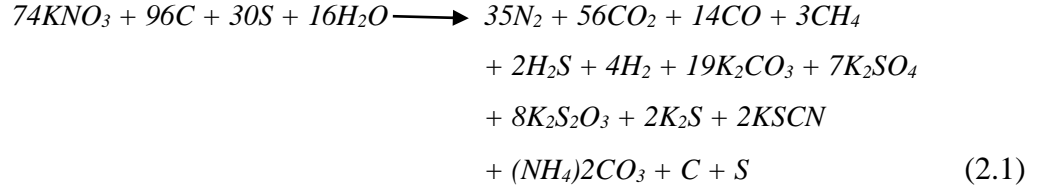
Bizmut trioksit (Bi_2O_3): Sarımsak katı kristal şeklinde olup soğuk suda çözünmemektedir. Piroteknik ürünlerde çıtırdama efekti oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Erime sıcaklığı $820^{\circ}C$ 'dir. Yanıcı özelliğe sahiptir.

Sodyum Bikarbonat ($NaHCO_3$): Beyaz kristal toz şeklindedir. Piroteknik ürünlerde yavaşlatıcı olarak ve alevlenmeyi engelleyici olarak göre alırlar. Erime sıcaklığı $270^{\circ}C$ 'dir. Suda çözünme özelliğine sahiptir.

Sis boyları: Sarı, yeşil, mavi ve kırmızı renktedirler. Piroteknik ürünlerde renk verici olarak kullanılırlar. Suda çözünme özelliğine sahiptirler (Anonim 2013).

2.4.4. Yanma reaksiyonları ve termal dekompozisyon

Yanma tozu için yaklaşık bir denklem reaksiyondaki gibi verilmiştir (2.1).



Yukarıdaki reaksiyon, güherçile (% 75,7), odun kömürü (% 11,7), sülfür (% 9,7) ve nem (% 2,9) içeren bir bileşime karşılık gelir (Russell 2000).

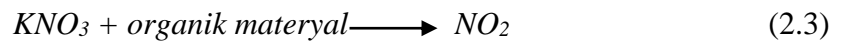
Termal dekompozisyon

Tutuşma noktasının altındaki sıcaklıklarda, siyah tozun termal ayrışması, sonraki yanma sırasında reaksiyon oranını kontrol ettiği düşünülen işlemlerle ilgili bir görüş sağlar. Ayrışma deneylerinde, genel reaksiyonun birkaç adımda ilerlediği gösterilmiştir. Sıcaklık arttıkça, adımlar kısalır ve reaksiyon daha hızlı gerçekleşir. Bu reaksiyonlar gaz içerdiğinden, basıncın etkisi de önemlidir.

İlk tepkimenin, sülfürden hidrojen sülfid (H_2S) oluşumu ve tepkimede (2.2) gösterildiği gibi kömürden çıkan uçucu organik malzemeden oluştuğu gösterilmiştir (Russell 2000).



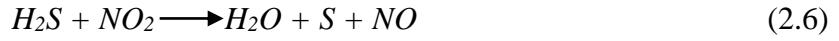
Ayrıca,



NO₂ ayrıca sülfür ve potasyum nitrat (KNO₃) arasındaki reaksiyonlarla, (2.4) ve (2.5)'te gösterildiği gibi azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) arasındaki reaksiyonlarla da üretilebilir:



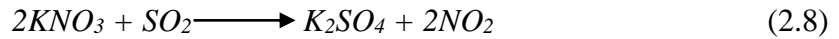
Sonrasında reaksiyon (2.6)'da olduğu gibi, bu reaksiyonların ana ürünleri arasında bir gaz-faz reaksiyonu vardır.



Sülfür rejenerasyonu ile reaksiyonun (2.6) tüm H₂S kullanılıncaya kadar devam ettiği öne sürülmüştür. NO₂ daha sonra reaksiyondaki gibi serbest sülfür ile reaksiyona girer (2.7):

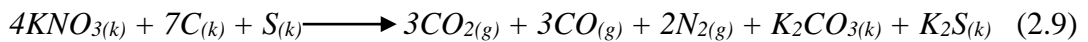


Bu şekilde üretilen SO₂ daha sonra reaksiyonda (2.8) gösterildiği gibi hemen KNO₃ ile reaksiyona girer:



NO₂ bu aşamada serbest bırakılmaz, ancak zinciri sürdürür. Tepkimeler (2.5) ve (2.6) endotermiktir (ısıyı absorbe eder) ancak reaksiyon (2.7) kuvvetli bir şekilde ekzotermiktir ve daha fazla ayrışmayı teşvik etmek ve yanmaya neden olmak için gereken ısıyı üretir.

Yanma tamamlandığında, reaksiyonda (2.9) gösterildiği gibi genel (ama aşırı basitleştirilmiş) bir denklem yazılabilir:



k: katı faz g: gaz fazı

Bu aşamada, yanmanın taneden taneye yayılması, erimiş potasyum tuzlarını ile gerçekleşir (Russell 2000).

Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta, iki endotermik reaksiyon da dahil olmak üzere ateşleme öncesi adımların neredeyse hepsinin buhar fazında gerçekleşmesidir. Bu nedenle, düşük basınçlarda tutuşma meydana gelirse, yeterli bir süre için yeterli ısı enerjisinin mevcut olması gerekir (Russell 2000).

2.5. Hava Kirliliği ve Pirotekniklerin Olumsuz Etkileri

İnsan ömür boyunca ortalama 400–500 milyon litre hava solmaktadır. Bu bakımdan solunan havanın kalitesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Dünyada her yıl hava kirliliğinden yaklaşık 3 milyon insan ölmektedir. Bu değer dünyadaki toplam ölüm vakalarının (ortalama 55 milyon) %5’ni oluşturmaktadır (Akal 2013).

Son yıllarda, kısa vadeli hava kalitesi bozulma olaylarına ve bunların insan sağlığına uzun vadeli olumsuz etkilerine odaklanma artmıştır (Zhang ve ark. 2010).

Kreyling ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada PM parçacık boyutu ve dağılımının önemli faktörler olduğu ve 100 nm’den küçük çaptaki partiküllerin alveollere nüfuz ederek dolaşım sistemine geçmesi ve organlara ulaşmasıyla gerçekleşen zehirlenmeler olduğu sonucuna varmıştır (Dutschke ve ark. 2011).

Partikül maddelerin vücuda vereceği etkiler kimyasal karakterizasyon ve partikül çapına göre değişiklikler gösterir. Çizelge 2.7’de de görüldüğü gibi partikül maddelerin insan vücuduna verdiği etkiler çaplarına göre değişiklik göstermektedir.

Çizelge 2.7. Partikül boyutu ve solunum sistemine etkileri (Scherbakova 2010)

PM > 11 µm	Solunum sistemine girmez
7 – 11 µm arası ve yukarısı	Burun içinde tutulur
4,7 – 7 µm	Boğazda (yutakta) tutulur
3,3 – 4,7 µm	Nefes borusu ve ön bronşlarda tutulur
2,1 – 3,3 µm	Orta kısımdaki bronşlarda tutulur
1,1 – 2,1 µm	En uç bronşlarda tutulur
0,65 – 1,1 µm	Solunum borusunda tutulur
0,43 – 0,65 µm	Akciğer alveollerinde tutulur

Uzun yıllardır araştırmacıların önemseydiği konulardan biri de ince partiküllerin insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerdir. Bu partiküller akciğerlerde alveol olarak isimlendirilen hava değişim keseciklerine kadar ilerleyerek, bronşit, astım ve prematüre ölümleri gibi önemli problemlere sebebiyet verebilmektedirler. Bu yüzden, bu konu hakkındaki çalışmalar sürekli çeşitlenip, devam etmektedir. Bazı araştırmacılar, daha kaba partiküllerin de (PM_{2.5-10}) farklı yollarla ve farklı biçimlerde solunum yollarına girerek burada birikebildiğini belirtmişlerdir. Bu kaba partiküller toksik etki oluşturabilecek bazı kimyasalları da bünyelerinde bulundurabilmektedirler. Sardar ve ark. (2006) çalışmalarında, sağlık alanında yapılan çalışmalardan elde ettikleri verilerde, solunum yolu hastalıkları ile alakalı şikayetler ve kaba partiküller arasında anlamlı sayısal ilişkilerin olduğunu ve bu partiküllerin insanların sağlığı üzerinde önemli bir tehdit olduğunu düşündüğünü belirtmiştir (Arı ve ark. 2008).

İnce partiküller (PM_{2.5}) son zamanlarda dünya çapında dikkat çekmiştir. Yapılan epidemiyolojik ve toksikolojik çalışmalar ince partiküllerin (PM_{2.5}) kardiyovasküler ve solunum sistemine bağlı hastalıklar ile küresel ölçekte erken ölümlere sebep olduğunu göstermektedir (Han ve ark. 2016).

Havadaki partikül maddenin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri büyük ölçüde boyutlarına ve kimyasal bileşimlerine bağlıdır. Havadaki partiküllerden 1 µm'den küçük olanların analizi zor olsa da, PM₁ ve PM_{0.1} analizlerine ilgi artmaktadır. Bu parçacıklar

solunma yoluyla canlı organizmalara nüfuz ettiklerinde, zatürree, bronşit ve akciğer kanseri de dahil olmak üzere birçok solunum sistemi hastalığına neden olabilir (Do ve ark. 2012).

İç ortamdaki kirleticilere maruz kalmak, dış ortamdaki kirleticilerle karşılaştırıldığında sağlık açısından daha fazla risk taşımaktadır. Çünkü insanlar zamanlarının neredeyse tamamını kapalı mekânlarda geçirmektedirler. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA), insanların kapalı alanlarda açık alanlara oranla 2-5 kat daha fazla zararlı bileşiklere maruz kaldığını açıklamıştır. Kapalı ortam hava kirliliğinin olumsuz etkileri genellikle uzun sürede ortaya çıkar. Bu etkiler sağlığı doğrudan tehdit etmediği için gereken önem verilmemektedir.

Toplumda yaygın olan anlayış, dışarıdaki hava kirliliğinin insanlara zarar verdiği buna karşın binaların içinin havanın insanlar açısından zararlı olmadığıdır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, iç hava kalitesiyle ilgili gerekli önlemler alınmadığı takdirde bu mekanlarda hava kalitesinden kaynaklanan çok ciddi sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir (Babaroğlu 2015).

Atmosfer ile ilgilenen bilim insanları, yanan havai fişeklerin ozon, organik bileşikler, süspanse edilmiş parçacıklar ve insan sağlığına büyük tehdit oluşturan diğer inorganik maddeler gibi birçok kirletici madde saldığını göstermiştir (Liu ve ark. 2014).

Havai fişeklerin yanmasıyla açığa çıkan sülfürdioksit, karbondioksit, karbonmonoksit, asılı partiküller ve alüminyum, manganez, kadmiyum vb. metaller ciddi sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedir. Havai fişekler genellikle ciddi kazalara ve ölümcül yaralanmalara neden olur. Havai fişeklerden kaynaklanan partiküllerin iz metaller ve organik bileşiklerle olan kompleks yapıları insan sağlığı için daha fazla tehdit oluşturur. Ayrıca, renkli havai fişeklerin kullanılması, yer seviyesinde güçlü ve zararlı bir oksitleyici olan ozon üretebilir ve insanları yüksek risk altına sokar (Wang ve ark. 2007). Havai fişeklerin yanmasıyla sülfürdioksit, havada asılı partiküller ve havai fişegin rengini veren bakır, baryum gibi kirleticiler havaya karışmaktadır. Havai fişek ve türevlerinin etkileri geçicidir, bu metal emisyonları yalnızca yılın belirli zamanlarında veya özel

olaylar sırasında ortaya çıkar. Ortaya çıktıklarında metaller ince ve kolay solunabilen parçacıklar olarak yoğun bulutların içinde taşınır ve solunum sistemlerine derinlemesine nüfuz edebilirler. Bunların dumanının solunması, astım atakları konusunda hassas bireyler için ölümcül olabilmektedir. Bu, artan sülfür dioksit seviyeleri ile birlikte, bu tür kirlilik kaynaklarına maruz kalan bireylerde olumsuz kısa veya uzun vadeli sağlık sonuçları olup olmadığı sorusunu gündeme getirmektedir (Galea ve Powles 2010).

Piroteknik maddelerin sağlık etkileri incelendiğinde; patlayıcı maddeler ile alakalı olarak kaynaklarda, patlayıcı etkisi olarak, mizney-şardin etkisi, basınç ve parça etkisi, çukur imla etkisi, termal etki ve parça koparma etkisi gibi temel etkilerden söz edilmektedir. Piroteknik ürünler ise ışık, duman, ısı ve ses üretmek için dizayn edilen ve kompozisyonlarındaki kimyasal bileşenlerin temel özellikleri sebebiyle patlayıcı özellikleri mukayese edildiğinde özellikle parça tesiri ve basınç açısından yüksek güçlü patlayıcı ürünlere kıyasla oldukça zayıf etkilere sahiptirler.

Fakat piroteknik maddeler, şiddetli ve ani yanma özelliğini barındırmaları ve de özellikle havai fişeklerde dikkatleri üzerine çeken infilak özelliği sebebiyle insan ve çevre sağlığını tehdit eden özelliklere sahiptirler. Doğal hayat üzerinde zehir etkisi, patlamalara ve yanmalara maruz kalabilecek canlılar üzerinde oluşması muhtemel yaralanmalar, infilak özellikli maddelerde oluşan gürültü sebebi ile işitme problemleri, yanma ve infilak sonrası sonrasında oluşan yoğun duman ve partiküller sebebi ile solunum şikayetleri, önemli gösterilerde hava kirliliği, yanlış kullanım ya da kaza sonucu oluşması muhtemel yangınlar, hava araçları uçuş rotaları ya da hava alanları yakınlarında kullanılmaları durumunda kazalara sebebiyet verme ihtimali gibi bir çok etki söz konusu olabilmektedir (Durdu ve Cantürk 2017).

2.5.1. İşitme kaybı

Havai fişeklerin ateşlenmesiyle birlikte meydana gelen patlamadan dolayı travmalar oluşabilmektedir. Patlayan havai fişeklerin yarattıkları gürültü, impulsu 130 dB'den daha fazla olabilir. Havai fişek gösterisinin yapıldığı atış alanının çok yakınında 190 dB'ye kadar maksimum değerler ölçülebilir. Biraz uzaktan 150 dB gibi değerler ölçülebilir (Bu,

100 m uzaktan bir uçağın gürültüsüne eş değer). İnsan kulağı kısa bir süre içinde çok yüksek olan bu değerlere uyum sağlayamaz. Ani gürültüler ve yüksek ses basıncı sürekli gürültü ortamında bulunan bir insana göre bile kulağa daha zararlıdır. Ani patlama (gürültü) kulak zarının yırtılmasına neden olabilir. Yılbaşı gecesinin havai fişekle kutlandığı Avrupa ülkelerinde havai fişeklerden dolayı binlerce insanın iç kulak zararlarından şikâyetçi olduğu bilinmektedir. Bu zararların bir kısmının kalıcı olduğu da görülmüştür.

2.5.2. Çocuklara etkisi

Havai fişekler çocuklarda kalıcı işitme hasarları yaratabilir. Hassas olan çocuklarda kulağın içinde patlama travması yaratarak zarar verebilir.

2.5.3. Gürültü

İnsanlar üzerinde olumsuz etki yaratan, istenmeyen ve dinleyene bir anlam ifade etmeyen, hoş gitmeyen seslere gürültü denir. Bu tanıma bakıldığında, sesin gürültü niteliği taşması için mutlaka yüksek düzeyde olması gerekmediği anlaşılmaktadır. Özellikle büyük kentlerimizde gürültü yoğunlukları, oldukça yüksek seviyede olup Dünya Sağlık Örgütü'nce belirlenen ölçülerin üzerinde olduğu değerlendirilmektedir. Ses ve gürültü arasındaki ayrım kişilere göre değişebilir. Bazı insanların kulağına müzik olarak gelen birtakım sesler, diğer insanlar için rahatsız edici olabilir ve gürültü olarak algılanır. Rahatsızlık duyma sınırı da insandan insana farklılık gösterebilir. Ancak gürültünün insan sağlığını ve rahatını bozduğu, olumsuz psikolojik etkiler yaptığı ve kaza tehlikesini artırdığı bir gerçektir.

2.5.4. Sağlığa olan diğer zararları

Havai fişeklerin yakılmasından sonra insanların solunum sistemi, kimyasallara karşı tahammülsüzlük, metallere karşı alerji, kalp ve kan dolaşımı gibi hastalıklara maruz kalabilmektedirler. Bebeklere ve küçük çocuklara da bu kimyasal karışım oldukça zarar vermektedir. Havai fişeklerin yanması ve patlaması sonucunda ömür boyu kalıcı hasarlar

oluşabilmektedir. Genelde havai fişeklerden en çok zararı eller görmektedir. Basit el yanmasından ve parmak kırıklarından tutun da ağır derecedeki yanmalara ve parmak kopmalarına kadar gidebilmektedir.

2.5.5. Göz yaralanmaları

Bilhassa gözde ezilmeler, zarda ve göz bebeğinde kalıcı hasarlar oluşmaktadır. Ortamda uçuşan parçacıkların göze girmesi durumunda insan gözünü kaybedecek duruma kadar gelebilir.

2.5.6. Ciğerlerin zarar görmesi

Özellikle solunum sorunu olan insanlarda daha sık görülen nefes darlığı artmaktadır. Alerjisi olan veya soğuk algınlığına yakalanan bir insan için daha tehlikeli olmakta, zehirli dumanlar bu insanlarda baş dönmesi yapmaktadır. Havai fişeklerin insanlara ilk etapta yüze, göze, ellere, yani yüzeysel zarar verdiği düşünülebilir. Çoğu zaman önemli olan diğer bir husus unutulur. Havai fişekler ateşlendikten sonra çok ince zehirli tozlardan oluşur. Bu tozlar sadece yaşlı ve hasta insanlara değil, aynı zamanda sağlıklı ve genç insanlara da zarar verebilir.

Avrupa'da yapılan araştırmalar sonunda özel günlerde ve yılbaşı gecesinde havadaki metal ve zararlı komponentlerin oranının arttığı görülmüştür. 1996'da Stockholm'deki bir "Su Şenliği"ndeki havai fişek gösterisinin ardından yapılan hava analizinde, cıva, kurşun, kadmiyum, bakır, krom gibi maddelerin normalin 4-5 katı fazla olduğu görülmüştür. Örneğin, 1999 yılında yapılan bir çalışmada baryum, solunum yollarına zarar verebilmektedir. Yüksek tansiyon yaratabilmekte, ciğerlere zarar verebilmektedir.

