KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOKU KİRLİLİĞİNİN OLFAKTOMETRE İLE BELİRLENMESİ VE DAĞILIMLARININ MODELLENMESİ: KOCAELİ ÖRNEĞİ

BURCU ERGÜN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOKU KİRLİLİĞİNİN OLFAKTOMETRE İLE BELİRLENMESİ VE DAĞILIMLARININ MODELLENMESİ: KOCAELİ ÖRNEĞİ

BURCU ERGÜN

Prof.Dr. Hakan PEKEY		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Doç.Dr. Şenay ÇETİN DOĞRUPARMAK		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Doç.Dr. Asude ATEŞ		
Jüri Üyesi,	**Sakarya Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 20.07.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Koku kirliliği birçok endüstriden kaynaklanabilen ve insanlar üzerindeki psikolojik etkileri sebebiyle günlük hayat kalitesini etkileyen duyusal bir kirliliktir. Kokunun, olfaktometrik analiz ve hava dispersiyon modellemesi gibi yöntemler ile değerlendirilmesi, kontrol altına alınması açısından fayda sağlamaktadır. Kokudan en çok etkilenen, bölgede ikamet eden kişiler ile gerçekleştirilen anket çalışması ise kokunun insanlar üzerindeki etkisi belirlemek adına, koku kirliliği değerlendirme çalışmalarının odak noktalarından biridir. Bu çalışma, koku problemi yaşanan bir bölgedeki kokuyu duyusal analiz, dağılım modeli ve anket çalışması ile değerlendirmek adına gerçekleştirilmiştir.

Lisans ve yüksek lisans sürecimin her aşamasında desteğini, sabrını ve engin bilgilerini benden esirgemeyen, tez sürecimin tümüyle özenle ve hoşgörüyle ilgilenen, gerek akademik gerekse iş hayatımda tecrübeleri ile her daim beni yönlendiren çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Hakan PEKEY'e iş yoğunluklarına rağmen ayırdıkları değerli zamanları, gösterdikleri sabırları ve anlayışları, en önemlisi de tüm emekleri için sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitiminden itibaren engin bilgi ve tecrübeleri ile gelişimime büyük katkısı olan, anlayış, hoşgörü ve güler yüzlülüğü ile tüm sorularımı cevaplayan ve yüksek lisans eğitimim süresince de değerli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan, her daim örnek aldığım çok değerli hocam Prof. Dr. Beyhan PEKEY'e, modelleme çalışmalarımda ve bildiri süreçlerimde pozitif enerjileri ile gösterdikleri desteklerden dolayı, engin bilgileri ile tüm sorularımı sabır ve ilgiyle cevaplayan değerli hocam Doç. Dr. Şenay ÇETİN DOĞRUPARMAK'a tüm emekleri için sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi'ne, ARCGIS yazılımı ile konsantrasyon dağılım haritasının hazırlanması aşamasındaki desteklerinden dolayı Kocaeli Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümü Arş. Gör. Dr. Özer AKYÜREK'e, tez çalışmasının ölçüm ve analiz aşamalarında çok büyük destekleri olan öğrenci arkadaşlarıma ve anket çalışmasına gönüllü olarak destek veren katılımcılara teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca, bana olan inanç ve sevgilerini hiçbir zaman eksik etmeyen, maddi ve manevi destekleriyle her zaman arkamda olan, herkes ve herşeyden daha önemli olan canım aileme ve bu süreçte desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarıma minnetlerimi sunarım.

Temmuz-2020 Burcu ERGÜN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Kokunun Tanımı ve Koku Algısı 3
1.1.1. Kokunun konsantrasyonu 4
1.1.2. Kokunun yoğunluğu 5
1.1.3. Kokunun hedonik tonu 6
1.1.4. Kokunun karakteri 7
1.2. Koku Emisyonlarına Sebep Olan Endüstriler 8
1.2.1. Gıda üretim tesisleri 9
1.2.2. Katı atık depolama ve işleme tesisleri 10
1.2.3. Hayvancılık tesisleri 11
1.2.4. Atıksu arıtma tesisleri 12
1.2.5. Diğer tesisler 12
1.3. Koku Emisyonlarının Tespit Edilmesi 13
1.3.1. Örnekleme yöntemleri 13
1.3.2. Koku ölçüm yöntemleri 17
1.3.2.1. Olfaktometre 18
1.3.2.2. Saha olfaktometresi 21
1.3.2.3. Sosyal değerlendirme 23
1.3.2.4. Elektronik burun 24
1.3.2.5. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) 25
1.3.3. Hava kalitesi dağılım modelleri ile kokunun dağılımının tespiti 27
1.3.3.1. AERMOD dağılım modeli 30
1.3.3.2. CALPUFF dağılım modeli 33
1.3.3.3. ISCST-3 dağılım modeli 34
1.3.3.4. ModOdor dağılım modeli 35
1.3.3.5. AODM dağılım modeli 36
1.4. Koku ile İlgili Yasal Düzenlemeler 37
1.4.1. Avrupa ülkelerinde koku kirliliği kontrolü 37
1.4.2. Amerika ve Kanada'da koku kirliliği kontrolü 42
1.4.3. Asya ülkelerinde koku kirliliği kontrolü 45
1.4.4. Türkiye'de koku kirliliği kontrolü 50
1.5. Literatür Araştırması 53
1.5.1. Türkiye'de koku kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar 53
1.5.2. Dünya'da koku kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar 58

2. MALZEME VE YÖNTEM 63
2.1. Çalışma Alanı ile İlgili Bilgiler 63
2.2. Örnekleme Noktaları 64
2.3. Örnekleme Yöntemi 66
2.4. Ölçüm Yöntemi ve Kullanılan Cihaz 67
2.5. Anket Çalışması 69
2.6. Kullanılan Dağılım Modellemesi 70
2.6.1. Giriş verileri 70
2.6.1.1. Meteorolojik veriler 71
2.6.1.2. Topografik veriler 72
2.6.1.3. Kirletici kaynak verileri 72
2.6.1.4. Alıcı verileri 73
2.7. İstatistiksel Analiz 74
2.7.1. Kolmogorov-smirnov testi 74
2.7.2. Mann-whitney *u* testi 75
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 76
3.1. Olfaktometrik Ölçüm Sonuçları 76
3.2. Koku Kirliliğinin Coğrafi Dağılımı 77
3.3. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi 78
3.4. Koku Konsantrasyonlarının Dağılım Modellemesi 88
3.5. Sanayi ve Yerleşim Bölgesinde Yaşayanlara Uygulanan Anketin ve Elde Edilen Koku Konsantrasyonlarının İstatistiksel Analizi 94
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 97
KAYNAKLAR 101
EKLER 108
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 111
ÖZGEÇMİŞ 112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Vakum pompası ile örnekleme şeması 15
Şekil 1.2. Vakum sistemi ile örnekleme yapan cihazlar 16
Şekil 1.3. Rüzgar tüneli ile örnekleme 17
Şekil 1.4. Dört panelistli olfaktometre 19
Şekil 1.5. Altı panelistli olfaktometre 20
Şekil 1.6. Sekiz panelistli olfaktometre 20
Şekil 1.7. Olfaktometre paneli 21
Şekil 1.8. Saha olfaktometresi 22
Şekil 1.9. Elektronik burun 25
Şekil 1.10. Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi 26
Şekil 1.11. Gaz Kromatografisi-Olfaktometri (GC-O) cihazı 27
Şekil 1.12. TA-LUFT'a göre hayvancılık tesislerinin asgari mesafeleri 40
Şekil 1.13. Ahır ve kümeslerin asgari mesafe eğrisi 52
Şekil 2.1. Çalışma alanı 64
Şekil 2.2. Numune alınan noktalar 65
Şekil 2.3. Nalophan cinsi numune torbaları 66
Şekil 2.4. Vakum pompası 66
Şekil 2.5. Olfaktometre n-butanol hassaslık test kiti 67
Şekil 2.6. Scentroid SS600 Olfaktometre 68
Şekil 2.7. Yönetici bölümü 69
Şekil 2.8. Panelist bölümleri 69
Şekil 2.9. AERMOD modelleme programı giriş verileri 71
Şekil 2.10. Çalışma alanına ait WRLPLOT ile hazırlanan rüzgar gülü 71
Şekil 2.11. Modelleme alanında 2017 yılına ait rüzgar verilerinin frekans dağılımı 73
Şekil 2.12. AERMAP ile hazırlanan arazi yükselti haritası 72
Şekil 2.13. Modele emisyon kaynak verisi olarak girilen noktalar 73
Şekil 2.14. Modele alıcı kaynak olarak girilen noktalar 73
Şekil 3.1. ARCGIS kullanılarak hazırlanan koku kirliliğinin coğrafi dağılım haritası (KB/m3) 78
Şekil 3.2. Cinsiyet dağılımı 79
Şekil 3.3. Yaş dağılımı 79
Şekil 3.4. Eğitim durumu 79
Şekil 3.5. İkamet süresi dağılımı 80
Şekil 3.6. Kokunun hissedilme durumu 80
Şekil 3.7. Kokunun en fazla hissedildiği zamanlar 81
Şekil 3.8. Kokunun en fazla hissedildiği zamanlar 81
Şekil 3.9. Kokunun sürekliliği 81
Şekil 3.10. Kokunun süresi 82
Şekil 3.11. Kokunun algılanma sıklığı 82
Şekil 3.12. Kokunun algılanma yoğunluğu 83

Şekil 3.13. Kokunun hedonik tonu 83
Şekil 3.14. Kokunun rahatsızlık durumu 83
Şekil 3.15. Kokunun karakteri 84
Şekil 3.16. Kokunun kaynağı 84
Şekil 3.17. Bölgenin sağlık açısından uygunluğu 85
Şekil 3.18. Kokudan kaynaklı yaşanılan rahatsızlıklar 85
Şekil 3.19. Kokunun davranış ve aktivitelere etkisi 86
Şekil 3.20. Yaşanılan çevre sorunları 87
Şekil 3.21. Çevre sorunlarının sebepleri 87
Şekil 3.22. Maksimum konsantrasyonun zamana bağlı değişimi 89
Şekil 3.23. Kokunun 1 saatlik dağılımı 89
Şekil 3.24. Kokunun 3 saatlik dağılımı 90
Şekil 3.25. Kokunun 6 saatlik dağılımı 90
Şekil 3.26. Kokunun 12 saatlik dağılımı 91
Şekil 3.27. Kokunun 24 saatlik dağılımı 91

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Başlıca koku bileşikleri ve duyuları 8
Tablo 1.2. Endüstrilerde oluşan koku kaynakları..... 9
Tablo 1.3. Kullanılan KB/m^3 (D/T) limitlerine örnekler 43
Tablo 1.4. Kokuya neden olan bileşikler için ortam standartlarına örnekler 43
Tablo 1.5. Belirli bileşikler için koku bazlı konsantrasyon kriterleri 44
Tablo 1.6. Japonya'da belirlenen maddelerin sınır konsantrasyonları..... 46
Tablo 2.1. Koku ölçüm noktaları ve koordinatları..... 65
Tablo 3.1. Olfaktometrik ölçüm sonuçları 77
Tablo 3.2. Modelleme sonuçları 88
Tablo 3.3. Alıcı noktalardaki modelleme ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması 92
Tablo 3.4. Yerleşim yeri (N=97) ve sanayi bölgesinde (N=103) yaşayanlara ait p test istatistiği 95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C : Rüzgara bağlı koku konsantrasyonu (KB)
C_c : Toplam konsantrasyon
C_d : Doğrudan duman bulutu nedeniyle oluşan konsantrasyon
C_p : Nüfuz eden kaynak konsantrasyonu
C_r : Dolaylı duman bulutuna bağlı konsantrasyon
D/T : Dilution/threshold (Seyreltme/eşik oranı)
h_{es} : Duman bulutu yüksekliği
KB : Koku birimi
OU_E : Avrupa koku birimi
ppbv : Hacimce milyarda bir birim
ppm : Milyonda bir birim
Q : Kaynaktan çıkan emisyon oranı (g/s)
Q_P : Noktasal kaynak koku emisyonu oranı (KBm^3/s)
Q_L : Çizgisel kaynak koku emisyonu oranı (KBm^2/s)
Q_A : Alansal kaynak koku emisyonu oranı (KBm/s)
S_A : Bir hayvanın makul ısı salınımı
S_B : Binadan iletimin sebep olduğu ısı kaybı
S_V : Havalandırma sisteminden kaynaklı ısı akışı
u : Rüzgar hızı (m/s)
x : Yukarı rüzgar yönü (m)
y : Çapraz rüzgar yönü (m)
σ_x : Gauss dağılımının rüzgar boyunca standart sapması
σ_y : Gauss dağılımının çapraz rüzgar yönünde standart sapması
σ_z : Gauss dağılımının dikey yönde standart sapmasını
σ_{zs} : Toplam dikey dağılım
σ_{zp} : Nüfuz edilen kaynak için toplam dağılım

Kısaltmalar

AAQC : Ambient Air Quality Criteria (Ortam Hava Kalitesi Kriterleri)
ADS : Air Dilution Sensory (Hava Seyreltme Duyusal Testi)
ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test Materyalleri Enstitüsü
CARB : California Hava Kaynakları Kurulu
CEN : European Committee for Standardization (Avrupa Standartlar Komitesi)
ECD : Electron Capture Detector (Elektron Yakalama Dedektörü)
FEP : Tetrafloroetilen Heksafluoropropilen
FID : Flame Ionization Detector (Alev İyonizasyon Dedektörü)
GC/MS : Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Kütle Spektrometresi- Gaz Kromotografisi)
GSM : Gayri Sıhhi Müessese

KOEKHY : Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik
MET : Mevcut En İyi Teknolojiler
MSD : Mass-Selective Detection (Kütle Spektrometre Dedektörü)
PET : Polietileneftalat
PCA : Principal Component Analysis (Temel Bileşenler Analizi)
PID : Photoionization Detector (Fotoiyonizasyon Dedektörü)
POI : Point of Impingement (Koku Bazlı Çarpışma Noktası)
PTFE : Politetrafloroetilen
SBL : Stable Boundry Layer – Kararlı Sınır Tabakası
US EPA : United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
VDI : Verein Deutscher Ingenieure (Alman Mühendisler Birliği)
VFA : Volatile Fatty Acids (Uçucu Yağ Asitleri)
VOC : Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)

KOKU KİRLİLİĞİNİN OLFAKTOMETRE İLE BELİRLENMESİ VE DAĞILIMLARININ MODELLENMESİ: KOCAELİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüzde hızla artan nüfus artışı ile birlikte yerleşim yerleri endüstri bölgelerine yakın bölgelere doğru yaygınlaşmaktadır. Endüstrileşmenin her geçen gün daha da artması ile artan koku kirliliği, sanayi bölgelerine yakın bölgelerde ikamet eden kişileri fiziksel ve psikolojik olarak rahatsız ederek, günlük aktivitelerinde problemler yaşamalarına sebep olabilmektedir. Koku emisyonları kaynağına yakın bölgeleri etkilerken, bölgenin meteorolojik koşullarına ve yer şekillerine bağlı olarak kaynaktan uzak bölgeleri de etkileyebilmektedir. Aynı zamanda birden fazla kaynaktan çıkan koku emisyonlarının birleşerek bölgedeki hava kalitesine daha fazla etkisi olabilmektedir.

