

**PROSES KAYNAKLI YAĞ BUHARI EMİSYONLARININ
ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK METOD GELİŞTİRİLMESİ:
TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ÖRNEĞİ**

Hüseyin GEÇKİN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PROSES KAYNAKLI YAĞ BUHARI EMİSYONLARININ ÖLÇÜMÜNE
YÖNELİK METOD GELİŞTİRİLMESİ: TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ÖRNEĞİ**

Hüseyin GEÇKİN
0000-0001-7968-7463

Prof. Dr. SABAHATTİN SİDDİK CİNDORUK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Hüseyin GEÇKİN tarafından hazırlanan “Proses Kaynaklı Yağ Buharı Emisyonlarının Ölçümüne Yönelik Metod Geliştirilmesi: Tekstil Endüstrisi Örneği” 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. Sabahattin Sıddık CİNDORUK

- Başkan** : Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK
0000-0001-7536-0332
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza
- Üye** : Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR
0000-0002-2544-9862
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza
- Üye** : Doç.Dr. Ahmet Aygün
0000-0002-6321-0350
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü
İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

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

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.

.../.../.....

Hüseyin GEÇKİN

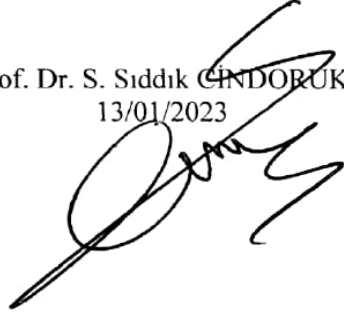
**TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI**

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

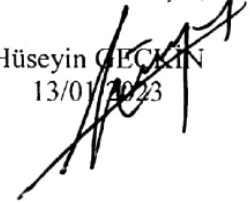
Okudum, anladım.

Prof. Dr. S. Sıddık ÇİNDÖRÜK
13/01/2023



Okudum, Anladım.

Hüseyin GEÇKİN
13/01/2023



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PROSES KAYNAKLI YAĞ BUHARI EMİSYONLARININ ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK
METOD GELİŞTİRİLMESİ: TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ÖRNEĞİ

Hüseyin GEÇKİN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabahattin Sıddık CİNDORUK

Tekstil sektöründe özellikle polyester işleyen (Fikse, apre, ısıl işlemler) tesislerden önemli miktarda yağ buharı emisyonu oluşmaktadır. Polyester iplik üretimi sırasında ağırlıkça %3 ile %11 arasında eğirme yağı kullanılmaktadır. Tekstil bacalarından Bursa atmosferine yılda toplam 9.592,45 ton yağın, yağ buharı emisyonu olarak deşarj edildiği tespit edilmiştir. Tekstil ramöz makinalarında gerçekleştirilen ısıl işlemler sırasında bacalardan atılan yağ buharının konsantrasyonlarının tespitine yönelik ölçüm yönteminin bulunmaması, bacaların nasıl bir yaklaşım ile kontrol altına alınması gerektiği kararlaştırılmamıştır. Bu çalışmada geliştirilen yöntem ile yüksek sıcaklığa sahip yağ buharı emisyonlarının hem partikül fazda hem de gaz fazdaki konsantrasyonları tespit edilebilmiştir. Yöntemin uygulama çalışmaları tamamlandıktan sonra TÜRKAK tarafından akreditasyonu gerçekleştirilmiştir. Yöntem ile Bursa sektöründeki 65 adet fabrikada 144 ramöz bacasında ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerde kullanılan kumaş türlerini Polyester, Pamuk, Likra ve Viskon olarak sıralayabiliriz. En yüksek sıcaklık ise 225 °C'dir. Yağ buharı konsantrasyonlarında en düşük ölçüm değerinin 0,14 mg/Nm³, en yüksek ölçüm değeri 938,07 mg/Nm³, ortalama konsantrasyon değerinin 57 mg/Nm³'tür. Sıcaklık ve yağ buharı arasındaki ilişki analiz edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ortaya konmuştur (p<0,001). Surfer programında hazırlanan konsantrasyon dağılım haritalarında, kaynağa yakın bölgelerde daha yoğun olduğu tespit edilen yağ buharı emisyonların insan sağlığına olan etkileri de göz önüne alındığında kontrol altına alınması gereken önemli bir kirletici olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yağ Buharı, Isıl İşlem, Polyester İplik, Emisyon, Ram Makinesi

2023, viii + 42 sayfa.

ABSTRACT

Master Thesis

DEVELOPMENT OF METHOD FOR MEASURING OIL VAPOR EMISSIONS FROM PROCESS SOURCES: TEXTILE INDUSTRY CASE

Hüseyin GEÇKİN

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

Supervisor: Prof. Dr. Sabahattin Sıddık CİNDORUK

In the textile sector, a significant amount of oil vapor emission occurs especially from the facilities that process polyester (fixing, finishing, heating processes). During the production of polyester yarn, spinning oil is used between %3 and %11 by weight. It has been determined that a total of a 9,549,2 tons of oil discharged annually from the textile chimneys to the Bursa atmosphere as oil vapor emission. The lack of a measurement method for the determination of the concentration of oil vapor discharged from the chimneys during the heat treatments carried out in the textile stenter machines, and it has not been decided how the chimneys should be controlled. With the method developed in this study, the concentrations of high temperature oil vapor emissions in both the particulate phase and the gas phase could be determined. After the implementation of the method was completed, it was accredited by TÜRKAK. With the method, measurements were made in 144 stenter chimneys in 65 factories in Bursa sector. The highest temperature is 225 °C. In oil vapor concentrations, the lowest measurement value is 0,14 mg/Nm³, the highest measurement value is 938.07 mg/Nm³, the average concentration value is 57 mg/Nm³. When the relationship between temperature and oil vapor was analyzed, it was revealed that there was a statistically significant relationship ($p < 0,001$). In the concentration distribution maps prepared in the Surfer program, oil vapor emissions, which were determined to be more intense in the regions close to the source, were revealed to be an important pollutant that should be controlled considering the effects on human health.

Key words: Oil Mist, Heating Processes, Polyester Yarn, Emission, Stenter Machine

2023, viii + 42 pages.

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca pozitif enerjisiyle her konuda bilgi, birikim ve deneyimlerini benimle paylaşan desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve yanımda olup mezun olmama yardımcı olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK'a teşekkürlerimi sunarım.

Metodun geliştirilmesi sürecinde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR ve Doç. Dr. Ahmet AYGÜN'e katkı ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez ve makalemde kullandığım verilere ilişkin ölçüm sonuçlarını bizlerle paylaşan Elinsan Çevre Laboratuvarına ve özellikle her türlü desteği sağlayan değerli Çevre Mühendisi Ersin TOPÇULAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez ve makalemde bilgi, birikim ve deneyimlerini her süreçte benimle paylaşan ve mezun olma sürecimde çok yardımcı olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Burak ÇALIŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen ve yanımda olan aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin GEÇKİN
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Tekstil Sektörü ve Bursa.....	4
2.2. Yağ Kirleticisi ve Yağ Buharına ait Kimyasal ve Fiziksel Özellikler, Kaynakları, ..	5
Sağlık Etkileri.....	5
2.3. Tekstil Terbiye İşlemleri.....	6
2.4. Ramöz Makinesi ve Çalışma Prensibi.....	7
2.5. Koku Problemi ve Yağ Buharı Emisyonları.....	8
3. MATERYAL ve METOD.....	14
3.1. Yağ Tayin Metotları.....	14
3.2. Yöntemin Temel Prensibi.....	14
3.3. Örnekleme ve Analizde Kullanılan Cihaz, Çözgenler ve Hazırlanışı.....	16
3.4. Örnekleme Noktalarının Belirlenmesi.....	16
3.5. Örnekleme Düzenegi.....	16
3.6. Örnekleme Öncesi İşlemler.....	17
3.7. Örnekleme.....	17
3.8. Örnekleme Sonrası İşlemler.....	18
3.9. Analizler.....	19
3.10. Kalite Güvenirlik & Kalite Kontrol.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Analizi.....	21
4.2. Yağ Buharı Konsantrasyon Dağılım Haritaları.....	28
5. SONUÇ.....	36
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	42

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

CCL ₄	Karbon Tetra Klorür
KB	Koku Birimi
O ₂	Oksijen
mg	Miligram
Na ₂ SO ₄	Sodyum Sülfat
Nm ³	Normal Metreküp
m ³	Metreküp
mm ²	Milimetrekare
s	Saniye
°C	Santigrat Derece

Kısaltmalar

Açıklama

EPA	U.S. Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
ESP	Electrostatic Precipitators (Elektrostatik Filtre)
FTIR	Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre (Kızılötesi Spektrofotometre)
İMÇK	İl Mahalli Çevre Kurulu
KOEKHY	Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety & Health (Ulusal İş Sağlığı ve İş Güvenliği Enstitüsü)
PAH	Çok halkalı Aromatik Hidrokarbonlar
PTFE	Teflon
SKHKKY	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
TOK	Toplam Organik Karbon
UİB	Uludağ İhracatçılar Birliği
UTİB	Uludağ Tekstil İhracatçılar Birliği
UOB	Uçucu Organik Bileşikler)
WS	Wet Scrubber (Islak Yıkayıcılar)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Çalışma alanı.....	5
Şekil 2.2. Terbiye İşlemleri.....	7
Şekil 2.3. Ram Makinesi	8
Şekil 2.4. Tekstil bacaları emisyon görüntüleri	9
Şekil 2.5. Yağ buharı emisyonu baca görüntüsü.....	10
Şekil 2.6. Elektrostatik arıtma sisteminde toplanan yağ görüntüsü	13
Şekil 3.1. Yağ buharı örnekleme ekipmanlarının şematik diyagramı.....	17
Şekil 3.2. Bacada ölçüm ve örnekleme	18
Şekil 4.1. Ölçümler sırasında ram makinelerinde işlenen kumaş oranları.....	23
Şekil 4.2. Yağ buharı konsantrasyonları ve sıcaklık arasındaki ilişki.....	24
Şekil 4.3. 65 Firma yağ buharı konsantrasyon ortalamaları ve sıcaklık değişimi	25
Şekil 4.4. Bursa organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı	29
Şekil 4.5. Demirtaş organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı	30
Şekil 4.6. Uludağ organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı..	31
Şekil 4.7. Kestel organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı ...	32
Şekil 4.8. Barakfakih organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı.	33
Şekil 4.9. İnegöl organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı ...	33
Şekil 4.10. Bursa şehir merkezi yağ buharı konsantrasyon dağılımı	34
Şekil 4.11. Bursa şehir merkezi 15 mg/Nm ³ ve altı yağ buharı konsantrasyon dağılımı	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. İhraç edilen polyester kumaş ve atmosfere verilen yağ buharı miktarı	12
Çizelge 4.1. Ölçüm sayılarının ilçe ve firma olarak dağılımı	21
Çizelge 4.2. Yağ buharı ölçüm sonuçları ve ölçüm sırasındaki koşullar	22
Çizelge 4.3. Filtreli ve filtresiz ölçüm sonuçları	26

1. GİRİŞ

Hava kalitesi; insan başta olmak üzere ve diğer canlılar, bitki örtüsü ve ticari eşyalara etkileri bakımından en önemli çevresel kriterlerden biridir. Hava kirletici emisyonlar özellikle nüfus ve endüstrileşmenin yoğun olduğu kentlerde çok çeşitli kaynaklardan yüksek konsantrasyonlarda salınırlar. Trafik emisyonları, endüstri bacalarından çıkan yanma ve proses emisyonları, çöplerin yönetimi, kirliliğe yönelik atıksulardan buharlaşmalar, kontrolsüz yakma ve bilinçsiz ilaçlama faaliyetleri kentlerdeki önemli hava kirletici kaynaklar olarak göze çarparlar. Sanayinin kentle iç içe olduğu Bursa gibi büyük metropollerde endüstri bacalarından atmosfere verilen kirletici emisyonlar çok az seyrelme ile doğrudan yerleşim yerlerine ulaşabilmektedir (Caliskan ve ark. 2020). Bursa'da ve Bursa'nın sanayileşmiş önemli bir ilçesi olan İnegöl atmosferindeki Çok halkalı Aromatik (PAH) ve Uçucu Organik Bileşikler (UOB) konsantrasyonları benzer büyüklükteki kentlerden daha yüksek gözlenmiştir (Caliskan ve ark. 2020, Caliskan ve ark. 2022).

İlimizde tekstil ana sanayi kolları arasında yer almakta olup boyama, baskı ve özellikle termofiksaj olarak da bilinen ısı işlemlerinin çokça yapıldığı, Türkiye'nin en önde gelen metropolüdür. Bunun yanında otomotiv, metal, kauçuk, gıda ve kimya endüstrileri yaygınca bulunmaktadır. Kentte her ne kadar organize sanayi bölgesi şeklinde endüstri kolları branşlaşsa da yerleşim yerleri ile iç içe yapısından dolayı endüstri emisyonlarının trafik emisyonları ile birlikte kenti olumsuz yönde etkilemesinin önüne geçilememektedir (Caliskan ve ark. 2020). Bu endüstri kollarından yüksek debi ve sıcaklıklarda önemli hava kirletici emisyonları baca gazı arıtma sistemlerinden geçirilerek/geçirilmeyerek atmosfere verilmektedir. Arıtma ünitelerinin verimli veya her zaman çalıştırılıp çalıştırılmadığına dair kesin bilgi olmadığından Bursa atmosferi emisyonlara maruz kalmaya devam etmektedir. Bahsi geçen endüstri kollarından tekstil başta olmak üzere önemli miktarda yağın aerosol veya buhar halinde içinde UOB'leri içerecek şekilde atmosfere verildiği bilinmekte ve gözlenmektedir (Angelis-Dimakis ve ark. 2016, Chalenko ve Kazantseva 2005, Hao ve Feng 2009, Hild ve ark. 2004, Huang ve Chen 2007). Bu yağlar, iplik üretimi sırasında yüksek hız nedeniyle elyafın eriyerek zarar görmesini engelleyen silikon esaslı yağlarla birlikte örme /dokuma yağları da olabilmektedir (Bulut ve ark. 2012, M S Kang ve ark. 2021, F. Wang ve ark. 2018).