Avrupa'da hasta ve yaşlılar başta olmak üzere bütün insanlara, yılbaşı gecelerinde yoğun bir şekilde havai fişek atılacağı zaman "Evde kalınız, pencereleri kapatınız, evinizdeki hava filtrelerini, klimalarınızı çalıştırınız, maske takınız" gibi tavsiyelerde bulunmaktadır. Buradan anlaşılabilirdiği gibi havai fişeklerin zarar verebileceği ve önlem alınması gerektiği açıktır (Rende 2012).

2.6. Diğer Çalışmalar

Havai fişeklerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerine rağmen, bunlardan kaynaklanan partiküllerin fizyokimyasal özelliklerini tanımlayan sınırlı miktarda literatür bulunmaktadır. 4 Temmuz tatili boyunca Florida'da PM₁₀ aerosol parçacıklarındaki Mg ve Al seviyelerinde önemli bir artış görüldü (Carranza ve ark. 2001). 4 Temmuz tatilinin ardından, Kaliforniya'daki Riverside Üniversitesi'nde ortam havasında magnezyum, alüminyum, potasyum, kurşun, baryum, stronsiyum ve bakır düzeylerinde önemli artışlar bulundu. Hindistan'daki Diwali festivali sırasında Ba, K, Al ve Sr seviyelerinin sırasıyla 1091, 25, 18 ve 15 kat arttığı ve SO₂, NO₂, PM₁₀, TSP(Total Suspended Particles – Toplam Askıda Partikül) 2-10 kat arttığı görülmüştür. Havai fişeklerin patlatılmasından kaynaklanan partiküller üzerinde yapılan çalışmaların yanı sıra, havai fişek kalıntılarında, oktاكلorlu dioksinler, furanlar ve heksaklorobenzen dahil organik toksik türlerin konsantrasyonları konusundan çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca havai fişek karışımlarının kimyasal kompozisyonları ve partikül boyutlarını inceleyen bir çalışma da ortaya konmuştur (Wang ve ark. 2007). Almanya'nın Leipzig kentinde yapılan milenyum kutlamalarında havai fişeklerden kaynaklanan partikül maddelerin boyutları 3 ila 800 nm arasında ölçülmüştür (Wehner ve ark. 2000), İtalya'nın Milan şehrinde gerçekleştirilen bir havai fişek gösterisi sırasında 0,5mm <dp < 1 mm boyutundaki partikül madde konsantrasyonunda önemli ölçüde artış(1 saat içerisinde 6,7 kata kadar) tespit edilmiştir (Vecchi ve ark. 2008).

Steinhauser ve ark. (2008) Alpler'de yeni yıl akşamı kutlamalarından sonra gerçekleşen kar yağışında, kar tanelerinde ağır metal içerikli partiküller tanımlamışlar, yanma ürünlerinin kar taneleri tarafından absorbe edildiği, bu sayede baryum konsantrasyonunun önemli ölçüde arttığını tespit etmişlerdir.

Moreno ve ark. (2007) İspanya'nın Valencia kenti ve İngiltere'nin Londra kentindeki Guy Fawkes gösterilerindeki havai fişeklerden kaynaklanan metal içerikli partiküller üzerinde çalışmışlar ve çeşitli metal konsantrasyonlarında (potasyum, alüminyum, titanyum, magnezyum, kurşun, baryum, stronsiyum, bakır ve antimon) artış gözlemlemişlerdir.

Wang ve ark. (2007) Çin'in Pekin kentinde gerçekleştirilen bir havai fişek gösterisinde yaptıkları çalışmada PM_{2.5} ve PM₁₀ emisyonları tespit etmişler, bunların kimyasal analizlerinde de baryum, potasyum, stronsiyum, kurşun ve magnezyum bulmuşlardır.

Havai fişeklerden kaynaklanan partikülleri araştıran bir diğer çalışmada ise Vecchi ve ark. (2008) 2006 Dünya Kupası finalinden sonra Milano, İtalya'da yapılan gösterilerden elde ettikleri örneklerde stronsiyum, magnezyum, potasyum, baryum ve bakır gibi iyonları ölçmüşlerdir.

İç ortam havasının kalitesi ile alakalı yurt dışında yapılan çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, ülkemizde bu konuda yapılan araştırmalar sınırlı sayıda kalmıştır. Yurt dışı araştırmalarında durum farklı boyutlar ile araştırılmış ve çeşitli ortamlarda iç ortam hava kalitesi ölçümleri gerçekleştirilerek durum analiz edilmiştir. Ancak ülkemiz genelinde yapılan araştırmalar genelde iç hava kalitesinin önemi ve genel durumları ile alakalıdır (Bulut 2008).

Kapalı mekanlardaki hava kalitesi belirleme çalışmalarında yaşam alanları dışında çalışma ortamlarının hava kalite değerleri de önemlidir. İşçi sağlığı ve güvenliği kapsamında işverenin çalışanlarının sağlık risklerini ortadan kaldırması gerekir. Bu kapsamda yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde genellikle ofislerde yapılan çalışmalara rastlanmaktadır. Amerika ve Meksika'da yapılan iki farklı çalışmada ofislerde VOC'ler ve PM seviyeleri belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına bakıldığında fotokopi makinesi ve yazıcıların çalışır konumda olması halinde yüksek PM seviyesi belirlenmiştir. İç ortamda Si, S, K, Ca, V, Ti, Cr, Mn, Fe, Si, Cu, Mo ve Zn konsantrasyonlarına maruz kalma seviyeleri dış ortam çalışanlarından daha yüksek bulunmuştur. Gazete baskı merkezlerinde ve radyo istasyonlarında yapılan iki farklı çalışmada da; PM_{2.5} konsantrasyonunun dış ortam havasından direk etkilendiği ve daha yüksek değerler aldığı bulunmuştur.

Kişisel maruziyet ile ilgili yapılan bir çalışmada trafik polislerinin maruz kaldığı CO seviyeleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Diğer bir çalışma ise İstanbul Metrosunda tren içi ve peronlarda solunan havanın PM konsantrasyonu ve metal içeriğinin belirlenmesi

için yapılmıştır. Metro çalışanlarının ve yolcuların maruz kaldığı PM₁₀ ve PM_{2.5} seviyeleri dış ortam PM seviyelerinde her metro istasyonunda yüksek çıkmıştır. Diğer bir çalışmada mobilya üretimi çalışma alanlarında ve kahvehanelerde formaldehit düzeyleri belirlenmiştir. Mobilya üretim alanlarında yapılan ölçümlerin %24'ünün OSHA(Occupational Safety and Healty Administration) limit değerinin (0,75 ppm)üzerinde olduğu gözlenmiş ve çalışanların formaldehit maruziyeti sonucu risk altında olduğu belirtilmiştir. Yapay havalandırmaların olduğu kahvehanelerde ortalama formaldehit düzeyi 0,2 ppm olarak tespit edilmiştir (Şahin ve Kurutaş 2009).

İstanbul'da Kılıç (2010) tarafından yapılan bir çalışmada ise Marmara Üniversitesi Hastanesinin iç mekan hava ortamlarında partikül madde kütlesi ve element konsantrasyon seviyeleri araştırılmıştır. İstanbul'da bir sanayi tesisinde yer alan metal kaplama tesisinde PM örnekleme gerçekleştirilmiş, ince partikül maddenin boyut dağılımı ve konsantrasyonları hesaplanmıştır. 2,5 µm altındaki partiküllerin yaklaşık olarak % 47'sinin 0,25 µm'nin altında olduğu belirlenmiştir. Cu, Ni, Mn, Pb ve Cr elementlerinin yüksek konsantrasyonları tespit edilmiştir (Çalışkan 2017). Kocaeli'nde odun kömürü ile pişirme yapan 14 restoranda yapılan bir çalışmada PM konsantrasyonları ve elementel kompozisyonları değerlendirilmiştir (Taner 2012).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Örnek Alma ve Analizlerde Kullanılan Cihazlar

Bu çalışma kapsamında düğün salonlarında eğlence ve gösteri amaçlı kullanılan ve havai fişeklerin bir çeşidi olan volkan diye tabir edilen piroteknik ürünlerin patlatılmasından kaynaklı iç ortam hava örnekleri alınmıştır. Bu amaçla 10 farklı düğün salonundan hava örnekleri toplanmış, partikül madde boyut dağılımları ve bunların metal içerikleri yönünden incelemeler yapılmıştır. Çizelge 3.1’de düğün salonlarından alınan örneklerde eğlence amaçlı kullanılan patlayıcı/parlayıcı maddelerin özellikleri verilmiştir. Tüm örnek alma işlemleri patlatılan maddelerden ortalama 3 ila 5 metre uzaklıkta gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnekleme yapılan maddelerin özellikleri

Patlatılan Maddenin						
Örn.No	İsmi	Adet	Cinsi	Yanma Süresi(Ort) (sn)	Boyut (inç)	Ort. Duman Yüks. (m)
1	FRK-VO2	4	Volkan(Beyaz-kokusuz)	30	3	3
2	MK-F04	4	Volkan(Beyaz-kokusuz)	30	3	3
3	MK-F04	2	Volkan(Beyaz-kokusuz)	30	3	3
4	F5 (Astorya)	2	Volkan	30	3	3
5	BCSP-3015	2	Volkan	30	3	3
6	BCSP-3015	2	Volkan	30	3	3
7	BCSP-3015	2	Volkan	30	3	3
8	BCSP-3015	2	Volkan	30	3	3
9	MK-F04 ve BCSP-3015	1+1	Volkan	30	3	3
10	BCSP-3015	2	Volkan	30	3	3

A. Partikül Madde Örneklemelerinde Kullanılan Cihaz

Çalışmada düğün salonlarındaki PM örneklemesini standartlara uygun koşullarda yapabilmek ve cihazın güvenliği için cihazın pompası ve örnekleyici, örnekleme yapan kişi üzerinde bulundurulmuştur. Örnekleyicinin yerden yüksekliği ortalama 1,5 metre mesafedir ve örnekleme işlemleri de eğlence amaçlı kullanılan patlayıcılardan yaklaşık 3 ila 5 metre uzaklıkta gerçekleştirilmiştir. Cihazın pompası örnekleme işleminden önceki gece yeteri kadar sarj edilmiştir. Cihazın pompası eğlence amaçlı kullanılan materyallerin patlatılmasından 10 dakika önce çalıştırılmış, patlama işlemi gerçekleştirildikten sonra da 60 dakika örnekleme gerçekleştirilmiş, toplamda ise 70 dakika örnekleme yapılmıştır. Bu işlemler her bir düğün salonu için ayrı gerçekleştirilmiştir. Düğün salonlarına ve eğlence amaçlı patlatılan materyallere ait resimler Şekil 3.1’de, patlatma anına ait görseller ise Şekil 3.2’de verilmiştir.

PM örneklemesi için Sioutas Sıralı Örnekleyici kullanılmıştır. Sioutas Sıralı Örnekleyici iç ortam havasında askıda olan partiküllerin farklı boyuttaki konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılmıştır.



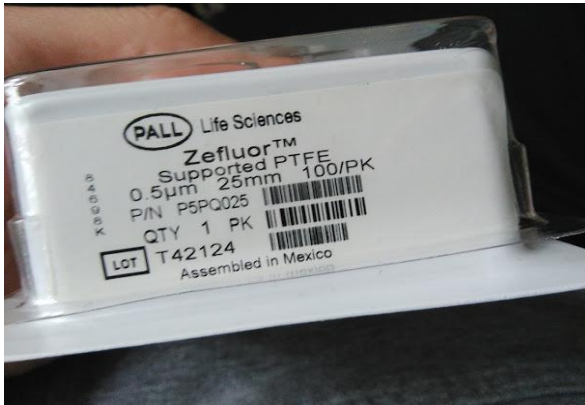
Şekil 3.1. Örneklemesi yapılan patlayıcı/parlayıcı materyallere ait resimler



Şekil 3.2. Eğlence amaçlı kullanılan patlayıcı/parlayıcı maddelerin patlatılma anı

Partikül madde örnekleme sistemi 5 litre/dakika (l/dk) hava çekebilen SKC Leland Legacy Pompa ile toplam 5 kademeden oluşan sıralı örnekleyciden oluşmaktadır. Hava akışı giriş plakasından son filtrenin bulunduğu çıkış plakasına doğrudur. Toplayıcı plakaları hızlandırıcı plakalar ayırmaktadır. Hızlandırıcı plakadan geçen hava toplayıcı plaka üzerinde bulunan filtreye çarpıp, plakanın yanlarında bulunan boşluklar (orifizler) vasıtası ile 2. kademeye gelir, bu işlem son kademeye kadar sürer ve en son tozdan arınmış hava ortamdan ayrılır. Böylece her boyuttaki partiküller aerodinamik özelliklerine göre ayrı plakalarda tutulur. 5 kademeden her birinde toplanan PM boyut çeşitliği göreceli kademelerde orifizden geçen hava plakalardaki delik çapları ve sayısına bağlıdır.

Sioutas Sıralı Örnekleyci de kullanılan filtreler, A,B,C,D toplayıcı plakalar için; Zefluor Supported PTFE, 0,5µm, 25mm; çıkış plakası için, PTFE No Support Pad, 2,0µm, 37 mm'dir. Şekil 3.3'te kullanılan filtreler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Örneklemede kullanılan filtreler

B. SKC Leland Legacy Pompa

Leland Legacy ikili diyafram örnekleme pompası sabit 5-15 litre/dakika debi sağlamak için en düşük güç gereksinimiyle ve düşük sesli çalışan, özel olarak tasarlanmış bir pompadır.

Diyafram ve vana tasarımları güç gereksinimlerini en aza indirir ve böylece çıkardıkları sesi azaltır. Giren ve çıkan hava akımı titreşim amortisörlüdür. Hafif olan Leland Legacy dayanıklılık için termoplastik bir malzeme içine yerleştirilmiştir. Hasara karşı koruyan ve sesi azaltan yumuşak kauçuk kullanılmıştır. Tekrar şarj edilebilen 10 Li-Ion pillerden oluşan pil takımıyla gücü sağlanan Leland Legacy 12 inç su karşı basıncında 10 l/dak akış hızında 24 saatlik çalışma zamanı sağlamaktadır. Pompanın patentli dahili debi detektörü debiyi direkt ölçmekte ve ayarlanan debinin sabit olmasını sağlayan ikincil bir standarttır. Sabit parça olarak dedektörler sıcaklık ve atmosferik basınçta olan değişikliklere karşı debiyi otomatik olarak düzeltir. Data Track yazılımı ve PC ile birlikte kullanıldığı zaman gelişmiş programlama özelliklerine sahiptir. Şekil 3.4'te SKC Leland Legacy pompa gösterilmiştir.

Pompaya ait debi özellikleri şu şekilde belirtilmiştir:

Debi aralığı: 5- 15 l/dk; debi kontrol sistemi: patentli dahili debi detektörlü kapalı devre; dengeleme aralığı: 5 inç su karşı basıncında 15 l/dk, 12 inç su karşı basıncında 10 l/dk, 20 inç su karşı basıncında 5 l/dk; hassasiyet: $\pm 3\%$ ayarlanmış debi, istenen debi için kalibre yapıldıktan sonra; debi hatası: debi %5'ten fazla düşerse pompa durur ve geçmişteki verileri tutar. 10 kere otomatik olarak yeniden başlar.

Pompanın LCD ekranında pompa yazılım değişiklik düzeyi, hacim, debi, sıcaklık, atmosferik basınç, günün tarihi, çalışma süresi ve pompa statüsü görülebilmektedir. Zaman görüntüleme aralığı 1-99999 dakikadır. Çalışma süresi 69 günü geçerse süre ölçer görüntüsü sıfırlanmaktadır. Kullanıcının ayarlayabildiği değerler: örnekleme çalışma zamanı, kalibrasyon, saat görüntüsü, akış hızı, günün saati, gecikmeli başlangıçtır. Kaydedilen değerler ise başlangıç gün ve saati, durma gün ve saati, toplam örnekleme

süresi, akış süresi, numune hacmi, sıcaklık, atmosferik basınç ve pompa mod değişimleridir.



Şekil 3.4. SKC Leland Legacy pompa

C. Sioutas Sıralı Örnekleyici

Leland Legacy Pompa ile birlikte Sioutas sıralı örnekleyici kullanılmıştır. Sioutas sıralı örnekleyici hava kökenli partikülleri 5 ayrı düzeyde toplamaktadır. Sırasıyla $>2,5 \mu\text{m}$, $1,0 - 2,5 \mu\text{m}$, $0,50 - 1,0 \mu\text{m}$, $0,25 - 0,50 \mu\text{m}$, $<0,25 \mu\text{m}$ boyutunda ki partikülleri tutarlar. PTFE (Teflon) filtre ile kullanıldığında yüksek etkilidir ve yardımcı kaplama malzemesi gerektirmez. Şekil 3.5'te sıralı örnekleyicinin görüntüsü verilmiştir.

Uygulama alanları; endüstriyel hijyen çalışmaları, iç ortam hava kalitesi çalışmaları, hava kirliliği çalışmaları, solunum zehirlenmeleri ve epidemiyolojik çalışmalar, aerosol araştırmaları, farmakolojik çalışmalardır.



Şekil 3.5. Sioutas sıralı örnekleyici

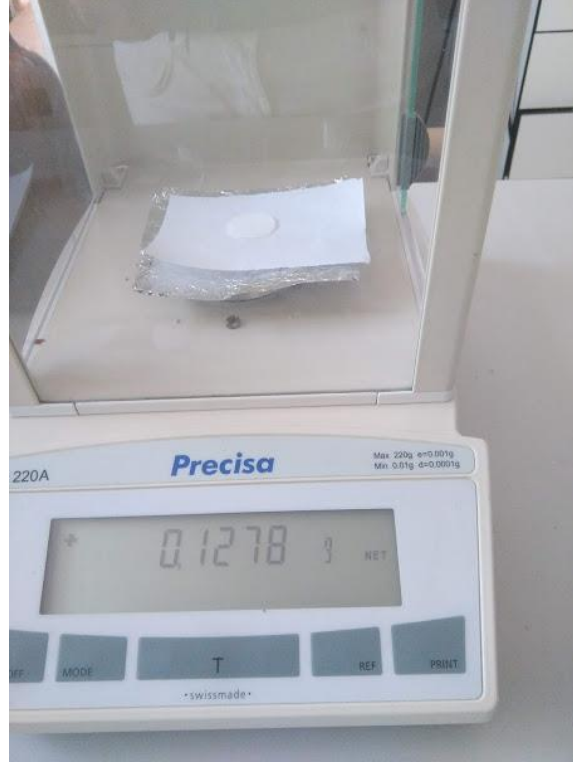
Sioutas Sıralı Örnekleyicinin katlarında; A: 2,5 μm - B: 1,0 μm - C: 0,50 μm - D: 0,25 μm - F: <0,25 μm boyutlarındaki partiküller tutulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan 5 aşamalı Sioutas sıralı örnekleyicide 2,5 μm 'den büyük, 1,0 - 2,5 μm , 0,5 - 1,0 μm ve 0,25-0,50 μm boyut aralıklarındaki partiküller, sırasıyla, A, B, C ve D aşamalarında toplanırken; 0,25 μm 'den küçük partiküller son aşama olarak adlandırılan F aşamasında toplanmıştır.