Çalışma kapsamında Türkiye'nin en önemli sanayi kenti olan Kocaeli'nde, çalışma alanı olarak belirlenen bölgede alan örneklemesi yapılmış olup, laboratuvar ortamında olfaktometrik analiz tekniği kullanılarak koku konsantrasyonları (KB/m^3) belirlenmiştir. AERMOD dağılım modellemesi ile elde edilen koku düzeylerinin bölgedeki dağılımı elde edilmiştir. Bölgede yoğun trafiğin yanı sıra birçok farklı sektörden endüstri bulunmakta ve endüstrilere yakın bölgelerde konutlar, hastaneler ve alışveriş merkezleri bulunmaktadır. Bu sebeple kokunun bölgede yaşayanlar üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için bölgede yaşayanlara anket de uygulanmıştır.

Çalışmada kokunun konsantrasyonu, dağılımı ve çevresel etkileri bir arada ele alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda sanayi bölgesinde elde edilen yüksek koku düzeyleri bölgede yaşayanları oldukça rahatsız ettiği anlaşılmaktadır. Koku düzeyleri sanayi bölgesinde yerleşim bölgesine nazaran istatistiksel olarak anlamlı bir farlılık ($p<0,05$) elde edilmiştir. Kokunun sanayi bölgesinden yerleşim bölgesine doğru düzeyleri her ne kadar azalsa da yerleşim bölgesinde yaşayanlar hala kokunun etkileri altında kaldıklarını ve rahatsızlıklarını dile getirmektedirler.

Anahtar Kelimeler: Hava Dağılım Modellemesi, Koku Algısı, Koku Kirliliği, Olfaktometrik Analiz.

DETERMINATION OF ODOR POLLUTION BY OLFACTOMETER AND DISPERSION MODELING: A CASE STUDY OF KOCAELİ

ABSTRACT

Today, with the rapidly increasing population growth, residents areas are becoming prevalent towards the regions close to the industrial areas. Increased odor pollution with the increase in industrialization may cause people who live in areas close to industrial areas to physically and psychologically, causing problems in their daily activities. While odor emissions affect the regions close to the source, depending on the meteorological conditions of the region and the landforms, it can also affect distant areas. At the same time, odor emissions from more than one source can combine and have a greater impact on air quality in the region.

In the study, selected region in the most important industrial city of Kocaeli in Turkey, area sampling is made, odor concentrations using olfactometric analysis technique in the laboratory (OU/m^3) were determined. The dispersion of odor levels obtained by AERMOD dispersion modeling in the region was obtained. Besides the heavy traffic in the region, there are industries from many different sectors and there are residences, hospitals and shopping centers in the regions close to the industries. For this reason, in order to determine the effects of the odor on the residents of the region, a questionnaire was also applied to those living in the region.

In the study, the concentration, dispersion and environmental effects of the odor are discussed together. As a result of the evaluations, it is understood that the high odor levels obtained in the industrial area uncomfortable the people living in the region. A statistically significant difference ($p < 0.05$) was obtained in the odor levels compared to the residential area in the industrial zone. Although the levels of the odor from the industrial area to the residential area have decreased, those living in the residential area still state their discomfort.

Keywords: Air Dispersion Modeling, Odor Perception, Odor Pollution, Olfactometric Analysis.

GİRİŞ

Son 30 yıldır kötü kokular ciddi bir çevresel sorun olarak görülmektedir ve kokuların insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri konusundaki tartışmalar geniş bir şekilde incelenmektedir. Yapılan bazı çalışmalar kokulara maruz kalmanın, insanlar üzerinde kaygı durumları ve depresyon gibi duygusal streslerin yanı sıra baş ağrısı ve mide bulantısı gibi birçok fiziksel belirtilere neden olabileceğini kanıtlamaktadır. Koku kirliliği problemleri özellikle yerleşim alanlarına yakın mesafelerde endüstriyel faaliyetlerin bulunduğu durumlarda daha fazla sorun olmaktadır (Capelli ve diğ., 2011). Koku kirliliği yetkili makamlara iletilen en önemli kamu şikayetlerinden biridir. Endüstriyel faaliyetlere yakın alanlarda yerleşim gösteren nüfus tarafından yerel yönetimlere iletilen şikayetler doğrultusunda, endüstriler tarafından koku kirliliğinin azaltılmasına yönelik önlemler alınmaktadır (Sironi ve diğ., 2010).

Birçok endüstriyel faaliyet alanının yerleşim yerlerine yakın olması sebebiyle Kocaeli ilinde ikamet eden kişiler çevresel kirliliklerden oldukça etkilenmektedir. Özellikle kokuya sebep olabilecek proseslere sahip tesislerin yakınlarında ikamet eden kişiler, gün içerisinde koku probleminden kaynaklı çeşitli rahatsızlıklar duyabilmektedirler. Kişilerin günlük hayattaki aktivitelerini etkileyebilen koku kirliliği bu sebeple oldukça önemli bir çevresel kirliliktir. Türkiye'de koku kirliliğini kontrol altına almak adına 19.07.2013 tarihinde yayınlanan "Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik" kapsamında yetkili makamlar, kirliliğe sebep olan endüstrilere yaptırımlar uygulayabilmektedir. Tesislerden kaynaklanan kötü kokudan rahatsız olan vatandaşların, ilgili tesisi şikayet etmeleri doğrultusunda tesis koku ölçümlerini yaptırarak gerekli durumlarda koku kontrol yöntemlerini uygulamakla yükümlüdür.

İnsanlar tarafından duyusal olarak algılanan kirliliklerden biri olan koku kirliliği sektörlere göre farklılık göstermektedir. Proses sonucu açığa çıkan kirleticilerin kimyasal yapısına bağlı olarak emisyonların neden olduğu koku duyuları çeşitlilik göstermektedir.

Buna bağlı olarak koku kirliliğini kontrol altına almak adına yönetmelikte koku emisyonlarını sektörlere göre değerlendirirken, emisyonları gidermeye ve azaltmaya yönelik sektörlerin proseslerine bağlı olarak farklı önlemler alınmaktadır.

Diğer hava kirleticileri gibi koku da özellikle rüzgar olmak üzere meteorolojik şartlar ile kaynağından uzak bölgelere taşınabilmektedir. Kokunun taşınımı sırasında asıl kaynak dışında, farklı kaynaklarda mevcut kokulu emisyonlara eklenerek alıcı noktada daha fazla bir koku hissine sebep olabilmektedir. Hava kirleticileri için sıklıkla kullanılan hava dispersiyon modellemeleri, koku kirliliğini gözlemleyebilmek adına da sıklıkla kullanılmaktadır. Birçok ülkede kokunun analitik ve duyusal ölçümlerinin yanı sıra, daha verimli bir koku kontrol senaryosu çizebilmek için koku dispersiyon modellemeleri uygulanması önerilmektedir.

Tez çalışması kapsamında belirlenen çalışma bölgesinde kokuya sebep olabilecek birçok farklı sektöre ait tesis bulunmaktadır. Bölgede mevcut tesisler hammaddeleri ve prosesleri sebebiyle kokuya sebep olabilecek bileşikler üretebilmektedirler. Tesislerin büyük bir bölümünün koku giderim sistemi olsada bölgedeki kontrollü ve kontrolsüz kaynaklar birleşerek koku problemine yol açabilmektedir. Bölgedeki koku kirliliğinin kontrol edilmesinin önemini vurgulayan bir diğer nokta ise, bölgedeki tesislere yakın konumlarda konutların ve alışveriş merkezi, hastane gibi çeşitli sosyal yaşam alanlarının yer almasıdır. Bölgede ikamet eden kişilerin birçoğu gün içerisinde kötü bir koku hissettiklerini belirtmektedirler. Hissettikleri kötü koku fiziksel açıdan belirli tıbbi bir probleme sebep olduğu kesin olarak bilinmese de, kokunun insanları psikolojik olarak etkilediği ve hayat kalitelerini düşürdüğü gözlemlenmektedir.

Çalışma kapsamında bölgedeki kokunun konsantrasyonları olfaktometrik analiz tekniği ile belirlenmiştir. Özellikle sanayilerin bulunduğu bölgede ölçülen yüksek konsantrasyonlar modellenerek kokunun çalışma alanında dağılımı incelenmiştir. Modelleme programında yüksek konsantrasyonların reseptör (alıcı) noktalardaki konsantrasyonları, olfaktometrik ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Bölgede yaşayanların kokuya karşı tepkilerini ve kokudan etkilenme durumlarını belirlemek adına yapılan anket çalışması ile kokuyu sosyal açıdan değerlendirme imkanı sağlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Kokunun Tanımı ve Koku Algısı

Koku "koku algısı" veya "koku alma sistemi tarafından uyaran maddenin alınmasından kaynaklanan bir duyum" ile tanımlanan, havada çözülmüş halde çok küçük konsantrasyonlarda bulunan kimyasal maddelerden her biridir. Sülfür bileşikleri, azot bileşikleri ve uçucu organik bileşikler insanlardaki koku alma sistemini tetikleyecek kadar etkiye sahip olduğundan koku alma duyusunu uyararak koku hissine sebep olabilmektedir. Kokuların çevre alanlara etkisi, kaynaktan yayılan koku miktarı, kaynağa uzaklık, hava koşulları, topografya ve koku duyarlılığı gibi farklı faktörlere bağlıdır (Conti ve diğ., 2020).

İnsanlarda koku alma sistemi olfaktör epitel, koku soğancığı ve koku alma korteksinden oluşmaktadır. Olfaktör epitel, üst burun boşluğunda bulunan ve 10^7 ila 10^8 reseptör hücresi içeren yaklaşık 5 cm^2'lik bir alandır. Burundan fizyolojik olarak alınan kokulu hava akımının %15'i olfaktör bölgeden geçerek, olfaktör epitelde bulunan reseptör hücrelerini uyarmaktadır (Kandemir ve Muluk, 2016). Reseptör hücrelerinin olfaktif sinirler aracılığıyla koku soğancığına bağlanarak gönderdiği uyarı sinyalleri olfaktometrik sinir sistemine iletilerek bir sinir lifi halinde beyine ulaşmaktadır. Uyarı sinyalleri algılanabilen en düşük konsantrasyondaki koku olan eşik değerine ulaştığı zaman beynin koku alma korteksi uyarılmakta ve koku alma olayı gerçekleşmektedir (Akmırza, 2012).

Koku alma fizyolojik kabul ve psikolojik yorum olarak iki aşamada oluşmaktadır. Oluşan sonuç kokunun zihinsel bir izlenimi olarak yorumlanmaktadır. Kokuların fizyolojik olarak alımı kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir. Yaş, sağlık durumu, sigara kullanma ve diş yapısı gibi etkenler fizyolojik kabulü etkilemektedir. Cinsiyetin koku almayı etkileyip etkilememesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Koku alma duyarlılığı kokuya maruz kalma süresine bağlı olarak da değişmektedir.

Bir kokuya sürekli maruz kalmak adaptasyon ya da koku yorgunluğu gibi sebeplerden dolayı kokuya karşı duyarlılığı azaltırken, koku aşinalığının sürekli maruz kalınmayan bir kokunun farklı bir zamanda tekrar alınması durumunda koku alma duyarlılığını arttırmaktadır. Kokunun psikolojik yorumu ise kokunun keskinlik durumu, hoş veya nahoş olma durumu ve kokunun ne ile ilişkili olabileceği hakkında izlenime yol açmaktadır (Gostelow ve diğ., 2001).

Kokulara maruz kalmak genellikle insan sağlığı için bir riskten daha çok, günlük aktivitelerini etkileyerek hayat kalitesini düşüren bir sıkıntı olarak kabul edilmektedir (Sironi ve diğ., 2010). Yapılan araştırmalar kokulara uzun süre maruz kalmanın, insanların ruh hallerini ve davranışlarını olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Kokuların uykusuzluk, stres, huzursuzluk, depresyon, baş ağrısı, öksürük, burun akıntısı, göğüsteki kramplar ve alerjik reaksiyonlar gibi birçok rahatsızlığa yol açabilecekleri belirtilmektedir. (Mielcarek ve Rzeźnik, 2015).

Çevresel bir problem olarak koku kirliliği, sanayileşmenin artması ile birlikte insanların temiz bir çevreye olan ihtiyaçlarının artması nedeniyle önem kazanmaktadır. Ortamın kalitesini korumak için koku kirliliği probleminin azaltılması veya giderilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, koku kirliliği problemini çözme aşamasında koku emisyonlarının konsantrasyonunu, kökenini ve dağılımını anlamak, tespit ve azaltma yöntemlerini belirlemek oldukça önemlidir (Yuwono ve Lammers, 2004).

Kokunun tanımlanması için konsantrasyon, yoğunluk, karakter ve hedonik ton parametreleri kullanılmaktadır. Koku konsantrasyonu, analitik olarak da ölçülebilen tek koku parametresidir. Diğer parametreler ise sadece duyusal yöntemler kullanılarak ölçülebilmektedir (Gostelow ve diğ., 2001).

1.1.1. Kokunun konsantrasyonu

Ülkemizde 19.07.2013 tarihinde yürürlüğe giren 28712 sayılı Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik'te tanımlandığı üzere koku konsantrasyonu; standart koşullardaki 1 m^3 hacimdeki gaz içinde bulunan kokulu madde miktarıdır. Koku konsantrasyonu koku birimi (KB) ile ifade edilmektedir (KOEKHY, 2013).

Koku konsantrasyonun rahatsızlık durumu mesafe, sıcaklık ve rüzgar gibi faktörlere de bağlı olarak değişmektedir. Genellikle arıtma tesisleri ve çöp sahaları gibi yüksek koku konsantrasyonuna sahip kaynaklara yakın alanlarda daha yüksek koku konsantrasyonu saptanmaktadır. Mesafe arttıkça koku konsantrasyonunda düşüşler görülmektedir. Koku konsantrasyonunu etkileyen meteorolojik bir bileşen olan çevresel sıcaklığın yüksek olması durumunda kokunun rahatsızlık durumu artabilmektedir. Bir diğer meteorolojik bileşen olan rüzgar, kokunun yayılma yönünü belirlerken, rüzgar hızı ise kokunun dağılma oranını etkileyebilmektedir. Yapılan çalışmalardaki bulgular yüksek hızlı rüzgarların kokuyu dağıttığı yönündedir (Pawar ve diğ., 2015).

Koku konsantrasyonu koku parametreleri içinde en sık ölçülen ve analitik veya duyusal yollarla belirlenebilen parametredir. Analitik ölçümler spesifik kokulu maddeler için fiziksel konsantrasyon verirken, duyusal ölçümler bir kokuyu eşik konsantrasyonuna (1 KB/m^3) azaltmak için gereken seyreltme sayısını belirlemektedir. Eşik konsantrasyonu, bir koku panelisti tarafından kokunun algılanabileceği veya tanınabileceği en düşük konsantrasyondur (Gostelow ve diğ., 2001; Nicell, 2009). Eşik konsantrasyonu sabit bir değer olmayıp, tekrarlayan ölçümlerde farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu sebeple ortalama eşik değeri matematiksel olarak hesaplanmıştır (Evren ve diğ., 2015). Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Enstitüsü'nün (ASTM) yöntemlerini içeren E679–19 standardı ve Avrupa Standartlar Komitesi'nin (CEN) yöntemlerini içeren EN 13725:2003 standardı, koku eşikleri ölçümleri için standartlaştırılmış yaklaşımlar içermektedir. Global olarak en çok kullanılan standart olan EN 13725:2003 akredite laboratuvarlar arasında optimum tutarlılığı sağlamak, laboratuvarlar arasında karşılaştırabilir sonuçlar elde etmek ve sonuçları n-butanol gibi izlenebilir bir referans materyale bağlamak için örnekleme, analiz ekipmanı ve ölçüm metodolojilerini kapsamaktadır (Nicell, 2009).