Özellikle tekstil endüstrisinde termofiksaj işlemleri sırasında ortalama 200 °C seviyesinde UOB ve yağ buharı içeren emisyon oluşmaktadır (Huang ve Chen 2007, Lim ve ark. 2022). Isıl işlemler sırasında iplikte veya kumaşta bulunan boya, apre kimyasalları ve yağ buharlaşarak atık gaz akımına karıştığı bilinmektedir. Yağ buharının içeriğinde; UOB, PAH, ve güçlü kanserojen maddeler olan karbonil bileşikler bulunmaktadır (Kilic ve ark. 2017, Peng ve ark. 2017, Yunliang Zhao ve ark. 2007). Yoğun bir duman görüntüsü sergileyen bu emisyonlar ayrıca rahatsız edici bir kokuya sahiptir. Yağ buharı insan ve çevre sağlığı için risk oluşturduğundan kontrol altına alınması gerekmektedir (M. R. Chen ve ark. 2007, Schwarz ve ark. 2015, Verma ve ark. 2006, Wan ve ark. 2011, Yujiao Zhao ve ark. 2019)

Literatürde kesme yağları, bunların iç ortam konsantrasyonları ve sınır değerleri ile ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte (Chalenko ve Kazantseva 2005, Kim ve Raynor 2009, 2010, F. Wang ve ark. 2018), özellikle yüksek sıcaklıktaki yağ buharının neden olduğu, hem ölçüm yöntemi hem de ortam konsantrasyonları ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Özellikle tekstil endüstrisindeki ısıl fiksasyon işlemlerinden kaynaklanan yüksek sıcaklıktaki yağ buharının emisyon miktarlarına ilişkin bir çalışma da bulunmamaktadır. Bu tür emisyonlar için bir ölçüm yönteminin bulunmaması, emisyonlar için sınır değerlerin belirlenememesine ve ortam seviyelerinin araştırılmamasına neden olmuştur. Kentte yaşayanların sıklıkla şikâyette bulunmasından dolayı Bursa Valiliği konuyu inceleme altına almış ve koku ve dumanın büyük ölçüde sıcak yağ buharından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Isıl işlemlerin yapıldığı ram makinalarının ısı geri kazanımı ve kirletici filtrasyonu amaçlı kullandıkları sistemlerin yağ buharı ve UOB emisyonunu %80 verimin üzerinde kontrol altına aldığı tespit edilmiştir. Ancak bu arıtma sistemlerinin tüm işletmelerde bulunmaması, bulunanların da verimli çalıştırılmamaları ve Valiliğe gelen şikâyetlerin artış göstermesi yağ buharı emisyonunun kontrolsüz bir şekilde deşarjının devam ettiğini göstermektedir.

Bursa'da ve Türkiye'nin Çerkezköy, Çorlu, Denizli, Uşak ve Kahramanmaraş gibi tekstil üretim merkezlerinde önemli bir hava kalitesi problemi haline dönüşen yağ buharı emisyonlarının kontrolü için ölçüm ve izleme metodunun geliştirilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bu endüstrilerin içinde 3000 adet yağ buharı emisyonu meydana getiren fikse bacasının kayıtlı olduğu, bunun dışında 1000-1500 civarında ise kayıtlı olmayan baca

bulunduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'deki Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (SKHKKY) yanma gazları, toplam organik karbon (TOK), UOB ve partikül madde gibi kirleticilere ait sınır değerler bulunmaktadır. Yağ buharı ile ilgili herhangi bir sınır değer olmamasından dolayı bu emisyonların kontrol altına alınması için izleme değerlendirme araçları etkin olarak kullanılmamaktadır. Bursa Valiliği tarafından problemin çözüme bilimsel katkı sunulması için çevre mühendisliği bölümümüze başvuru yapılmıştır.

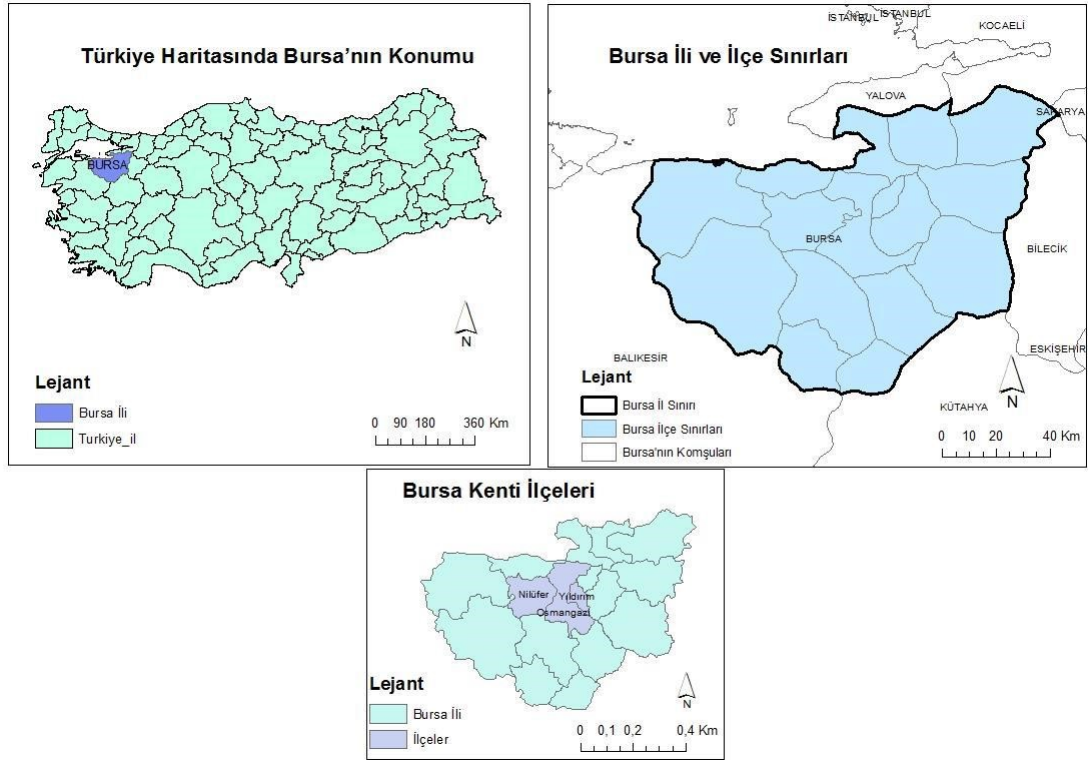
Yüksek sıcaklıktaki yağ buharının TOK ve UOB'den bağımsız olarak baca gazı emisyonlarında ölçülebilmesi için yöntem geliştirilmesinin kentsel hava kalitesi yönetimine önemli katkı koyacağı değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada literatür de aerosol haldeki yağ buharı ölçüm yöntemleri ve çözünmüş haldeki yağ buharının ölçüm yöntemleri araştırılarak hibrit bir ölçüm yöntemi ortaya çıkarılmış ve birçok tekstil işletmesi bacasında yağ buharı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda kentsel hava kalitesinin yağ buharı yönünden kontrol altına alınabilmesi için 15 mg/m^3 'lük sınır değer konulmasına karar verilmiştir. Sıcaklık, kumaş türü ve içeriği, kumaş geçiş hızı, arıtma sistemi bulunup bulunmadığı gibi değişken koşullarda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları analiz edilerek Surfer programında konsantrasyon dağılım haritaları oluşturulmuş yağ buharı emisyonları ve sıcaklığın Bursa kenti üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tekstil Sektörü ve Bursa

Tekstil endüstrisinde kullanılan hammadde çeşitliliği çok fazla olmakla birlikte, yapılan işlemler, sahip olunan makine parkuru farklılıkları nedeniyle her işletmede kendini özgü üretim aşamaları görülebilmektedir. Bunun yanı sıra değişen moda trendleri, ham madde temininde yaşanan sıkıntılar ve müşteri talepleri üretim süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Tekstil endüstrisi ülkemizde en önemli sektörlerinden biridir. Aynı zamanda atık üretiminin de en fazla olduğu sektördür. Bu sektördeki hava kirletici kaynakların en önemlisi noktasal kaynaklardır (Gönüllü 2004). Bursa Tekstil sektörü, Türkiye'de ki sentetik iplik toplam üretim kapasitesinin % 75'i karşılamakta olup ve ülkemizde boyama sanayinin en az % 25'i Bursa'da bulunmaktadır (Pulat ve ark. 2009). “Günümüzde Bursa’da tekstil sektörü, otomotiv ile birlikte kentin ekonomisinde en fazla ağırlığa sahip olan iki sektörden biridir. Bursa’da toplam 18 adet organize sanayi bölgesi ve ayrıca 1 adet serbest bölge içinde faaliyet gösteren yaklaşık 4100 tekstil firması bulunmaktadır” (UIB Report 2018).



Şekil 2.1. Çalışma alanı

Bursa merkezi Yıldırım, Nilüfer ve Osmangazi İlçelerinden oluşmakta olup 3.5 milyon nüfuslu bir metropoldür (Şekil 2.1). Büyük ölçekteki tekstil boyahaneleri Bursa Organize Sanayi Bölgesi, Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, Kestel Organize Sanayi Bölgesi, Uludağ Organize Sanayi Bölgesi, Barakfakih Organize Sanayi Bölgesi ve İnegöl Organize Sanayi Bölgelerinde yer almaktadır. Hakim rüzgar yönü kuzey doğu olması ve şehrin güneyinde 2546 m yüksekliğe sahip Uludağ bulunmakta olup bu durum tekstil sektöründen kaynaklı kirliliğin şehir merkezinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

2.2. Yağ Kirleticisi ve Yağ Buharına ait Kimyasal ve Fiziksel Özellikler, Kaynakları, Sağlık Etkileri

Tekstil sektöründe iplik üretim, kumaş dokuma, kumaş kurutma gibi birçok proseste yağ kullanılmaktadır (Forster ve ark. 2014). Sürtünme ve statik elektriklenmeyi önlemek amacıyla kullanılan bu yağlar; anti stat, harman yağı, spin-finish, eğirme yağı, dokuma yağı gibi isimlerle bilinmektedir (Alhalabî ve ark. 2011). Genel olarak bu yağlar 3 temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar Kaydırıcılar, Antistatik Maddeler ve Emülgatörler olarak sıralayabiliriz. Emülgatörler %25-%50 oranında bulunabilmektedir. Bu 3 temel

bileşenin yanı sıra çeşitli katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Yağ oluşumunda kullanılan ana ve yardımcı bileşenler aşağıda verilmiştir (Gürdal, 1988)

A. Ana Bileşenler

- Kaydırıcı Maddeler
- Emülgatörler
- Antistatik Maddeler

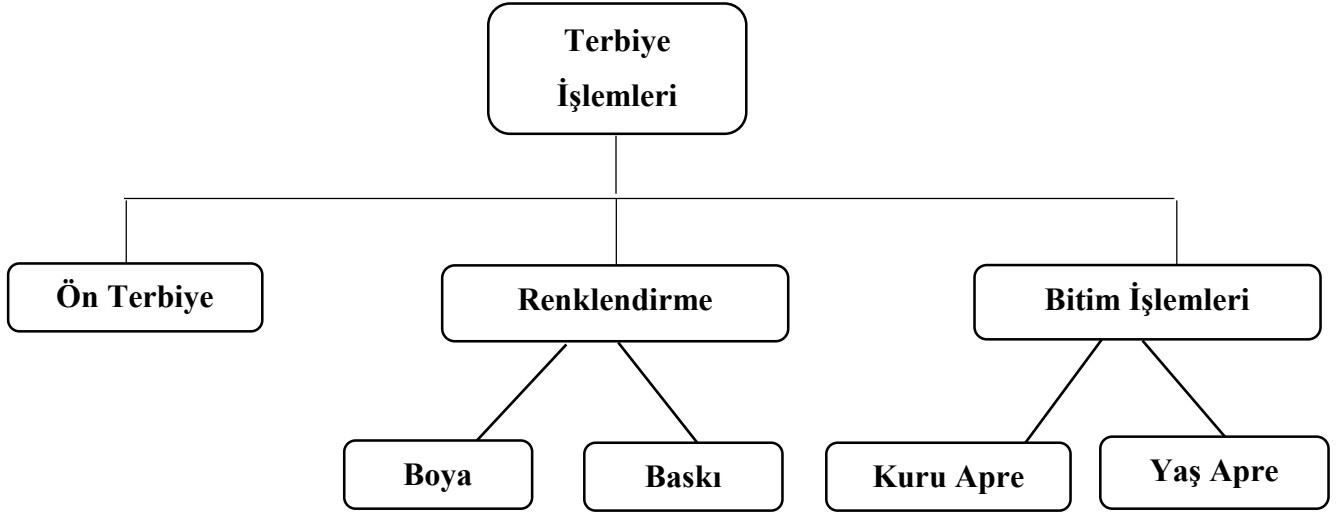
B. Yardımcı Bileşenler – Katkı Maddeleri

- Ph Kontrol Maddeleri
- Korozyon Engelleyici Maddeler
- Bakteri/Mantar Önleyiciler
- Oksitlenme Önleyiciler
- Lif-Lif Tutulmasını Arttırıcı Maddeler
- Viskozite Düzenleyiciler
- Boyama Yardımcı Maddeleri

Söz konusu yağların en belirleyici fiziksel ve kimyasal özelliklerini; yoğunluk, viskozite, parlama noktası ve akma noktası olarak sıralayabiliriz. Bu özellikler incelendiğinde genellikle parlama noktasının 160-190 °C viskozitenin ise 40 °C’ de 15-17 mm²/s olduğu görülmektedir. Bu yağlar petrolden elde edilen mineral yağlar olup, yağ buharı emisyonlarına maruziyet sonrası cilt hastalıkları, solunum rahatsızlıkları, astım gibi rahatsızlıkların yanı sıra içerdikleri PAH’lar nedeniyle aynı zamanda kansorejen etkiye sahiptirler (Verma ve ark. 2006).

2.3. Tekstil Terbiye İşlemleri

Tekstil ürünlerinin her açıdan daha iyi bir hale gelmesi için yapılan tüm işlemlere terbiye işlemleri denilmektedir. Söz konusu terbiye işlemleri müşteri talepleri doğrultusunda bir araya gelen prosesler bütünüdür. Terbiye işlemleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Terbiye İşlemleri

Örme ve dokuma işlemleri sonucunda elde edilen kumaşların boyama veya baskı işlemi öncesinde yapılan işlemlere ön terbiye işlemleri denir. Tekstil malzemelerinin birçoğu ön terbiye işlemleri yapılır. Ön terbiye işlemlerinin iyi yapılması boyama ve baskı sırasında karşılaşılabilecek hataları azaltılmasında önem arz etmektedir (Kaplan 2019).

2.4. Ramöz Makinesi ve Çalışma Prensibi

Ramöz makineleri ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olsa da en çok tercih edilen kurutma makineleridir. Bunun nedeni; ramözler ön fikse boyama-baskı sonrası kumaşların kurutma işlemleri, apre sonrası son fikse işlemi, ve diğer terbiye işlemleri sonrası kurutma işlemlerinin hepsinin yapılabilmesidir (Elitaş 2018).