Önerilen son aşama filtre tipi: 37-mm, 2,0- μm PTFE filtre; partikül kesme noktaları önerilen filtre tipi: 25 mm, 0,5 μm PTFE'dir. SKC Leland Legacy pompanın kalibrasyonu BIOS Defender 500 serisi kalibratör ile yapılmıştır.

Örneklemede kullanılan filtrelerin şartlandırma sonrası ve ölçüm sonrası tartımları, PRECISA XB 220A marka model 0,01/0,1 mg duyarlılıkta hassas elektronik tartı ile (Şekil 3.6) yapılmıştır ve gravimetrik yöntem ile partikül madde kütle konsantrasyonları belirlenmiştir.

Cihazda kullanılan filtreler örneklemeden önce laboratuvarında özel maşa ile steril petri kaplarına alınmış, desikatörde 10 dakika bekletildikten sonra ilk tartımları yapılmış ve filtreler sıralı örnekleyicinin katlarına yerleştirilmiştir (Şekil 3.7). Örnekleme işlemi bittikten sonra yine laboratuvara getirilen filtreler, burada özel maşa ile alınarak petri kaplarına yerleştirilmiş ve desikatöre konulmuştur. 10 dakika kadar beklenip nemi

alındıktan sonra hassas terazide ikinci tartımları gerçekleştirilmiştir. Filtreler alındıktan sonra cihazın temizliği yapılmış ve yeni filtreler yerleştirilerek sistem bir sonraki örnekleme için hazır hale getirilmiştir. Tüm bu aşamalar her bir örnekleme aşaması için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



şekil 3.6. Tartımlarda kullanılan Precisa marka hassas tartı



Şekil 3.7. Desikatörde filtrelerin neminin alınması

3.2. Ekstraksiyon (Ayrıştırma)

Katı faz örneklerinin analize hazır hale getirilmesi çok zaman harcayan bir aşamadır. Ayrıca örneklerin tam çözünmemesi, çözünmeyen kısımların çökmesinin homojen olmayan kısımlar oluşturması gibi problemlerle karşılaşılmaktadır.

İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile yapılan analizlerde homojen bir karışım istenmektedir. Mikrodalga asit çözündürme işlemi örnek içerisindeki katı kısmın (partikül, filtre vb.) çözündürülmesi için en uygun yöntemlerden birisidir. Çözündürme süresini kısaltması ve olası kontaminasyonları önlemesi açısından da sıkça tercih edilen bir yöntemdir (Grudzinski 2007).

ICP-MS analizlerinde örneklerin homojen şekilde katı fazın çözündürülerek hazırlanması amacıyla MARS5 mikrodalga cihazı (Şekil 3.8) kullanılmıştır.

Partiküllerin hassas terazi ile tartımı tartımı gerçekleştirildikten sonra, filtrelerin çözündürülmesi işlemi MARS5 mikrodalga ile hazırlanmış reaksiyon sistemi cihazında gerçekleştirilmiştir. Çözündürme işlemi asit ile her numune için ayrı yapılmıştır.

Mikrodalga asitle çözündürme ünitesi toplam 12 adet çözündürme kabı alacak kapasitededir. Sıcaklık ve basınç altında tutulabilmesi için 1 adet referans kabı bulundurmaktadır.

Çözündürme işlemi başlamadan önce, kullanılacak mikrodalga tüpleri 5ml %65'lik nitrik asit ve 5 ml deiyonize su ile cihaz çalıştırılmış ve 10 dakika süreyle 180 °C'de steril hale getirilmiştir.

Çözündürme aşamasında her bir örnek için 5 ml % 65'lik nitrik asit (HNO₃), 1 ml % 30'luk hidroklorik asit (HCl) ve 0,5 ml hidrojen florür (HF) asit çözeltisi hazırlanarak tüplerin içerisine örnekler eklenmiştir. Ayrıca bir adet asit çözeltisi bulunan şahit tüp ilave edilmiştir. Cihaz her seferinde 5 örnek ve 1 şahit tüp olarak çalıştırılmıştır.

Cihaz, 1. aşamada 400 watt 15 dakika 200 °C çıkmakta, 2. Aşamada 20 dakika 200 °C'de bekledikten sonra 3. Aşamada soğumaya bırakılmıştır.

Çözündürme kaplarının oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiş ve kaplar açılmıştır. Ardından kapların içerisindeki asidik sıvı deney tüplerine alınmış ve üzerlerine deiyonize su katılarak örnek hacmi 25 ml'ye tamamlanmıştır.

Bu işlemler filtre kağıdından gelen metal konsantrasyonunu belirleyebilmek için, boş filtrelere de uygulanmıştır.



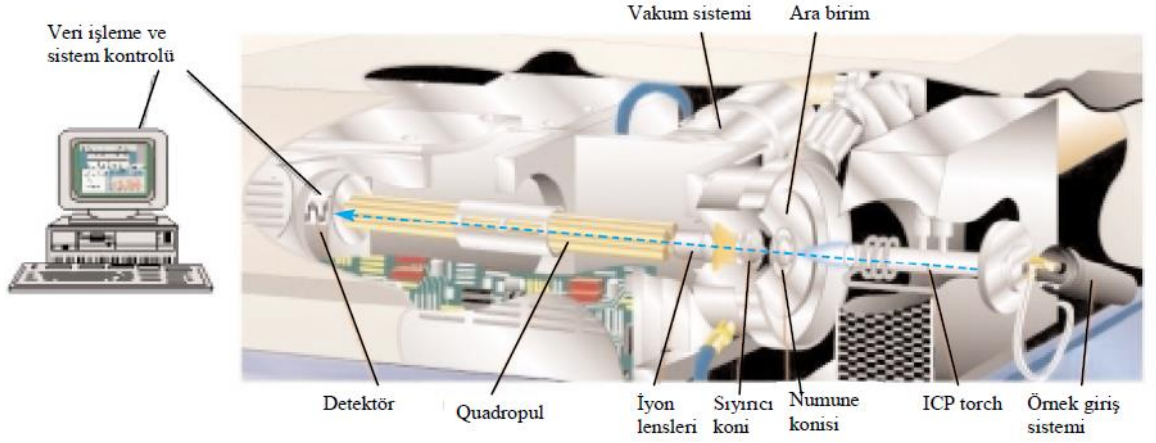
Şekil 3.8. MARS5 mikrodalga cihazı

3.3. Metallerin Analizi

ICP-MS katı ve sıvı örnekler için çok sayıda elementin hızlı, doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesine olanak sağlayan bir analiz tekniğidir. Bu teknoloji ile çok sayıda element aynı anda ve çok düşük konsantrasyonlarda (nanogram-pikogram/l) hassas ve hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir.

ICP-MS, örneklerin yüksek sıcaklıktaki bir plazmaya, genellikle argon, gönderilerek moleküler bağların kırılmasını ve atomların iyonlaştırılmasını sağlayan analitik bir tekniktir. Örnek, bir solüsyon halinde örnek giriş sistemi sayesinde nebulizöre ve spray odacığına sunulur. Burada yüksek hızlı argon akışı sayesinde örnek solüsyonu sisleştirilir. Yalnızca çok küçük damlacıklar argon plazmasına taşınır ve diğerleri doğrudan atığa gider. 6000 Kelvin sıcaklıklardaki plazma örneği buharlaştırarak iyonize eder. İyon akışı atmosferik basınçtan örnekleyici (sampler) ve süzücü (skimmer) konlar aracılığıyla yüksek vakumlu bir ortama gider. Sonra iyon akımı iyon lensleri aracılığıyla quadrupola odaklanarak kütle filtresine yönlendirilir. İyonlar kütle spektrometrede kütle yük oranına göre ayrılırlar ve detektör tarafından ölçülürler (Anonim 2019).

ICP-MS hızlı bir şekilde farklı kütleleri ölçebildiğinden çoklu element ölçüm cihazı olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde katı ve sıvı örneklerde 76 element çok düşük konsantrasyonlarda ve aynı anda hızlı ve hassas bir biçimde analiz edilebilmektedir. Ölçüm zamanı her element için 10 saniyedir. Cihazın avantajları, kütle spektrumlarının daha basit ve değerlendirilebilmelerinin daha kolay olması, kütle spektrometrik belirlemenin optik belirlemeye göre daha düşük gözlenebilirlik sınırları sağlamasıdır. Gözlenebilirlik sınırı çoğu element için 0,1-10 ppb seviyelerindedir. Şekil 3.9'da ICP-MS cihazının temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. ICP-MS temel bileşenleri

Örnek giriş sistemi; peristaltik pompa, nebulizör ile spray odacığı bölümlerinden oluşmaktadır ve numunenin cihaza girişi bu sistemle sağlanmaktadır. Pompa sürekli olarak örnek çekişini sağlamakta ve numuneyi spray odacığına ulaştırmaktadır. Nebulizör vasıtasıyla, sıvı örnek argon gazı yardımıyla aerosol haline dönüşür. Aerosol haline gelen örnek, enjektör yardımıyla iyon kaynağına ulaştırılır. İyon kaynağı (ICP torch), analit atomları iyonlara dönüştürmekte ve cihazın iyon kaynağı olarak çalışan plazmayı oluşturmaktadır. Argon gazı plazma haline gelerek 10.000 Kelvine ulaşmaktadır. Sıcaklığın yüksek olması sebebiyle numune içinde bulunan elementler iyonize olmakta ve pozitif yüklü iyonlar oluşmaktadır. ICP iyon kaynağını cihaza bağlayan ara birim cihazın en kritik parçasıdır. Ara birim kısmında yer alan numune konisi ve sıyırıcı koni, süzgeç gibi görev almakta ve pozitif yüklü iyonları geçirmektedir. Vakum sistemi, iyon

optikler, detektör ve quadrupol için yüksek vakum sağlar. Lensler ise iyonlara odaklanarak matriks kısmının quadrupola ulaşmasına engel olur. Quadrupol iyonları yük/kütle oranına göre ayırmak için kütle filtresi gibi çalışır. Detektör bölümü, quadrupoldan geçen iyonların aktif yüzeye çarparak ölçülebilir sinyal oluşturduğu kısımdır. Cihazın kontrolü ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin her bir aşaması, veri işleme ve sistem kontrolörü tarafından gerçekleştirilmektedir (Taner 2012).

3.4. Hesaplamalar

3.4.1. Partikül maddelerin kütle konsantrasyon hesaplamaları

Partikül maddelerin kütleli ölçümleri için örnekleme öncesinde ve sonrasında hassas elektronik terazide tartımları yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada standart sıcaklık ve nem şartlarında örneklemeden önce ve örneklemeden sonra filtreler PRECISA XB 220A hassas elektronik tartı ile tartılmıştır. 5 farklı boyuttaki partiküllerin kütle konsantrasyonları şu şekilde hesaplanmıştır:

$$PM(mg/m^3) = \left(\frac{B-A}{V} \right) \times 10^3 \quad (3.1)$$

A = Örnekleme öncesi tartım, mg

B = Örnekleme sonrası tartım, mg

V= Örnekleme hacmi, L

3.4.2. Element konsantrasyonları hesabı

ICP-MS cihazında ppb birimi olarak okunan elementlerin konsantrasyonları, şu şekilde $\mu g/m^3$ birimine dönüştürülmüştür:

a) Cihazdan okunan örnek konsantrasyonundan, boş filtre kağıdı değeri çıkartılmıştır.

Örneğin cihazdan okunan konsantrasyonu – blank konsantrasyonu = X ($\mu\text{g/l}$)

b) Bulunan X ($\mu\text{g/l}$) değeri, $\mu\text{g/ml}$ 'ye dönüştürülerek, seyreltme oranı olan 15 ml ile çarpılmıştır.

$$\frac{X \mu\text{g}}{1000 \text{ ml}} \times 15 \text{ ml} = Y \mu\text{g} \quad (3.2)$$

c) Pompa ile çekilen hava debisi 5 l/dk'dır. Örnekleme hacmi (Z) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$Z = \text{Pompa ile çekilen hava debisi (l/dk)} \times \text{Örnekleme süresi (dk)} \quad (3.3)$$

Örnekleme yapılan süre toplamda 70 dakikadır ve bir örneklemenin hacmi toplamda 350 litre olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değer, 1000'e bölünerek örnekleme hacmi m^3 cinsinden bulunmuştur.

ç) Son aşamada;

$$\text{Element Derişimi} = \frac{Y \mu\text{g}}{Z \text{ m}^3} \quad (3.4)$$

olarak bulunmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Partikül Madde Kütle Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

10 farklı düğün salonunda gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, PTFE filtreler üzerinde toplanan partikül maddelerin kütle konsantrasyonları, gravimetrik yöntem ile hesaplanmıştır. 5 farklı boyut aralığı için hesaplanan konsantrasyonlar, mg/m^3 cinsinden, Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı boyut aralığındaki partikül madde konsantrasyonları (mg/m^3)

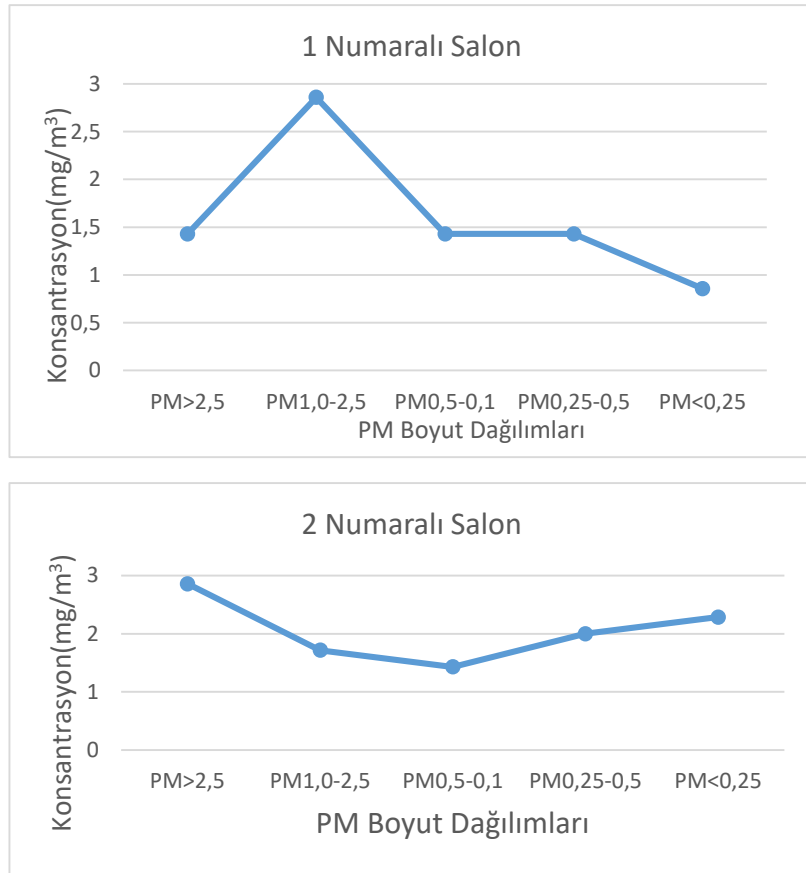
Örnek no	A	B	C	D	F	PM>2,5 (kaba)	PM _{2.5} (ince)	PM Toplam	%	%
	PM> 2,5	PM 1,0-2,5	PM 0,5-1,0	PM 0,25-0,5	PM <0,25				PM > 2,5	PM 2,5
1	1,428	2,857	1,428	1,428	0,857	1,428	6,571	8,000	17,8	82,2
2	2,857	1,714	1,428	2,000	2,285	2,857	7,428	10,28	27,8	72,2
3	2,000	3,428	3,142	7,142	3,428	2,000	17,14	19,142	10,4	89,6
4	1,428	1,714	2,285	3,428	8,000	1,428	15,42	16,857	8,5	91,5
5	2,0	1,428	1,142	1,142	1,428	2,000	5,142	7,142	28	72
6	2,857	2,285	0,571	0,857	0,857	2,857	4,571	7,428	38,5	61,5
7	2,571	1,428	1,428	0,857	1,142	2,571	4,857	7,428	34,6	65,4
8	1,428	0,857	0,857	0,857	1,714	1,428	4,285	5,714	25	75
9	3,428	2,285	1,714	1,142	1,142	3,428	6,285	9,714	35,3	64,7
10	2,000	1,142	1,428	1,142	1,714	2,000	5,428	7,428	27,9	72,1

Kaba partikül konsantrasyonları($\text{PM}>2.5$) $1,428 \text{ mg}/\text{m}^3$ ile $3,428 \text{ mg}/\text{m}^3$ aralığında ölçülmüştür. $\text{PM}_{2.5}$ değerleri ise $4,285 \text{ mg}/\text{m}^3$ ve $17,142 \text{ mg}/\text{m}^3$ arasında değişmektedir ve en yüksek değerleri $17,142 \text{ mg}/\text{m}^3$ ve $15,428 \text{ mg}/\text{m}^3$ olarak sırasıyla 3 ve 4 numaralı salonlarda ölçülmüştür. Toplam PM konsantrasyonunun ise $5,714 \text{ mg}/\text{m}^3$ ve $19,142 \text{ mg}/\text{m}^3$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Toplamda en yüksek partikül konsantrasyonuna ise 3 numaralı örneklemenin yapıldığı salonda rastlanmıştır. Sonraki en yüksek konsantrasyon ise $16,857 \text{ mg}/\text{m}^3$ değeri ile 4 numaralı salonda ölçülmüştür. Değerlendirme yapıldığında 3 numaralı salonun konumunun yer seviyesinin 2 kat altında