1.1.2. Kokunun yoğunluğu

Kokunun yoğunluğu, koku verenlerin duyusal algısının ikinci boyutu olarak, koku hissinin algılanan gücüne veya büyüklüğüne karşılık gelmektedir (Yuwano ve Lammer, 2004). Yoğunluk, kişinin koku eşiğinin üstünde bir kokunun büyüklüğünü

(kuvvetini) nasıl algıladığıdır. Bir koku kişi tarafından "algılanamaz", "çok zayıf" ve "son derece güçlü"ye kadar derecelendirilebilen kategorilerde açıklanmaktadır.

Yoğunluk konsantrasyonla birlikte artmasına rağmen, ilişki doğrusal değil, logaritmiktir. Kokunun konsantrasyonundaki değişiklik bir panelist tarafından algılanan koku yoğunluğunda orantılı bir değişiklik yaratmayacaktır. Örneğin, bazı kokular nispeten düşük konsantrasyonlarda (balık veya sert kokular gibi) yoğunlaşabilirken, çiçekler gibi diğer 'hoş' kokular için yoğunlaşmadan önce konsantrasyonların daha yüksek olması gerekmektedir.

İnsan burnu tarafından ölçülen kokunun yoğunluğunun (veya hissinin) koku konsantrasyonu logaritması ile ilişkisi aşağıdaki denklem ile açıklanmaktadır;

$$\text{Yoğunluk} = fn \times \log(\text{Konsantrasyon}) \quad (1.1)$$

Bu, kokunun 'psikometrik' özelliği olarak adlandırılmaktadır. İlişki genellikle Steven Yasası olarak bilinmektedir. Bir kokunun konsantrasyonu on kat arttırılırsa, yoğunluğun çok daha küçük bir miktarda arttığı görülmektedir. Fn katsayısı, farklı kokulu bileşikler için değişkenlik gösterebilmektedir. Herhangi bir koku konsantrasyonunda, yüksek özgül yoğunluğa sahip kokulu bir bileşik, düşük özgül yoğunluğa sahip başka bir kokulu bileşikten daha güçlü kokmaktadır. Bölgedeki kokulu hava genellikle tek bir bileşik yerine farklı özgül yoğunluklara sahip kokulu bileşiklerden oluşan bir karışım olmaktadır. Kokulu hava atmosferde dağıldıkça, diğerlerinden daha güçlü kokan kokulu bileşiklerin yoğunlukları daha hızlı bir oranda azalabilmektedir. Bu da kaynağa olan farklı uzaklıktaki noktalarda koku yoğunluğunu değiştirebilmektedir. Bazı seyreltme seviyelerinde başlangıçta daha zayıf olan kokular, meydana gelen bir çaprazlama ile yoğunluk açısından daha baskın olacak şekilde görülebilmektedir (Pullen, 2007).

1.1.3. Kokunun hedonik tonu

Kokunun hedonik tonu insanlar tarafından kokunun hoş, nahoş veya nötr olma durumun bir yargısıdır. İnsanların kokudan hoşlanıp hoşlanmama yorumuna bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden kokunun kişilere verdiği rahatsızlıkla oldukça ilişkilidir. Hedonik ton kokuya maruziyet ile kişilerin rahatsızlık duyması ve sağlık

açısından çeşitli semptomlar yaşaması arasındaki ilişkiyi güçlendirmektedir. Nötr ve nahoş kokuların, hoş kokular ile karşılaştırıldığında kişiler üzerindeki semptomları arttırdığı görülmektedir (Aatamila ve diğ., 2010).

Kokunun hedonik tonu ölçüm cihazları vasıtasıyla panelistler tarafından hoş ve nahoşluk durumuna göre -3;+3 veya -4;+4 arasında derecelendirilebilmektedir. Hoş kokular pozitif ve yüksek puanlar ile nahoş kokular ise negatif ve düşük puanlar ile değerlendirilmektedir. Hedonik ton koku konsantrasyonundan bağımsız olarak geniş bir aralıktadır, mesafe ile farklılık göstermemektedir (Both ve diğ., 2004; Yuwono ve Lammers, 2004).

1.1.4. Kokunun karakteri

Kişiler tarafından tanımlanan kokular, kokulu maddeyi oluşturan moleküller ile burunda bulunan duyusal hücreler arasındaki etkileşimin sonucudur. Örneğin bir gül koklandığında, duyu hücreleriyle uçucu moleküllerin etkileşiminin ürettiği sinir uyarılarının yorumlanması sonucu kokunun gül kokusu olduğu ve hoş bir koku olduğu tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, hoş olmayan bir koku, örneğin çürümüş yumurta kokusu, butil merkaptan kokulu moleküllerin burun boşluğunda bulunan duyusal hücreler arasındaki etkileşimi nedeniyle kişi tarafından çürümüş yumurta kokusu olduğu ve nahoş bir koku olarak algılanmaktadır (Yuwono ve Lammers, 2004).

Sülfür bileşikleri (sülfitler ve merkaptanlar), azot bileşikleri (amonyak ve aminler) ve uçucu organik bileşikler (esterler, asitler, aldehitler, ketonlar ve alkoller) gibi farklı organik ve inorganik uçucu kimyasallar kokuya sebep olabilmektedir. Uçucu organik bileşikler (UOB'ler); farklı fiziksel ve kimyasal davranışları olan, uçucu yağ asitleri, alkoller gibi belirli uçuculuklarla karakterize edilen, farklı fonksiyonel gruplara sahip moleküller (aldehitler, aminler, karbonatlar, esterler, sülfürler, disülfitler, merkaptanlar) tarafından oluşturulan, kokuya sebep olabilen organik kimyasallar grubudur. İnorganik bileşikler (H_2S, NH_3, Cl_2) ise düşük moleküler ağırlıklarından dolayı koku alma reseptörlerini etkileyerek kokuya sebep olabilmektedirler (Conti ve diğ., 2020).

Uçucu organik bileşikler atmosferik ortamdaki başlıca kirleticilerdir. Bunların büyük bir kısmı koku sorunlarına ve kişiler üzerinde olumsuz sağlık etkilerine neden

olabilmektedir. Kokulu UOB'ler hem antropojenik hem de doğal kaynaklardan üretilebilmektedir. Endüstriyel süreçlerden, trafik faaliyetlerinden, atıkların arıtımı ve bertarafı gibi birçok endüstriyel alandan kaynaklanan kokulu gaz emisyonları ve sızıntıları kentsel alanlarda koku kirliliği sorununa yol açabilen kokulu UOB'lerin ana kaynaklarıdır (Hu ve diğ., 2020).

Bileşiklerinin koku duyuları, şikayet edilen bir koku kirliliğinin kaynağına ulaşmada yardımcı olabilmektedir. Kokuya sebep olan başlıca bileşiklerin koku duyuları Tablo 1.1'de yer almaktadır (Yuwono ve Lammers, 2004).

Tablo 1.1. Başlıca koku bileşikleri ve duyuları

Bileşik	Formül	Koku Duyusu
Asetaldehit	CH_3CHO	Keskin kokulu, nahoş
Amonyak	NH_3	Keskin kokulu, nahoş
Bütirik Asit	$CH_3CH_2CH_2COOH$	Ekşimiş
Dietil Sülfür	$C_2H_5C_2H_5S$	Sarımsak kokusu
Dimetil Amin	CH_3CH_3NH	Balıksı
Dimetil Sülfür	CH_3CH_3S	Çürük lahana
Etil Merkaptan	C_2H_5SH	Çürük lahana
Formaldehit	$HCHO$	Keskin kokulu, nahoş
Hidrojen Sülfür	H_2S	Çürük yumurta
Metil Merkaptan	CH_3SH	Çürük lahana
Fenol	C_6H_5OH	Yanık hayvan
Propil Merkaptan	C_3H_7SH	Nahoş
Sülfür Dioksit	SO_2	Keskin kokulu/nahoş
Trimetil Amin	$CH_3CH_3CH_3N$	Balıksı
Valerik Asit	$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$	Vücut kokusu

1.2. Koku Emisyonlarına Sebep Olan Endüstriler

Endüstriyel faaliyetlerin proseslerine bağlı olarak birçok koku emisyonu atmosfere yayılmaktadır. Kokulu bileşikler kimyasal proseslerden kaynaklı emisyonlardan veya biyolojik aktivitelerden kaynaklanmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri, katı atık arıtma veya bertaraf tesisleri, boya üretim tesisleri, petrol rafinerileri, kağıt üretim tesisleri, plastik ve reçine üreticileri ve kimya endüstrileri gibi bir çok sektör (Tablo 1.2) koku yayarak koku rahatsızlığına sebep olmaktadır (Sironi ve diğ, 2010). Bu tesislerden çalışmalara en çok konu olanı hayvancılık tesisleridir. Birçok ülke yönetmeliklerini bu tesislerden yola çıkarak oluşturmaya başlamıştır.

Tablo 1.2. Endüstrilerde oluşan koku kaynakları (Pawar ve diğ., 2015; Yuwono ve Lammers, 2004)

Kaynaklar	Kokuya Sebep Olan Bileşikler veya Maddeler
Kimya ve Petrol Üretim Tesisleri	Hidrojen sülfit, kükürt dioksit, amonyak, organik asitler, hidrokarbonlar, merkaptanlar, aldehitler
İlaç Üretim Tesisleri	Aldehitler, aromatik, fenol, amonyak vb.
Kauçuk, Plastik, Cam Üretim Tesisleri	Aminler, kükürt oksitler,solventler, aldehitler, ketonlar, fenol, alkoller vb.
Kompost Tesisleri	Amonyak, kükürt içeren bileşikler, alkoller, aldehitler, ester, ketonlar, uçucu yağ asitleri
Hayvancılık Tesisleri	Amonyak, hidrojen sülfürler, alkol, aldehitler, N_2O
Atıksu Arıtma Tesisleri	Hidrojen sülfit, merkaptan, amonyak, aminler, skatoles, indoller vb.
Kağıt Hamuru ve Kağıt Üretim Tesisleri	Merkaptanlar ve hidrojen sülfit

1.2.1. Gıda üretim tesisleri

Birçok alanda olduğu gibi gıda alanında da sektör bazlı genişleme yıllar geçtikçe artmaktadır. Gıda üretim tesislerinin artması ve yerleşim alanlarının sanayi bölgelerine doğru genişlemesi sonucu, koku kirliliğine en fazla sebebiyet veren sektörlerden biri olan gıda sektöründen kaynaklı koku şikayetleri de artmaktadır. Gıda sektöründe oluşan kokular üretilen gıda maddesinin türüne bağlı olarak hoş ve nahoş olarak değişebilmektedir.

Gıda sektöründe rahatsız edici kokular genellikle gıdanın fiziksel olarak işlenmesi sırasında gerçekleşen biyolojik veya kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu reaksiyonlar genellikle gıdayı termal işleme aşamaları (pişirme, ısıtma, kurutma veya tütsüleme) ve açık kaplarda gerçekleştirilen proseslerden kaynaklanmaktadır. Oluşan koku genellikle çeşitli organik ve inorganik bileşiklerin karışımıdır. Bu bileşiklerin çoğu, biyolojik olarak kolay çözünebilen aldehitler, ketonlar, alkoller, asitler, amonyak, aminler, sülfitler, merkaptanlar ve hidrojen sülfür gibi indirgenmiş karbon, azot veya sülfür bileşikleridir.

Bazı durumlarda kokuya biyolojik olarak daha az parçalanabilir uçucu organik bileşiklerde sebep olabilmektedir. Gıda endüstrilerinde üretim aşaması dışında

hammaddelerin depolanması aşamasında ve depolanan veya atık haline gelen hammaddelerin çürümesi sonucu da koku oluşabilmektedir (Rappert, 2005).

1.2.2. Katı atık depolama ve işleme tesisleri

Atık işleme süreçlerinden hem kimyasal hem de biyolojik emisyonlar açığa çıkabilmektedir. Tesislerden kaynaklanan emisyonlar yakın çevrede ikamet eden kişileri ara sıra, tekrarlanabilir veya sürekli olarak farklı yoğunluklar ile rahatsız etmektedir. Proseslerden kaynaklanan kokular çoğunlukla mikrobiyolojik ayrışma (degredasyon) süreçlerinden kaynaklandığından, kokunun hedonik ton açısından genellikle nahoş olduğu varsayılmaktadır (Aatamila, 2010).

Katı atık depolama alanlarından kaynaklanan koku emisyonları hakkında yapılan çalışmalar genellikle düzenli depolama alanları ve kompost tesislerini konu almaktadır. Düzenli depolama, belediye katı atıklarının bertaraf edilmesinde en sık kullanılan yöntemlerinden biridir. Düzenli depolama sahasındaki ortam havasındaki UOB'lerin seviyeleri düşük olmasına rağmen, çoğu UOB kokuludur (Fang ve diğ., 2012). Katı atıkların ilk ayrışma aşamasında (üretimden sonraki 6 ila 24 saat içinde) önemli miktarda UOB açığa çıkmaktadır (Xu ve diğ., 2020). Ayrışma aşamasında atıkların ara ve nihai ürünleri sebebiyle birçok türde kötü kokulu gaz oluşmaktadır. Atıkların bozunma aşamalarında karbonhidrat yıkımının sonucunda alkol, uçucu yağ asitleri (VFA), aldehitler ve ketonlar oluşmaktadır. Protein yıkımı sırasında ise amonyak ve yağ oluşumu gözlenmektedir. Hidrojen sülfür ise, protein bozulmasının bir sonucu olarak oluşmaktadır. Çürüyen sebzeler merkaptan ve karbon disülfür üretmektedir. Çürük balıklar, baharatlı yiyecekler, bazı hayvancılık ve kümes hayvanları atıkları etilamin, trimetilamin ve indol aminleri üretmektedir. Tatlılar ve deniz ürünleri ise formik asit, asetik asit ve diğer asidik gazlar üretmektedir (Fang ve diğ., 2012).

Bu alanlardan oldukça fazla koku emisyonları açığa çıkarken, atığın transfer merkezlerine ulaşmadan önceki aşamaları olan toplama ve ayrışma aşamalarında da kokuya sebep olabilecek emisyonlar oluşabilmektedir. Evsel katı atıkların toplanması süreci, yerleşim yerlerinde gerçekleştiğinden bölgede ikamet eden kişilere koku rahatsızlığı vermektedir. Sık kullanılan hava modelleme programları aracılığıyla düzenli depolama tesislerinden kaynaklanan koku emisyonlarının dağılımları

incelenirken, atık toplama araçlarının yaydığı koku emisyonlarına yönelik çok fazla çalışma bulunmamaktadır (Xu ve diğ., 2020).

Ülkemizde kokuya sebep olan emisyonların kontrolünü ve azaltılmasını sağlamak üzere 2013 yılında yayınlanan yönetmeliğe göre, sektörel bazlı alınan önlemler kapsamında düzenli depolama tesislerinin diğer tesislerin aksine farklı zorunlulukları bulunmaktadır. Yönetmeliğe göre düzenli depolama tesisleri, depolanan atıkların üzerine günlük ara örtü tabakası yerleştirmekle yükümlüdür. Aynı zamanda yönetmelikte "Biyobozunur atıkları kabul eden tesislerde gaz toplama sistemi kurulur, doğrudan veya işlenerek enerji üretiminde kullanılır. Elde edilen depo gazının, enerji üretiminde kullanılmasının ekonomik olmaması halinde depo gazı meşalelerde yakılır." hükümleri de yer almaktadır (KOEKHY, 2013).