Ram makineleri (Gergili Kurutma Makinaları), kumaşların kenarlarına iğnelenmiş paletlerle tutturulan kurutma makinalarıdır. Bir çift yürüme zinciri vasıtasıyla kumaşların hareket ettirilirken aynı zamanda kumaşa sıcak hava verilir. Ram makinelerinde kumaşa istenilen genişlik ve uzunluk sağlanabilmekte, istenmeyen kırışıklıklar giderilerek ve kumaş kenarlara değmeden geçirilebilmektedir (Tarakçıoğlu 2000)

Makinanın üst yüzeyinden enine ve kenarlara tutturulmuş bir şekilde kumaşın geçirilmesi sağlanmaktadır. Kumaş geçirilirken alt ve üst yüzeyine basınçlı sıcak hava püskürtülmekte ve özel bir emiş sistemiyle de kumaş kurutulmuş halini almaktadır. Ram

makinesi çıkışında ise kurutma işlemi sonrasında kumaşın daha fazla kurummasını önlemek amacıyla soğutma ve sarma ekipmanı bulunmaktadır (Oğulata ve ark. 1999). Ram makinesinin görseli Şekil 2.3’de yer almaktadır



Şekil 2.3. Ram Makinesi

Ram makinesi bacalarında brülör ve doğalgaz kullanılarak elde edilen ısıyla yapılan terbiye işlemleri esnasında UOB, TOK, Yanma Gazları, PAH ve yağ buharı emisyonları oluşmaktadır. Kumaş üretimi için ipliklere örme ve dokuma işlemi sırasında yağ verilmektedir. Bu yağlar ram makinelerinde boyama öncesi terbiye işlemi olan ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen ön fikse sırasında bacadan aerosol ve gaz olarak atmosfere deşarj edilmektedir. Diğer terbiye işlemlerinde ise ön fikse işlemlerine nazaran daha düşük oranlarda yağ buharı emisyonu oluşmaktadır.

2.5. Koku Problemi ve Yağ Buharı Emisyonları

Bursa İlinde tekstil sektöründen kaynaklı yoğun duman ve koku şikâyetleri çok fazla yapılmaktadır. Bu şikâyetler zaman zaman yerel basında da yer almaktadır. Öncelikle şikâyetler 19.07.2013 tarih ve 28712 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmeliği (KOEKHY) kapsamında değerlendirilerek şikâyete konu emisyon kaynağında yapılan koku ölçüm

sonuçlarına göre gerekli değerlendirmeler yapılmaktaydı. Şikâyete konu tekstil işletmesi bacalarından kaynaklanan emisyonlar Şekil 2.4’te verilmiştir.



Şekil 2.4. Tekstil bacaları emisyon görüntüleri

Koku ölçüm sonuçları; KOEKHY kapsamında bacalardan alınan 3 adet kokulu gaz örneğinin oflaktometre cihazı vasıtasıyla yetkilendirilmiş panelistler tarafından seyreltme yapılmış gazlara verilen tepkilerin sayısal sonucu olarak KB/m^3 değeri olarak hesaplanmaktadır. Yönetmelik kapsamında $1000 KB/m^3$ ve altındaki ölçüm sonuçları uygun kabul edilmektedir. Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler sonucunda ölçüm sonuçlarında büyük farklılıklar gözlenmiş ve şikâyetlerde belirgin bir azalma sağlanamamıştır.

Bursa Valiliğince söz konusu şikâyetler detaylı olarak incelendiğinde; özellikle polyester kumaş içeriğinde bulunan örme ve dokuma yağlarının ram makinesi içinde yüksek sıcaklıklarda yanmış yağ kokusuna benzer bir koku ve yoğun duman oluşmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Yağ buharı emisyonları hem gaz hem de aerosol formda bulunabilmekte ve insan sağlığı açısından ciddi tehlike oluşturmaktadır. Şekil 2.5’te yağ buharı emisyonu oluşturan baca görüntüsü verilmiştir. Söz konusu yağ buharı

emisyonlarının kaynağında ölçülmesi gerekliliği ortaya konmuştur. Bu kapsamda Çevre Mühendisliği Bölümümüzce yağ buharı emisyonlarının ölçülmesine yönelik çalışmalara başlanılarak hibrit bir ölçüm metodu geliştirilmiştir.



Şekil 2.5. Yağ buharı emisyonu baca görüntüsü

Yağ buharı emisyonları ve koku problemlerinin önlenmesi amacıyla Bursa Valiliği İl Mahalli Çevre Kurulu Kararları (İMÇK) ile bir takım tedbir ve sınırlamalar getirilmiştir:

- 18.08.2016 tarih ve 75 No’lu Kararı ile “Tekstil sektöründe faaliyet gösteren ve özellikle polyester kumaş (ya da polyester içerikli diğer kumaş türlerini) kullanarak ön fikse ve/veya fikse yapan RAM Makinalarından kaynaklı koku emisyonlarının engellenmesi için bu makinalara ait bacalara elektrostatik ve/veya benzeri koku giderici alıcı bir filtre sistemi kurulması için işletmelere 01.01.2018 tarihine kadar süre verilmesine karar verilmiştir.
- İMÇK 75, 80 ve 85 No’ lu kararı ile “Tekstil sektöründe faaliyet gösteren ve özellikle polyester kumaş (yada polyester içerikli diğer kumaş türlerini) kullanarak ön fikse yapan RAM Makinalarından kaynaklı emisyonlarının engellenmesi için filtre zorunluluğu getirilmiş olup yapılan değerlendirmeler ve teknik çalışmalar sonucu yukarıdaki kararların geçerliliğini sürdürmek kaydıyla

ilave olarak; tekstil sektöründe faaliyet gösteren pamuklu, polyester, viskon, vb. tüm iplik ve kumaş türleri) ve ısı yayarak emisyon çıkışı sağlayan tüm makina (ram, ramöz, baskı, fikse, apre, gaze, vb.) bacalarından havaya atılan yağ vb. kirleticilerin emisyon kapasitesine göre planlanarak monte edilmiş %90 verimle çalışan filtreden geçirilmesine, yine Organik Buhar ve Gaz Emisyonları için tüm kirleticiler, toplam I, II, III. sınıf UOB ve/veya TOK azaltımı yönünden %80 verimle çalışacak bir filtreden geçirilerek atmosfere verilmesine (mevcut durumda 75, 80 ve 85 No' lu kararlar kapsamında kurulumu yapılan ve verimliliğe ulaşmamış filtrelerde dahil) ve filtre kurulumlarının araştırma inceleme yapılması, özel imalat gerektirmesi ve tedarik süreci nedeni ile, İMÇK kabul tarihi itibari ile ilk altı ay içerisinde projelerin hazırlanarak Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğüne sunulması ve projesi onaylananların 05 Temmuz 2021 tarihine kadar kurulumları tamamlanmasına karar verilmiştir.

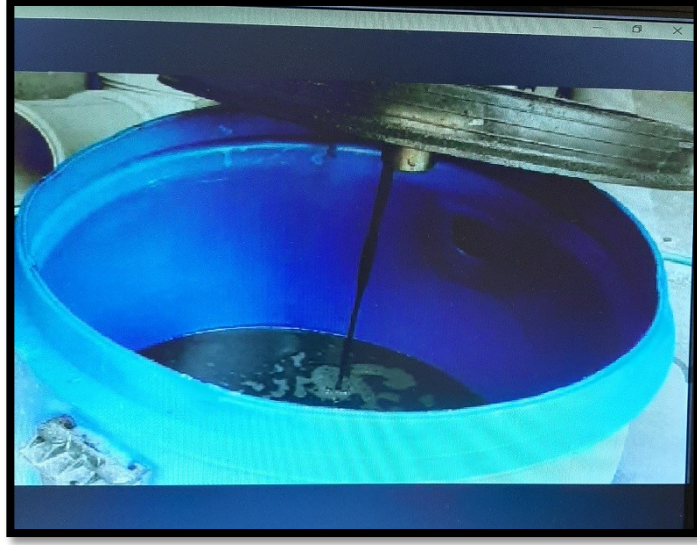
- 04.11.2021 tarih ve 101 nolu kararında “...İMÇK tarihi itibariyle, filtresi kurulu tesisler için ise 31.05.2022 tarihine kadar bacadan yağ buharı atımı için sınır değerin 50 mg/m^3 olarak belirlenmesine bu tarihten sonra 15 mg/m^3 olarak sınır değerin sağlanması...” kararı verilmiştir.

Polyester iplik üretimi sırasında ağırlıkça %3 ile %11 arasında eğirme yağı kullanılmaktadır (Chalenko ve Kazantseva 2005). Bursa'da üretilen polyester kumaş ihracat miktarı ise 26.645 ton/ay olduğu belirtilmiştir (UIB Report 2018, UTIB 2022). Statik elektriği azaltmak, ipliği kayganlaştırmak ve ipliğin kohezyonunu artırmak için imalat sırasında polyester ipliğe ağırlıkça %3 oranında eğirme yağı ilave edildiği varsayıldığında; şehir atmosferine günde minimum 3,49 ton, maksimum 51,78 ton ve ortalama $26,65 \pm 15,78$ ton yağ buharı salındığı hesaplanmıştır. Öte yandan, yağ içeriği %8 olarak hesaplandığında ise şehir atmosferine günlük olarak en az 9,29 ton, en fazla 138,07 ton ve ortalama $71,06 \pm 42,09$ ton yağ buharı emisyonu salınacağı hesaplanmıştır (Çizelge 2.1). Lim ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada; tekstil endüstrisi için bir atık ısı ve yağ geri kazanım sistemi önerildiğini ve bu sistem ile 58 kg/h yağ geri kazanımının ortaya çıktığını bildirmiştir. Bu çalışmanın verileri 24 saat üzerinden değerlendirildiğinde, günlük hesaplanan 1.39 ton yağ buharının ram makinelerinden atmosfere salınımı önlenmektedir.

Çizelge 2.1. İhraç edilen polyester kumaş ve atmosfere verilen yağ buharı miktarı

2021/ AYLAR	İHRAÇ EDİLEN POLYESTER KUMAŞ (TON)	ATMOSFERE VERİLEN YAĞ MİKTARI %3 (TON)	ATMOSFERE VERİLEN YAĞ MİKTARI %8 (TON)
OCAK	3485,01	104,55	278,80
ŞUBAT	7174,79	215,24	573,98
MART	11204,69	336,14	896,38
NİSAN	15858,16	475,74	1268,65
MAYIS	19537,15	586,11	1562,97
HAZİRAN	24320,28	729,61	1945,62
TEMMUZ	28205,49	846,16	2256,44
AĞUSTOS	32443,89	973,32	2595,51
EYLÜL	37067,14	1112,01	2965,37
EKİM	41931,11	1257,93	3354,49
KASIM	46745,26	1402,36	3739,62
ARALIK	51775,98	1553,28	4142,08

İhraç edilen kumaş miktarlarına bakıldığında; tüketim talebiyle birlikte Ocak ile Aralık ayları karşılaştırıldığında yaklaşık 15 kat bir artış olduğu görülmektedir. Bu artış sonucunda Bursa atmosferine toplam yıllık 9.592,45 ton yağ, yağ buharı emisyonu olarak deşarj edilmiştir. Bir tekstil işletmesinde kullanılan elektrostatik arıtma sisteminde toplanarak atmosfere deşarjı engellenen yağa ait görüntü Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Elektrostatik arıtma sisteminde toplanan yağ görüntüsü

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Yağ Tayin Metotları

Bacadan yağ tayinine yönelik kullanılan direk bir metot yoktur. İş sağlığı ve güvenliği mevzuatı kapsamında iç ortamda maruz kalınan yağ buharının tayinine yönelik metodlar bulunmaktadır. Health and Safety Executive tarafından yayınlanan “Measurement of oil mist from mineral oil-based metalworking fluids” MDHS84/2 metodunda yağ buharı emisyonları gravimetrik yöntemle analiz edilirken Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) “Oil Mist Mineral” 5026 metonda yağ buharı emisyonları kızıl ötesi spektrofotometrik yöntemle hesaplanmaktadır.

Genellikle iç ortam yağ buharı maruziyet ölçümlerinde MDHS84/2 metodu kullanılmakta olup filtre kasedi ölçüm öncesinde şartlandırılır, toz örnekleme cihazı çalışanın solunma bölgesine yakın bir noktada konumlandırılarak ölçümler alınır, ölçüm sonrası filtre kasetlerinin gerekli tartım işlemleri yapılarak kayıt altına alınır, sonrasında 10 ml siklohekzan ile ekstraksiyon yapılır ve daha sonrasında aşağıdaki formül kullanılarak yağ buharı konsantrasyonu hesaplanır.

$$OM = \frac{(M_2 - M_3) - B_2 \times 1000}{F \times T}$$

OM = Yağ Buharı Konsantrasyonu (mg/m³)

M₂ = Çözgen (siklohekzan) ekstraksiyonundan önceki örnek filtre ağırlığı (mg)

M₃ = Çözgen (siklohekzan) ekstraksiyonundan sonraki örnek filtre ağırlığı (mg)

B₂ = Ekstraksiyon sonrası ortalama şahit (blank) filtre ağırlık değişimi (mg)

F = Örnekleme süresince ortalama akış (debi) (l/min)

T = Örnekleme süresi (dakika)

3.2. Yöntemin Temel Prensibi

Yağ miktarının belirlenmesi için literatür de bildirilen yöntemlerin çoğu, aerosol formundaki yağ partiküllerinin tespiti içindir (M. Chen ve ark. 2007, Myung Soo Kang ve ark. 2021, Kim ve Raynor 2009, Lillienberg ve ark. 2007, Riss ve ark. 1999, X. Wang ve ark. 2021). Ek olarak, yağ buharı ölçümü için adsorpsiyon/absorpsiyon yöntemleri de vardır (Nowak ve ark. 2017, Reed ve ASME 2007, Simpson ve Wright 2008, Yu ve ark.

2016). Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklarda baca gazındaki hem aerosol hem de gaz fazındaki yağın örneklenmesi ve ölçülmesi için doğrudan bir yöntem yoktur. Numune alma ve analiz aşamaları, yağın gaz veya aerosol fazında olmasına göre farklılık gösterir. Bu çalışmada, her iki fazda da eğirme yağından hem numune alınması hem de analizi anlatılmaktadır.

Yağ buharının hem aerosol hem de gaz fazda olmasından dolayı örnekleme prosedürü ölçümün en önemli kısmını oluşturmaktadır. Çünkü emisyon içindeki yağ buharının tamamının toplanması ölçüm sonucunun doğruluğunu direkt olarak etkilemektedir. Örneklemede aerosol formdaki yağın toplanabilmesi için EPA Method-5 ve EPA Method-17'de belirtilen esaslar takip edilmiş, gaz fazındaki için ise modifiye edilmiş EPA Method-202 esas alınmıştır. Gaz fazdaki yağ buharının yoğunlaştırılarak bir çözeltide absorblanması sağlanmıştır. Aerosol formdaki yağların toplandığı filtreler S-316 (Chlorotrifluoroethylene Dimer 65-75%, Cas No: 9002-83-9; Chlorotrifluoroethylene Trimer or Tetramer 25-35%, Cas No: 9002-83-9), Karbon tetraklorür (CCl₄ Tetrachloromethane, Fischer Scientific AC148170000) veya Tetrachloroethylene (100964 Supelco) ile ekstraksiyon sonrası Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR) ile belirleme yapılarak, gaz fazdakiler ise absorblandıkları çözeltilerden doğrudan FTIR ile okunarak yağ konsantrasyonu (mg/L) belirlenir. Kullanılan toplam çözelti hacmi ile çarpılarak kütle miktarı(mg) cinsinden hesaplanır. Daha sonra bulunan bu kütle miktarı çekilen hava hacmine, sıcaklık, basınç ve nem değerleri de dikkate alınarak bölünür ve konsantrasyon (mg/m³) hesaplanır.