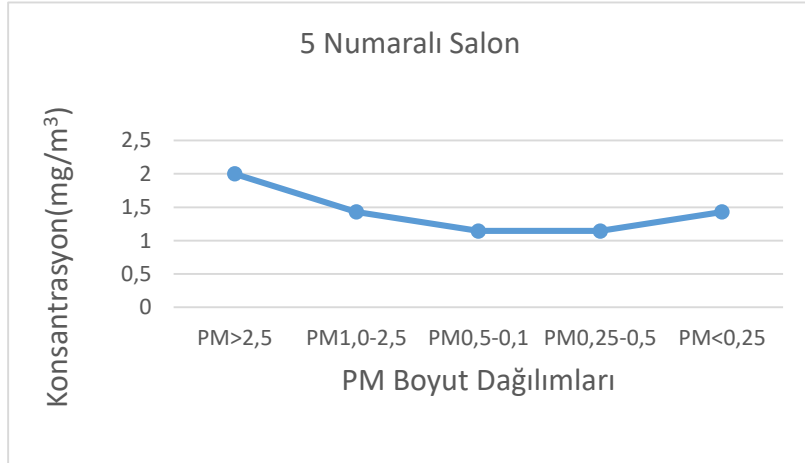
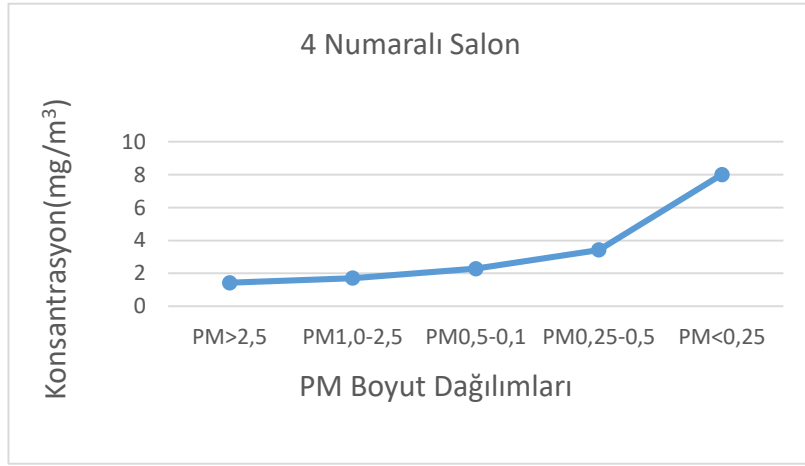
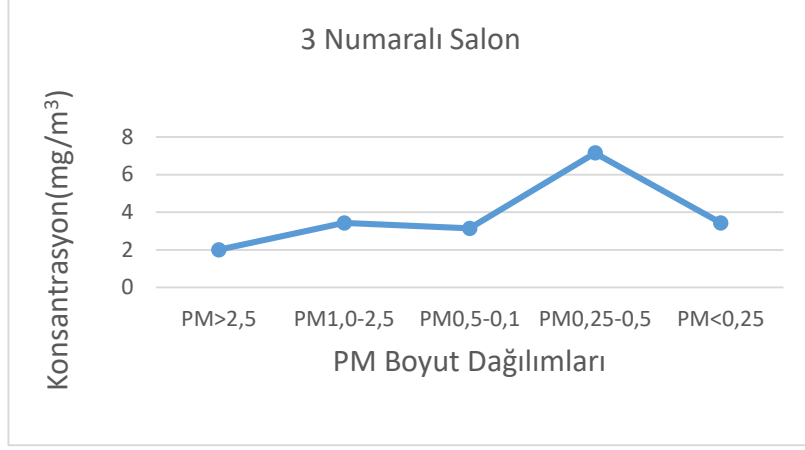
olduğu (B2 katı) ve havalandırmasının etkin çalışmadığı görülmüştür. En yüksek konsantrasyonun bu salonda ölçülmesinin sebebi olarak havalandırmanın verimsizliği gösterilebilir. En yüksek ikinci konsantrasyonun ölçüldüğü 4 numaralı salon ise park içerisinde yer almaktadır ve havalandırmasının diğer salonlara oranlara daha yeterli düzeyde olduğu düşünülmektedir. Bu salonda davete katılanların eğlence için yapmış olduğu aktivitelerin yoğun olduğu gözlenmiştir ve bunun yüksek toz konsantrasyonuna sebep olabileceği tahmin edilmektedir.

Örneklemelelerde toplam asılı partiküllerin büyük çoğunluğunu 2,5 µm'den küçük boyutlu partiküllerin (PM_{2.5}) oluşturduğu görülmüştür. İnce partiküllerin toplam partiküllere oranı %61,5 ile %91,5 aralığında değişim göstermektedir.

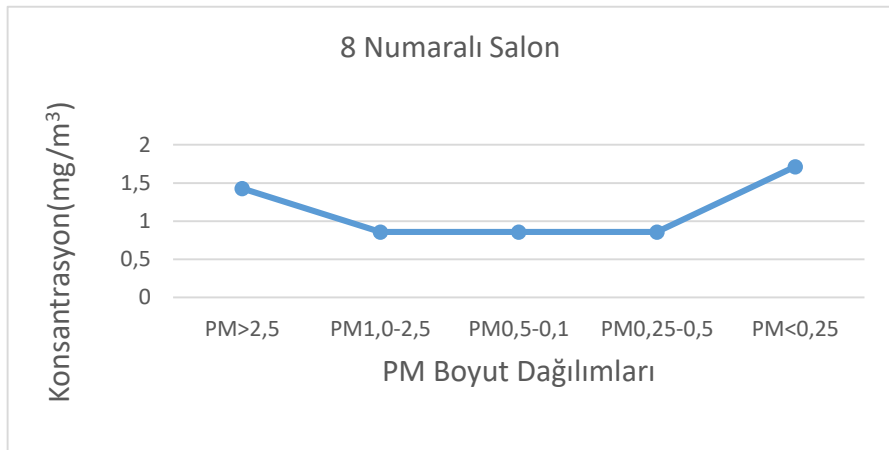
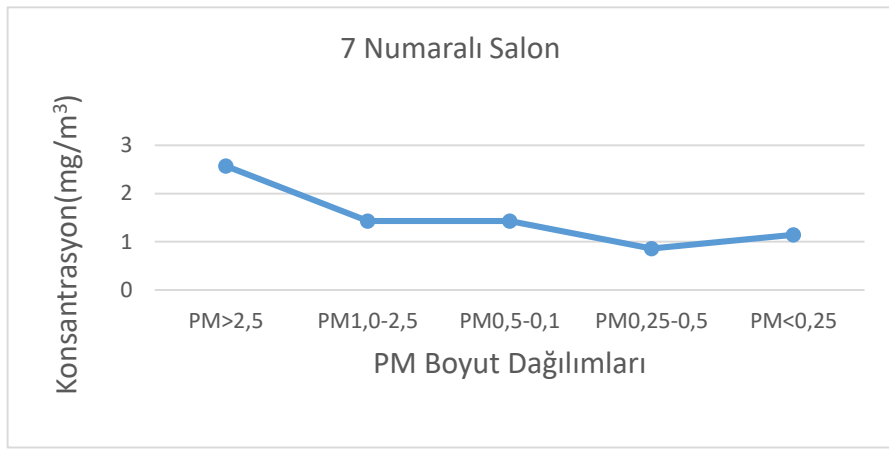
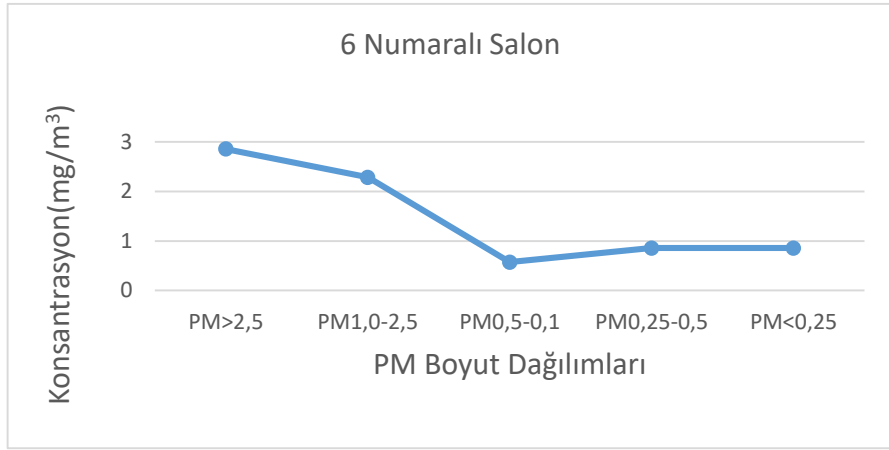
Şekil 4.1'de, örneklemenin yapıldığı salonlardaki partikül madde boyut dağılımları her bir salon için ayrı olarak gösterilmiştir.



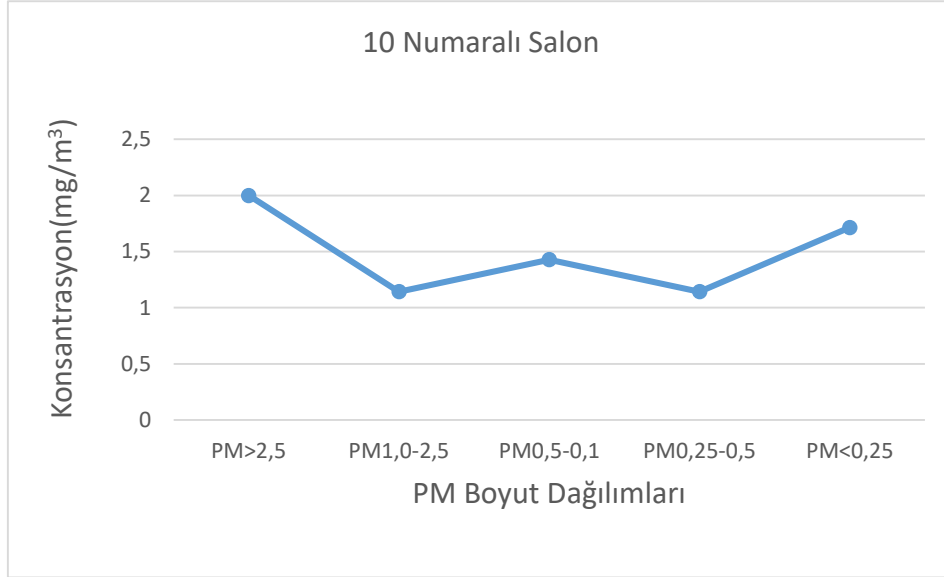
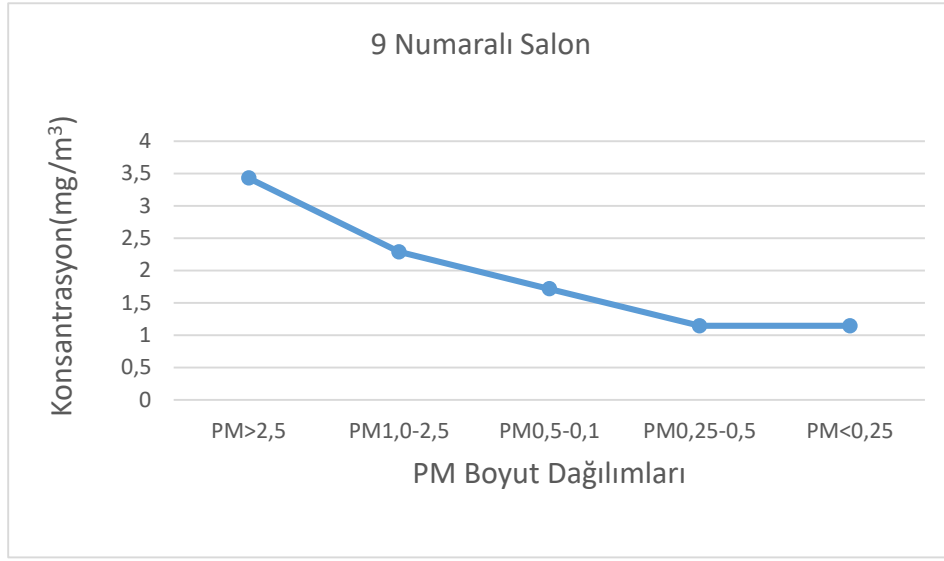
Şekil 4.1. Örnekleme yapılan salonlardaki partikül madde boyut dağılımları



Şekil 4.1. Örnekleme yapılan salonlardaki partikül madde boyut dağılımları (devam)



Şekil 4.1. Örnekleme yapılan salonlardaki partikül madde boyut dağılımları (devam)

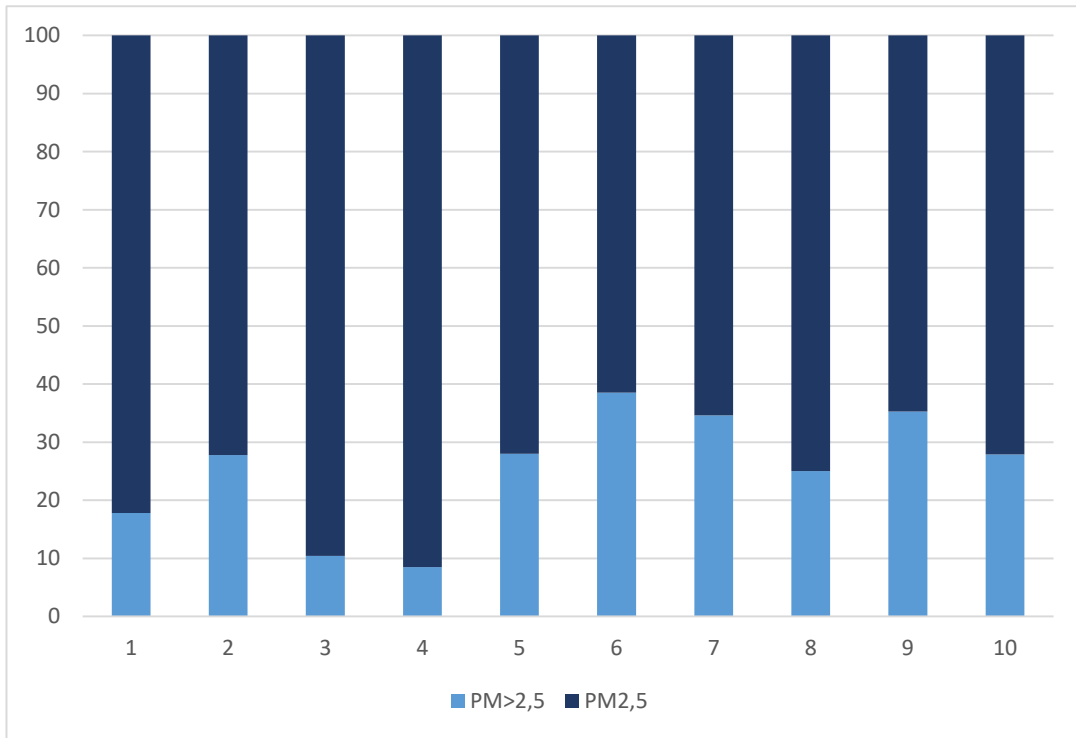


Şekil 4.1. Örnekleme yapılan salonlardaki partikül madde boyut dağılımları (devam)

Şekil 4.1'deki grafikler incelendiğinde genelde birbirine benzer oldukları görülmüştür. Ancak 3 numaralı örnekte PM 0,25-0,5 boyutu için anormal bir pik yaptığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak salonun havalandırma sisteminin yeterli olmadığı düşünülmektedir. 4 numaralı örnekteki PM<0,25 boyutundaki seviyesinin yüksek olmasının sebebi ise havalandırmanın etkin çalıştığı gözlenmesine rağmen, salon içerisindeki davetlilerin patlatma sırasında ve sonrasında eğlenceye aktif olarak katılım göstermesi ile özellikle küçük boyutlu partiküllerin ortamda asılı kalması gösterilebilir. 3

ve 4 numaralı salonlardan sonra en yüksek ince partikül konsantrasyonu ($PM_{2.5}$) 2 numaralı salonda $7,428 \text{ mg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Bu salonda eğlence amaçlı patlatılan materyalin 4 adet olmasına ve salonda havalandırmanın tam randımanlı çalışmadığı bilinmesine rağmen salonda duman oluşu gözle görülmemiştir. Burada kullanılan patlayıcı maddenin içerisindeki bileşenlerinden dolayı patlatma sonrasında ince çaplı partiküller yaydığı düşünülmektedir.

Şekil 4.2’de ince partikül ($PM_{2.5}$) ve kaba partiküllerin ($PM>2.5$) toplam partiküllere oranı gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere ince partiküllerin kaba partiküllere oranı çok yüksek olup bu değer minimum %61,5, maksimum %91,5 olarak bulunmuştur.

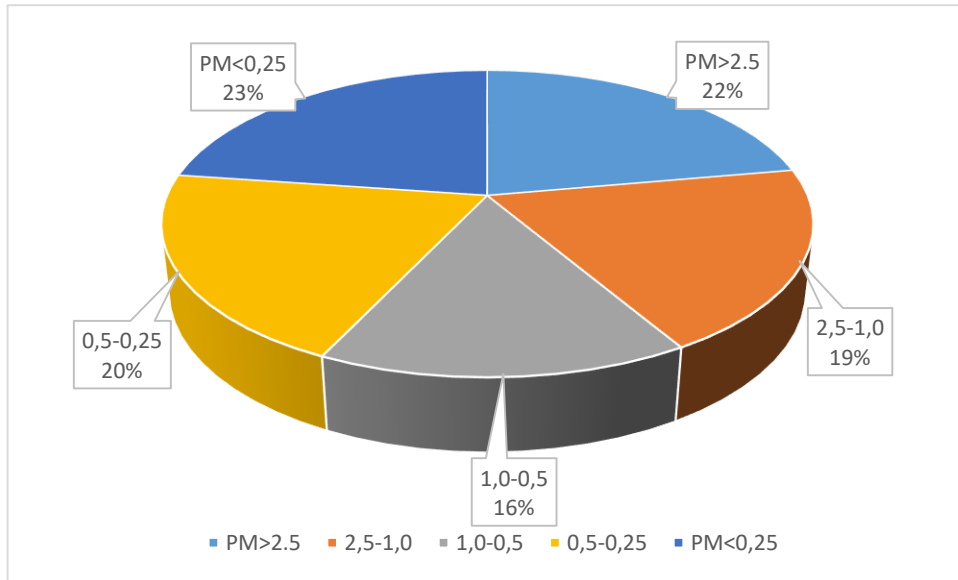


Şekil 4.2. İnce ve kaba partiküllerin toplam asılı partiküller içindeki yüzdesi (%)

Çizelge 4.2. 5 farklı boyuttaki partikül konsantrasyonlarının istatistiksel değerleri

Örnek sayısı	Boyut aralığı (µm)	Minimum konsantrasyon (mg/m ³)	Maksimum konsantrasyon (mg/m ³)	Ortalama ±Standart sapma (mg/m ³)
10	PM > 2,5	1,42	3,42	2,2±0,7
10	1,0 – 2,5	1,14	3,42	1,91±0,79
10	0,5 – 1,0	0,57	3,14	1,54±0,72
10	0,25 – 0,5	0,85	7,18	2,0±1,97
10	PM < 0,25	0,85	8,0	2,25±2,16