1.2.3. Hayvancılık tesisleri

Hayvancılık sektöründen kaynaklanan koku, karmaşık yapılı bir gaz karışımı olup, çoğu zaman gübrenin anaerobik ayrışması sonucu oluşmaktadır. Aynı zamanda hayvanlar için kullanılan yemler, hayvan atıkları ve yıkama suları da kokuya sebep olabilmektedir. Hayvancılık tesislerinden kaynaklanan kokunun içerdiği bileşiklerin en temelleri, uçucu yağ asitleri, merkaptanlar, esterler, karboniller, aldehitler, alkoller, amonyak ve aminlerdir. Hayvansal üretimden kaynaklanan kokular, özellikle tesislerinin yakınında yaşayan insanlar tarafından yetkili kurumlara yapılan kamu şikayetlerinin önemli bir nedenidir (Cseh ve diğ., 2010; Hove ve diğ., 2016).

Yapılan birçok uluslararası çalışmada, hayvancılık sektörü içerisinde koku kirliliğine en fazla sebep olan tesislerden biri olan domuz çiftliklerine değinilmiştir. Domuz ve diğer hayvan çiftliklerinde koku kirliliği temel çevresel etkilerden biridir. Çiftliklerinden kaynaklanan koku emisyonlarının ana nedeni gübre içerisindeki anaerobik süreçlerdir. Gübre yönetimi ve gübre yaşı gibi çeşitli faktörler koku emisyonlarını etkilemektedir. Çiftliklerden yayılan kokulu bileşiklerin çoğu, atmosferdeki varlığı nispeten düşük konsantrasyonlarda rahatsızlığa neden olan sülfür, organik bileşikler, hidrojen sülfit, fenoller ve indoller, amonyak, uçucu aminler ve uçucu yağ asitleridir. Bununla birlikte, bu bileşiklerin günlük bazda saptanması ve incelenmesi, kimyasal kararsızlıkları ve sadece gaz kromatografisi teknikleri kullanılarak izlenebilmeleri nedeniyle zordur (Latos ve diğ., 2010).

1.2.4. Atıksu arıtma tesisleri

Atıksu arıtma tesisleri, arıtım sürecinin her aşamasında farklı proseslere sahip, karmaşık yapılı ve birbirine bağlı teknolojik sistemlerdir. Her bir arıtma tesisine ulaşan atıksular fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından farklı teknolojiler ile arıtıldığından, prosesin her aşamasında farklı kirletici emisyon grupları oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde karbonhidratların ayrılma ürünü olarak oluşan başlıca kokulu bileşikler, alkoller, uçucu yağ asitleri, aldehitler ve ketonlardır. Proteinlerin anaerobik ayrışması sırasında ise hidrojen sülfür ve kükürt içeren bileşikler oluşmaktadır. Atıksuda oluşan kokulu bileşiklerin, koku bakımından en etkilileri petrol, tabaklama, gıda veya kozmetik endüstrilerinden gelen atıksulardan kaynaklanmaktadır (Lewkowska ve diğ., 2016).

Atıksu arıtma tesislerinde kokunun en temel nedeni anaerobik işlemler olarak bilinmektedir. Anaerobik arıtımdan kaynaklanan çamur, yüksek konsantrasyonlara sahip kokulu bileşikler içermektedir. Ön çöktürme tankı, çamur yoğunlaştırıcı ve diğer çamur işleme proseslerinde oluşan koku, çamurun anaerobik koşullara maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Ön çöktürme tankında oluşan koku emisyonlarının bir diğer sebebi ise çamur arıtma tesisinden geri dönen çamur üst suyudur.

Arıtma tesisinde arıtılan çıkış sularının tekrar kullanılması planlandığında atıksudaki kokulu bileşiklerin giderilmesi gerekmektedir. İkincil arıtma kokulu bileşiklerin giderilmesinde etkili bir yöntem olsada, çoğu zaman tek başına yeterli gelmemektedir. Ozonlama ve klorlama bu gibi durumlarda üçüncül arıtma olarak kullanılmaktadır (Ölmez, 2008).

1.2.5. Diğer tesisler

Selüloz ve kağıt endüstrisinde kükürtün kendine özgü kokusundan ve kağıt üretiminde kullanılan kraft hamurunun işlenmesi aşamaları olmak üzere birçok prosesten koku emisyonları oluşabilmektedir. Koku emisyonlarının içerikleri genellikle hidrojen sülfür ve metil merkaptan bileşiklerinden oluşmaktadır. Hidrojen sülfür genellikle kraft işlemleri sonucunda, metil merkaptan ise kraftın pişirilmesi aşamasında oluşmaktadır (Bajpai, 2014). Kauçuk üretiminden kaynaklanan koku emisyonları, özellikle ham kauçuk malzemelerin işlenmesi prosesinden açığa çıkan, butanoik,

pentanoik, propanoik asitler ve aminler, kükürt oksitler, solventler, aldehitler, ketonlar, fenol gibi bileşiklerdir. Kauçuk üretimi prosesi, hammaddelerin depolanması, kırma ve yıkama aşamaları, ıslak kauçuk kırıntılarının kurutulması için sıcak konveksiyon, kurutulmuş kauçuğun paketlenmesi ve piyasaya hazır kauçuğun depolama alanı dahil olmak üzere bir dizi işlem aşamasından oluşmaktadır. Kauçuk kırıntılarının kurumasından tahliye edilen sıcak buharların, koku rahatsızlığına sebep olduğu bilinmektedir (Kamarulzaman ve diğ., 2019).

Petrol endüstrileri olarak rafineriler, gübre, fosfat, soda külü, kireç üretimi yapan inorganik kimyasal üretim tesisleri, boya, sabun, deterjan ve tekstil üretimi yapan organik kimyasal üretim tesisleri de kokuya sebep olan diğer sektörlerdir. Petrol endüstrisinden kaynaklanan koku bileşikleri; hidrojen sülfit, kükürt dioksit, amonyak, organik asitler, hidrokarbonlar, merkaptanlar, aldehitleri içermektedir. İnorganik kimyasal tesislerinde ise amonyak, aldehit, hidrojen sülfür, kükürt dioksit gibi bileşikleri içeren emisyonlar oluşurken, organik kimyasal üretim tesislerinde amonyak, aldehit, kükürt dioksit, merkaptan, organik asit içerikli emisyonlar oluşmaktadır (Yuwono ve Lammers, 2004).

1.3. Koku Emisyonlarının Tespit Edilmesi

Koku kirliliğine etkisi olan koku emisyonlarının belirlenmesi, kirliliği en verimli yöntem ile kontrol altına almak adına uygulanması gereken ilk adımlardan biridir. Kokunun konsantrasyonunu belirlemek adına kullanılan ölçüm yöntemleri, aynı zamanda bölgede uygulanan dispersiyon modelleme sonuçlarının doğrulanması adına da kullanılmaktadır. Hava emisyonları ölçümünde başarılı olarak kullanılan dispersiyon modelleme programlarında, söz konusu koku olduğunda bir takım sorunlar ile karşılaşılabilmektedir. Modelleme sonuçlarının doğrudan ölçüm yöntemleri ile doğrulanması, yapılan çalışmanın daha verimli olmasına katkı sağlamaktadır (Damuchali ve Guo, 2019).

1.3.1. Örnekleme yöntemleri

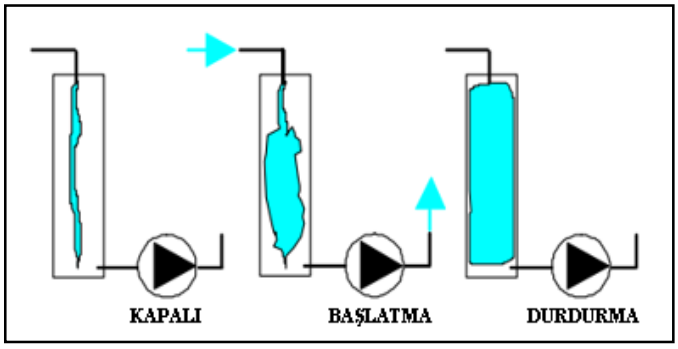
Numunenin örneklenmesi kokuların analizi aşamasında en önemli aşamalardan biridir. Koku numunesi örnekleme yöntemi ile ilgili tek bir standart bulunmamaktadır. Kaynağa ve ölçüm tekniğine bağlı olarak örnekleme yöntemleri de farklılık

gösterebilmektedir. Avrupa ülkelerinde koku ölçüm tekniklerinden biri olan olfaktometre hakkında yayımlanan EN 13725:2003 Hava kalitesi - Dinamik olfaktometre ile koku konsantrasyonunun belirlenmesi adlı standartta örnekleme stratejilerini içeren bölümler de bulunmaktadır.

Almanya'da VDI (Verein Deutscher Ingenieure - Alman Mühendisler Birliği) tarafından, örneklemede yaşanan zorluklar ve farklı örnekleme cihazlarının geliştirilmesinden dolayı, yol gösterici olarak ayrı bir örnekleme standardı bulunmaktadır. VDI 3880 olarak bilinen standartta koku örneklemesi tüm yönleriyle detaylı olarak incelenerek, farklı kaynak türlerinde koku örneklemeleri için kullanılacak prosedür ve ekipmanlar hakkında bilgi ve örnekler yer almaktadır.

Dinamik ve statik örnekleme olmak üzere iki tip örnekleme bulunmaktadır. Dinamik örnekleme, analiz edilecek havanın doğrudan kaynaktan ölçüm cihazına iletilmesini içermektedir. Numune alma kanalı (tüp veya boru vb.), kanal duvarında adsorpsiyon veya yoğuşma olaylarını en aza indirmek amacıyla numune sıcaklığına kadar ısıtılabilmektedir. Bu durumda, basınç düşüşünü en aza indirmek için ölçüm cihazı kaynağa yakın bir yerde veya mobil laboratuvarda kurulmaktadır. Numunenin partikül içerme durumu söz konusuysa, örneklenen hava akışı cihaza girmeden önce cam elyaf filtreden süzülmektedir.

Statik örneklemede ise, numune daha sonraki aşamalarda analiz edilmesi için uygun bir kanister veya numune torbasına alınmaktadır. Numunelerin depolanması aşamasında yoğuşma ve adsorpsiyon olmamasına dikkat edilmektedir. Numune alma ekipmanının kokusuz olması ve numune alınan gaz ile temas ettiği yüzeylerdeki etkileşimin en aza indirgenmesi gerekmektedir (Capelli ve diğ., 2013b). Statik örneklemede genellikle bir vakum pompası bulunan cihazlar kullanılmaktadır. Vakumlu örnekleme cihazına boş ve kokusuz bir numune torbası yerleştirilmektedir. Torbaya numune dışında bir gazın girmesinin önlenmesi için uygun bir kapak ya da tıpa benzeri bir ekipman kullanılmaktadır. Cihazdaki hava, cihaz içerisinde vakum oluşması için dışarıya pompalanır ve bu vakuma karşılık, numune torbasının içi ve dışı arasındaki farktan dolayı kokulu gaz örneği, numune torbasına çekilmektedir (Şekil 1.1). Numune torbası yeteri kadar kokulu hava dolduktan sonra dikkatli bir şekilde cihazdan çıkarılmaktadır (Güvener, 2004).



Şekil 1.1. Vakum pompası ile örnekleme şeması

Dinamik örnekleme, kaynağa yakın bölgede ve örneklemeden sonra çok kısa sürede analiz yapılabildiğinden, adsorpsiyon ve kimyasal reaksiyon riski en azdır. Fakat özellikle olfaktometrik analiz yapılacaksa, tüm panelistleri sahaya getirmek maliyetli olmaktadır. Ayrıca örnekleme alanındaki arka plan kokuları sonuçları olumsuz etkileyebilmektir.

Sonuçların doğruluğu açısından örnekleme öncesi, emisyonun asıl kaynağını seçmek, koku emisyonlarını açığa çıkaran kaynağa ek başka bir kaynağın etkisinin olup olmadığı ve kullanılan ölçüm ekipmanının numune üzerinde bir etkisinin olup olmayacağı gibi belirli şartlar kontrol edilmektedir. Örnekleme hakkında yayınlanan kılavuzlara göre, koku numunelerinin kokusuz ve kimyasal olarak inert ve reaktif olmayan bir maddeden (teflon veya benzeri) yapılmış bir numune alma hattı ve polivinilflorürden (Tedlar), politetrafloroetilen (PTFE, TeflonTM), tetrafloroetilen heksafluoropropilen (FEP) ya da polietileneftalat (PET, NalophanTM) yapılmış gaz örnekleme torbalarına alınması gerekmektedir (Capelli ve diğ., 2013b). Polivinil florürden yapılmış torbaların en düşük arka plan kokusuna sahip olduğu için kullanılması önerilmektedir. Numune torbalarının, "torba" kokusundan dolayı kontaminasyon olmadığından emin olmak için kullanımdan önce kokusuz hava ile temizlenmesi gerekmektedir. Bu aşama, özellikle düşük seviyeli veya ortam kokusu numunelerinin örneklenmesinde oldukça önemlidir.

Numune alma hattını ve numune alma torbasının iç duvarlarını önceden hazırlamak adına numune torbasının en az bir kez yarıya kadar doldurularak nihai numune alınmadan önce boşaltılması gerekmektedir. Aşırı yüksek bir koku seviyesi, yüksek sıcaklık veya numune gazının yüksek nemi nedeniyle numunenin ön seyreltilmesi

gerektiğinde, numune torbasının seyreltilmiş örnekle hazırlanması gerekli olabilmektedir (Mahin, 2003).

Numune toplama süresininde, numunenin temsil ettiği emisyonu kaybetmeyeceğini garanti edecek sürede olması gerekmektedir. Bununla birlikte, kısa numune toplama süreleri de numune alma sırasındaki kontaminasyon riskini azaltmaktadır. EN 13725:2003 bu konuda herhangi bir süre belirtmezken, VDI 3880 tarafından belirlenen örnekleme süresi örnek başına minimum 30 dakikadır.

Numunenin toplanması ve analizi (numune saklama süresi) arasında geçen sürenin, saklama sırasında numunenin kokusunu kaybetme riskinin azaltılması için en aza indirilmesi gerekmektedir. EN 13725:2003'e göre, maksimum saklama süresi 30 saat iken, VDI 3880'e göre bu süre yalnızca 6 saattir. Alman VDI 3880 tarafından belirtilen 6 saatlik numune saklama aralığı, analiz laboratuvarından uzakta bulunan tesislerden alınan numunelerin analizi için yeterli bir süre olmamaktadır. Bu gibi durumlarda, mobil laboratuvarlar kullanılmaktadır. Bu durum da ilgili maliyetleri önemli ölçüde arttırmaktır (Capelli ve diğ., 2013b).

Uygun örnekleme yönteminin seçilmesi için öncelikle koku kaynağının türü belirlenmektedir. Koku kaynakları yayıldıkları alana bağlı olarak, noktasal, alansal, çizgisel ve hareketli olmak üzere dört türe ayrılmaktadır. Kaynaktan en verimli şekilde numune alabilmek için uygun örnekleme metodunun uygulanması analizin doğruluk oranını arttırmaktadır. Noktasal kaynaklarda, koku genellikle baca yoluyla kontrollü bir şekilde tek bir noktadan yayılmaktadır. Numune direk bacadan, hava akışının bir miktarının numune torbasına çekilmesi ile gerçekleşmektedir. Hava akışının yeterli olmadığı durumlarda pompa (Şekil 1.2) yardımıyla numune alınabilmektedir (Capelli ve diğ., 2013b).