Bu çalışmada EPA Method 1: Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources, EPA Method 5, EPA Method 17: Determination of Particulate Matters Emissions from Stationary Sources, EPA Method 202: Dry Impinger Method for Determining Condensable Particulate Emissions From Stationary Sources, NIOSH 5026: Oil Mist, Mineral Standard Testing Procedures: For Evaluation of Removal Efficiency of Cooking Fume Control Equipment (Hong Kong Productivity Council Environmental Protection Department, December 2004) metotları hibrit bir şekilde revize edilerek kullanılmıştır.

3.3. Örnekleme ve Analizde Kullanılan Cihaz, Çözgenler ve Hazırlanışı

- İzokinetik toz örnekleme cihazı
- FTIR spektrofotometre (3200 - 2700 cm^{-1} bölgesinde ölçüm yapabilen ve bir adet quartz PTFE kapaklı spektrofotometre küveti).
- Vialler, 20 ml folyolu veya PTFE kapaklı*
- Balon jojeler 50 ml *
- Ölçülü pipet, 10 ml*
- Pensler
- S-316 veya Karbon tetraklorür ya da Tetrakloretilen /perkloretilen
- Quartz Cam İmpingerlar*
- 9-Quartz Cam Filtre tutucu ekipmanları*
- EPA Metot 23 uyumlu kondensör

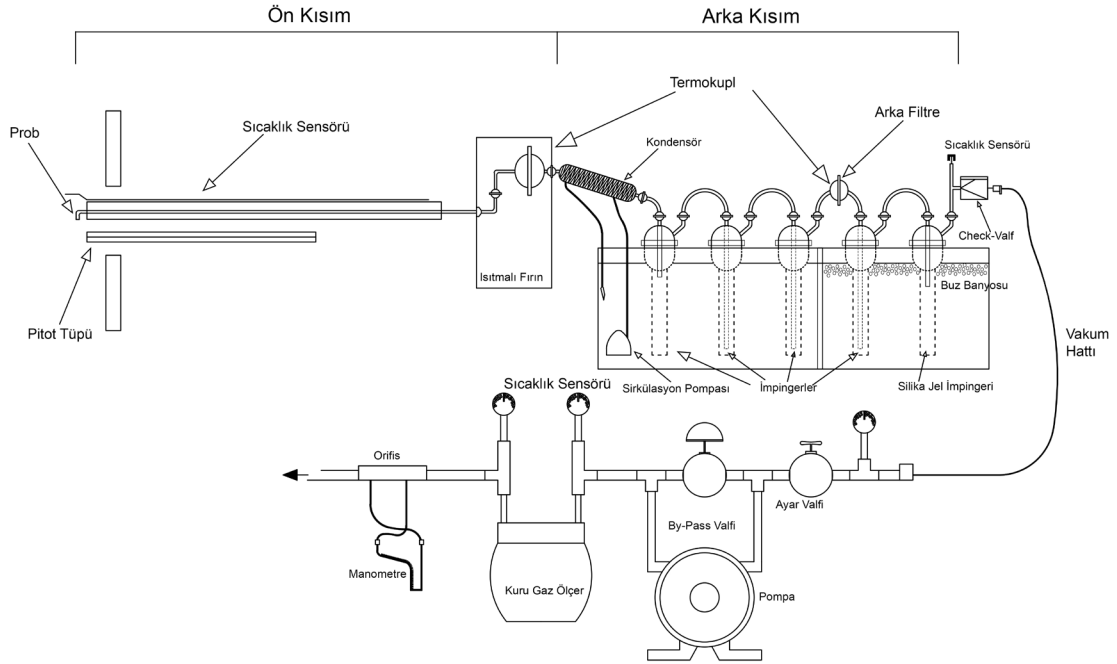
*Cam malzemeleri S-316, Karbon tetraklorür ya da Tetrakloretilen/perkloretilen ile çalkaladıktan sonra havada veya etüvde kurutulur.

3.4. Örnekleme Noktalarının Belirlenmesi

Örnek alma noktalarının asgari sayısı ve yeri EMS.TL 51 Numune Alma Noktaları Belirleme Talimatı yardımıyla ve DKD-249 EPA-01 “Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources” metodu referans alınarak belirlenir.

3.5. Örnekleme Düzeneği

Örnekleme düzeneği 2 farklı şekilde hazırlanmıştır. Baca nem içermiyorsa baca içi örnekleme sistemi kullanılmış ancak nemli baca gazı örneklemesinde ise ısıtılmalı örnekleme hattı kullanılarak baca dışı örnekleme yapılmıştır. Filtrede tutunamayan gaz fazdaki yağ içeriğinin tespiti için modifiye edilmiş EPA Metot 202 düzeneği filtre sisteminin arkasına eklenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Yağ buharı örnekleme ekipmanlarının şematik diyagramı

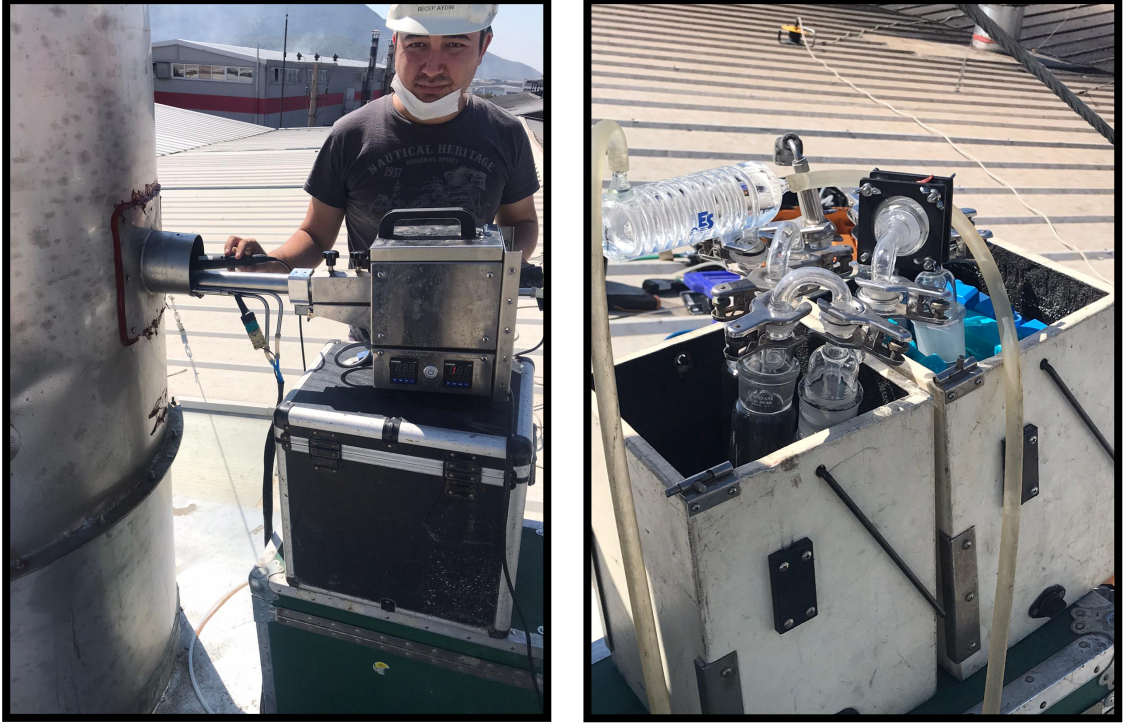
3.6. Örnekleme Öncesi İşlemler

Her ölçüm öncesi numune alma işlemine başlamadan önce sızdırmazlık testi, sızdırmazlık testi prosedürü yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ek olarak numune alma işlemi sırasında sızdırmazlığı kontrol etmek için O₂ konsantrasyonu doğrudan baca içinde ve örnekleme sistemi çıkışında sürekli olarak ölçülmüştür.

3.7. Örnekleme

Numune alma düzeneğinin ilgili parçaları baca sıcaklığı veya önceden belirlenmiş ve çığlenme meydana getirmeyecek 100 °C sıcaklığa ısıtılmıştır. Numune almak için akış hızı, izokinetik şartları karşılayacak şekilde ayarlanmıştır. Numune alma süresi en az 30 dakika olarak uygulanmıştır. Numune alma düzeneğindeki ilk 3 impinger sıcaklığı 20 °C -30 °C olacak şekilde su banyosunda tutulmuştur. İkinci ve 3. impingera 50 ml perkloretilen ilave edilmiştir. 3. İmpinger çıkışına kaçak aerosol haldeki yağların tutulması için quartz camdan yapılmış ek bir filtre tutucu ve filtre ilave edilmiştir.

Nem oranının belirlenebilmesi için 4 ve 5. impinger sıcaklığı 20 °C'nin altında olacak şekilde buz banyosunda tutulmuştur. 4. impinger muhtemel aerosol kaçaqlarının tespiti için boş bırakılmıştır. 5. impingera 200 g silika jel ilave edilerek nemin tutulması sağlanmıştır. Bacada ölçüm ve örnekleme esnasında alınan görüntüler aşağıda verilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Bacada ölçüm ve örnekleme

3.8. Örnekleme Sonrası İşlemler

Toplanan numuneler için temizleme işlemi önceden tamamlanmış 5 adet teflon kapaklı şişe kullanılmıştır (Şişe 1). Ön kısımdaki 1. Filtre temiz cımbız yardımıyla alınarak etiketlenmiştir. Düzeneğin ön kısmına kadar olan bölümü perkloroetilen kullanılarak yıkandıktan sonra yıkama çözeltisi temiz ve sızdırmaz bir kapa alınarak etiketlenmiştir (Şişe 2). Yoğuşurma amaçlı kullanılan impingerda ki toplanan sıvı temiz, sızdırmaz bir şişeye alınıp etiketlenmiş ve hacmi kaydedilmiştir (Şişe 3). İkinci ve 3. İmpingerda ki perkloroetileni temiz, sızdırmaz bir kaba aktarılmış ve miktarı kaydedilmiştir (Şişe 4). İkinci kontrol filtresi cımbız ile çıkarılmış ve şişeye alınmıştır (Şişe 5). İkinci filtreye

kadar bölüm ise perkloroetilen yıkanıp 4. şişeye aktarılmıştır. Tüm çözen hacimleri kaydedilir.

3.9. Analizler

Kalibrasyon standardı olarak baz yağ kullanılmıştır. Endüstrilerde özellikle tekstil endüstrisinde spin finish olarak kullanılan yağlar mineral yağ, petrol bazlı yağ ve sentetik bazlı yağ olmak üzere farklı çeşitlerin tekil veya karışımı şeklinde kullanılmaktadır. Kalibrasyon için kullanılan stok ise bu yağların eşit oranda karışımından oluşturulmuştur. Bunun amacı farklı içerikteki yağların FTIR ile tespitinde geniş aralıkta belirleme olanağı sağlamaktır. 5 g baz yağ karışımı alınarak perkloroetilen ile 100 g/L stok çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltiden 10, 25, 100, 200 mg/L olacak şekilde kalibrasyon standardı hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler FTIR cihazında çözen sıfırlaması yapılarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur.

Filtrelerdeki aerosol fazdaki yağların analizi için öncelikle iki ayrı kademedeki 25 mL olarak toplam 50 mL perkloroetilen kullanılarak toplam 2 saat süre çalkalanarak ekstrakte edilmiştir. İmpinger örnekleri ise optik okumayı güçleştirecek muhtemel partikül madde kontaminasyonunu önlemek için filtre kağıdından süzölmüştür. Daha sonra nem kalıntısını gidermek için de Na₂SO₄ ile süzölmüştür.

Çözgene alınan tüm örneklerin FTIR cihazındaki ölçümleri ise 2700-3200 cm⁻¹ dalga boyunda gerçekleştirilmiş olup bu aralığa düşen piklerin toplam alanı yağ miktarı olarak kabul edilmiştir. Her bir impinger ve filtrede tespit edilen yağ miktarı çekilen toplam hava hacmine bölünerek konsantrasyon değeri hesaplanmıştır.

3.10. Kalite Güvenirlik & Kalite Kontrol

Örnekleme ve deneyler sırasında meydana gelebilecek muhtemel kontaminasyon ve kayıpların belirlenebilmesi için şahit örnekler alınmıştır. Şahit numuneler örnekleme probu, emme cihazı çalıştırılmaksızın, baca içerisinde ve gaz akış yönünden 180°'lik açıyla 15 dakika süre ile bekletilerek alınmıştır. Örnekleme prosedürü aynı şekilde şahit numunelere de uygulanmıştır.

Laboratuvardaki geri kazanım verimlerini tespit etmek için de filtre kağıdı üzerine 0,1 g baz yağ karışımı spike edilmiş ve filtre kağıdının emmesi için 10 dakika beklenmiştir. Bu filtre kağıdı üzerine 20 mL perkloroetilen ilave edilmiş ve 1 saat çalkalanarak ekstrakte edilmiştir. Bu ekstraktlar FTIR ile analiz edilerek beklenen 100 mg/L konsantrasyonu elde edilip edilmediği tespit edilmiştir. Şahit örneklerde tespit edilen yağ miktarı $0,440 \pm 0,05$ mg olarak tespit edilmiştir. Bu miktar örnekler de yağ buharı konsantrasyonlarının 4% ile 0,04% oranına tekabül etmektedir.