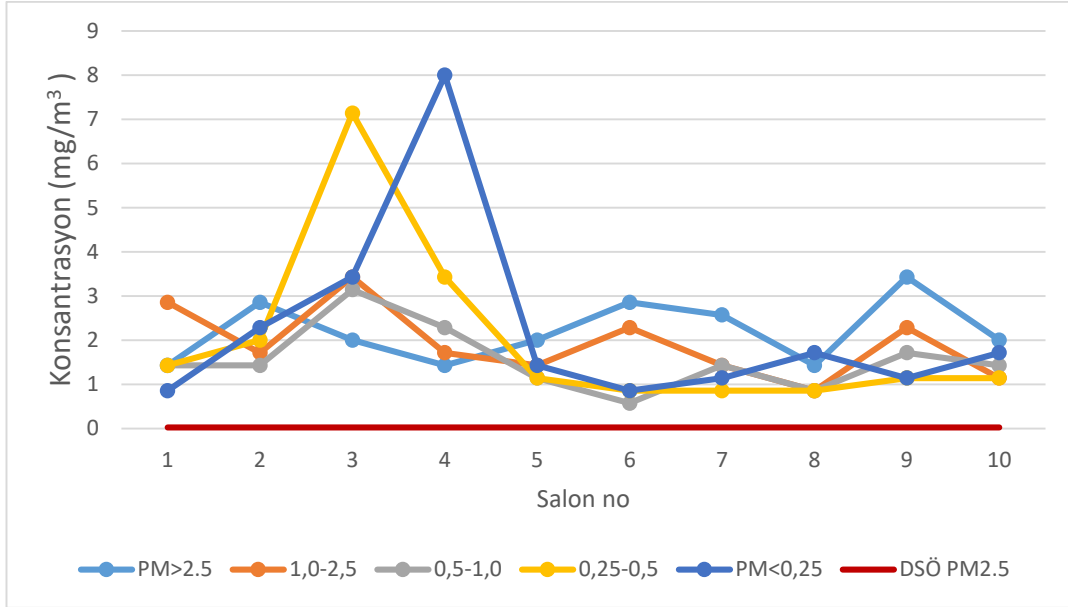
Çizelge 4.2’de, salonlarda ölçülen beş farklı boyut aralığındaki partikül madde konsantrasyonlarının ait istatistiksel verileri paylaşılmıştır. PM>2,5, 1,0 – 2,5, 0,5 – 1,0, 0,25 – 0,5 ve PM<0,25 µm boyutundaki partikül maddelerin salonlarda ölçülen ortalama konsantrasyon ve standart sapma değerleri sırasıyla 2,2±0,7, 1,91±0,79, 1,54±0,72, 2,0±1,97, 2,25±2,16 mg/m³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. Tüm salonlarda ölçülen farklı boyut aralıklarındaki partiküllerin yüzdeleri

Şekil 4.3’te tüm salonlarda ortama yayılan 5 farklı boyuttaki partikül maddelerin, toplam asılı partikül içindeki yüzdeleri verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere tüm boyuttaki

partiküllerin dağılımları yüzde olarak birbirine yakın seviyelerdedir. En yüksek yüzde %23 ile $PM < 0,25$, en düşük yüzde ise %16 ile $1,0 - 0,5$ μm boyut aralığındaki partiküller için hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Örnekleme yapılan salonlardaki PM konsantrasyon dağılımları

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere en düşük konsantrasyon $0,5-1,0$ μm boyut aralığında tespit edilirken, en yüksek konsantrasyon ise $PM < 0,25$ μm , sonraki en yüksek konsantrasyon ise $0,5 - 0,25$ μm boyut aralığında için tespit edilmiştir.

$PM_{2.5}$ ölçüm değerleri için ülkemizdeki ve Avrupa Birliği'ndeki yönetmeliklerde standart bir sınır değer mevcut değildir. Yürürlükte olan yönetmeliklerde ise 24 saatlik ortalamalar dikkate alınmaktadır. Ölçüm sonuçları Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Dünya Sağlık Örgütü tarafından $PM_{2.5}$ için belirlenen sınır değer $25 \mu g/m^3$ ($0,025 mg/m^3$)'tür. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamına giren işyerlerinde uygulanan Tozla Mücadele Yönetmeliği'nde solunabilir toz $5 mg/m^3$ olarak belirlenmiştir (TMY, 2019).

Salonlar için tespit edilen $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri sırasıyla; $6,57 mg/m^3$, $7,42 mg/m^3$, $17,14 mg/m^3$, $15,42 mg/m^3$, $5,14 mg/m^3$, $4,57 mg/m^3$, $4,85 mg/m^3$, $4,28 mg/m^3$,

6,28 mg/m³, 5,42 mg/m³'tür. Ölçüm sonuçları ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından PM_{2.5} için belirlenen sınır değer mukayese edildiğinde, tüm salonlarda bu limit değerle sırasıyla 262,8 – 297,1 – 685,7 – 617,1 – 205,7 – 182,8 – 194,3 – 171,4 – 251,4 – 217,1 kat aşıldığı görülmüştür.

4.2. Farklı Boyutlardaki Partikül Maddelerin Metal İçerikleri

10 farklı salonda gerçekleştirilen örnekleme sonuçları toplanan partikül maddelerin boyut dağılımına göre metal konsantrasyonları ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. 7 farklı metale ait konsantrasyon değerleri µg/m³ cinsinden hesaplanmıştır. Bu metaller Fe, Ti, Sn, Al, Sr, Sb, Zn olup partikül boyut dağılımına göre metal konsantrasyonları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Partikül maddelerin boyut dağılımına göre metal konsantrasyonları

Örnek no	PM (µm)	Fe (µg/m ³)	Ti (µg/m ³)	Sn (µg/m ³)	Al (µg/m ³)	Sr (µg/m ³)	Sb (µg/m ³)	Zn (µg/m ³)
Salon 1	PM>2,5	33,2	0,001	0,45	5,19	0	0,01	0,15
	1,0-2,5	0,2	0,001	0,36	17,14	0,002	0,02	0,26
	0,5-1,0	25	0,002	1,83	5,5	0,04	0	0,2
	0,25-0,5	47,14	0,002	2,42	16,3	0,03	0	0,3
	PM<0,25	34,3	0,003	0,02	4,76	0,01	0,001	2,2
Salon 2	PM>2,5	7	0,002	0,7	106,93	0,40	0,00	0,1
	1,0-2,5	0,2	0,002	0,96	162,81	0,57	0,01	0,68
	0,5-1,0	8,5	0,002	1,56	216,9	0,75	0,01	2,36
	0,25-0,5	25,7	0,002	2,5	414,47	1,28	0,07	25,52
	PM<0,25	67	0,004	4,58	330	1,00	0,05	2,06
Salon 3	PM>2,5	0,2	0,002	4	71,06	0,29	0,00	12,14
	1,0-2,5	78,2	0,002	0,64	452,27	1,48	0,02	30,82
	0,5-1,0	9,8	0,002	1,2	896,53	1,03	0,02	162,65
	0,25-0,5	76,3	0,002	0,86	1269,77	0,95	0,01	271,54
	PM<0,25	56,6	0,003	1,65	1131,86	0,96	0,00	255,46
Salon 4	PM>2,5	31,2	0,001	1,63	290	1,43	0,03	650,26
	1,0-2,5	29,7	0,001	1,8	400	1,73	0,04	728,51
	0,5-1,0	0,3	0,002	1,21	111	0,47	0,01	208,19
	0,25-0,5	62,6	0,001	1,52	514	2,70	0,08	1877,06
	PM<0,25	61,8	0,003	2,23	446	3,15	0,07	905,96

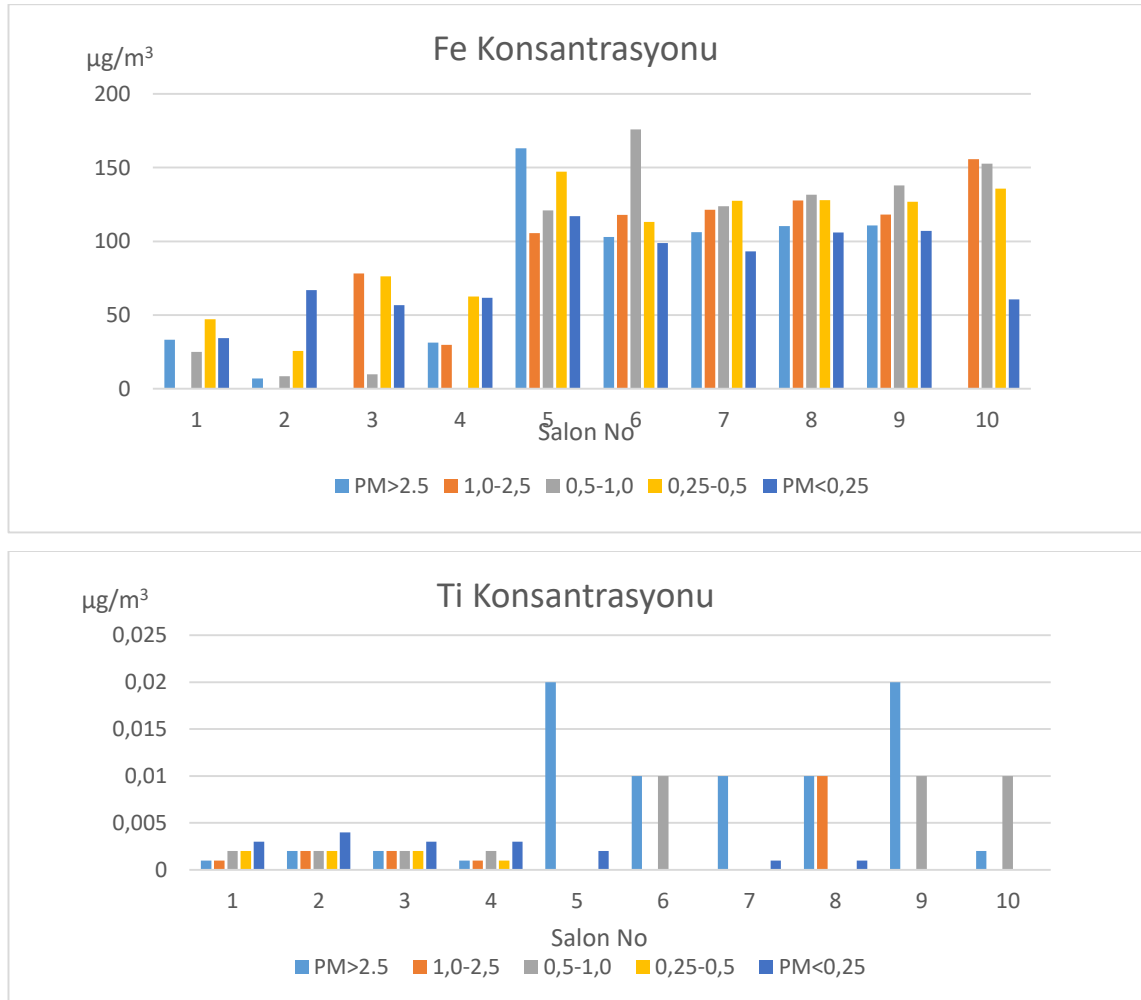
Çizelge 4.3. Partikül maddelerin boyut dağılımına göre metal konsantrasyonları (devam)

Örnek no	PM (μm)	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sn ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Zn ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Salon 5	PM>2,5	163,2	0,02	2,53	478	3,21	0,29	218,21
	1,0-2,5	105,5	0	2,45	394	2,75	0,30	240,61
	0,5-1,0	120,9	0	2,23	560	2,94	0,32	239,56
	0,25-0,5	147,3	0	2,32	555	2,88	0,32	202,26
	PM<0,25	117	0,002	3,11	420	2,58	0,28	180,60
Salon 6	PM>2,5	103	0,01	1,8	288	2,83	0,30	214,45
	1,0-2,5	117,9	0	1,57	365	2,96	0,34	244,49
	0,5-1,0	175,9	0,01	2,54	70	4,20	0,46	316,89
	0,25-0,5	113,1	0	1,94	447	2,94	0,33	229,58
	PM<0,25	98,9	0	2,75	406	2,73	0,28	197,84
Salon 7	PM>2,5	106,3	0,01	2,63	484	2,78	0,31	217,59
	1,0-2,5	121,4	0	2,4	503	3,02	0,34	242,74
	0,5-1,0	123,8	0	2,41	585	3,08	0,34	246,47
	0,25-0,5	127,5	0	2,14	400	3,07	0,33	247,89
	PM<0,25	93,2	0,001	1,78	500	2,77	0,29	213,42
Salon 8	PM>2,5	110,3	0,01	2,37	507	2,78	0,29	220,30
	1,0-2,5	127,7	0,01	2,01	400	3,02	0,33	251,35
	0,5-1,0	131,7	0	2,71	450	3,12	0,34	258,32
	0,25-0,5	127,9	0	2,7	450	3,34	0,32	247,69
	PM<0,25	106,1	0,001	2,48	555	3,23	0,31	235,16
Salon 9	PM>2,5	110,8	0,02	3,53	493	2,97	0,28	209,72
	1,0-2,5	118,2	0	3,21	538	3,16	0,31	225,01
	0,5-1,0	137,9	0,01	2,83	566	3,65	0,33	257,76
	0,25-0,5	126,9	0	4,64	513	3,19	0,28	206,63
	PM<0,25	107	0	2,36	320	3,14	0,28	214,11
Salon 10	PM>2,5	0,2	0,002	0,2	214	0,20	0,02	210,43
	1,0-2,5	155,7	0	2,42	545	3,32	0,31	234,20
	0,5-1,0	152,7	0,01	2,65	445	3,75	0,37	281,50
	0,25-0,5	135,8	0	3,27	540	3,24	0,30	227,17
	PM<0,25	60,6	0	2,38	335	2,39	0,22	165,57

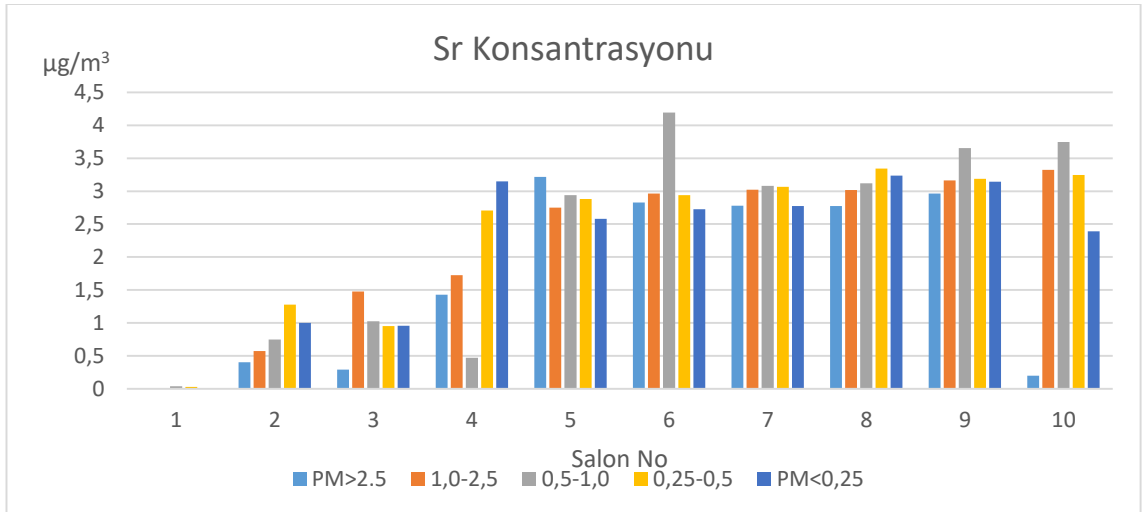
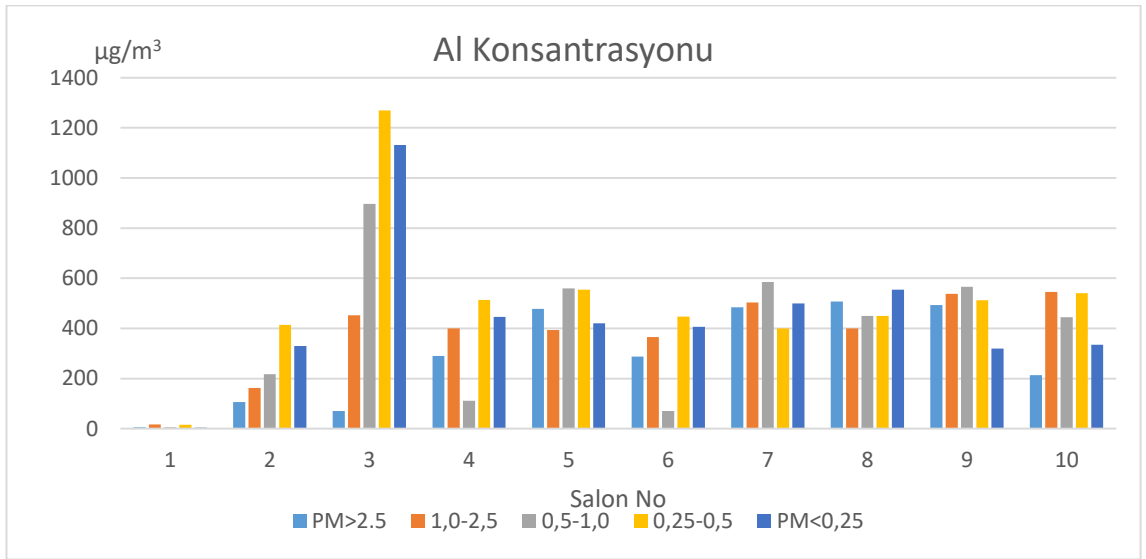
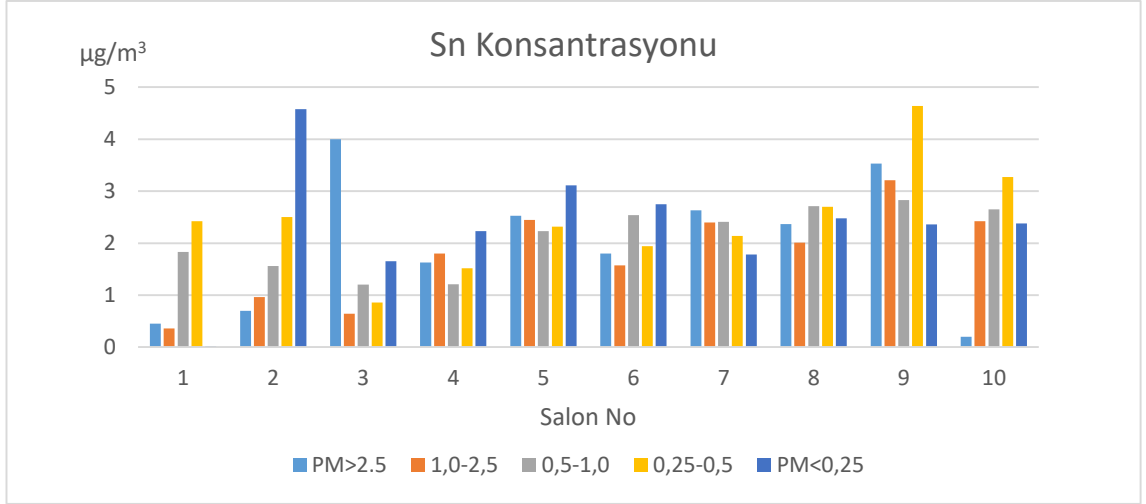
Analizi yapılan Fe, Ti, Sn, Al, Sr, Sb ve Zn elementlerinin en düşük ve en yüksek konsantrasyonları sırasıyla Fe için $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 175,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ti için $0 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Sn için $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 4,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Al için $4,76 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 1269,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Sr için $0 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 4,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Sb için $0 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 0,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Zn için $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 1877,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu

saptanmıştır. En yüksek metal konsantrasyonu Zn için 1877,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak 4 numaralı salonda ve 0,25-0,5 μm boyut aralığındaki partiküllerde tespit edilmiştir.