Şekil 1.2. Vakum sistemi ile örnekleme yapan cihazlar

Alansal kaynaklarda ise koku baca gibi bir noktadan değil geniş bir yüzeyden yayılmaktadır. Koku kaynağının daha geniş bir alanı temsil etmesi sebebiyle örnekleme noktasal kaynaklara oranla daha zordur. Düzenli depolama tesislerindeki açık ve tek seviyeli biyofiltreler, atıksu arıtma tesislerindeki tanklar veya havuz biyoreaktörleri alansal kaynaklara örnek olarak gösterilmektedir (Bockreis ve Steinberg, 2005). Sıvı alansal kaynaklarda numune almak için genellikle rüzgar tünelleri (Şekil 1.3) kullanılırken, diğer alansal kaynaklarda pompa yardımıyla kanister veya numune torbalarına örnekleme yapılabilmektedir (Lucernoni ve diğ., 2016).



Şekil 1.3. Rüzgar tüneli ile örnekleme

Diğer kaynak türleri olan çizgisel ve hareketli kaynaklar için spesifik bir örnekleme metodu bulunmamaktadır. Çizgisel kaynaklar bir hat boyunca koku problemine sebep olabilen, düzenli depolama tesislerinde yenileme alanlarındaki çatlaklar gibi kaynaklar olabilmektedir. Bu gibi kaynaklar koku toplama ve giderim sistemlerinin dışında kaldığından kokuya sebep olabilmektedir. Hareketli kaynaklar ise atık taşıma araçları gibi sürekli konumlarını değiştiren kaynaklardır. Hareketli kaynakların konumlarının sürekli değişmesi sebebiyle belirli bir bölgede koku kirliliği oluşturmamaktadır. Çizgisel ve hareketli kaynaklar alansal kaynaklara benzer özelliklerde olup örneklemelerine dair fazla çalışma bulunmamaktadır. Xu ve diğ. (2020) tarafından mobil kaynaklara yönelik yapılan çalışmada pompa yardımıyla verimli bir kanister örnekleme gerçekleştirilmiştir.

1.3.2. Koku ölçüm yöntemleri

Ortamdaki koku sorununu anlamak (kokuların kaynağı, koku seviyeleri, koku kaynaklarının yönetimi, temiz üretim ve azaltma yöntemleri dahil) koku kirliliği

kontrolü için çok önemlidir (Hu ve diğ., 2020). Kokuya sebep olan emisyonların nicel ve nitel karakterizasyonu doğrudan veya dolaylı yöntemlerle yapılabilmektedir. Koku düzeylerinin belirlenmesi için, insanların panelist olarak görev aldığı duyusal teknikler veya mekanik cihazlara dayanan analitik metodolojiler kullanılabilmektedir. Duyusal teknikler dinamik olfaktometri, saha örneklemesi ve bölgede yaşayan insanların görüşleri olurken, analitik teknikler ise gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS), spesifik bileşiklerin tanımlanması ve elektronik burun gibi yöntemlerdir (Conti, 2020).

Duyusal teknikler koku alma duyusuna dayanan, ölçümlerde insanların direk görev aldığı ve kokunun konsantrasyonunun insanların verdiği cevaplar doğrultusunda ölçüldüğü tekniklerdir. Kokunun rahatsızlık verme durumu insanların koku alma hissi ile doğrudan bağlantılı olduğundan kokunun belirlenmesinde etkili yöntemlerdir. Analitik yöntemlerde de koku numunesinin içeriği karakterize edilerek, kokuya sebep olan bileşik veya bileşikler tespit edilmektedir.

1.3.2.1. Olfaktometre

Dinamik olfaktometri insan burnunu sensör olarak kullanan, koku ölçümü için en

gelişmiş ve en yaygın kullanılan tekniktir. Olfaktometri tekniği ile ölçüm, bir hava seyreltme cihazı (olfaktometre) ve kalifiye insan değerlendiricileri (panelistler) kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Hove ve diğ., 2016). Dinamik olfaktometri tekniğinde kullanılan analiz cihazı olan olfaktometre, kokulu bir hava numunesinin koku algılama eşiğini ve hedonik tonunu ölçmek için kullanılmaktadır. Koku algılama eşiği, herhangi bir koku numunesinin panelistlerin %50'si tarafından tespit edilebilecek en düşük konsantrasyonudur, hedonik ton ise bir koku maddesinin spesifik karakteristiğini ölçen bir skaladır (Capelli ve diğ., 2011).

Olfaktometre numuneyi artan konsantrasyonlarda, özel bir seyreltme yöntemi ile, panelistlerin nötr referans havadan farklı olduğunu tespit ettiği bir kokuyu algılamaya başlayana kadar, seçilen bir panele sunmaktadır. Koku konsantrasyonu daha sonra her panelistin koku eşik değerlerinin geometrik ortalamasını alarak hesaplanmaktadır. Cihazın ölçüm sonucu olarak verdiği konsantrasyon kokulu gazın seyrelme seviyesini

göstermektedir. Örneğin konsantrasyonun 20 KB/m^3 olarak ölçülmesi, kokulu gazın tespit eşiğine ulaşmak için 20 kez seyreltildiğini göstermektedir (Diaz ve diğ., 2019).

Rutin bir olfaktometri analizinde ilk aşama panelistlerin kokulu numuneyi, kokusuz hava akımından ayırt edemeyeceği kadar seyreltilmesiyle başlamaktadır. Ardından, operatör tüm panelistler kokulu ve kokusuz hava akımlarını ayırt edinceye kadar seyreltme faktörünü kademeli olarak arttırmaktadır. Koku panelinin seyreltme serisine verdiği tepkiler toplanır ve koku konsantrasyonu, çeşitli ortalama ve istatistiksel yöntemler vasıtasıyla hesaplanmaktadır (Yuwono ve Lammers, 2004).

Laboratuvar tipi olfaktometre de denilen sabit olfaktometre cihazları farklı markalarda üretildiği gibi, bölme sayısının 4 (Şekil 1.4), 6 (Şekil 1.5) veya 8 (Şekil 1.6) panelist olarak tasarlanması gibi değişkenlikler de gösterebilmektedir. Ölçümde daha öncesinde akredite olan panelistler ile ölçümü koordine eden bir operatör görev almaktadır (Laor ve diğ., 2014). En sık kullanılan olfaktometre standardı olan EN 13725:2003'e göre ölçümün hassaslığını ve doğruluğunu yükseltmek amacıyla en az 4 panelist ile ölçüm yapılması gerekmektedir. Cihazın ölçüme yaklaşımı, panelistlerin yarısının kokuyu algılayacağını, diğer yarısının algılamayacağı seyreltme faktörünü istatistiksel olarak yansıtan bir değer sağlamayı amaçlamaktadır. Kokuya karşı insan duyarlılığı bu analizin ana unsuru olduğundan, panelistlerin seçilmesi ile ilgili kurallar tüm koku standartlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Panelistler "normal" bir nüfusun ortalama koku algısını yansıtmalıdır. Bu nedenle panelistler genellikle referans standardı olarak n-butanol'e karşı duyarlılıklarına göre seçilmektedirler. Seçilen panelistlerin kokuya karşı duyarlılığının çok yüksek veya çok düşük olmaması gerekmektedir. Genellikle kokuya karşı hassaslığı ortalama olan panelistler ile ölçümün gerçekleştirilmesi daha sağlıklı sonuçlar vermektedir (Diaz ve diğ., 2019).



Şekil 1.4. Dört panelistli olfaktometre



Şekil 1.5. Altı panelistli olfaktometre



Şekil 1.6. Sekiz panelistli olfaktometre

Olfaktometre ölçüm cihazları, farklı ölçüm metotları ile analizi gerçekleştirebilmektedir. En sık kullanılan yöntem olan evet/hayır metodu birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de koku kirliliği kontrolü için yayınlanan yönetmeliğe göre kullanılması zorunlu metottur.

Evet/hayır metodunda kokulu numune cihaz tarafından farklı oranlarda seyreltilerek, koklama portlarının yönetici panelist tarafından seçilen bir tanesinden paneliste sunulmaktadır. Kokulu havayı koklayan panelist cihazın belirlediği sürede koku alıp almama durumuna göre evet veya hayır seçeneklerinden birini seçmektedir. Panelistlerin verdiği cevaplara bağlı olarak kokunun konsantrasyonu belirlenmektedir.

Bir diğer sık kullanılan metot olan triangular (üçlü seçim) metodunda ise kokulu numune bir porttan paneliste sunulurken, diğer iki porttan kokusuz hava sunulmaktadır. Panelist yine cihazın belirlediği sürede, bu sefer cevap olarak koku aldığı portu seçmektedir (Damuchali ve Guo, 2019). Panelistlerin koku gelen portu doğru tahmin edip edememe durumlarına bağlı olarak konsantrasyon hesaplanmaktadır. Cihazda kullanılan bir diğer metot ise Binary (ikili seçim) metottur.

Bu metotta ise panelistlere seçilen iki portun birinden kokusuz diğerinden kokulu hava sunulmaktadır. Panelist hava akımı gelen iki porttan hangisinden kokulu numune geldiğini cihazda bulunan paneldeki ekrandan seçerek belirtmektedir (Şekil 1.7). Bu metot triangular metoduna benzer nitelikte olup, port sayısı azaldığından doğru seçim yapabilme ihtimali daha güçlüdür. Triangular ve binary metotlarında evet/hayır metodundan farklı olarak panelistler, kokuyu tahmin etme derecelerini de kuşkulu, tahmini ve kesin seçeneklerinden birini işaretlemektedir.



Şekil 1.7. Olfaktometre paneli

Konsantrasyon ölçüm metotları dışında cihazda hedonik ton belirlemek içinde bir metot bulunmaktadır. Panelistler, paneldeki bir portu koklayarak aldıkları kokunun hoş veya nahoş (kötü) bir koku olduğunu -3/+3 ya da -4/+4 arasında derecelendirilerek belirlemektedirler.

Olfaktometrik ölçüm kişilerin kokudan rahatsızlık durumlarını direk olarak yansıtabilmektedir. Koku kirliliğinin duyusal olarak algılanan bir kirlilik olması sebebiyle, analitik ölçümlerin aksine olfaktometrik ölçüm koku kaynağından duyulan rahatsızlığı azaltmak için alınan önlemler konusunda oldukça avantajlıdır. Olfaktometrenin dezavantajı panel üyelerinin öznelliğidir. Ayrıca, zararlı gazları ölçmek için kesinlikle kullanılamamaktadır. Olfaktor yorgunluk da panel üyelerinde gözlenen koku duyusunu azaltan yaygın bir yan etkidir (Yuwono ve Lammers, 2004).

1.3.2.2. Saha olfaktometresi

Saha örneklemesi metodolojisi doğrudan ortam havasında bir kokunun varlığını veya yokluğunu değerlendiren bir panelin kullanıldığı, EN 16841:2016 tarafından

standartlaştırılan bir ölçüm tekniğidir. Ölçüm tekniği, alan olfaktometresi ve panelistler ile ızgara yöntemi (grid) veya duman bulutu (plume) olarak iki farklı yöntem ile gerçekleştirilebilmektedir.

Alan olfaktometresi bir çeşit olfaktometre olup akredite panelistin sahada kullanabildiği küçük bir portatif el cihazıdır (Şekil 1.8). Örneğin hayvan besleme proseslerindeki kokuyu rüzgarın olumsuz etkilerine göre değerlendirmek için alternatif olarak alan olfaktometresi kullanılmaktadır. Panelist kokulu (filtrelenmemiş) ve kokusuz (filtrelenmiş) hava arasındaki oranı ayarlarken ortam havasını koklamaktadır. Laboratuvar olfaktometresine benzer şekilde, alan olfaktometresi, filtrelenmiş havanın seyreltme sayısını belirlemek için kullanılmaktadır (Laor ve diğ., 2014).



Şekil 1.8. Saha olfaktometresi

Örneklemede kullanılan yöntemlerden biri olan ızgara yöntemi, seçilen bir alan üzerinde tanınabilir bir koku maruziyetinin temsili bir haritasını elde etmek için uzun dönemli bir istatistiksel araştırma yöntemidir (Capelli ve diğ., 2018). Panelistlerin, ızgaradaki farklı kavşak noktalarını (değerlendirme noktalarına karşılık gelen) kapsayan ve kokuya karşı alışkanlığı önlemek için haritalanan alanın içinde ve dışında bulunan belirli bir yolları vardır. Saha ölçümünden önce, panelistler alandaki kokuyu tanımak adına belirlenen koku veya kokular hakkında bilgilendirilmektedir. Tespit edilmesi beklenen kokular çeşitlerine göre numaralandırılmaktadır. Bölgede herhangi bir koku hissedilmemesi de belirli bir rakam ile numaralandırılmaktadır. Tek bir değerlendirmenin süresi ortalama 10 dakikadır, bu süre zarfında panelist, koku hissetmediyse veya hangi kokuyu hissettiyse, önceden belirlenen numaralara bağlı olarak seçim yapmaktadır. Saha incelemesinin sonunda koku frekansının rapor

edileceği farklı karelere sahip bir harita oluşturulmaktadır. Değerlendirme için asgari süre en az 6 aydır; ancak mevsimsellik dikkate alınarak bir yıllık değerlendirmenin yapılması önerilmektedir.

Bir diğer kullanılan yöntem olan duman bulutu yöntemi, belirli meteorolojik koşullar altında panelistler tarafından alanda doğrudan gözlem kullanılarak belirli bir kaynaktan algılanabilir ve tanınabilir kokunun derecesini belirlemek için kullanılmaktadır. Izgara yönteminin aksine duman bulutu yöntemi daha kısa sürede gerçekleştirilmekte ve belirli bir kaynaktan tanınan kokunun derecesini belirlemektedir. Bu yöntem koku dispersiyon modellemesinin çıktılarını doğrulamak adına kullanılmaktadır (Capelli ve Sironi, 2018). Duman bulutu yöntemi durağan ve dinamik olmak üzere iki farklı yöntem içermektedir.

Durağan yönteme göre, beş panelist rüzgar kaynağına dik olan koku kaynağına paralel çizgiler boyunca hareket etmektedir. Panelistler, yollarının paralel çizgilerden oluşması ve kokuları tanımlamalarının gerekmemesi dışında, ızgara yöntemi için kullanılan prosedürü izlemektedir. Bir analiz çevrimi, ölçüm ve geçiş noktalarından oluşmaktadır. Dinamik yöntemde, iki panelist, tanınabilir kokuların varlığını veya yokluğunu tanımlamak için tek fark olarak duman bulutunun içinde ve dışında olmak üzere zikzak şeklinde ölçüm yaparak durağan yöntem ile aynı prosedür uygulanmaktadır.

Saha örneklemesinin farklı günlerde, farklı hava şartlarında yapılması gerekmektedir. Analiz öncesinde ise bölgenin topografik yapısı, rüzgar yönü, rüzgar hızı ve koku kaynakları detaylı olarak incelenerek örnekleme noktalarının optimum yer ve dağılımına karar verilmesi gerekmektedir. Ayrıca, ölçümü gerçekleştirecek panelistlerin olfaktometre prosedürüne uygun olarak nitelikli değerlendiricilerden seçilmesi gerekmektedir (Conti ve diğ., 2020).