Bir ölçümde tespit edilen yağ buharı konsantrasyonu tüm impinger ve filtreler için tespit edilen yağ kütlesinin toplanarak çekilen hava hacmine bölünmesi ile tespit edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Analizi

Kentin hava kalitesinin korunması amacıyla fikse işlemi yapan ram makinelerinden atmosfere deşarj edilmesi muhtemel olan bu yağ buharının sınırlandırılması gerekmiştir. Ram makinelerinden meydana gelen emisyonların kontrolü için öncelikle ısı geri kazanımı ile atık gazın soğutulması, ardından ise yoğuşan yağ buharının atık gaz akımından giderilerek tutulması amaçlanmıştır. Fabrikalarda yağ buharının arıtılmasında elektrostatik filtre (ESP) sistemlerinin diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu belirtilerek ağırlıklı olarak ESP'lerin kullanılması tavsiye edilmiştir (Jaworek ve ark. 2019, Lim ve ark. 2022, Yunliang Zhao ve ark. 2007). Bu çalışma kapsamında 6 farklı ilçede faaliyet gösteren 65 adet tekstil işletmesinde 144 adet bacada yağ buharı ölçümleri gerçekleştirilerek ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.1). Ölçüm yapılan ram makinesi bacalarının bir kısmında arıtma ünitesi olarak ESP, bir kısmında wet scrubber (WS) bulunurken diğerlerinde herhangi bir arıtma mevcut değildir. Toplam 144 adet bacanın 52'sinde arıtmanın bulunmadığı, 36'sında ESP'nin bulunduğu ve 56'sında ise WS bulunduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Ölçüm sayılarının ilçe ve firma olarak dağılımı

İLÇE	FİRMA SAYISI	ÖLÇÜM SAYISI
OSMANGAZİ	21	38
NİLÜFER	10	23
YILDIRIM	3	17
KESTEL	18	29
GÜRSU	6	14
İNEGÖL	7	23
TOPLAM	65	144

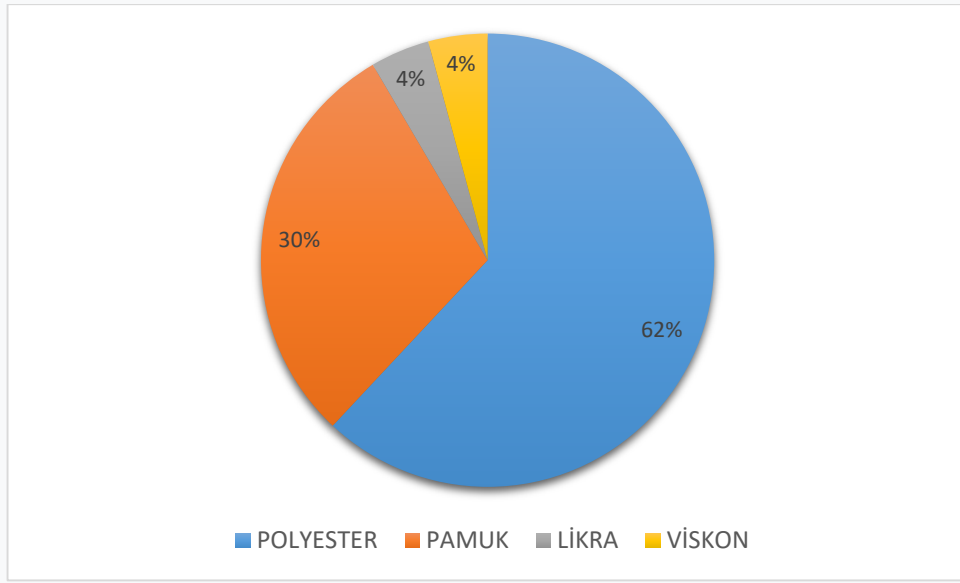
Söz konusu bacalar farklı işletmelerde yer aldığından yapılan ölçümler esnasında; fikse, apre vb. farklı işlem türlerinin uygulandığı, ram makinesi sıcaklık ve kumaş geçiş hızlarının prosese, uygulanan işlem türüne göre değişiklik gösterdiği, herhangi bir arıtma sistemi bulunup bulunmadığı, farklı kumaş türleri kullanıldığı görülmüştür (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Yağ buharı ölçüm sonuçları ve ölçüm sırasındaki koşullar

Kumaş Türü	Filtre Var/Yok	Ram Çalışma Sıcaklığı (°C)	Kumaş Geçiş Hızı (m/dak)	Yağ Buharı Konsantrasyonu (mg/Nm³)
Jakar	Var	165	14	3,8 - 4,63
Kadife	Yok	195	14	60,44
Likra	Var	205	22-25	25,86 - 160,4
Likra	Yok	205	20	113,96
Pamuk	Var	190-198	22	0,38 - 99,97
Pamuk	Yok	100-195	8-80	0,23 - 19,21
Pamuk/Polyester	Yok	160	15	33,65
Pamuk /Viskon	Var	100	18	5,57
Pamuk /Viskon	Yok	155-170	30-88	6,08 - 66,47
Pamuk/Likra	Var	195-205	24-26	3,59 -26,83
Pamuk/Naylon	Var	195	18	179,95
Pamuk/Naylon	Yok	195	18	99,34
Polisaten / Likra	Var	205	23	27,25
Polyester	Yok	150-200	13-30	14,8 – 938,07
Polyester	Var	140-215	9-80	0,14 - 297,89
Polyester/Keten	Var	185	13	14,62
Polyester/Örme	Var	225	22	53,27
Polyester/Viskon	Var	205	30	61,07 - 161,83
Polyester/Viskon	Yok	150	15	74,86
Polyester/Viskon	Var	205	30	61,07 - 161,83
Viskon/Elestan	Var	170-195	27-50	1 - 12,19
Viskon/Şönil	Yok	150-170	15	35,86 - 114,07

Yapılan ölçümlerde birçok farklı kumaş türü, farklı kumaş türlerinin karışımlarının işletmeler tarafından kullanıldığı görülmektedir. Ölçümler apre, kaplama ve çoğunlukla fikse işlemleri yapılırken gerçekleştirilmiş olup tüm ölçümlere için ram makinesinde uygulanan işlemlere ait bilgiler bulunmamaktadır. En düşük sıcaklık 100°C, en yüksek sıcaklık ise 225 °C'dir. Yağ buharı konsantrasyonlarında en düşük ölçüm değerinin 0,14 mg/Nm³, en yüksek ölçüm değeri 938,07 mg/Nm³ olduğu tespit edilmiştir. Ölçümlerde kullanılan kumaş türlerini Polyester, Pamuk, Likra ve Viskon olmak üzere 4 ana başlıkta değerlendirebiliriz. Kadife ve Jakar kumaşlarla da birer ölçüm gerçekleştirildiği görülmektedir. Likralı kumaşlar, poliüretan malzemedan üretilen elastan içeren esnek bir yapıya sahiptir.

Viskon ise kayın ağacı selülozundan üretilen ve rahatlık ve rahatlık sağlayan bir kumaştır. Kadife ipek, pamuk ve yünden dokunan yüzeyi tüylü, yumuşak ve parlak bir kumaş türüdür. Jakar, karışık ipliklerin özel tezgahlarda dokunmasıyla elde edilen desenli kumaş olarak ifade edilmektedir. Polyester kumaşın üretim aşamalarında yağ kullanım oranının diğer kumaş türlerine göre daha fazla olduğu bilinmektedir. Verilerin % 62'sini polyester kumaş ile yapılan ölçümler oluşturmaktadır. Kumaş türlerine göre veri dağılımı yüzdeleri aşağıdaki grafikte verilmiştir (Şekil 4.1).

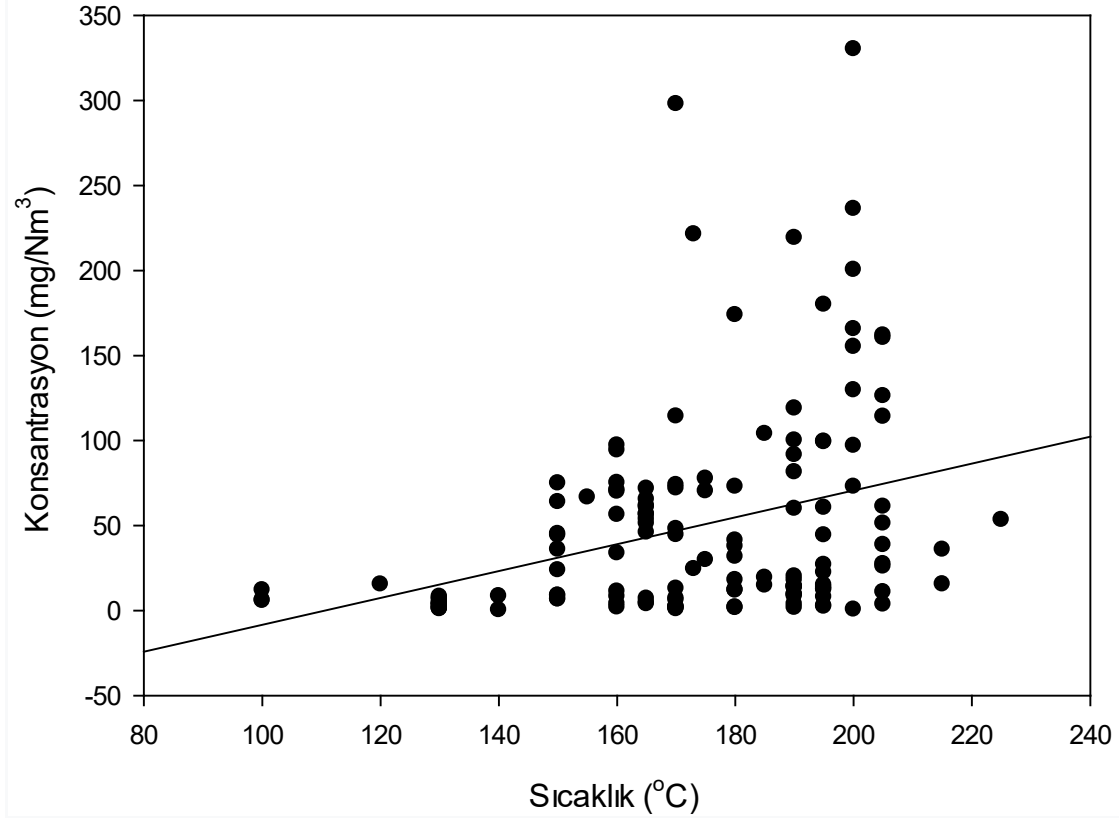


Şekil 4.1. Ölçümler sırasında ram makinelerinde işlenen kumaş oranları

Polyester kumaşa filtre ünitesi bulunan bacalarda yapılan ölçümlerde yağ buharı konsantrasyonlarının 0,14 ve 297,89 mg/Nm³ (Ortalama=57,37±62,50 mg/Nm³) arasında değiştiği belirlenmiştir. Filtre ünitesi bulunmayan bacalarda yapılan ölçümlerde ise 14,80 ile 938,07 mg/Nm³ (Ortalama =119,38±193,56 mg/Nm³) arasında bulunmuştur. Filtre ünitesi bulunmayan bacalarda en yüksek yağ buharı konsantrasyonları; Viskon ile Şönül karışımı kumaşta 114,07 mg/Nm³, Likra kumaşta 113,96 mg/Nm³ ve Kadife kumaşta ise 60,44 mg/Nm³ olduğu belirlenmiştir.

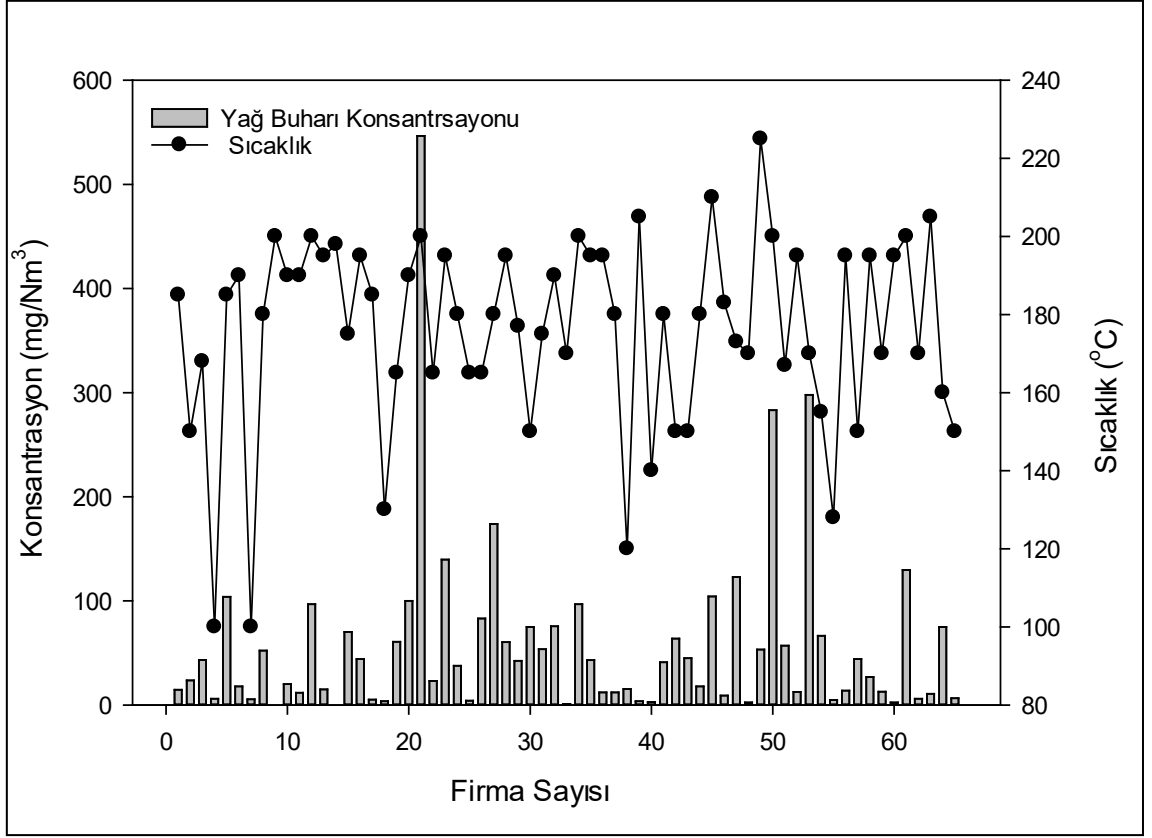
Pamuklu kumaşlı ve filtre üniteli emisyon bacalarındaki yağ buharı konsantrasyonunun 0,38 ile 179,95 mg/Nm³ (Ortalama= 52,72±72,76 mg/Nm³) arasında değiştiği belirlenmiştir. Filtre ünitesi olmadığında ise konsantrasyon değerleri 0,23 ile 99,34 mg/Nm³ (Ortalama= 9,64±19,44 mg/Nm³) olduğu görülmüştür. Sonuçlar, arıtma ünitesi

içeren bacalarda bulunmayanlara göre nispeten daha düşük yağ buharı konsantrasyonlarının belirlendiğini göstermiştir.