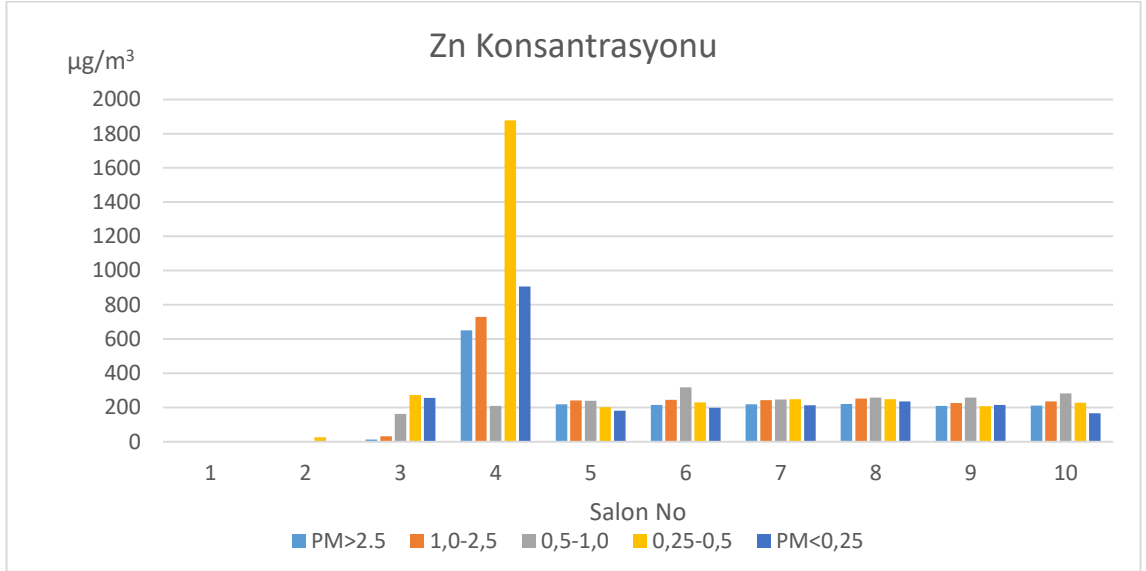
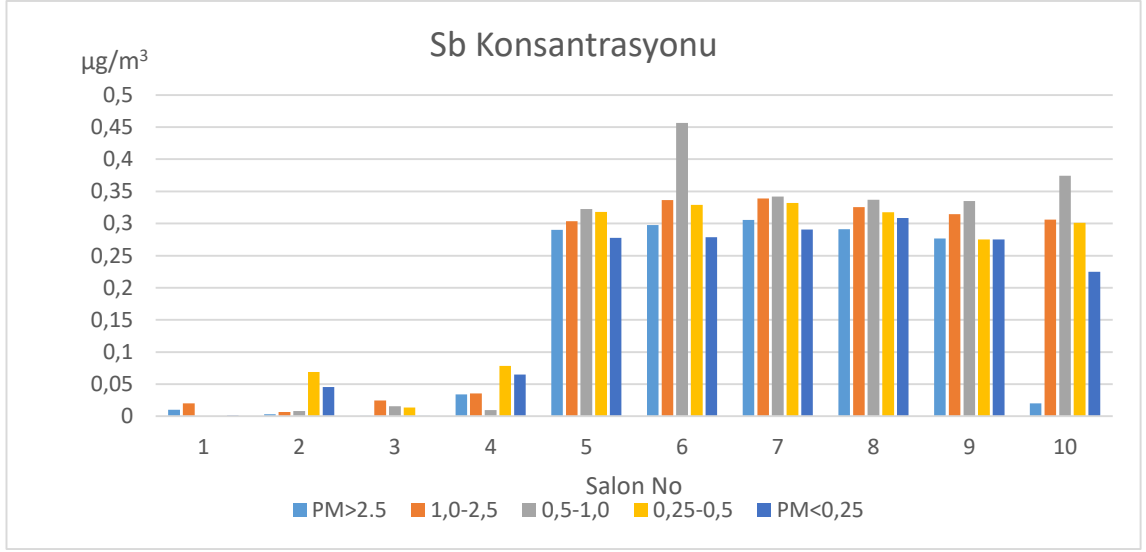
Al konsantrasyonları tüm örnekleme yerlerinde diğer metal konsantrasyonlarına oranla yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Russell (2000) volkan tipi havai fişeklerde kullanılan tipik malzemeler arasında karbon, titanyum, alüminyum, demir veya bir magnezyum/alüminyum alaşımı bulunduğunu belirtmiştir. Yüksek alüminyum konsantrasyonlarının sebebi olarak volkan tipi patlayıcıların yapımında kullanılan alüminyum miktarının karışımdaki diğer maddelerin oranına göre fazla olması gösterilebilir.



Şekil 4.5. Metal konsantrasyonlarının düğün salonları ve partikül çapına göre dağılımları



Şekil 4.5. Metal konsantrasyonlarının düğün salonları ve partikül çapına göre dağılımları (devam)



Şekil 4.5. Metal konsantrasyonlarının düğün salonları ve partikül çapına göre dağılımları (devam)

Şekil 4.5'te metal konsantrasyonlarının düğün salonları ve partikül çapına göre dağılımları gösterilmiştir. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere, en yüksek konsantrasyon değerleri Al elementi için, sonraki en yüksek konsantrasyon değerleri de Zn elementi için tespit edilmiştir. Al elementi için ölçülen en yüksek konsantrasyon seviyesi 1269,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Tüm salonlarda tespit edilen Al elementinin ortalama konsantrasyon değeri 403,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Al elementinden sonra, ortalama en yüksek konsantrasyon seviyeleri Zn elementi için 240,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek

Zn konsantrasyonu ise $1877,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak 4 numaralı salonda $0,25-0,5 \mu\text{m}$ boyut aralığındaki partiküllerde tespit edilmiştir. Al ve Zn'den sonra üçüncü en yüksek konsantrasyon ise Fe elementi için bulunmuştur. Fe elementi için tüm salonlarda ölçülen ortalama konsantrasyon değeri $83,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek Fe konsantrasyonu ise $175,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak 6 numaralı salonda $0,5-0,1 \mu\text{m}$ boyut aralığındaki partiküllerde tespit edilmiştir. Ti, Sn, Sr, Sb elementlerinin konsantrasyonları ise Al, Zn ve Fe elementlerine oranla düşük seviyelerde tespit edilmiştir.

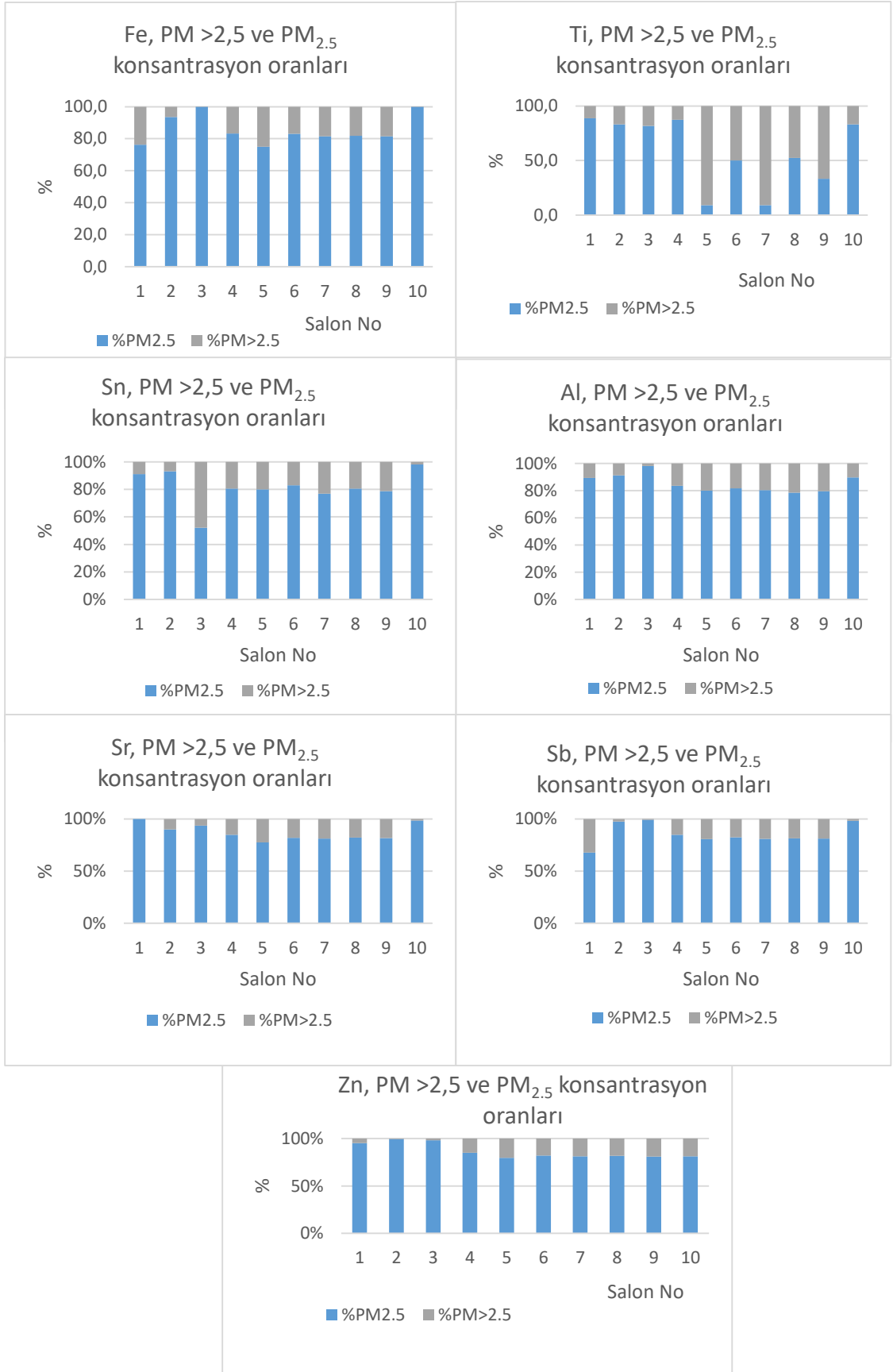
Al elementinin patlayıcı/parlayıcı ürünlerde en yaygın yakıt olarak kullanılması, parlak alevler ve beyaz kıvılcımlar çıkarması sebebiyle yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmesi beklenen bir sonuçtur. Aynı şekilde çinko tozunun da bu tip ürünlerde yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Demir tozları yakıt olarak kullanılmakta ve çoğunlukla havai fişeklerde ve volkan tipi ürünlerde altın sarısı dallanma kıvılcımları oluşturmaktadır. Yüksek seviyelerde Fe elementi konsantrasyonları bulunması da yine beklenen bir sonuçtur. Ti elementi beyaz-gümüşümsü veya sarımsı beyaz parlak kıvılcımlar üretir. Ti elementinin piroteknik volkanlarda kullanıldığı bilinen bir durumdur. Düşük konsantrasyonlarda çıkması, patlayıcının bileşiminde az oranda kullanıldığını göstermektedir. Stronsiyum nitratın tek oksitleyici olarak nadiren kullanılması Sr konsantrasyonunun düşük olmasının sebebi olarak gösterilebilir. Antimon trisülfid bazen ışıltılı ve volkan kompozisyonlarında parlak ışık elde etmek için kullanılmaktadır.

Sb konsantrasyonunun düşük seviyelerde bulunması, patlayıcı kompozisyonunda az bulunduğu işaret etmektedir. SnO ve SnO₂ havai fişeklerde aktif madde olarak kullanılmaktadır (Chen ve ark. 2011). Örneklerde tespit edilen Sn elementinin kaynağı olarak piroteknik volkanların bileşiminde SnO ya da SnO₂'nin aktif madde olarak kullanılması gösterilebilir.

Ülkemiz ve İngiltere'deki Al, Fe, Zn, Ti, Sr, Sn, Sb gibi metaller için izin verilen metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında ülkemizde bu metaller için yasal bir sınır olmadığı görülmektedir. OSHA'da Al metaline karşılık sınır değeri; Al (PM_{2,5}) için $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($5 \text{mg}/\text{m}^3$) olarak belirlenmiştir. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı salonlarda tespit edilen Al (PM_{2,5}) konsantrasyonları sırasıyla; $43,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1124,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3750,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1471

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1929 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1288 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1988 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1855 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1937 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler İngiltere’de izin verilen metal konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında belirlenen sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. Fe metali için kıyaslama yapıldığında İngiltere’de izin verilen Fe (PM_{2.5}) konsantrasyonu 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5 mg/m³) olarak belirlenmiştir. Örneklemede tespit edilen tüm Fe (PM_{2.5}) konsantrasyonlarının izin verilen değerlerin altında olduğu görülmüştür. OSHA’da Sb elementi için belirlenen limit değer ise 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,5 mg/m³) olup, tüm salonlarda Sb için tespit edilen konsantrasyon değerlerinin bu limit değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Fe konsantrasyonlarının hemen hemen her partiül madde boyutu için dengeli bir dağılım sağladığı görülmüştür. Ti konsantrasyonlarının genelde büyük çaptaki partikül (PM>2,5 μm) boyutlarında yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Sn konsantrasyonları için de dengeli bir dağılım gözlenirken en yüksek konsantrasyonlarının 0,25-0,5 μm ve PM<0,25 μm boyutundaki partiküller için ölçüldüğü tespit edilmiştir. Al konsantrasyonları da hemen hemen her boyut için dengeli bir dağılım göstermiştir ancak Şekil 4.5’ten de anlaşıldığı üzere ince partikül konsantrasyonlarının toplam partikül konsantrasyon oranına göre oldukça fazla olduğu açıktır. Sr, Sb ve Zn konsantrasyonlarının da farklı boyutlardaki partikül çapları için hemen hemen dengeli bir dağılım gösterdiği şeklinde yorumlanmıştır.

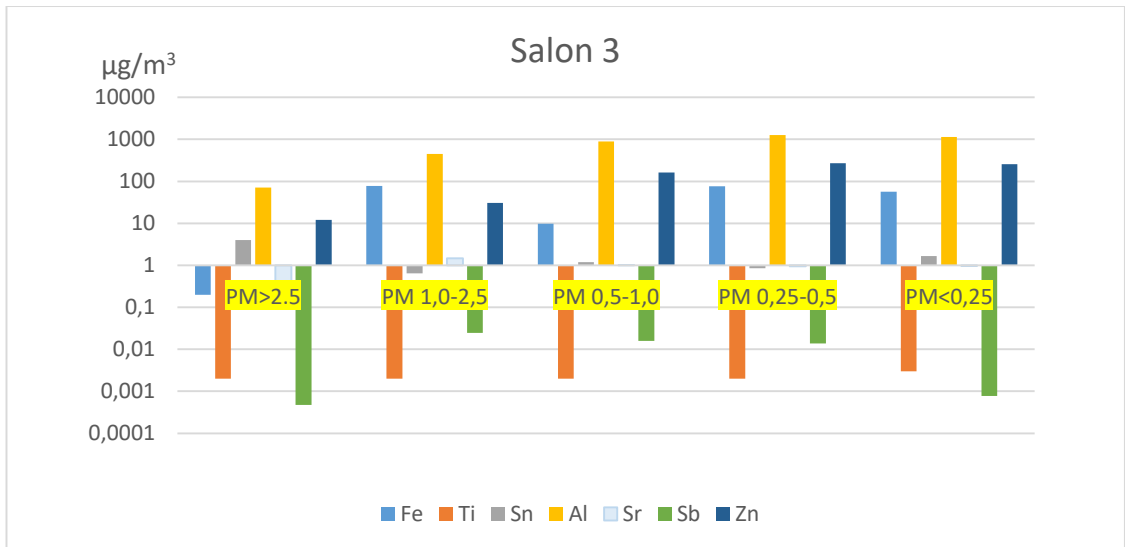
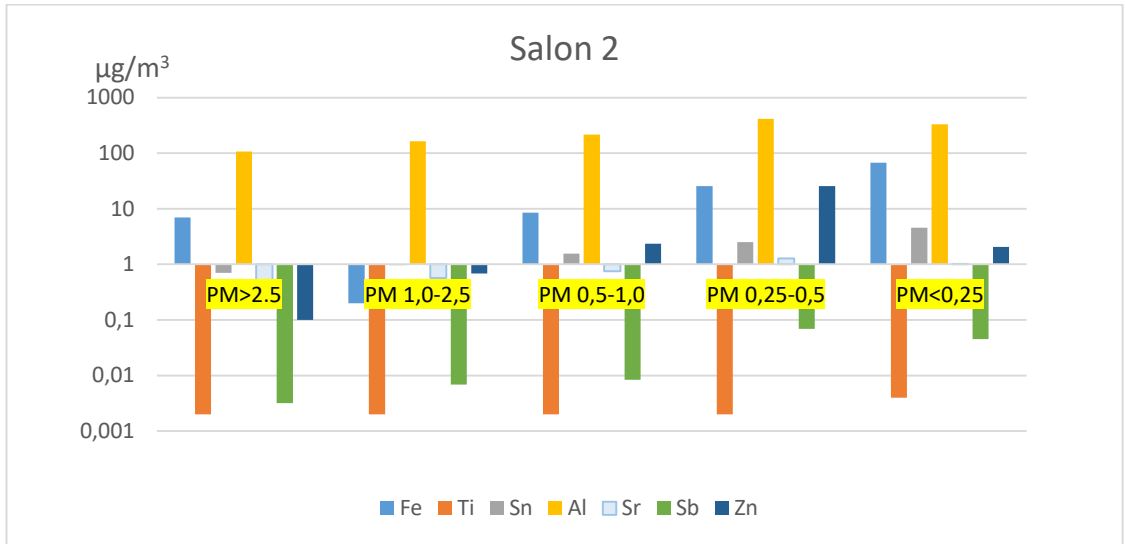
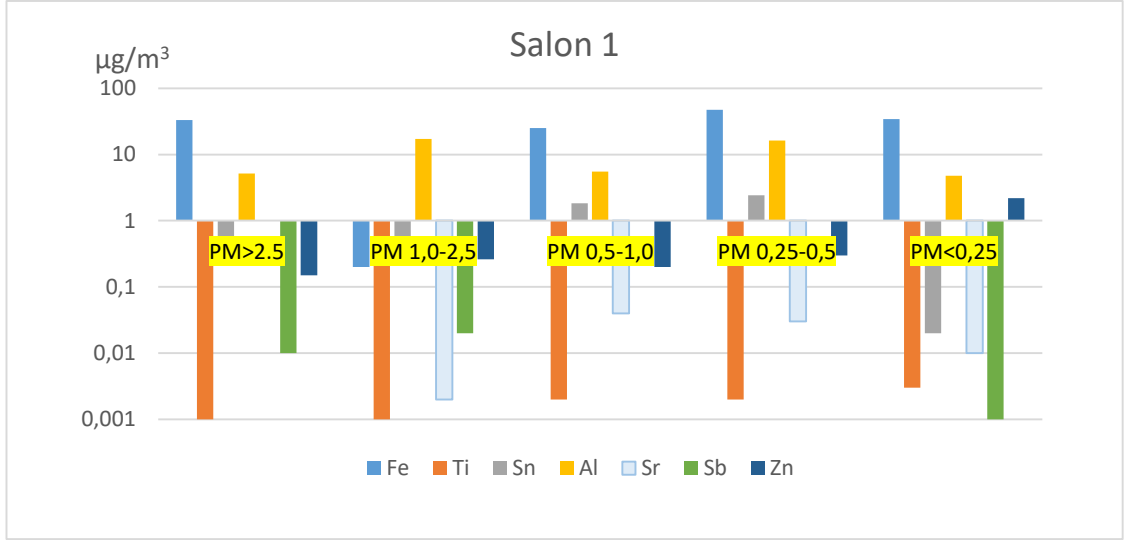