1.3.2.3. Sosyal değerlendirme

Sosyal katılım ile bölgedeki kokunun değerlendirilmesini yapmak koku maruziyetini belirleme çalışmaları için yararlı olabilmektedir. Ayrıca, anketler aracılığıyla bölgede popülasyonu ölçümlere dahil etmek kokunun dağılımı için kullanılan modelin doğruluğunun değerlendirilmesinde yardımcı olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda

vatandaşlar tarafından koku varlığının bildirildiği süreler ile emisyon verileri ve meteorolojik veriler aracılığıyla oluşturulan matematiksel dispersiyon modelinin sonuçları karşılaştırılmaktadır. Bu şekilde, model tarafından simüle edilen koku bulutunun belirlenen reseptör bölgesinde yaşayan vatandaşlara gerçekten ulaşıp ulaşmadığını doğrulamak mümkün olmaktadır (Sironi ve diğ. ,2010). Çalışmalar da genellikle aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır;

- Şikayet verilerinin toplanması ve analizinin yapılması;
- Yerel sakinlere tek seferlik anketlerin uygulanması ve analizinin yapılması;
- Yerleşik panelistlerin tekrar tekrar sorgulanması veya düzenli olarak koku günlüklerini doldurmalarının istenmesi (Capelli ve diğ., 2013a).

Bu tarz değerlendirmelerde kullanılan veritabanı, bölgedeki sakinlerin adlarını, kokuları algıladıkları konumları, kokuyu hissettikleri tarihi ve süreyi (başlangıç ve bitiş zamanını), kokunun yoğunluğunu tanımlamaları için hazırlanan soruları içeren anketler ile oluşturulabilmektedir. Sosyal katılımdan elde edilen veriler daha sonra kokunun olduğu bölgenin meteorolojik parametreleri ilişkilendirilebilmektedir.

Bu yöntem mali açıdan uygun olmasının yanı sıra, ölçüm süresi olarak diğer yöntemlere oranla uzun sürmektedir. Aynı zamanda bölgede yaşayan nüfusun psikolojik etkisine bağlı olarak veriler bilimsel olarak daha zayıf olmaktadır. Bölgedeki sakinler bu konuda eğitilmiş olsalar da, olfaktometre ölçümlerinde kullanılan akredite panelistler gibi uzman olarak kabul edilmemektedir (Conti ve diğ., 2020, Capelli ve diğ., 2013a).

1.3.2.4. Elektronik burun

Koku konsantrasyonlarını ölçmek için kullanılan bir diğer teknik elektronik burundur (Şekil 1.9). Elektronik burun insan burnu yapısına benzer olarak üretilmiş olup, içerisinde bulunan kimyasal sensörler vasıtasıyla basit ve karmaşık kokuların ölçümünü yapabilmektedir. Laboratuvar ortamında geliştirilen cihaz, bir gaz sensörü dizisi, bir otomatik sıvı taşıma hattı, bir mikrodenetleyici kartı ve koku numunelerinin kalitatif ve kantitatif analizini yapmak üzere tasarlanan yazılım işleme araçlarından oluşmaktadır (Rodriguez ve diğ., 2018).

Elektronik burunlar, numunedeki koku emisyonlarının kimyasal analizini tahmin edemez fakat cihazda tanımlı olan referans veri tabanına göre sınırlandırılan bir koku alma modeli oluşturabilmektedir. Kokuları tanımlamak ve sınıflandırmak için kullanılabilmektedir. Genellikle elektronik burunlarla ölçüm yapılacağı süreçte, ilk olarak ortamda bulunan kokular cihaza tanıtılmakta, daha sonrasında ölçüm yapılmaktadır

Elektronik burunların sisteminde, kimyasal bileşiklere karşı yüksek hassasiyet, neme ve sıcaklığa karşı düşük hassasiyet, yüksek seçicilik, yüksek stabilite, yüksek güvenilirlik ve kolay kalibrasyon gibi sensör tipolojileri kullanılabilmektedir.

Elektronik burunlar, insan burnu gibi yorulmadığından ortam havasını sürekli olarak veya tekrar tekrar analiz edebilmektedir. Dağılım modellemelerinin uygulanmasının güç olduğu tank gibi kaynaklarda veya zamana bağlı olarak değişkenlik gösteren kaynaklarda daha etkili olabilmektedir. Elektronik burunlar aynı zamanda, gıda kontrolü başta olmak üzere, birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Avantajlarının yanı sıra zaman içerisinde sensörlerde değişken atmosferik şartlarda istenmeyen hassasiyet ve çok düşük konsantrasyonlarda sağlıklı ölçüm yapamama gibi problemlere rastlanmaktadır (Capelli ve diğ., 2013a).



Şekil 1.9. Elektronik burun

1.3.2.5. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

Kimyasal bir analiz olan GC-MS yönteminde, kütle spektrometrisi ile birleştirilmiş gaz-kromatografik teknikleri aracılığıyla kokulu bileşikler ölçülebilmekte ve tanımlanabilmektedir (Şekil 1.10). Gaz kromatografisi yöntemleri sadece emisyon

ölçümlerinde değil, gıda endüstrisinde özellikle aroma kalitesini belirlemek amacıyla da sıklıkla kullanılmaktadır (Mishra ve diğ., 2019).

Gaz kromatografik yönteminin prensibi, bileşenlerin, kolondaki sabit faz ile olan yakınlıklarına göre koku karışımından ayrılmasıdır (Conti ve diğ., 2020). Gaz kromatografisi, özellikle uçucu organik bileşikler ile uçucu kükürt bileşiklerinin nicel ve nitel olarak belirlenmesi için en kesin ve güçlü bir analitik araç olarak görülmektedir (Munoz ve diğ., 2010).



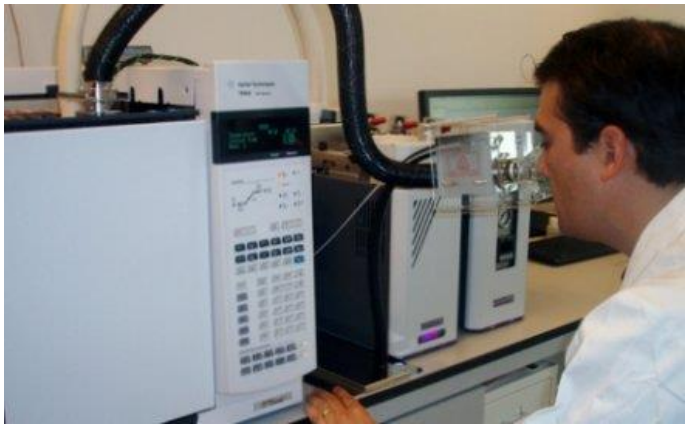
Şekil 1.10. Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi

Her molekül tipi farklı bir ilerleme hızına sahip olduğundan, analitik karışımının çeşitli bileşenleri, kolon boyunca ilerledikçe ayrılmaktadır. Alıkonma süresine göre bileşenler kalitatif olarak tanımlanmaktadır. Daha sonra kütle spektrometrisi sayesinde nicel olarak belirlenmektedirler. Bu iki tekniğin birleşimi analitlerin çok düşük konsantrasyonlarda tanımlanmasına imkan sağlamaktadır. GC-MS yönteminde koku karakterize edilemesede, kokunun tek bir bileşenden ya da bileşenlerden oluşan bir karışımdan kaynaklandığının farkı tespit edilebilmektedir.

Cihazın gaz kromatografisi bölümünde gerçekleşen, bir maddeyi, durgun ve hareketli sıvı fazlar arasındaki dağılma farkına dayanarak başka maddelerden ayırma işlemi olan elüsyon işleminde zayıf kromatografik ayrılma sebebiyle problem yaşanabilmektedir. Elüsyon problemi farklı tutunma özelliklerinden dolayı iki veya daha fazla bileşik, kromatografik olarak ayrılmadığında ortaya çıkar ve hareketli fazın, sabit fazın, sıcaklığın, kolon veya düzlemin uzunluğunun değiştirilmesi ile çözülebilmektedir (Conti ve diğ., 2020). Ayrıca eser düzeyde konsantrasyonlarda karmaşık kimyasalların ölçümünün daha verimli olması için, kütle spektrometre dedektörü (MSD)'nün yerine

alev iyonizasyon dedektörü (FID), fotoiyonizasyon dedektörü (PID) ve elektron yakalama dedektörü (ECD) gibi dedektörler de kullanılabilmektedir (Munoz ve diğ., 2010).

GC-MS tekniğine alternatif olarak GC-olfaktometri (GC-O) tekniği de sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 1.11). GC-MS'in aksine bu teknikte panelistler de kullanılarak koku karakterizasyonu yapılmaktadır. Bu teknikte kullanılan yöntemler, tespit sıklığı, eşik değere seyreltme ve doğrudan yoğunluk olmak üzere üç tipte sınıflandırılmaktadır. Eşik değerine seyreltme, bir dizi ekstrakt ile seyreltme kullanılırken koku bileşiklerinin aktivitesini belirlemek için, tespit sıklığı ve doğrudan yoğunluk yöntemleri ise tek bir ekstraktta bulunan kokulu bileşiklerin yoğunluğunu ve nispi önemini ölçmek için kullanılmaktadır. İnsan panelistler alev iyonizasyon detektörü (FID) veya kütle spektrometresi (MS) gibi dedektörlerin yerini almaktadır. Panelistler özel olarak tasarlanmış bir port yoluyla kokulu bileşiklerin varlığını tespit etmek adına eluatı koklamaktadırlar. Bir numunede bulunan bir bileşiğin koku etkinliğine sahip olup olmadığını belirlemek için tarama yöntemi olarak kullanılan GC-O, sonrasında geliştirilerek araştırmacılar tarafından kokulu bileşiklerdeki uçucu bileşiklerin koku karakterlerini değerlendirmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Delahunty ve diğ., 2006).



Şekil 1.11. Gaz Kromatografisi-Olfaktometri (GC-O) cihazı

1.3.3. Hava kalitesi dağılım modelleri ile kokunun dağılımının tespiti

Dispersiyon (dağılım) modellemesi, hava kirleticilerinin geçici etkilerini zamansal ve mekansal perspektiflerden incelemek için kabul gören bir yaklaşımdır (Xu ve diğ.,

2020). Dağılım modelleri kokuların yayılma alanının belirlenmesine ve kaynakta oluşan konsantrasyonların belirlenen mesafelerdeki değerlerinin tahmin edilmesine de olanak sağlamaktadır (Mielcarek ve Rzeźnik, 2015).

Koku, yayıldığı emisyon kaynaklarının çevresini etkilerken, rüzgar ve yer şekillerinin etkisi ile belirli mesafe uzaklıktaki noktaları da etkileyebilmektedir. Koku kirliliğini belirleme ve çözümleme aşamalarında kaynaktaki konsantrasyonu ölçmenin dışında, kaynağın çevresindeki noktalarda da koku konsantrasyonlarını belirlemek, kokuyu kontrol altına almak için daha net çözümlere ulaşmaya yardımcı olmaktadır. Koku kirliliğine sebep olan kaynağın çevresindeki ortamda yapılan koku ölçümleri zor olmasının yanı sıra aynı zamanda maliyetli olmaktadır. Bu gibi sebeplerin koku dispersiyon modellemesine dayanan çalışmalarının artmasına neden olduğu düşünülmektedir (Damuchali ve Guo, 2019).

Dağılım modelleri kaynaklarda oluşan koku emisyonlarının uzaysal ve zamansal değişimini matematiksel olarak simüle etmektedir. Modeller mevcut bir tesisin gelecekteki emisyon senaryolarına bağlı olarak neden olabileceği koku seviyelerini tahmin edebilmek veya tesis kurulmadan önce yapılan bir modelleme ile tesisin atmosferik etkisini öngörebilmek adına kullanılmaktadır. Bu modeller özellikle kokuya sebep olan üretim tesislerinin yerleşim alanlarına olması gereken uzaklıkları belirlemeye yardımcı olmaktadır (Conti ve diğ., 2020).

Dispersiyon modelleri kokuların dağılımını değerlendirerek şikayetlerle korelasyon kurmak ve belirlenen bir alanda izin verilebilecek maksimum koku emisyonlarını tahmin etmek amacıyla iki farklı şekilde kullanılabilmektedir. Model çıktıları genellikle simülasyon alanında belirlenen her bir reseptör için saatlik ortalama koku konsantrasyonlarını vermektedir. İnsanların koku hissi duyması için birkaç saniye yeterli olduğundan saatlik konsantrasyonların pik yaptığı noktalar önemlidir. Bu nedenle, insan burnunun hızlı yanıtını simüle etmek amacıyla maksimum koku konsantrasyonları tahmin edilirken "tepe-ortalama" faktörü kullanılmaktadır. Tepe-ortalama faktörü pik konsantrasyonunun 1 saatlik ortalama konsantrasyona bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Latos ve diğ., 2010; Conti ve diğ., 2020).

Dağılım modelleri gauss, lagrangian ve eulerian (grid modeli) yaklaşımlarına bağlı olarak hesaplama yapmaktadır. Gauss yöntemi ile çalışan modeller kararlı durum

koşullarını kabul etmektedir. Gauss modelleri uygulaması basit, uygun ve en temel modellerdir (Capelli ve diğ., 2013a). Emisyonların kaynaktan alıcı reseptöre anlık olarak dağılması sırasında meteorolojik şartların sabit kaldığını varsaymaktadır. Ayrıca emisyonların zamana bağlı olarak değişmediğini varsayarak model çıktılarında konsantrasyonları bir saat veya daha kısa süreli olarak vermektedir. Gauss dağılım modellerinin kararlı hal durumundan dolayı uygulanması daha kolaydır. Gauss dağılımını kullanan duman bulutu modelleri rüzgar hızını sabit kabul eder. Genellikle minimum rüzgar hızı kullanılır. Aynı zamanda bölgenin coğrafik yapısını da hesaba katmamaktadır. Bu nedenle rüzgarın az olduğu sakin havalarda ve engebeli arazilerde model verimli sonuç verememektedir. Emisyonlar ve meteorolojik koşullar saatten saate değişebilir, böyle durumlarda gauss modellerinin geliştirilmiş hali olan (Capelli ve diğ., 2013a) puff modelleri kullanılmaktadır. Puff modelleri değişen meteorolojik şartları ve coğrafik yapıyı da hesaba katmaktadır. Bu modeller kaynakta oluşan konsantrasyonu üç boyutlu olarak tanımlayan denklem setlerine dayanmaktadır. Böylece değişen rüzgar ve emisyon verilerini de değerlendirmektedir.

Lagrangian parçacık modelleri ve eulerian ızgara modelleri (3 boyutlu modeller) ise atmosferik dağılım simülasyonu için daha gelişmiş araçlardır. Partikül modelleri olarak da bilinen lagrangian modelleri, kaynaktan yayılan kirleticilerin rüzgar ve türbülans alanında hareket eden parçacıklarının dağılımını simüle etmektedir (Capelli ve diğ., 2013a). Atmosferdeki kirletici parçacıkların rüzgar alanı, kaldırma kuvveti ve türbülans etkileri ile belirlenen yörüngeler boyunca hareket ettiğini kabul etmektedir. Eulerian modellerinde (ızgara modelleri) ise çalışma alanı hem dikey hem yatay yönde ızgara hücrelerine bölünerek her ızgarada kirletici emisyonların ortalama konsantrasyonları hesaplanmaktadır (Conti ve diğ., 2020).