Şekil 4.2. Yağ buharı konsantrasyonları ve sıcaklık arasındaki ilişki

Şekil 4.2’de Yağ buharı ve sıcaklık arasındaki korelasyon analiz edilmiştir. Korelasyon katsayısı (r) 0,327 olarak hesaplandı ve korelasyonun istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p < 0,001$). Yapılan analiz yüksek sıcaklıklarda yapılan ölçümlerde daha yüksek yağ buharı konsantrasyonlarının elde edildiğini desteklemektedir. 65 işletmede ölçülen yağ buharı konsantrasyonları ve sıcaklıklar incelendiğinde düşük sıcaklıklarda düşük konsantrasyonlar izlenmiştir (Şekil 4.3)



Şekil 4.3. 65 Firma yağ buharı konsantrasyonu ortalamaları ve sıcaklık değişimi

12 adet bacada ölçümler filtre ünitesi çalışırken ve çalışmıyorken gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.3). Söz konusu bacaların 2 tanesinde elektrostatik filtre diğer bacalarda ise sulu filtre sistemi bulunmaktadır. Bu ölçümlerde sıcaklık 165 ile 200 °C arasında değişim göstermektedir. Ölçümler polyester kumaşa fikse işlemi uygulanırken gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları kullanılarak filtre sistemlerinin arıtma verimi hesaplanmıştır. Elektrostatik filtrelerin ortalama arıtma veriminin %91 olduğu, sulu filtrelerin ise %36 olduğu tespit edilmiştir. 1 adet sulu filtre bulunan bacada filtre çalışmıyorken yağ buharı konsantrasyonu 99,34 mg/Nm³, filtre çalışırken ise 179,95 mg/Nm³ olarak ölçülmüştür. Kirliliğin filtrasyon sonucu azalması gerekirken artmasının filtre bakım ve temizliklerinin yapılmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.3. Filtreli ve filtresiz ölçüm sonuçları

Filtre Tipi	Sıcaklık (°C)	Kumaş Türü	Uygulanan İşlem	Filtre Aktif	Filtre Pasif	Aritma Verimi (%)
Sulu filtre	190	Polyester	Fikse	9,3	14,13	34
Elektrostatik Filtre	200	Polyester	Fikse	155,16	938,07	83
Sulu filtre	195	Polyester	fikse	7,83	22,3	65
Sulu filtre	200	Polyester	Fikse	165,59	200,45	17
Elektrostatik Filtre	190	Polyester	Fikse	0,14	13,71	99
Sulu filtre	173	Polyester	Fikse	24,38	221,36	89
Sulu filtre	200	Polyester	Fikse	236,26	330,19	28
Sulu filtre	165	Polyester	Fikse	53,75	65,38	18
Sulu filtre	165	Polyester	Fikse	45,77	61,56	26
Sulu filtre	170	Polyester	Fikse	47,93	73,8	35
Sulu filtre	165	Polyester	Fikse	51,16	56,5	9
Sulu filtre	195	Naylon-Pamuk	Fikse	179,95	99,34	

Aerosol olarak yayılan yağ buharı tanecik boyutları 0,1-1 μm arasındadır (Brochocka ve Okrasa 2022, F. Chen ve ark. 2022, Lim ve ark. 2022). OSHA tarafından 8 saatlik periyotta mineral yağ buharına maruz kalma sınırı 5,36 mg/m^3 olarak belirlenmiştir(Huynh ve ark. 2009). Genellikle metal işleme sıvılarından kaynaklı yağ buharı ölçümleri üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Birçok araştırmacı farklı endüstrilerdeki yağ buharı kütle konsantrasyonlarını inceledi. Örneğin metalürji tesisleri (Miller ve ark. 2009), bağlantı elemanı üretim süreçleri (Y. F. Wang ve ark. 2011), otomotiv üretimi (D'Arcy ve ark. 2016) ve elektrik deşarj kesme tesisleri (R. Chen ve ark. 2015) vb. Ancak seyreltme etkisi ile ortam konsantrasyonunun hangi düzeyde azalacağına dair bir çalışma olmadığı için bir maruz kalma düzeyi değerlendirilememektedir. Bu nedenle yağ buharı emisyonlarının kontrol altına alınmasının önemi ortaya çıkmıştır. Bursa Valiliği İMÇK ile bacalardan yağ buharı salınımına yönelik 15 mg/m^3 sınır değer zorunluluğu getirilse de ulusal mevzuatta henüz yağ buharı emisyonlarına yönelik bir tanımla, kriter ve sınır değer getirilmemiştir.

Yapılan tüm analiz, inceleme ve elde edilen konsantrasyonlar değerlendirildiğinde farklılıkların sahada yapılan araştırmalar sonucunda aşağıda belirtilen konulardan kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

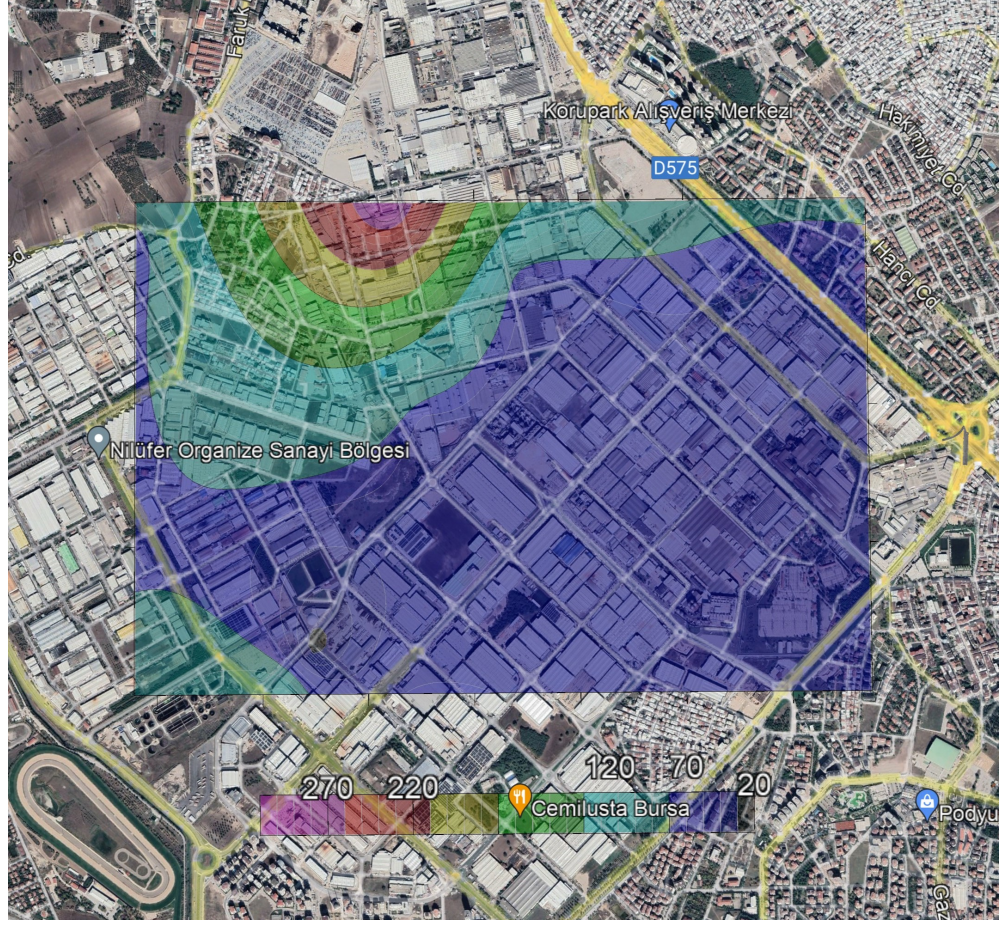
- Polyester, Viskon, Pamuk vb. farklı kumaş türlerine fikse işlemi uygulanmaktadır. Tekstil sektöründe işletmelerin üretim proseslerine ve müşteri siparişlerine göre çok çeşitli kumaş türleri kullanılmaktadır. (% 10 polyester % 90 pamuk, %70 Viskon %30 Şönil vb.) Kumaş içeriğindeki polyester oranı ölçüm sonuçlarını direk etkilemekte olup yapılan ölçümlerde kumaş içerikleri değişiklik göstermektedir.
- Fikse işlemi ham kumaş üzerine gerçekleştirilen bir işlem iken bazı işletmeler kumaşta bulunan yağ oranının düşürülmesi için fikse öncesi yağ sökücü kimyasallar kullanarak yıkama işlemi gerçekleştirmektedir. Bu duruma ilişkin ölçümler esnasında veri elde edilememiştir.
- Fikse işleminde kullanılan kumaşların metraj uzunluğu ve gramajı işletmenin çalıştığı alan (perdelik, döşemelik, ev tekstili vb) nedeniyle farklılık göstermektedir. Bu nedenle ölçümlerde aynı metraj ve gramaj da kumaş kullanılmamaktadır.
- İşletmelerde Fikse işleminde kullanılan Ram makinelerinin kapasite ve özelliklerinin farklı olması nedeniyle kumaş geçiş hızları farklılık göstermektedir.
- Fikse işleminde kullanılan kumaş türü, gramaj ve metraj farklılıkları nedeniyle farklı sıcaklık değerleri uygulanmaktadır.
- Ölçüm yapılan bacalarda bulunan filtre sistemleri sulu, elektrostatik vb. farklılık göstermektedir. Filtrelerin yağ buharı giderme verimleri farklıdır. Yapılan filtrelerin işletmede kullanılan kumaş türü, kumaş işleme kapasitesi, kumaş gramajı, fan debisine uygun olarak seçilmemesi ölçüm sonuçlarını etkilemektedir.
- Filtrelerin bakım ve temizliklerinin düzenli olarak yapılmaması, yapılan temizlik işlemlerinin ölçümden ne kadar süre önce yapıldığı ölçüm sonuçlarını etkilemektedir.

- Bazı işletmelerde fikse işlemi yapılan bir kaç ram makinesi tek bir filtreye bağlı olarak çalıştırılmaktadır. Ölçüm esnasında farklı makinelerde geçen kumaş türü ve sıcaklık farklılıkları ölçüm sonuçlarını etkilemektedir.

4.2. Yağ Buharı Konsantrasyon Dağılım Haritaları

Bu çalışma kapsamında 6 farklı ilçede faaliyet gösteren 65 adet tekstil işletmesinde 144 yağ buharı ölçümleri gerçekleştirilmiş olup işletme bazında ortalama konsantrasyon değerleri hesaplanmış ve işletmelere ait koordinatlar işlenmiştir. Ölçümler sonucunda ortalama yağ buharı konsantrasyonu 57 mg/Nm^3 hesaplanmıştır. Söz konusu işletmeler Bursa Organize Sanayi Bölgesi, Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, Uludağ Organize Sanayi Bölgesi, Kestel Organize Sanayi Bölgesi ve İnegöl Organize Sanayi Bölgesinde yer almaktadır.

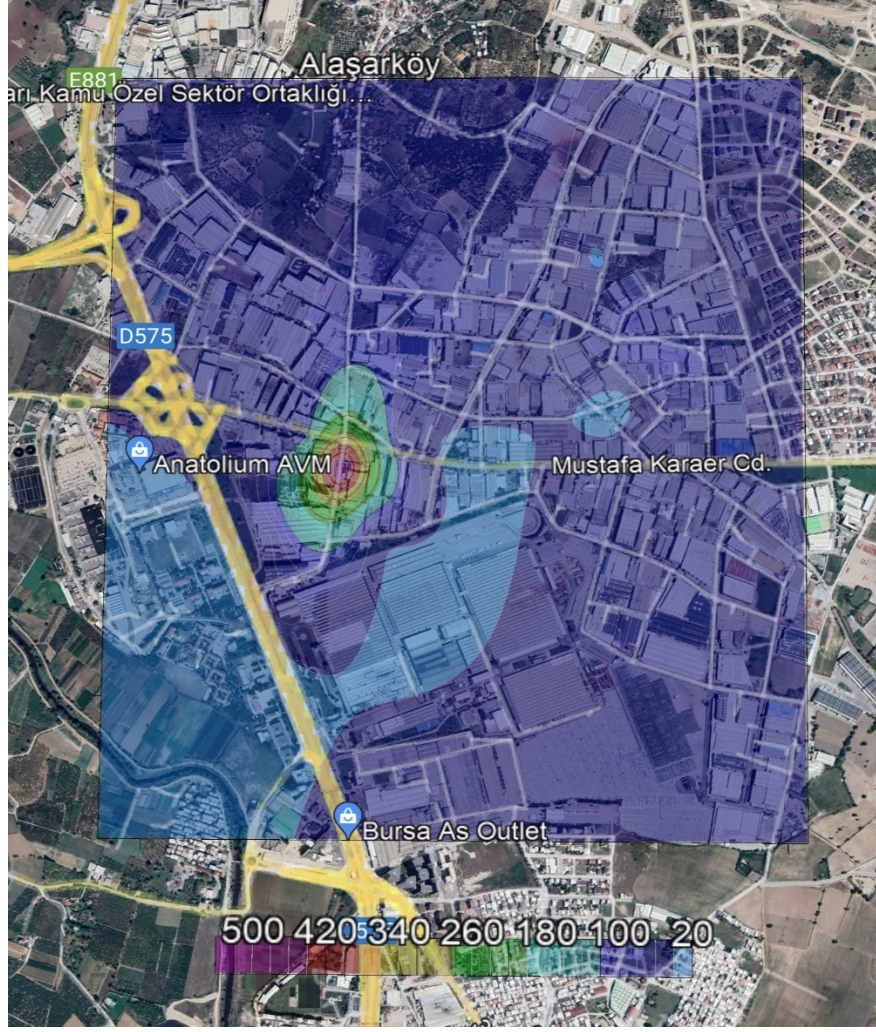
65 işletme buldukları Organize Sanayi Bölgelerinde değerlendirildiğinde her bir bölge için az sayıda kaynak noktası olduğundan söz konusu bölgelerde ram makinesi olan işletmeler belirlenerek koordinatları alınmış ve bu işletmelerden ortalama konsantrasyon olan 57 mg/Nm^3 yağ buharı emisyonu olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca yağ buharı konsantrasyonları için Bursa Valiliğince 15 mg/m^3 sınır değeri belirlendiğinden dağılımı etkilememesi için 15 ve altındaki ölçüm değerleri de 57 mg/Nm^3 alınmıştır. Bursa ili üzerindeki dağılımı ve etkilerinin değerlendirilebilmesi için Surfer programı kullanılarak konsantrasyon haritaları oluşturulmuş ve Google Earth üzerine işlenmiştir.



Şekil 4.4. Bursa organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı

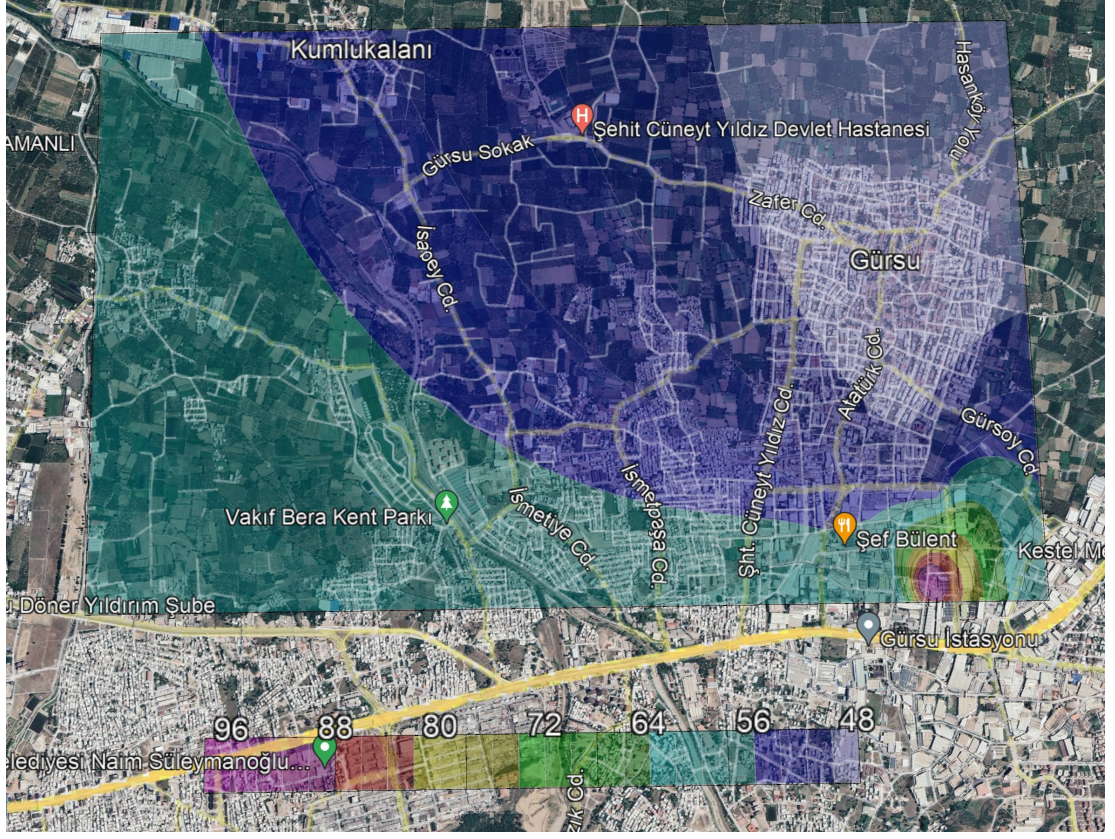
Bursa Organize Sanayi Bölgesinde 25 adet kaynak bulunmakta olup konsantrasyonların kaynağa yakın bölgelerde yoğun olduğu ve kaynak çevresinde etki gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.4).