Şekil 4.6. Metallerin, PM >2,5 ve PM_{2.5} konsantrasyon oranları

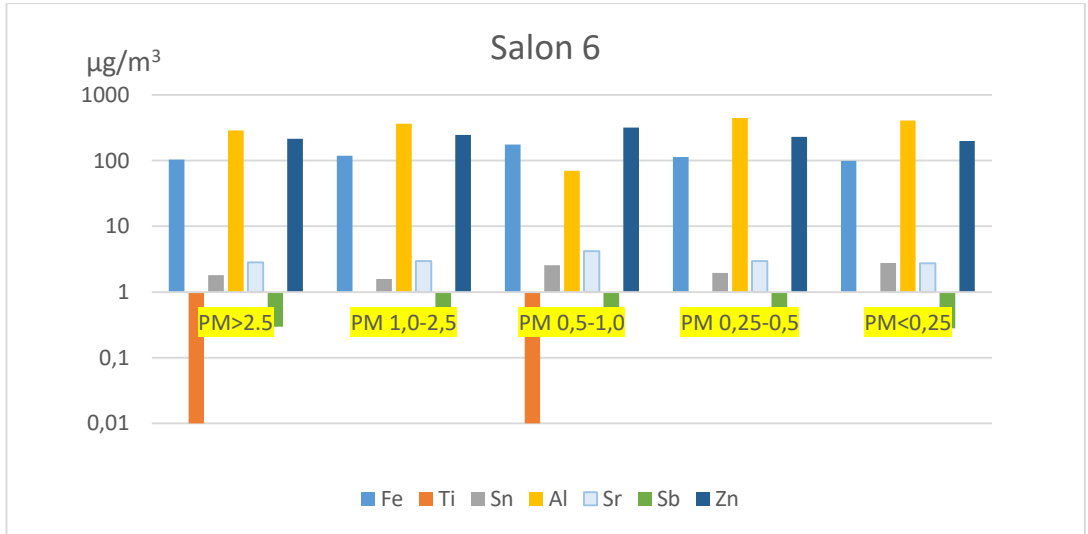
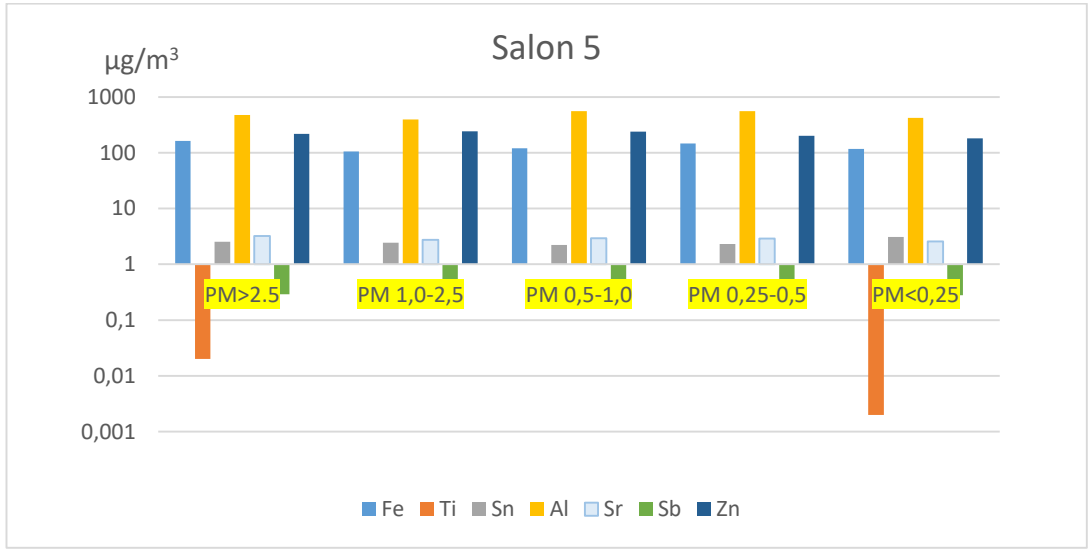
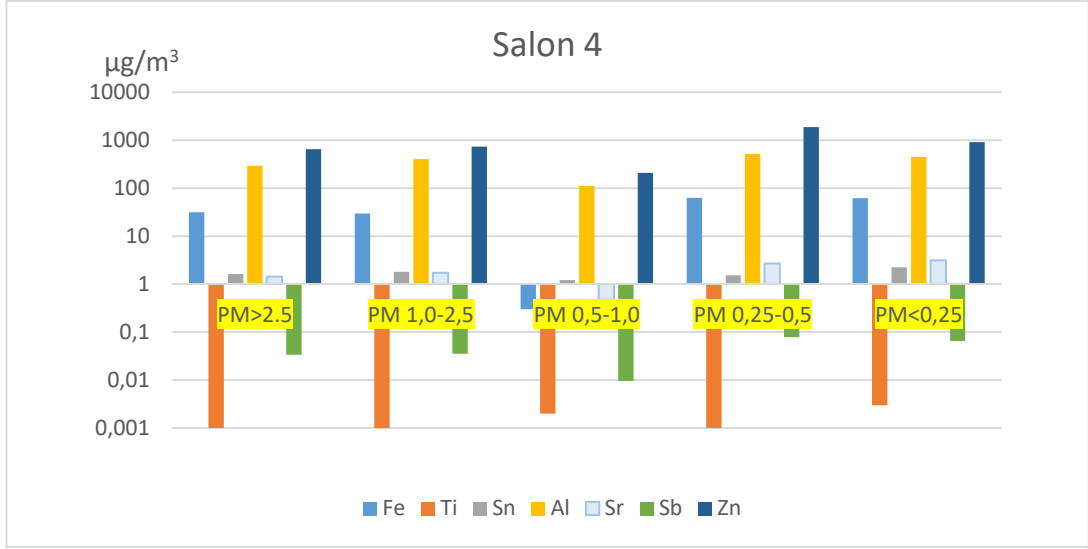
Şekil 4.6’da Fe, Sn, Al, Sr, Sn, Zn, Ti metallerinin PM >2,5 ve PM_{2,5} boyutlarında ölçülen konsantrasyonlarının birbirine oranı yüzde olarak verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere; Fe, Sn, Al, Sr, Sb, Zn metalleri için tespit edilen konsantrasyon oranları ince partiküller için oldukça fazladır. Bu metaller için tespit edilen ince partikül konsantrasyonlarının tüm partikül konsantrasyonlarına oranı %52,1 ve %100 arasında değişim göstermiştir. Ti için değerlendirmede bulunulduğunda 5, 7 ve 9 numaralı salonlarda PM >2,5 µm boyutundaki partikül maddelerin tüm partikül maddelere göre yüzdesi sırasıyla %90,9 - %90 ve %66,7 olarak bulunmuştur.

İnce partiküllerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri araştırmacılar tarafından önemle üzerinde durulan bir konudur. Bunlar, akciğerlerdeki alveol olarak adlandırılan hava değişim keseciklerine kadar ilerleyerek; astım, bronşit ve prematüre ölümleri gibi önemli sorunlara yol açabildiklerinden bilinmektedir. Yapılan epidemiyolojik ve toksikolojik çalışmalar ince partiküllerin(PM_{2,5}) kardiyovasküler ve solunum sistemine bağlı hastalıklar ile küresel ölçekte erken ölümlere sebep olduğu göz önünde bulundurulduğunda, tespit edilen ince partikül yüzdesinin fazla olmasının davetliler ve özellikle de salon çalışanları için ilerleyen dönemlerde ciddi sağlık sorunlarına yol açabileceği düşünülmektedir.

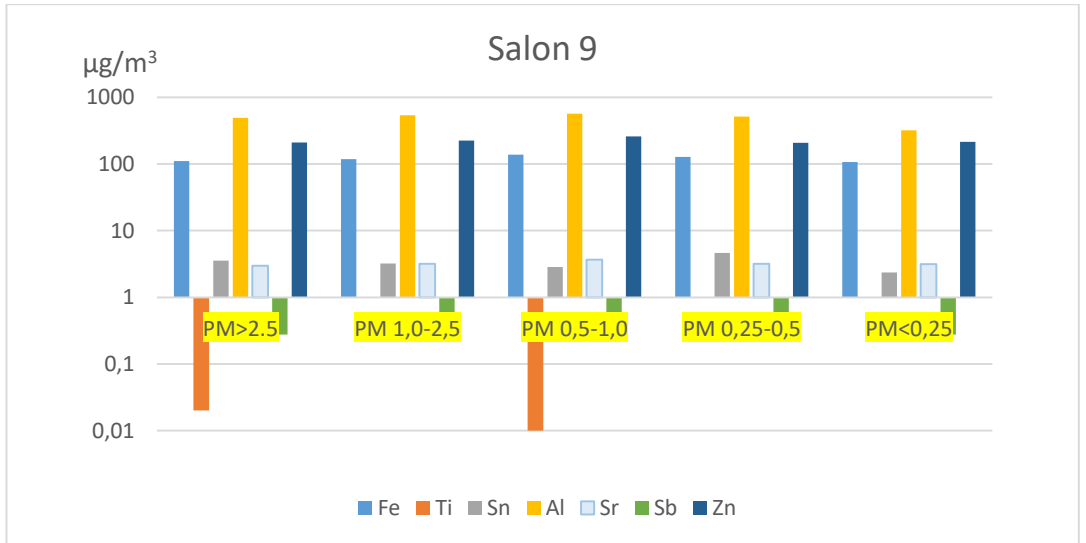
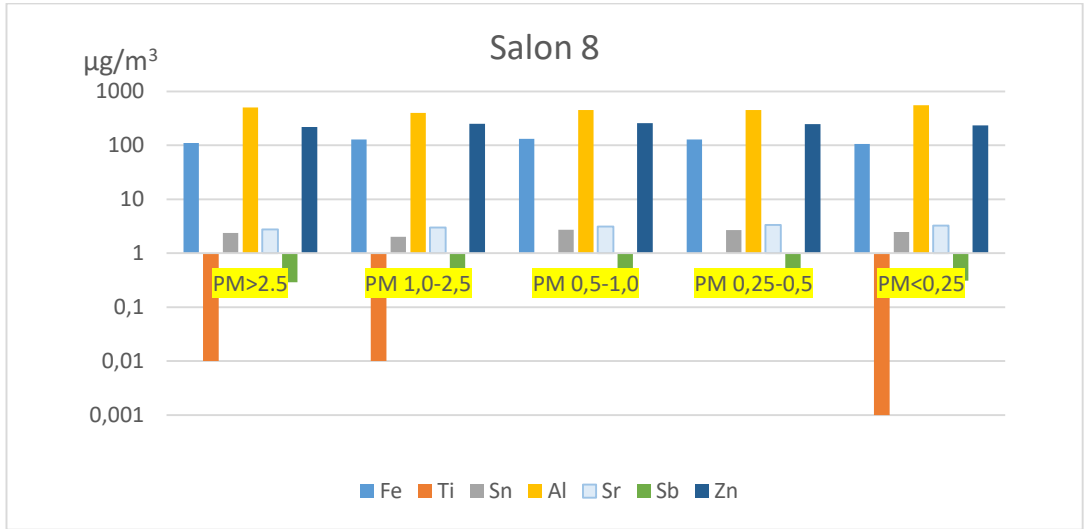
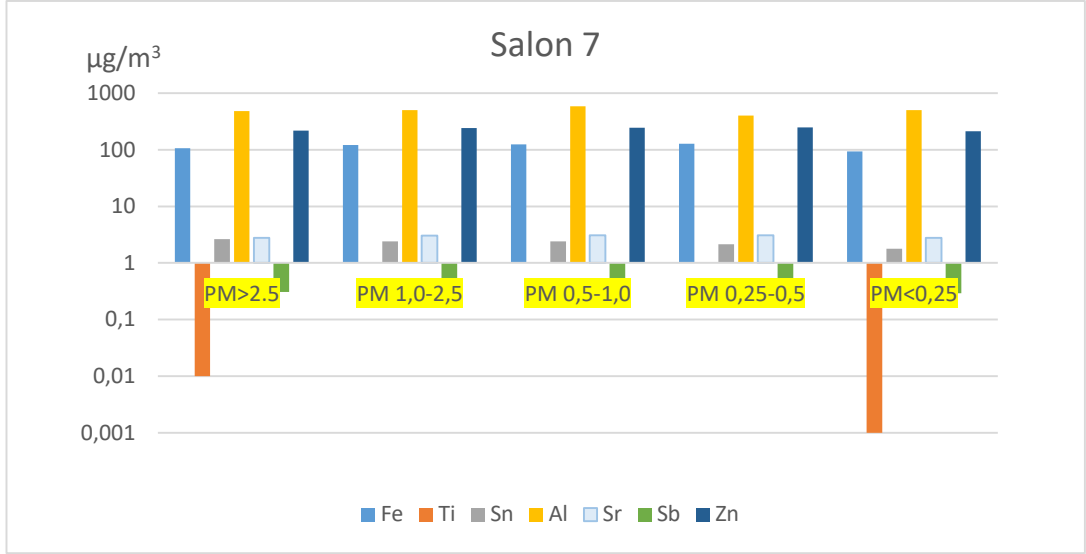
Şekil 4.7’de farklı partikül boyutlarında incelenen element konsantrasyonlarının salonlara göre dağılımı gösterilmiştir. Konsantrasyon değerleri diğer elementlere göre düşük çıkan Ti, Sn, Sr, Sb elementlerinin de grafiklerde görünümünün sağlanabilmesi adına grafiklerin logaritmik olarak gösterimi tercih edilmiştir.



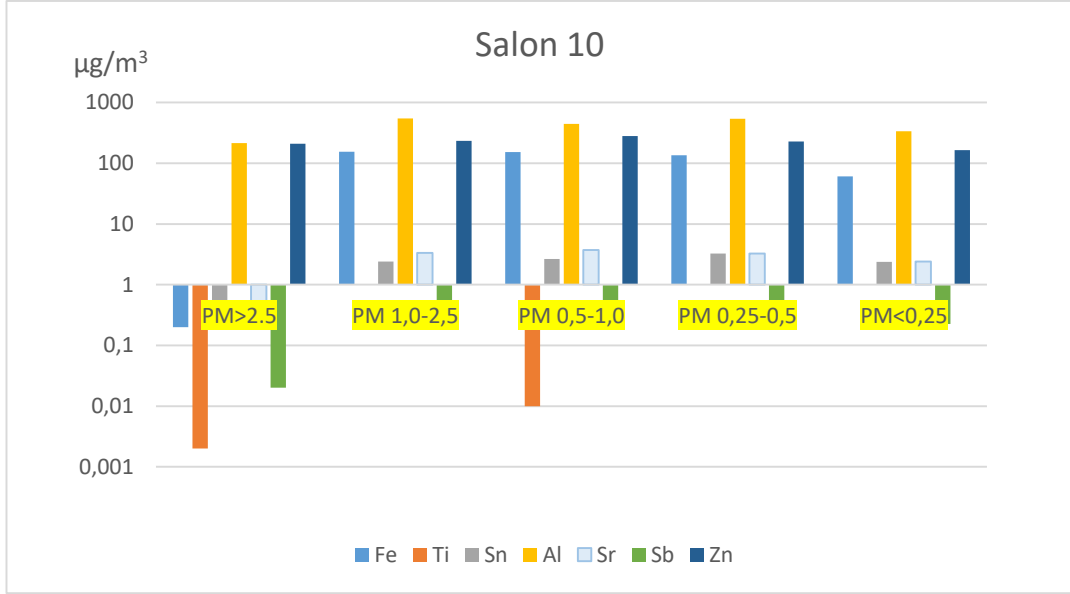
Şekil 4.7. Farklı partikül boyutlarında incelenen element konsantrasyonları



Şekil 4.7. Farklı partikül boyutlarında incelenen element konsantrasyonları (devam)



Şekil 4.7. Farklı partikül boyutlarında incelenen element konsantrasyonları (devam)



Şekil 4.7. Farklı partikül boyutlarında incelenen element konsantrasyonları (devam)

Şekil 4.7'deki grafiklerden de görüldüğü üzere en yüksek konsantrasyonlar Al elementi için tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla Zn ve Fe element konsantrasyonları izlemiştir. Bu elementlerin volkan tipi havai fişeklerin bileşiminde yer aldığı bilindiğinden konsantrasyon oranlarının yüksek seviyelerde çıkması beklenen bir sonuçtur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada Bursa’da bulunan 10 düğün salonunda eğlence amaçlı patlatılan havai fişek türevleri kaynaklı iç ortam havasındaki ince ve kaba partikül konsantrasyonları ölçülmüş, bu partiküllerin metal içerikleri belirlenmiş ve iç ortamın fiziksel özellikleri ile kirleticiler arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Yapılan değerlendirmede $PM_{>2,5}$, $1,0 - 2,5$, $0,5 - 1,0$, $0,25 - 0,5$ ve $PM_{<0,25}$ μm boyutundaki partikül maddelerin salonlarda ölçülen ortalama konsantrasyon ve standart sapma değerleri sırasıyla $2,2 \pm 0,7$, $1,91 \pm 0,79$, $1,54 \pm 0,72$, $2,0 \pm 1,97$, $2,25 \pm 2,16$ mg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Örnekleme yerlerinde toplam asılı partiküllerin büyük çoğunluğunu $2,5 \mu m$ ’den küçük boyutlu partiküllerin ($PM_{2,5}$) oluşturduğu görülmüştür. İnce partiküllerin toplam partiküllere oranı %61,5 ile %91,5 aralığında değişim göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından $PM_{2,5}$ için belirlenen sınır değer $25 \mu g/m^3$ ($0,025 mg/m^3$)’tür. Ölçüm sonuçları ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından $PM_{2,5}$ için belirlenen sınır değer mukayese edildiğinde, tüm salonlarda bu limit değerinin 171,4 kat ila 685,7 kat arasında aşıldığı belirlenmiştir. Havai fişeklerin yakılması, salonlarda PM konsantrasyonlarını arttırdığı için güçlü bir askıda partikül kaynağıdır. Havai fişeklerin yanması olayının süresi kısa olsa da, yanma sonucu ortaya çıkan partiküllerin ciddi ve ihmal edilemez etkileri oluşabilir. Partikül konsantrasyonlarındaki kısa süreli pikler, bu piroteknik ürünleri ateşleyenler, izleyiciler ve çalışanlar için önemli ölçüde yüksek bir risk oluşturmaktadır. Farklı boyutta fraksiyone edilmiş havadaki parçacıklar arasında, mikrometre boyutundan küçük aralıkta olanların, mikrometre boyut aralığındaki parçacıklara göre solunum epitel hücreleri üzerinde daha olumsuz bir etki oluşturmaları muhtemeldir.