Yapılan çalışmada en uygun model belirlenirken emisyon kaynakları, alanın özellikleri ve çalışmanın gereklilikleri değerlendirilerek seçim yapılmaktadır. Basit ve geliştirilmiş kararlı durum modelleri olan gauss modelleri istenen sonucun en kötü durum koşulu olduğunda başarıyla uygulanmaktadır. Diğer karmaşık modeller (lagrangian ve eulerian) ise daha fazla parametre içermektedir. Bölge ve kaynaklar ile ilgili daha fazla veri gerektiğinden uygulanması nispeten daha fazla zaman ve uzmanlık gerektirmektedir. Bu sebeple uygulanması gauss modellerine göre daha zordur.

Koku kirliliği çalışmalarında çoğunlukla kullanım açısından sağladıkları kolaylıklardan dolayı Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından onaylanan AERMOD (The AMS/EPA Regulatory Model) ve CALPUFF (California Puff Model) modelleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, sakin ve durgun koşullarda verimli olmasından dolayı CALPUFF tercih edilmektedir. Fakat AERMOD'un kullanıldığı çalışmalarda özellikle kararlı atmosferik koşullar sırasında, modelin konsantrasyonları önemli ölçüde tahmin ettiği görülmektedir (Capelli ve diğ., 2013a).

1.3.3.1. AERMOD dağılım modeli

AERMOD, Amerikan Meteoroloji Derneği ve US EPA tarafından geliştirilen, kararlı durum şartlarını kabul eden fakat meteorolojik ve topografik koşulları da hesaba katarak modelleme yapılan bir duman bulutu modelidir (Conti ve diğ., 2020; De Melo ve diğ., 2012). Kararlı sınır tabakasında (SBL) konsantrasyon dağılımı, hem dikey hem de yatay olarak gauss dağılımı ile hesaplanmaktadır. AERMOD nispeten basit bir yaklaşım kullanarak, karmaşık arazide akış ve dağılım ile ilgili güncel kavramları birleştirmektedir. Model yüzey ve yükseltilmiş kaynakların, basit ve karmaşık arazide dağılımını fiziksel olarak gerçekçi, uygulama olarak basit olacak şekilde hesaplamak üzere tasarlanmıştır.

İnsanlar tarafından kokunun algılanması, ortalama değerlerden ziyade koku verici maddenin anlık pik konsantrasyonu ile orantılı olduğundan AERMOD, diğer dispersiyon modellerine benzer şekilde, en az yarım saatlik ortalama konsantrasyonların hesaplanması için ayarlanmıştır. Bununla birlikte koku hissinin, ortalama bir değere değil, anlık (tepe) koku konsantrasyonuna bağlı olmasından modelin kullanımı sırasında seçilecek tepe/ortalama oran yaklaşımı ile pik noktalar hesaplanabilmektedir (Latos ve diğ., 2010).

AERMOD ölçülen ve tahmin edilen konsantrasyonların, noktasal, hacimsel ve alansal olmak üzere farklı kaynakların karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Kokunun konsantrasyonunu tahmin ederken, sıklığını da tahmin edebilmektedir. Konsantrasyonların kaynağa yakın bölgelerdeki dağılımını incelemek için daha uygundur (Conti ve diğ., 2020).

AERMOD modeli, atmosferik stabiliteye ve sınır tabakası içindeki konuma bağlı olarak doğrudan, dolaylı, nüfuz eden, enjekte ve kararlı olmak üzere beş farklı duman bulutu tipini simüle etmektedir. Kararlı koşullar durumunda, duman bulutu yatay ve dikey Gauss formülasyonları ile modellenmektedir. Konvektif koşullarda ise (L:yatay ölçek<0) yatay dağılım Gauss ile hesaplanırken, dikey konsantrasyon dağılımı doğrudan, dolaylı ve nüfuz eden üç duman bulutunun kombinasyonu ile hesaplanmaktadır.

Kararlı koşullarda AERMOD konsantrasyon ifadesi (Cs) Gauss formuna sahiptir, diğer kararlı durum duman bulutu modellerine benzer şekilde aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$C_s(x,y,z)=\frac{Q}{\sqrt{2\pi u\sigma_{zs}}}Fy\sum_{m=-\infty}^{\infty}\left[\exp\left(-\frac{(z-h_{es}+2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z+h_{es}+2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right)\right] \quad (1.2)$$

$$Fy=\left(-\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y}\right)\right) \quad (1.3)$$

Denklemde kullanılan *Q* kaynaktan çıkan emisyon oranını (g/s), *u* rüzgar hızını (m/s), F_y yanal dağılım fonksiyonunu, z_{ieff} etki eden mekanik karışım katmanını, σ_{zs} toplam dikey dağılımı ve h_{es} duman bulutu yüksekliğini (m) ifade etmektedir.

Modelde, toplam konsantrasyon (Cc) ise üç kaynağın toplanmasıyla aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$C(x,y,z,)=C_d(x,y,z)+C_p(x,y,z)+C_r(x,y,z) \quad (1.4)$$

Doğrudan duman bulutu nedeniyle oluşan konsantrasyonu C_d, aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$C_d(x,y,z)=\frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi u}}Fy\sum_{f=1}^{2}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{\lambda_f}{\sigma_{zj}}\left[\exp\left(-\frac{(z-\Psi_{dj}-2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z+\Psi_{dj}+2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)\right] \quad (1.5)$$

$$\Psi_{dj}=h_s+\Delta h_d\frac{w_j x}{u} \quad (1.6)$$

Δh_d doğrudan kaynak için duman bulutunu, h_s istif ucu baca tepe noktası aşağı sapması için düzeltilmiş baca yüksekliğini, w_j ise $z=z_r$ ve z_p yatay ve araziyi takip eden

durumlarda, yukarı çekiş (j=1) ve aşağı çekiş dağılımı için dikey hızı ifade etmektedir. Ψ_{dj} ve σ_{zs} *ise* etkin kaynak yüksekliği ve dikey dağılım parametresidir.

Dolaylı duman bulutuna bağlı konsantrasyon (Cr) şu şekilde hesaplanır;

$$C_r(x,y,z)=\frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}u}Fy\sum_{f=1}^{2}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{\lambda_f}{\sigma_{zj}}\left[\exp\left(-\frac{(z+\Psi_{rj}-2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z-\Psi_{rj}+2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)\right] \quad (1.7)$$

Burada $\Psi_{rj}=\Psi_{di}-\Delta_{hi}$ ve Δ_{hi} dolaylı kaynak için duman bulutu artışını ifade etmektedir.

Nüfuz eden kaynak için konsantrasyon (Cp) ifadesi hem dikey hem de yatay doğrultularda Gauss formülasyonuna sahiptir. Bu kaynağa bağlı konsantrasyon şu şekilde hesaplanır:

$$C_p(x,y,z)=\frac{Q\left(1-f_p\right)}{\sqrt{2\pi}u\sigma_{zp}}Fy\sum_{m=-\infty}^{\infty}\left[\exp\left(-\frac{(z-h_{ep}+2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z+h_{ep}+2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right)\right] \quad (1.8)$$

z_{ieff} sabit bir tabakada üst yansıtıcı yüzeyin yüksekliği, σ_{zp} ise nüfuz edilen kaynak için toplam dağılımı ifade etmektedir (De Melo ve diğ., 2012).

Modelleme için gerekli olan meterolojik ve topografik verileri işlemek amacıyla model, AERMOD (ana program), AERMET ve AERMAP (ön işlemciler) olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. AERMET dağılım modeli için atmosferik parametreleri hesaplamaktadır. Daha sonrasında AERMOD, AERMET aracılığıyla elde edilen meteorolojik verileri kullanarak kirleticilerin dağılımını simule etmektedir. AERMAP ise arazi ön işlemcisi olup dağılımı haritalandırmaktadır (Jeong, 2011).

AERMOD, iletimli ve sabit sınır katmanı içerisindeki dağılımı, duman yükselmesi ve yüzebilirliği, inversiyon katmanı içerisinde dumanın nüfuzu, türbülans, sıcaklık ve rüzgarın dikey profilinin hesaplanması, gece süresince şehir üzerindeki sınır katmanını hesaplanması, tüm yüzeylerdeki alıcı noktaların duman yüksekliklerinin hesaplanması, yapılar nedeniyle oluşan zayıf etkilerin tespit edilmesi, temel sınır katmanı parametrelerinin karakterizasyonu için geliştirilmiş yaklaşımı içermesi, duman kıvrımlarını detaylı incelemesi gibi özellikleri içerdiğinden ve geliştirilmiş ön izleme gibi özellikler açısından daha gelişmiş ve avantajlı olduğundan, 2006 yılından itibaren ISCST-3 modeli yerine kullanılmaya başlamıştır (Demiraslan, 2012).

1.3.3.2. CALPUFF dağılım modeli

CALPUFF modeli, California Hava Kaynakları Kurulu (CARB) ve US EPA kontrolünde, Earth Tech Inc. şirketi tarafından geliştirilmiştir. CALPUFF sabit olmayan, çok katmanlı (Conti ve diğ., 2020) bir puff dağılım modeli olup, lagrangian dağılımını kullanarak tekli veya çoklu endüstriyel kaynaklardan yayılan emisyon tahminleri için kullanılmaktadır (Sironi ve diğ., 2010). Diğer gauss duman bulutu modellerinin aksine CALPUFF geçmişteki emisyon verilerini de tahmin edebilmektedir (De Melo ve diğ., 2012). Model uzun dönemli modellemeler için kullanılmakta olup, çok sayıda veri girişine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca model karmaşık arazi etkileri, kıyı etkileşimi etkileri, ıslak ve kuru birikim ve basit kimyasal dönüşüm için modüller içermektedir (Conti ve diğ., 2020).

Model meteorolojik ve topografik verilere ihtiyaç duyarken, CALPUFF (ana program), meteorolojik verilerin işlenmesi için CALMET ve post-işlemci olmak üzere kullanılan CALPOST olmak üzere üç işlemciden oluşmaktadır (De Melo ve diğ., 2012).

CALPUFF modeli, birkaç farklı kirletici madde yığınını bir duman bulutu olarak simüle etmektedir ve duman bulutunun reseptördeki konsantrasyona katkısını anlık yaklaşımla değerlendirmektedir. Her duman bulutu belirli zaman aralıklarında (örnekleme adımları) dondurulurmakta ve donmuş duman bulutundan kaynaklanan konsantrasyon hesaplanmaktadır. Daha sonrasında, duman bulutunun bir sonraki örnekleme aşamasına kadar boyut ve kuvvet olarak hareket etmesine izin verilmektedir.

Bir duman bulutunun bir reseptördeki konsantrasyonu için temel denklem aşağıdaki gibidir;

$$C=\frac{Q_p}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g_v \exp\left[\frac{-d_a^2}{(2\sigma_x^2)}\right].\exp\left[\frac{-d_c^2}{(2\sigma_y^2)}\right] \quad (1.9)$$

$$g_v=\frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\exp[-(H_e+2nz_i)^2/(2\sigma_z)] \quad (1.10)$$

burada C yer seviyesi konsantrasyonunu, Q duman bulutundaki kirletici kütlesini, σ_x Gauss dağılımının rüzgar boyunca standart sapmasını, σ_y Gauss dağılımının çapraz

rüzgar yönünde standart sapmasını, σ_z Gauss dağılımının dikey yönde standart sapmasını, d_a rüzgar boyunca duman bulutunun kaynağından reseptöre kadar olan mesafeyi, d_c duman bulutu merkezinden alıcıya çapraz rüzgar yönünde olan mesafeyi, g Gauss denkleminin dikey terimini, H duman bulutu merkezi zemininin üzerindeki etkili yüksekliği ve h, karışım katmanı yüksekliğini ifade etmektedir.

Yatay simetrik bir duman bulutu için, σx = σy olduğu durumda denklem aşağıdaki denkleme indirgenmektedir;

$$C=\frac{Q_p(s)}{2\pi^2\sigma_y^2(s)}gv(s)\exp\left[\frac{-R_P^2(s)}{2\sigma_y^2(s)}\right] \quad (1.11)$$

R duman bulutunun merkezinden alıcıya kadar olan mesafeyi ve s duman bulutunun kat ettiği mesafeyi ifade etmektedir. Bir reseptördeki toplam konsantrasyon, temel zaman adımı içindeki tüm örnekleme aşamaları için ortalaması alınan tüm yakın duman bulutlarının toplamıdır (De Melo ve diğ., 2012):

$$C(x,y,x,t)=\sum_{puff=1}^{total\ puffs} Cpuff(x,y,x,t) \quad (1.12)$$

1.3.3.3. ISCST-3 dağılım modeli

ISCST-3 (Industrial Source Complex Short Term-3) dağılım modeli, US EPA onaylı ve önerilen, kısa vadeli kirleticiler için kullanılan dispersiyon modelleme programıdır. Model noktasal, çizgisel ve alansal kaynaklarda oluşan emisyonların dağılımını kararlı hal Gauss duman bulutu tekniği ile hesaplamaktadır. Model noktasal, çizgisel ve alansal kaynaklarda oluşan koku emisyonlarını tahmin ederken aşağıdaki denklemleri kullanmaktadır;

$$C=\frac{Q_p}{\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_y^2}\right) \text{ (noktasal kaynaklar için)} \quad (1.13)$$

$$C=\frac{2Q_L}{\sqrt{2\pi}\sigma_Z u}\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_y^2}\right) \text{ (çizgisel kaynaklar için)} \quad (1.14)$$

$$C=\frac{Q_A}{2\pi U}\int_x \frac{V}{\sigma_Y\sigma_Z}\left(\int_Y \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]dy\right)dx \text{ (alansal kaynaklar için)} \quad (1.15)$$

C rüzgara bağlı koku konsantrasyonunu (OU), Q_p noktasal kaynak emisyonu oranını (OUm^3s^{-1}), Q_L çizgisel kaynak emisyonu oranını (OUm^2s^{-1}), Q_A alansal kaynak emisyonu oranını ($OUms^{-1}$), σ_y ve σ_y kararlılık sınıfına bağlı olarak Pasquill – Gifford duman bulutu yayılma parametrelerini, u kirleticinin salınım yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızını (ms^{-1}), H emisyon kaynaüının yerden yüksekliğini (m), V duman bulutunun dikey dağılımını, x yukarı rüzgar yönünü (m) ve y çapraz rüzgar yönünü (m) ifade etmektedir (Wang ve diğ., 2006).

Model farklı kaynak çeşitlerinin olduğu bölgelerde hava kalitesi tahmini için uygun olarak görülmektedir. Kullanım açısından diğer modellere oranla nispeten daha kolay ve gerekli meteorolojik veri dosyası daha küçüktür (Demirarslan, 2012). ISCST-3 modeli koku emisyonlarının dağılımının tahmininde kullanılabilsede, diğer modellere oranla kullanımı daha zor ve verimsizdir (Wang ve diğ., 2006). Bu nedenle koku emisyonları çalışmalarında çok sık kullanılmamaktadır. Modelin bir diğer dezavantajı ise, içerisinde atmosferik sınır tabakasına ilişkin bilgileri ve türbülanslı dağılım süreçlerinin tahminini bulundurmamasıdır (Demirarslan, 2012).

1.3.3.4. ModOdor dağılım modeli

ModOdor (Modelling of Odor) hava dispersiyon modelleme programı, atık yönetimi tesislerinden kaynaklanan atık gaz halindeki kirleticilerin, kararsız durumda Eulerian yaklaşımı ile hesaplama yaparak 3 boyutlu dağılımını simüle etmektedir. Model karmaşık topografya ile ilişkili potansiyel akış çözümleri üretirken, farklı emisyon kaynaklarının dağılımını modelleyebilmektedir. Tesislerin koku problemlerini gidermek için kullanılacak teknolojileri daha verimli bir şekilde seçebilmeleri amacıyla model, oluşan emisyonların meteorolojik koşullardaki uzamsal varyasyonlarını simüle ederek, emisyonların zamansal ve uzamsal evrimlerini izlemeyi sağlamaktadır (Xu ve diğ., 2020).