Demirtaş Organize Sanayi Bölgesinde 42 adet kaynak bulunmakta olup yüksek konsantrasyon dağılımlarının bölgenin batı kısmında yer aldığı görülmektedir. Bu durum bölgenin doğu kısmında ki yerleşimi daha az etkilerken hakim rüzgar yönünün kuzey doğu olması nedeniyle kirlilik şehir merkezine doğru taşındığı düşünülmektedir (Şekil 4.5)



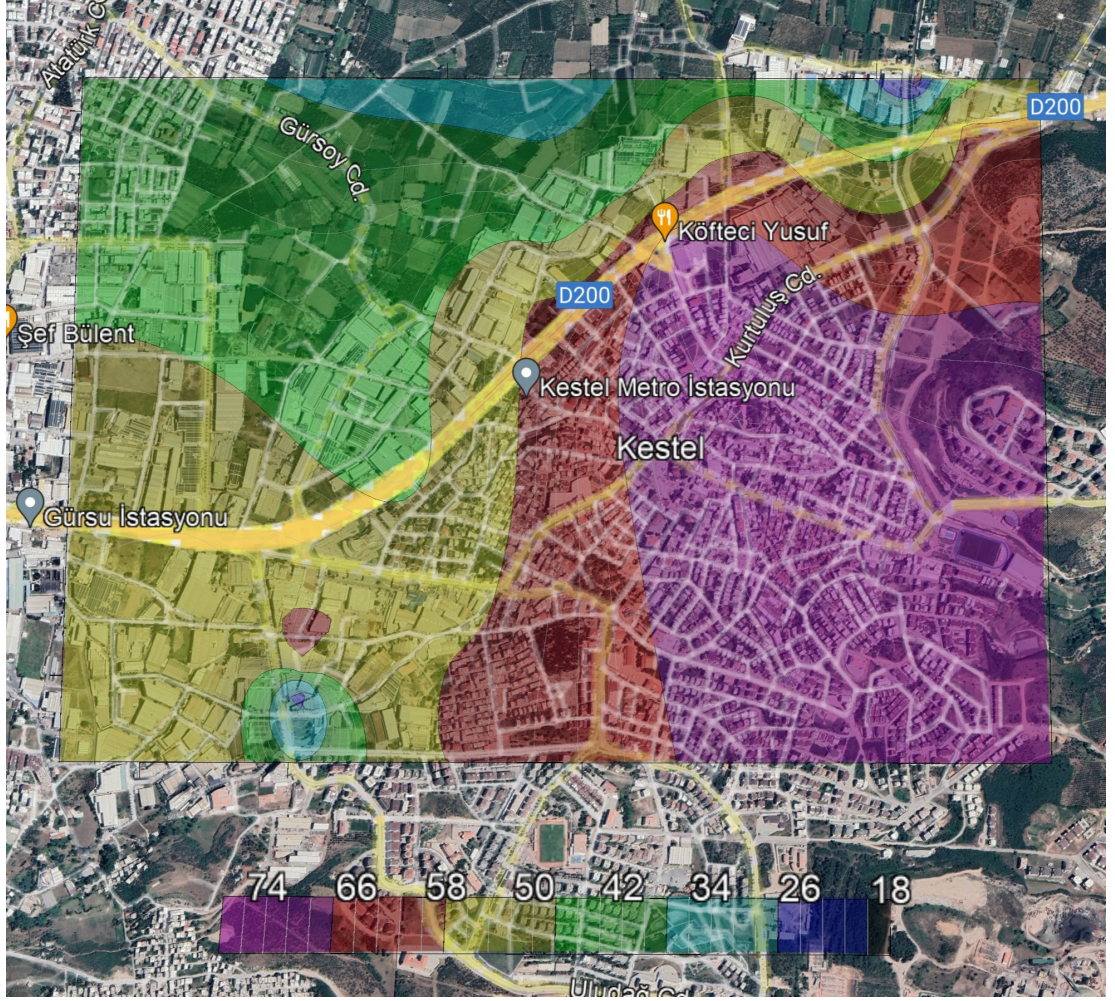
Şekil 4.5. Demirtaş organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı

Uludağ Organize Sanayi Bölgesinde 14 adet kaynak bulunmakta olup konsantrasyonların kaynağa yakın noktalar da etkili olduğu görülmekle birlikte sanayi konut yakınlığı çok fazla olması nedeniyle konut bölgesine etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 4.6).



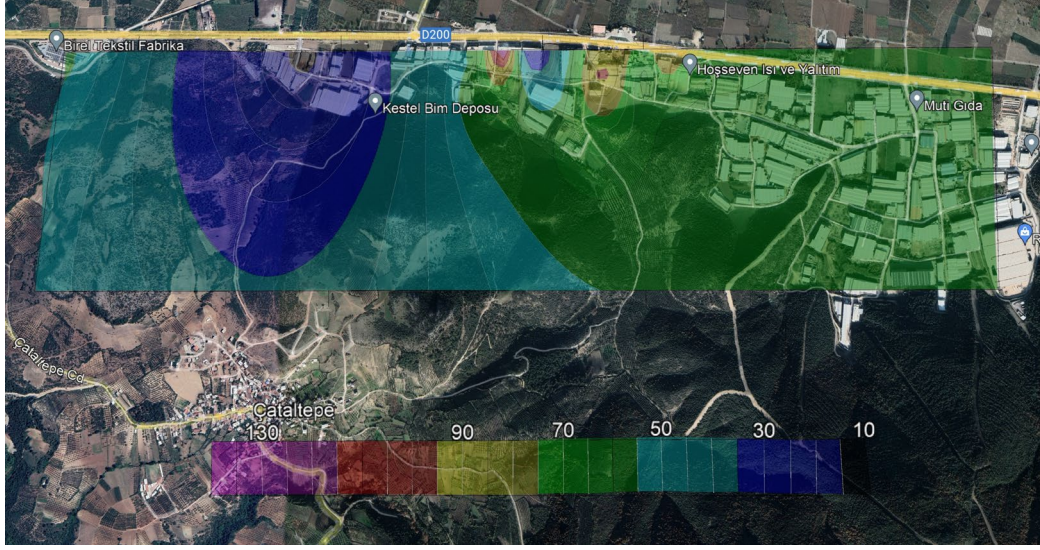
Şekil 4.6. Uludağ organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı

Kestel Organize Sanayi Bölgesinde 31 adet kaynak bulunmakta olup kaynakların bölge geneline dağıldığı görülmektedir. Söz konusu bölgede de konutların sanayiye çok yakın olması, konut bölgesinin yağ buharı emisyonlarından olumsuz etkilendiği düşünülmektedir (Şekil 4.7).

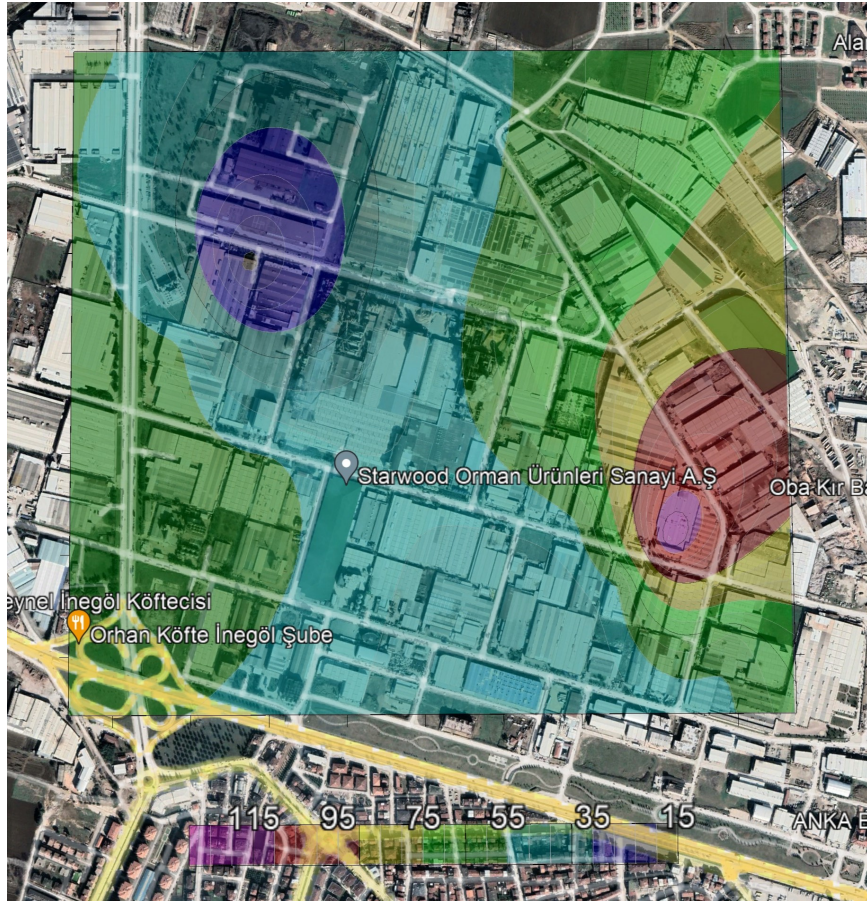


Şekil 4.7. Kestel organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı

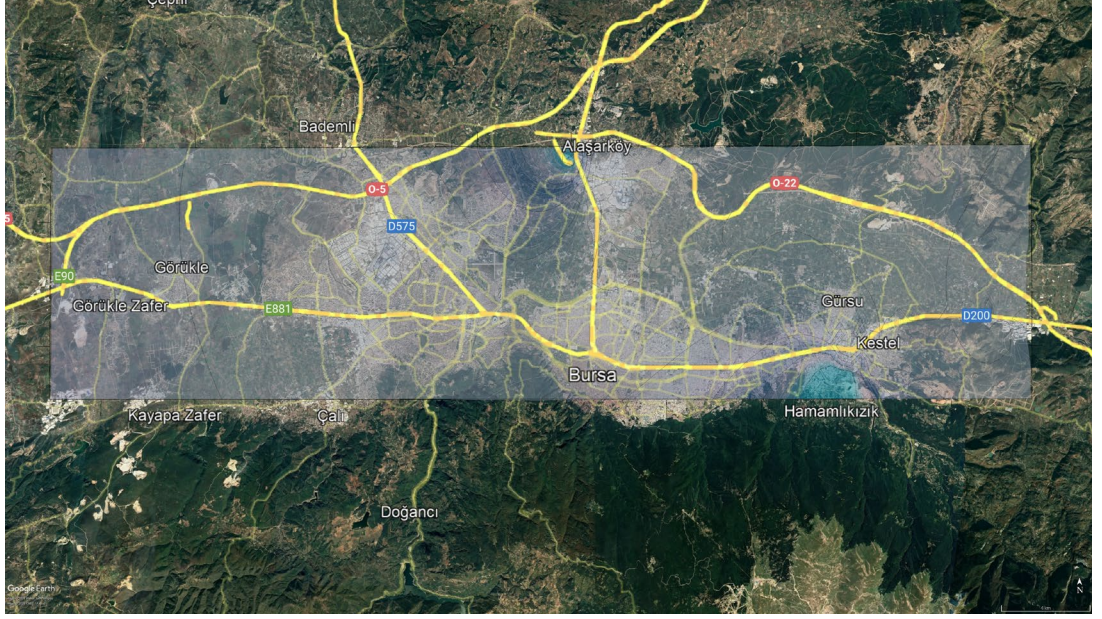
Barakfakih Organize Sanayi Bölgesinde 25 adet kaynak bulunmakta olup yağ buharı konsantrasyon bölgenin doğusunda daha yüksektir. Topografik koşullardan dolayı Ankara Yoluna paralel ilerleyen organize sanayi bölgesinde aynı doğrultuda yayılım olduğu görülmektedir. Hakim rüzgar yönü göz önüne alındığında bölgenin güneyinde yer alan Çataltepe Mahallesi'nin etkilenme ihtimali yüksektir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Barakfakih organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı



Şekil 4.9. İnegöl organize sanayi bölgesi yağ buharı konsantrasyon dağılımı



Şekil 4.11. Bursa şehir merkezi 15 mg/Nm^3 ve altı yağ buharı konsantrasyon dağılımı

Oluşan yağ buharı emisyonlarının Bursa Valiliğince alınan 15 mg/Nm^3 ve altına indirilerek atmosfere deşarj edilmesi halinde Şekil 4.10'da verilen yağ buharı dağılımının aksine konsantrasyon yoğunluğu ve kirliliğe olan maruziyetin önemli ölçüde azalması sağlanacaktır (Şekil 4.11)

5. SONUÇ

Tekstil sektöründe özellikle polyester işleyen (Fikse, apre, ısıtma işlemleri) tesislerden önemli miktarda yağ buharı emisyonu oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıkta ve yoğun yağ içeriğine sahip koku oluşturan duman emisyonları gittikçe artış gösteren şikâyet konusu olması ve özellikle yakın yerleşim yerlerine yönelik sağlık problemleri oluşturma potansiyelinden dolayı önemli bir çevre problemi haline gelmiştir. Tekstil ramöz makinalarında gerçekleştirilen ısıtma işlemleri sırasında bacalardan atılan yağ buharının konsantrasyonlarının tespitine yönelik ölçüm yönteminin bulunmaması, bacaların nasıl bir yaklaşım ile kontrol altına alınması gerektiği kararlaştırılamamıştır. Bu çalışmada geliştirilen yöntem ile yüksek sıcaklığa sahip yağ buharı emisyonlarının hem partikül fazda hem de gaz fazdaki konsantrasyonları tespit edilebilmiştir. Yöntemin uygulama çalışmaları tamamlandıktan sonra TÜRKAK tarafından akreditasyonu gerçekleştirilmiştir. Yöntem ile Bursa sektöründeki 65 adet fabrikada 144 ramöz bacasında ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin gerçekleştirildiği fabrikalarda ramöz makinalarında farklı kumaş türlerinde ısıtma işlemi yapılırken yağ buharı konsantrasyonu tespit edilmeye çalışılmıştır. Ulusal ölçekte ve dünyanın bu işlemlerin yapıldığı diğer bölgelerinde yapılan araştırmalara göre şu ana kadar tekstil sektöründe yağ buharı emisyon ölçümüne yönelik herhangi bir yasal düzenleme mevcut değildir. OSHA'nın sadece iç ortam yağ aerosolüne maruziyet için sınır değeri mevcuttur. Bu çalışmada, yağ buharının bacadan yüksek sıcaklıklarda emisyon şeklinde atılması sırasında numune alma ve ölçümün yapılabilmesi esaslarına yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen bu yöntem ile 65 adet noktada 144 adet yağ buharı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, yağ buharı konsantrasyonunun oldukça değişken olduğunu ve fiksasyon işlemi sırasında polyester/likralı kumaşların yüksek oranlara ulaştığını göstermiştir.