Kısa süren havai fişek gösterilerinin gizli kalmış dezavantajlarının dikkate alınması gerekmektedir. Havai fişeklerden oluşan ince tozların diğer tozlara benzememektedir ve bu tozların etkisi yeterince bilinmemektedir. Bu tozların solunum yoluyla alınması durumunda astım veya bronşite neden olabileceği bilinen bir durumdur. Ayrıca havai fişeklerin yapımında kullanılan paketleme malzemeleri, kartuş, sap ve diğer plastik malzemeler çevreyi kirletmekte ve ozon değerlerini arttırmaktadır. Bu ürünler

dikkatsizlik, tedbirsizlik ve kurallara göre yakılmaması gibi durumlarda ciddi kazalara yol açabilmekte, patlamalardan dolayı göz, el ve vücudun diğer kesimlerinde yanma, kırılma, kopma gibi hasarların oluşabilmektedir. Yüksek seviyedeki patlamalardan dolayı işitme organlarında hasar oluşmaktadır. Özellikle bebekler, küçük çocuklar ve yaşlılar üzerindeki olumsuz etkisinin daha fazla olduğu bilinmektedir. Havai fişeklerin ve türevlerinin Avrupa’da olduğu gibi sadece yılbaşı gecesinde veya ulusal özel günlerde atılmasının serbest olmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Ancak bu da belli kurallar içinde olması gerekmektedir; hastanelere, okullara, huzurevlerine, tarihi eserlere belli mesafelerde olması gerektiği kanaatine varılmıştır. Bu şekilde olması durumunda hem kendi yasa ve uygulamalarımıza hem de Avrupa Birliği kurallarına uyulmuş olacaktır.

10 farklı salonda gerçekleştirilen örneklemeler sonucu toplanan partikül maddelerin boyut dağılımına göre metal konsantrasyonları ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. Fe, Ti, Sn, Al, Sr, Sb, Zn metallerine ait konsantrasyon değerleri $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cinsinden hesaplanmıştır. Analizi yapılan Fe, Ti, Sn, Al, Sr, Sb ve Zn elementlerinin en yüksek konsantrasyonları sırasıyla $175,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $4,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $1269,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $4,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $0,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $1877,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu saptanmıştır. Ülkemiz için iç ortam hava kirleticileri sınır değerleri için belirlenmiş herhangi yasal bir düzenleme yoktur. Bu sebeple OSHA’da belirlenen limitlere göre kıyaslama yapılmış ve Al ($\text{PM}_{2,5}$) konsantrasyonları, Fe ($\text{PM}_{2,5}$) konsantrasyonları ve Sb konsantrasyonlarının OSHA tarafından izin verilen değerlerin altında olduğu görülmüştür. İnsanların vakitlerinin büyük bir bölümünü geçirdiği iç ortamlardaki hava kirleticilerinin ölçümü yapılarak mevcut durum saptanmalı, bu kirleticilerin oluşturduğu ve oluşturabileceği muhtemel sağlık etkileri belirlenmelidir. İnsanların da iç ortam hava kalitesinin dış ortam kirliliğine oranla daha tehlikeli olabileceği konusunda bilinçlendirilmesi hususu iç ortam hava kirliliği konusunda farkındalık yaratacaktır. Havai fişek kaynağı kimyasal profilinin bilinerek değerlendirilme yapılması, havai fişek gösterileri sırasında aerosol özelliklerini ve yükünü anlamada daha net bir katkı sağlayacaktır.

Özetle; iç ortam hava kirliliğine sebebiyet veren ve düğün salonlarında sıklıkla kullanılan ve görsellik katan piroteknik maddeler (meşale, şelale, volkan ve pasta maytapları) sağlık

açısından risk oluşturmaktadır. Kutlama esnasında kapalı ortamlarda kullanıldıkları için uçucu solventler ve yanıcı maddeler ile kimyasal ajanların ortama deşarjına neden olmaktadır. Bunlar da üst solunum yollarında tıkanma hissi uyandırarak duyarlı kişilerde nefes darlığı ve astım gibi rahatsızlıklara sebebiyet vermektedir. Ayrıca kanserojen potansiyelleri nedeniyle kanser riski de oluşturmaktadır. Özellikle bebekler, hamile kadınlar ve yaşlılar bu gösteri araçlarından olumsuz etkilenmektedir. Bu etkilenme, patlama işlemine olan uzaklık, patlatılan maddenin cinsi ve zararlı maddelerin yoğunluğuna göre değışmekle birlikte zararlı maddelere kısa süre ve sadece bir kez maruz kalanlarda bile göz yaşarması, burun akıntısı ve nefes darlığı ortaya çıkmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı bu tür piroteknik malzemelerin düğün salonları veya diğere kapalı mekanlarda kullanımının kesinlikle yasaklanması gerektiğı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akal, D., 2013.** İç Ortam Hava Kirliliği ve Çalışanlara Olumsuz Etkileri. *ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi*, 1(1): 112-119.
- Alberca, C., M., Ruiz, C., G., 2014.** Analytic Techniques for the Analysis of Consumer Fireworks. *Trends in Analytic Chemistry*, 56: 27-36.
- Anonim, 2002.** Healthier Schools: “A Review Of State Policies For Improving Indoor Air Quality”, Environmental Law Institute Research Report. Washigton, <https://www.eli.org/sites/default/files/eli-pubs/d12-01.pdf> – (Erişim tarihi: 2019).
- Anonim, 2013.** Venüs Havai Fişek Piroteknik Oyuncak Kimya Organizasyon Tic. Ve San. Ltd. Şti. Havai Fişek ve Piroteknik İmalatı Kapasite Değişikliği Raporu. Sakarya, <https://docplayer.biz.tr/10163856-Havai-fisek-ve-proteknik-imalati-kapasite-degisikligi-ced-raporu.html> - (Erişim tarihi: 2019).
- Anonim, 2019.** ICP-MS, Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araş. Uygulama Mrkz. Müd., Konya, https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5875/tr - (Erişim tarihi: 2019).
- Arı, A., Argante, J., Meliefste, K., Gaga, E. O., Yay, O.D., Örnektekin, S., Döğeroğlu, T., Doorn, W., 2008.** İskenderun ve Payas'ta Atmosferik PM10 ve PM2.5 Derişimlerinin İncelenmesi. Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, 22-25 Ekim 2008, Hatay.
- Babaroğlu, A., 2015.** Anaokullarında İç Ortam Hava Kalitesi. *Tesisat Mühendisliği*, 150: 5-12.
- Branis, M., Rezacova, P., Domasova, M., 2005.** The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM1 in a classroom. *Environmental Research*, 99: 143–149.
- Bruce, N., Perez-Padilla, R., Albalak, R., (2000).** Indoor Air Pollution in Developing Countries: A Major Environmental and Public Health Challenge. *Bulletin of the World Health Organization*, 78: 1078–1092.
- Bulgurcu, H., İlten, N., Coşgun, A., 2005.** Okullarda İç Hava Kalitesi Problemleri ve Çözümler. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 23-26 Kasım 2005, Kültürpark Fuar Alanı, İzmir.

- Bulut, H., 2007.** Konutlarda İç Hava Kalitesi İle İlgili Ölçüm Sonuçlarının Analizi. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 25-28 Ekim 2007, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Bulut, H., 2008.** Isınma Sezonunda Ofislerde İç Hava Kalitesinin Araştırılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 105(2): 28-39.
- Carranza, J.E., Fisher, B.T., Yoder, G.D., Hahn, D.W., 2001.** On-line analysis of ambient air aerosols using laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 56: 851-864.
- Cengiz, M. A., Şenel, T., Terzi, E., Savaş, N., Terzi, Y., 2013.** Samsun Bölgesindeki Hava Kirliliğinin Neden Olduğu Hastalıkların İstatistiksel Modellenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(8): 27-36.
- Chen, X., Pan, G., Cao, C., Guan, H., Lv, H., Zheng, L., Zhu, C., Song, D., 2011.** Active agent for improving reaction activity of firework and firecracker oxidant barium nitrate. Univ Nanjing Science and Tech, CN102199063 (A) — 2011-09-28, China. (patents.google.com/patent/CN102199063A/en)
- Cindoruk, S.S., 2018.** Havadaki NO ve NO₂ Parametrelerinin Marmara Temiz Hava Merkezi Ölçümleri Kapsamında İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2): 600-611.
- Cuci, Y., Polat, E., 2015.** Gaziantep'in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2): 1-11.
- Çalışkan, N. S., 2017.** Bir Metal Kaplama Tesisinde İşyeri Hava Kalitesinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, T.C. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çilingir, B. M., 2016.** Hava Kirliliği ve Akciğer. *J Contemp Med*, 6: 131-137.
- Do, T., Wang, C., Hsieh, Y., Hsieh, H., 2012.** Metals Present in Ambient Air Before and After a Firework Festival in Yanshui, Tainan, Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*, 12: 981-993.
- Durdu, M., Cantürk, N., 2017.** Potansiyel Yaralama Etkileri Açısından Havai Fişekler. *Adli Tıp Bülteni*, 22(2): 101-108.
- Dutschke, A., Lohrer, C., Kurth, L., Seeger, S., Barthel, M., Panne, U., 2011.** Aerosol Emissions From Outdoor Firework Displays. *Chemical Engineering Technology*, 34(12): 2044-2050.

- Esen, F., Taşdemir, Y., Cindoruk, S.S., 2005.** Evaluation of NO_x and O₃ Concentrations in the Atmosphere of Bursa. *Environmental Forensics*, 6: 311-317.
- Galea, A., Powles, O., 2010.** A review of firework legislation and acute health effects. *Chemical Hazards and Poisons Report From the Chemical Hazards and Poisons Division*, 17: 32-36.
- Grudzinski, J., 2007.** Determination of Major Particulate Matter (PM10) Components in Urban Aerosol From Taiyuan City, China. *Thesis for the Master's Degree in Chemistry*, University of Oslo, Department of Chemistry Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Oslo.
- Güllü, G., 2013.** Türkiye'de İç Ortam Hava Kirliliği Çalışmaları. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2: 146-158.
- Güneş, G., Bozkurt, E., Sönmez, S., Çakır, N., 2015.** Kütüphanelerde İç Hava Kalitesinin İncelenmesi: Marmara Üniversitesi Merkez Kütüphanesi. *Bilgi Dünyası*, 16(2): 222-241.
- Han, Y., Li, X., Zhu, T., Lv, D., Chen, Y., Hou, L., Zhang, Y., Ren, M., 2016.** Characteristics and relationships between indoor and outdoor PM2.5 in Beijing: A residential apartment case study. *Aeresol and Air Quality Research*, 16: 2386-2395.
- HKDDY, 2019.** Hava Kalitesi Değerlendirme ve Denetimi Yönetmeliği. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Asp?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIliski=0> (Erişim tarihi: 2019).
- Hoşten, G., Yalbay, N., 2018.** Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Ofis Ortamlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. *Aydın Sağlık Dergisi*, 2: 1-12.
- Kılıç, S., 2010.** Determination of Indoor Air Particulate Matter Mass and Elemental Concentrations in a Selected Hospital. *Thesis for the Degree of Master of Science*, T.C. Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, Istanbul.
- KMÇY, 2019.** Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik. <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Asp?MevzuatKod=7.5.18709&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=> (Erişim tarihi: 2019)
- Köksal, Y., 2001.** Kapalı Mahallerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 3-6 Ekim 2001, Efes Convention Center, İzmir.

- Kreyling, W.G., Behnke, M.S., Möller, W., 2006.** Health Implications of Nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 8: 543-562.
- Li, Y., Chen, Z., 2003.** A balance-point method for assessing the effect of natural ventilation on indoor particle concentrations. *Athmospheric Environment*, 37: 4277–4285.
- Liu, J., Man, Y., Liu, Y., 2014.** Temporal Variability of PM₁₀ and PM_{2.5} Inside and Outside a Residential Home During 2014 Chinese Spring Festival in Zhengzhou, China. *Nat Hazards*, 73: 2149–2154.
- Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Mingullion, M. C., Pey, J., Rodriguez, S., Miro, J. V., Felis, C., Gibbons, W., 2007.** Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metalliferous particles from firework displays. *Athmospheric Environment*, 41: 913-922.
- Onat, B., Haksevenler, T., Alver Şahin, Ü., 2011.** İstanbul’da Farklı Bina İçi Ortamlarda PM_{2.5}, CO Konsantrasyonları ve Partikül Sayısının Belirlenmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, MMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Onat, B., 2015.** Metro İstasyonları ile Metro ve Şehirlerarası Tren Vagonlarında İç Hava Kalitesi. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015, MMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Orhun, Z., 2013.** Türkiye Coğrafi Bölgelerinde Örnek Şehirlerde Ölçülen PM₁₀ Değerlerinin Değişiminin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- OSHA, 2019.** Occupational Safety and Health Administration. <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html> (Erişim tarihi: 2019).
- Özcan, H.K., Şahin, Ü., Bayat, C., Uçan, O.N., 2006.** İstanbul İli Troposferik Ozon (O₃) Konsantrasyonlarının Hücresel Yapay Sinir Ağ Yöntemiyle Modellenmesi. *Gazi Univ. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21(2): 239-245.
- Özdemir, H., Borucu, G., Demir, G., Yiğit, S., Ak, N., 2010.** İstanbul’daki Çocuk Oyun Parklarında Partikül Madde (PM_{2.5} ve PM₁₀) Kirliliğinin İncelenmesi. *Ekoloji*, 20(77): 72-79.
- Rende, H., 2012.** Havai Fişek Etkinliklerinin Etkileri. *Mühendis ve Makina*, 53(625): 37-43.

- Russell M.S., 2000.** The Chemistry of Fireworks. The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge, UK.
- Sardar, S.B., Geller, M.D., Sioutas, C., Solomon, P.A., 2006.** Development and evaluation of a high-volume dichotomous sampler for chemical speciation of coarse and fine particles. *Journal of Aerosol Science*, 37: 1455-1466.
- Scherbakova, K., 2010.** İstanbul'daki solunabilir partikül maddenin boyut dağılımının istatistiksel analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sofuoğlu, A., 2019.** Hava Kirliliği.
https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK-6.pdf - (Erişim tarihi:2019)
- Soni, R.B., Dhankar, R., 2015.** Temporal Variation in Indoor Air Quality During Festival of Fireworks in India. *Rasayan J. Chem*, 8(4): 452-458.
- Steinhauser, G., Sterba, J.H., Foster, M., Grass, F., Bichler, M., 2008.** Heavy metals from pyrotechnics in New Years Eve snow. *Athmospheric Environment*, 42: 8616-8622.
- Süren, P., 2007.** Zonguldak Kent Merkezi Atmosferik Partikül Madde Kirliliğinin; PM_{2.5} ve PM₁₀ Boyut Dağılımı, Kaynak ve Metalik Kompozisyon Temelinde İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, T.C. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Balıkesir.
- Şahin, Ü., 2005.** İstanbul ili PM ve THC dağılımının yapay sinir ağ teknikleri ile modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, Ü., Kurutaş, B., 2009.** Metal Endüstrisi İç Ortamında PM_{2.5} Konsantrasyonunun Belirlenmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs 2009, MMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Taner, S., 2012.** İç Ortam Havaında Partikül Maddelerin Boyut Dağılımının ve Elementel Kompozisyonunun İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli.
- Taşdemir, Y., Cindoruk, S.S., Esen, F., 2005.** Monitoring of Criteria Air Pollutants in Bursa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 110: 227-241.

TMY, 2019. Tozla Mücadele Yönetmeliği.

<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.18989&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=> (Erişim tarihi: 2019).

Vecchi, R., Bernardoni, V., Cricchio, D., D'Alessandro A., Fermo, P., Lucarelli, F., Piazzalunga, S., A., Valli, G., 2008. The Impact of Fireworks on Airborne Particles. *Athmospheric Environment*, 42: 1121-1132.

Wang, Y., Zhuang, G., Xu, C., An, Z., 2007. The Air Pollution Caused by the Burning of Fireworks During the Lantern Festival in Beijing. *Athmospheric Environment*, 41: 417-431.

Wehner, B., Wiedensohler, A., Heintzenberg, J., 2000. Submicrometer aerosol size distributions and mass concentration of the millennium fireworks 2000 in Leipzig, Germany. *Journal of Aerosol Science*, 31(12): 1489-1493.

Yurtseven, E. 2007. İki Farklı Coğrafi Bölgedeki İlköğretim Okullarında İç Ortam Havasının İnsan Sağlığına Etkileri Yönünden Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*, T.C. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, İstanbul.

Zhang, M., Wang, X., Chen, J., Cheng, T., Wang, T., Yang, X., Gong, Y., Geng, F., Chen, C., 2010. Physical Characterization of Aerosol Particles During the Chinese New Year's Firework Events. *Athmospheric Environment*, 44: 5191-5198.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mert KARAÇALI
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 14.08.1987
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Yıldırım Bayezit Süper Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Çevre Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bil. Ens. Çevre Müh. A.B.D.

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Büyükşehir Belediyesi

İletişim (e-posta) : mertkaracali16@gmail.com

Yayınları : -