Bursa Valiliğinin yağ buharını kontrol etmek için arıtma ünitesi kullanımını zorunlu hale getirmesi ve 15 mg/m^3 sınır değeri belirlemesine rağmen, arıtma üniteli veya arıtmasız birçok sabit bacadan Bursa atmosferine yılda toplam 9.592,45 ton yağın, yağ buharı emisyonu olarak deşarj edildiği tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçları, yağ buharı konsantrasyonunun oldukça değişken olduğunu ve fiksasyon işlemi sırasında polyester/likralı kumaşların yüksek oranlara ulaştığını göstermiştir. Sıcaklık ve yağ buharı emisyonları arasından istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ortaya konmuştur.

Üretim proseslerinde ki kumaş türü, kumaş içeriği ve metrajı, kumaş gramajı, uygulanan ısı işlem türü, arıtma ünitesi bulunup bulunmadığı gibi birçok parametrenin ölçüm sonuçlarında etkili olduğu belirlenmiştir. Yapılan konsantrasyon dağılım haritalarında kaynağa yakın bölgelerde daha yoğun olduğu tespit edilen yağ buharı emisyonların insan sağlığına olan etkileri de göz önüne alındığında kontrol altına alınması gereken önemli bir kirletici olduğu ortaya konmuştur. Doğru kriterlere göre tasarlandığı takdirde ESP, WS vb. arıtma sistemlerinin yağ buharı emisyonlarının atmosfere deşarjının engellenmesinde önemli olduğu görülmüştür.

Sadece Bursa İlinde değil ülkemizde tekstil sektörünün yoğunluğu ve üretim hacmi göz önüne alındığında yağ buharı emisyonlarına yönelik ulusal mevzuatta düzenleme yapılması gereklidir. Bu çalışma ulusal mevzuatta yağ buharı emisyonlarına yönelik düzenlemeler için altlık oluşturmaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda ölçümlerin aynı şartlar altında ve daha fazla sayıda yapılması daha iyi korelasyonların ortaya konmasını sağlayacaktır. Ayrıca kumaş gramajı, kumaş türü ve içeriği, sıcaklık vb. değişkenler dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılması gerektiği, arıtma tiplerinin ne derece verimli olduğunun ortaya konması yağ buharının kontrolü açısından önem arz etmektedir. Surfer programında yükseltileler dikkate alınmadığından tüm arazi koşullarının bir arada değerlendirilebileceği programlarda modelleme yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alhalabî, K., Sabir, E. C. 2011. Üniversitesi, Ç., Fakültesi, M. M., Bölümü, T. M. Anti Statik Yağın İplik Kalite Parametrelerine Etkisi * The Effect of Antistatic Material on Yarn Quality Parameters. , 26(December):, 19–32.
- Angelis-Dimakis, A., Alexandratou, A., Balzarini, A. 2016. Value chain upgrading in a textile dyeing industry. *Journal of Cleaner Production*, 138:, 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.137>
- Brochocka, A., Okrasa, M. 2022. Determination of paraffin oil mist penetration at high flow rates through air-purifying respirators. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 28(1):, 62–67. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1935545>
- Bulut, M. O., Akçali, K., Üniversitesi, S. D., Fakültesi, M. M., Bölümü, T. M., Isparta, Ç. 2012. E lastan iplik içeren örme kumaşların yağ sökme işleminin incelenmesi. , 8(3):, 262–269.
- Caliskan, B., Küçük, A., Tasdemir, Y., Cindoruk, S. S. 2020. PAH levels in a furniture-manufacturing city atmosphere. *Chemosphere*, 240:. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124757>
- Caliskan, B., Özengin, N., Cindoruk, S. S. 2020. Air quality level, emission sources and control strategies in Bursa/Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 11(12):, 2182–2189. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.05.016>
- Caliskan, Burak, Artun, G., Durmuş, H., Gaga, E. O., Cindoruk, S. S. 2022. Atmospheric volatile organic compounds levels in furniture-manufacturing city in Turkey. *Urban Climate*, 43:, 101163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101163>
- Chalenko, A. A., Kazantseva, I. L. 2005. Analysis of the market for modern oiling agents for polyamide textile fibres. *Khimicheskie Volokna*, 37(3):, 24–29. <https://doi.org/10.1007/s10692-005-0076-7> WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Chen, F., Yu, W. H., Ji, Z. L., Lin, G. Y., Ding, H. P., Pi, L. M., Wu, X. L. 2022. Development and coalescence mechanism of an improved filter cartridge for oil mist separators. *Chemical Engineering Research & Design*, 187:, 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.09.008> WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Chen, M. R., Tsai, P. J., Chang, C. C., Shih, T. S., Lee, W. J., Liao, P. C. 2007. Particle size distributions of oil mists in workplace atmospheres and their exposure concentrations to workers in a fastener manufacturing industry. *Journal of Hazardous Materials*, 146(1–2):, 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.036>
- Chen, M., Tsai, P., Chang, C., Shih, T., Lee, W., Liao, P. 2007. Particle size distributions of oil mists in workplace atmospheres and their exposure concentrations to workers in a fastener manufacturing industry. , 146:, 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.036>
- Chen, R., Shi, X., Bai, R., Rang, W., Huo, L., Zhao, L., Long, D., Pui, D. Y. H., Chen, C. 2015. Airborne nanoparticle pollution in a wire electrical discharge machining workshop and potential health risks. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(1):, 284–294. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.09.0219>
- D’Arcy, J. B., Dasch, J. M., Gundrum, A. B., Rivera, J. L., Johnson, J. H., Carlson, D. H., Sutherland, J. W. 2016. Characterization of process air emissions in automotive

- production plants. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(1):, 9–18. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1076161>
- Elitaş, A. C. 2018. Tekstil sektöründe ramöz bacasından kaynaklanan kirliliğinin çevresel boyutları ve proses sonucu oluşan atık yağın geri kazanımı. , Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Forster, C., Schweigkofler, M., Zechel, R., Lienhard, R. 2014. *Encyclopedia of Lubricants and Lubrication*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22647-2>
- Gönüllü, M. T. 2004. Endüstriyel kirlenme kontrolü, Birsen Yayınevi.
- GÜRDAL, Y. 1988. Lif Üretim Yağları ve Antistatikler. *Tekstil ve Mühendis*, 2(8):, 92–101.
- Hao, X., Feng, Y. 2009. Preparation and performance of oil-absorbent polymethacrylate fiber by gelation-spinning. *Proceedings of the Fiber Society 2009 Spring Conference*, Tianjin Polytech Univ, Sch Text, Tianjin, Peoples R China PU - Donghua Univ Press P1 - Shanghai Pa - 1882 Yan An West Rd, Shanghai, 00000, Peoples R China, : , 398–402.
- Hild, D. N., Obendorf, S. K., Fok, W. Y. 2004. Mapping of Spin Finish Oils on Nylon 66 Fibers. *Textile Research Journal*, 74(3):, 187–192. <https://doi.org/10.1177/004051750407400301>
- Huang, Y. P., Chen, T. K. 2007. Effect of surface treatment on pet spinning and the yarn property. *Colloids And Surfaces A-Physicochemical And Engineering Aspects*, 295(1–3):, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.08.034> WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Huynh, C. K., Herrera, H., Parrat, J., Wolf, R., Perret, V. 2009. Occupational exposure to mineral oil metalworking fluid (MWFs) mist: Development of new methodologies for mist sampling and analysis. Results from an inter-laboratory comparison. *Journal of Physics: Conference Series*, 151:. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/151/1/012040>
- Jaworek, A., Sobczyk, A. T., Krupa, A., Marchewicz, A., Czech, T., Śliwiński, L. 2019. Hybrid electrostatic filtration systems for fly ash particles emission control. A review. *Separation and Purification Technology*, 213:, 283–302. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.12.011>
- Kang, M S, Yu, G., Shin, J., Hwang, J. 2021. Collection and decomposition of oil mist via corona discharge and surface dielectric barrier discharge. *Journal Of Hazardous Materials*, 411:. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125038>
- Kang, Myung Soo, Yu, G., Shin, J., Hwang, J. 2021. Collection and decomposition of oil mist via corona discharge and surface dielectric barrier discharge. *Journal of Hazardous Materials*, 411:. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125038>
- Kaplan, B. E. 2019. Tekstil Terbiye Atık Suyunda Manyetik Polimerlerle Renk Giderimi. , Bursa Uludag University (Turkey).
- Kilic, D., Brem, B. T., Klein, F., El-Haddad, I., Durdina, L., Rindlisbacher, T., Setyan, A., Huang, R., Wang, J., Slowik, J. G., Baltensperger, U., Prevot, A. S. H. 2017. Characterization of Gas-Phase Organics Using Proton Transfer Reaction Time-of-Flight Mass Spectrometry: Aircraft Turbine Engines. *Environmental Science and Technology*, 51(7):, 3621–3629. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04077>
- Kim, S. W., Raynor, P. C. 2009. A new semivolatile aerosol dichotomous sampler. *Annals of Occupational Hygiene*, 53(3):, 239–248. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep008>
- Kim, S. W., Raynor, P. C. 2010. Experimental evaluation of oil mists using a semivolatile

- aerosol dichotomous sampler. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 7(4):, 203–215. <https://doi.org/10.1080/15459620903582244>
- Lillienberg, L., Brudin, S., Hjalmarsson, T., Mathiasson, L. 2007. Supercritical Fluid Extraction (SFE) for Determination of Metalworking Fluid Aerosols. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9624(3:7):, 358–365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15459620600744279>
- Lim, J., Lee, H., Cho, H., Shim, J. Y., Lee, H., Kim, J. 2022. Novel waste heat and oil recovery system in the finishing treatment of the textile process for cleaner production with economic improvement. *International Journal of Energy Research*, 46(14):, 20480–20493. <https://doi.org/10.1002/er.7803>
- Miller, A., Drake, P. L., Hintz, P., Habjan, M. 2009. Characterizing exposures to airborne metals and nanoparticle emissions in a refinery. *Annals of Occupational Hygiene*, 54(5):, 504–513. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meq032>
- Nowak, P., Kosinska, J., Glinka, M., Kaminski, M. 2017. The Thin-Layer Microchromatography (mu TLC) and TLC-FID Technique as a New Methodology in the Study of Lubricating Oils. *Journal Of Aoac International*, 100(4):, 922–934. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0167> WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Oğulata, R. T., Kadem, F. D., Koç, E. 1999. Tekstilde Kurutma Yöntem ve Makinaları. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 2(229):, 803–810.
- Peng, C. Y., Lan, C. H., Lin, P. C., Kuo, Y. C. 2017. Effects of cooking method, cooking oil, and food type on aldehyde emissions in cooking oil fumes. *Journal of Hazardous Materials*, 324:, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.10.045>
- Pulat, E., Etemoglu, A. B., Can, M. 2009. Waste-heat recovery potential in Turkish textile industry: Case study for city of Bursa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3):, 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.002>
- Reed, H. C., ASME 2007. Oil mist eliminators are an excellent upgrade to a gas turbine package. PROCEEDINGS OF THE ASME TURBO EXPO 2007, VOL 4, PTS A AND B, Hilliard Corp, Elmira, NY 14901 USA PU - AMER SOC MECHANICAL ENGINEERS PI - NEW YORK PA - THREE PARK AVENUE, NEW YORK, NY 10016-5990 USA, : , 1479- 1486 WE- Conference Proceedings Citation In.
- Riss, B., Wahlmüller, E., Höflinger, W. 1999. Quantification of re-evaporated mass from loaded fibre-mist eliminators. *Journal of Environmental Monitoring*, 1(4):, 373–377. <https://doi.org/10.1039/a902767j>
- Schwarz, M., Dado, M., Hnilica, R., Veverkova, D. 2015. Environmental and Health Aspects of Metalworking Fluid Use. *Polish Journal Of Environmental Studies*, 24(1):, 37-45 WE-Science Citation Index Expanded (SCI-E).
- Simpson, A. T., Wright, M. D. 2008. Diffusive sampling of C7-C16 hydrocarbons in workplace air: Uptake rates, wall effects and use in oil mist measurements. *Annals of Occupational Hygiene*, 52(4):, 249–257. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men009>
- Tarakçioğlu, I. 2000. Tekstil terbiyesi ve makinaları, Ege Üniversitesi.
- UIB Report 2018. Uludağ İhracatçı Birlikleri Türkiye Tekstil Sektörü ve Bursa.
- UTIB 2022. Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği EXport Report. .
- Verma, D. K., Shaw, D. S., Shaw, M. L., Julian, J. A., McCollin, S. A., des Tombe, K. 2006. An evaluation of analytical methods, air sampling techniques, and airborne occupational exposure of metalworking fluids. *Journal Of Occupational And Environmental Hygiene*, 3(2):, 53–66. <https://doi.org/10.1080/15459620500471205> WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

- Wan, M. P., Wu, C. L., Sze To, G. N., Chan, T. C., Chao, C. Y. H. 2011. Ultrafine particles, and PM_{2.5} generated from cooking in homes. *Atmospheric Environment*, 45(34):, 6141–6148. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.036>
- Wang, F., Li, Z., Wang, P., Zhang, R. 2018. Experimental study of oil particle emission rate and size distribution during milling. *Aerosol Science and Technology*, 52(11):, 1308–1319. <https://doi.org/10.1080/02786826.2018.1511887>
- Wang, X., Zhou, Y. J., Wang, F., Jiang, X., Yang, Y. 2021. Exposure levels of oil mist particles under different ventilation strategies in industrial workshops. *Building And Environment*, 206:,. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108264>
- Wang, Y. F., Tsai, P. J., Chen, C. W., Chen, D. R., Dai, Y. T. 2011. Size distributions and exposure concentrations of nanoparticles associated with the emissions of oil mists from fastener manufacturing processes. *Journal of Hazardous Materials*, 198:,. 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.028>
- Yu, K., Chen, Y., Gong, J., Chen, Y., Cheng, C. 2016. Improving the collection efficiency of the liquid impinger for ultra fine particles and viral aerosols by applying granular bed filtration. *Journal of Aerosol Science*, 101:,. 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.08.002>
- Zhao, Yujiao, Zhang, Z., Ji, C., Liu, L., Zhang, B., Huan, C. 2019. Characterization of particulate matter from heating and cooling several edible oils. *Building and Environment*, 152(February):,. 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.007>
- Zhao, Yunliang, Hu, M., Slanina, S., Zhang, Y. 2007. Chemical compositions of fine particulate organic matter emitted from Chinese cooking. *Environmental Science and Technology*, 41(1):,. 99–105. <https://doi.org/10.1021/es0614518>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin GEÇKİN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa
Yabancı Dil : İngilizce-İspanyolca

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Cumhuriyet Lisesi (Y.D.A)
Lisans : Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müd.

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

Yayınları :Bursa'da Tekstil Endüstrisinden Kaynaklı Yağ Buharı Emisyonlarının Değerlendirilmesi, ICENSOS Konya, 2022