ModOdor koku dispersiyon modeli, noktasal, doğrusal, alansal, hacimsel ve bu kaynakların kombinasyonları dahil olmak üzere bir çok kaynağı simüle edebilmektedir. Atık arıtma tesislerinden kaynaklanan, gaz halindeki kirleticilerin etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için önemli bir yaklaşım sunmaktadır (Liu ve diğ., 2019). Model ayrıca difüzyon katsayılarını hesaplamak ve dağılım sürecini kontrol etmek için kullanılan rüzgar hızı alanını ve meteorolojik verileri

işleme fonksiyonlarına sahiptir. Birinci mertebeden reaksiyon sabitlerini, giderim katsayılarını, bileşiklerin ilgili fiziksel-kimyasal dönüşüm ve biriktirme işlemlerini simüle etmek için kullanılmaktadır (Zhao ve diğ., 2020).

Model tarafından benimsenen korunum denklemi, kütle korunumunun fiziksel prensiplerine ve atmosferik akışkan hava parsellerinin sürekliliğine dayanmaktadır. ModOdor'un varsayımlarına göre; sıvı, çalışılan alanda tamamen doldurulur ve sıkıştırılamaz, sadece hava ile ideal olarak karıştırılmış gaz halindeki kirleticiler dikkate alınır ve ayrılma taşıma sırasındaki yoğunluk farkından dolayı göz ardı edilir, incelenen alandaki sıcaklık homojendir fakat zamanla değişebilmektedir. Modeldeki 3 boyutlu adveksiyon-difüzyon denklemi ise aşağıdaki şekildedir;

$$\frac{\sigma C}{\sigma t} = \nabla.\left(\vec{V}C\right) + D, \quad (x,y,z) \in G,\ t > 0 \tag{1.16}$$

Denklemde *V* cinsinden rüzgar hızının vektörünü (m/s), *D* cinsinden kaynak/çökme terimini (µg / (m3·s)), *t* hesaplama süresini (saniye), *C* (x,y,z,t) t zamanında ızgarada (x,y,z) modellenen kirleticinin konsantrasyonudur (µg/m^3) (Liu ve diğ., 2019).

1.3.3.5. AODM dağılım modeli

AODM (The Austrian Odour Dispersion Model) dağılım modeli, koku duyusunu tahmin etmek için kullanılan kararlı bir Gauss dağılım modelidir. Model koku emisyonlarının ortalama konsantrasyonlarını, ortamdaki günlük ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak, anlık (pik) ve bir insan nefesinin zaman aralığı (5 pik) için tahmin etmeye olanak sağlamaktadır. Daha çok Avusturya'da kullanılan AODM, üç farklı modülden oluşmaktadır. Bu modüller, hayvancılık tesislerindeki koku emisyonlarını hesaplamakta, düzenleyici bir dağılım modeline göre ortalama ortam konsantrasyonlarını tahmin etmekte ve son olarak dağılım modelinin ortalama konsantrasyonunu, anlık rüzgar hızına ve atmosferin stabilitesine bağlı olarak dönüştürmektedir.

Modelin emisyon modülü, iç ortam sıcaklığını ve havalandırma sisteminin hacim akışının hesaplamak için hissedilir ısı akısının sabit durum dengesine dayanmaktadır. Modelin en önemli özelliği koku emisyonlarının günlük değişimlerini dikkate almasıdır. Hayvancılık sektörüne özel olarak geliştirilen model, tesisteki kokunun

esas olarak hayvanlardan, kirli yüzeylerden ve yem depoma alanlarından kaynaklandığı varsayarak, dış mekan kokularını dikkate almadan dağılımı simüle etmektedir (Pringer ve diğ., 2007)

Modelde denge denklemi ile hayvancılık tesisindeki hissedilir ısı akısını şu şekilde ifade edilmektedir:

$$S_A+S_B+S_V=0 \quad (1.17)$$

S_A bir hayvanın makul ısı salınımını, S_B binadan iletimin sebep olduğu ısı kaybını ve S_V havalandırma sisteminden kaynaklı ısı akışını ifade etmektedir.

AODM, diğer modellerin aksine, havalandırma sisteminin değişken hacim akışı nedeniyle emisyon parametrelerinin zamansal değişimini ihmal etmeyen, bir emisyon senaryosu sunmaktadır. Ayrıca modelin anlık konsantrasyonları hesaplayabilmesi de önemli avantajlarındandır (Schauberger ve diğ., 2001).

1.4. Koku ile İlgili Yasal Düzenlemeler

Koku kirliliği, insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle birçok ülke tarafından yasal yönetmelikler, standartlar ve kılavuzlar ile kontrol altına alınmaktadır. Çoğu ülke koku emisyonlarını atmosferik kirletici olarak sınıflandırmakta ve koku emisyonlarını azaltmak üzere ulusal, eyalet veya belediye düzeyinde önlemler almaktadır. Dünya çapında kokular ile ilgili pek çok kılavuz ve standart olmasına rağmen, kokulara yönelik az sayıda spesifik yönetmelik vardır.

1.4.1. Avrupa ülkelerinde koku kirliliği kontrolü

İnsanların evlerini ve aktivitelerini şehirlerde yoğunlaştırdığında artan şikayetler sonucu yayımlanan Avrupa'daki ilk yazılı mevzuatlar, insanların kokudan kaynaklı yaşadığı rahatsızlığı ele almıştır. Avrupa'daki mevzuatlarda ilk olarak rahatsız edici koku kirliliğine sebep olan hayvan kesim ve deri işleme faaliyetlerine yönelik önlemler alınmıştır. O dönemde kötü kokuların hastalıklara sebep olduğu düşünülmektedir. Yayımlanan düzenlemelerde kötü kokulu süreçler içeren faaliyetlerin insanların yaşadığı bölgelere uzak alanlarda yapılmasına dair kararlar alınmıştır. Sanayileşmenin artmasıyla koku kirliliği de dolaylı olarak artmakta ve insanların kokuya karşı

rahatsızlığı önem kazanmaktaydı. Avrupa Birliği'nde tek düzenleyici mevzuat baskısı ve sanayileşmedeki gelişmeler ile gittikçe artan kokuların maruziyetine yönelik etkilerin ve kriterlere bağlı olarak yönetmelikler ve kılavuzlar yayımlanmıştır (Harreveld, 2003).

Koku uluslararası düzeyde özellikle Avrupa'da, hava kalitesi üzerinde önemli etkisi olan bir kirletici olarak tanımlanmasa da ülkeler koku kirliliğini önlemek ve azaltmak adına çalışmalarını sürdürmektedirler. Örneğin Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 kapsamında desteklenen H2020 DNOSES projesinde Avrupa ülkelerinde uygulanan düzenlemeler, kılavuzlar ve standart incelenmiş olup geliştirilmesi amacıyla bir rapor sunulmuştur (URL-12; Diaz ve diğ., 2019).

Koku kirliliğine dair özel yönetmelikleri olmayan ülkeler koku kirliliğini kontrol altına alabilmek adına endüstriyel emisyonlar (Entegre Kirliliğin Önlenmesi ve Kontrolü) hakkındaki 24 Kasım 2010 tarihli 2010/75/EU sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin yönergesini takip etmektedir. Yönergede birçok endüstriyel faaliyet ve süreçler için koku limitleri dahil olmak üzere sınır değerler bulunmaktadır. İşletmeler koşulları sağladıktan sonra çevre izinlerini alabilmektedirler. İşletmeler yönergeye bağlı olarak MET (mevcut en iyi teknikler) politikasını uygulamaktadırlar (Diaz ve diğ., 2019). Bu politika MET kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Mevcut en iyi teknikler Avrupa Parlamentosunun Endüstriyel Emisyonlar Direktifi'nde tanımlanmış olup, çevrenin yüksek düzeyde korunmasına yönelik mevcut en iyi teknolojiler ve teknikler kullanılarak kirliliği azaltmak ve belirli bir işlem için çıktı standartlarını karşılamak üzere yetkili kurumlar tarafından onaylanan teknik ve teknolojilerdir (URL-5; URL-6). Avrupa koku sınır değeri ilk olarak Avrupa Komisyonu'nun atıkların arıtımı için yayınladığı mevcut en iyi tekniklerin sonuçlarını belirleyen kararında yayınlanmıştır. Bu karara göre atık sektöründeki maksimum koku konsantrasyonu 200-1000 KB/Nm^3 aralığında olmak zorundadır (Diaz ve diğ., 2019).

Koku kirliliği etkileri için önlemler alınacak ilk sektör yoğun rahatsızlığa sebep olan hayvancılık sektörü olmuştur. Domuz üretim sektörünün gelişmiş olduğu Hollanda'da, 1971'de hayvan barınakları ve konutlar arasındaki mesafeyi belirleyecek pratik bir kılavuz yayınlanmıştır. Bu kılavuz, başlangıç aşamasında halk sağlığı müfettişlerinin deneyimleri doğrultusunda uygulanmıştır fakat sonrasında koku emisyonlarını ölçmek

için yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Hollanda'da koku etkilerini yönetme ihtiyacı sebebiyle 1984 yılında, endüstriyel kaynaklarda oluşan kokular için nicel bir hava kalitesi kılavuzu yayınlanmıştır. Kılavuz, olfaktometre kullanılarak koku emisyonlarının ölçülmesine, ardından belirli bir sınır değerin üzerinde saatlik ortalama konsantrasyonlara maruz kalma sıklığını tahmin etmek için dispersiyon modellemesine dayanmaktadır. Kılavuz ile endüstrilerden kaynaklanan emisyonların sınır değerleri sağlaması sağlanmıştır. Kılavuz 1995 yılına kadar uygulanmış olup, bu dönem içerisinde yaşanan sorunlar ve zorluklar neticesinde kılavuzun şartları bir takım esnetilerek 2000 yılında resmileştirilmiştir. Kılavuz farklı ülkelerde de uygulanırken birçok standardın geliştirilmesine yol açmıştır. Almanya ve Danimarka gibi diğer Kuzey Avrupa ülkelerine standart uygun bir eğilim içerisinde uygulanmıştır (Harreveld, 2003).

Koku kirliliğine ilişkin standartlar, yasalar ve yönetmelikler açısından geniş bir geçmişe sahip Hollanda'da uygulanan koku politikası, koku kirliliğini en aza indirmek ve yeni bir kirliliğin oluşmasını önlemeye yöneliktir. Hollanda'da 2004 yılından beri koku ölçümleri Avrupa Standardı olan EN 13723:2003'e göre yapılmaktadır (Klarenbeek ve diğ., 2014). Fakat bölgesel ve yerel otoriteler standartlarda kendi bölgelerine göre düzenlemeler yapmaktadır (Brancher ve diğ., 2017). EN 13725:2003 standardı ülkede NEN-EN 13725:2003 olarak uyarlanarak uygulanmaktadır.

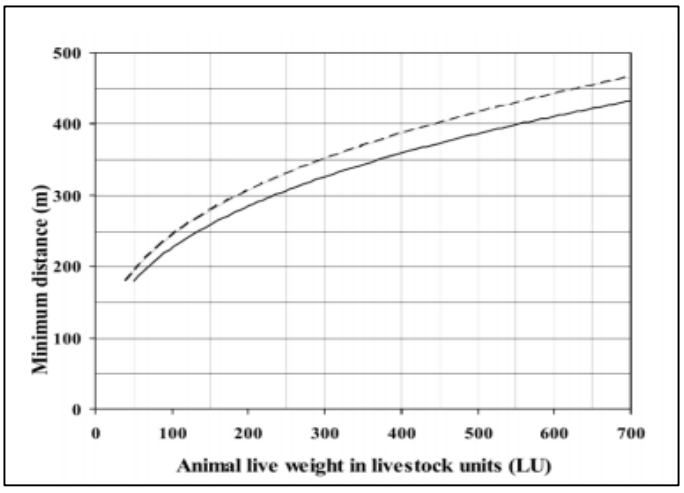
Dinamik olfaktometri yöntemini standartlaştıran EN 13725:2003 standardı, Avrupa'da endüstriyel ve tarımsal kaynaklarda oluşan koku emisyonlarını değerlendirmek adına en sık tercih edilen yöntemdir (Klarenbeek ve diğ., 2014; Hove ve diğ., 2016; Diaz ve diğ., 2019). Standardın temel unsurları doğruluk ve hassasiyet için kalite kriterleridir. Bu kriterlerin sağlanması için nitrojen içerisindeki n-butanol değerleri referans alınmaktadır. Standardı uygulayan bir laboratuvarın, n-butanol için genel duyusal kalite kriterlerine uyması gerekmektedir (Klarenbeek ve diğ., 2014).

Standarda göre olfaktometri tekniğinde olfaktometre adı verilen bir seyreltme cihazı ve akredite panelistler ile koku düzeyleri belirlenmektedir. Standartta koku konsantrasyonu, standart koşullarda bir metreküp gazdaki Avrupa koku birimi (OU_E/m^3) sayısı olarak tanımlanmaktadır (URL-7). Panelistler ölçüm öncesinde referans gaz olan n-butanol ile yapılan testler sonucunda duyarlılıklarına bağlı olarak

seçilmektedir. Ölçümde her panelistin bireysel koku eşiğinin geometrik ortalaması ölçülmektedir. Bu sayede kokunun insanlar üzerindeki etkisinin de görülmesini sağlamaktadır (Hove ve diğ., 2016).

Almanya'da ise Avrupa Birliği tarafından kabul edilen hava kalitesi şartları Alman kanunlarına aktarılarak uygulanmaktadır. Kanunlara ek olarak, devlet düzeyinde hava kalitesi kontrolü ile ilgili hükümler de mevcuttur. Federal İmisyon Kontrol Yasası'na (BImSchG) göre herhangi bir ticari tesisteki her türlü koku rahatsız edici olarak kabul edilmektedir. Almanya'da 1964 yılında Hava Kalitesi Kontrolü Teknik Talimatları (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) başlıklı ve genel olarak TA Luft olarak bilinen bir hava kirliliği kontrol yönetmeliği yayımlanmıştır (Brancher ve diğ., 2017). TA-Luft, insanları ve çevreyi üst düzeyde koruma sağlamak amacıyla hava kirliliğinin zararlı etkilerine karşı önlem almayı amaçlamaktadır. Diğer hükümlerin yanı sıra, koku kaynaklı çevresel zararlara karşı alınacak önlemlerle ilgili yönergeleri de içermektedir.

Örneğin, hayvancılık faaliyetleri için tesiste bulunan hayvan sayısına bağlı olarak tesisin yerleşim yerlerine olması gereken uzaklık (Şekil 1.12) belirtilmektedir.



Şekil 1.12. TA-LUFT'a göre hayvancılık tesislerinin asgari mesafeleri

Bununla birlikte, TA-Luft'ta koku kirliliğini kontrol altına almak adına bir koku limiti bulunmamaktadır. Bu sebeple, Ortam Havasında Kokuya Yönelik Kılavuz adlı özel bir ulusal düzenleme kullanılmaktadır.

GOAA / GIRL kılavuzu TA Luft'un bir sonraki revizyonuna eklenecektir. Böylece bu rehber Almanya'da bir yasa haline gelecek ve koku resmi olarak bu ülkenin düzenleyici organına dahil edilecektir. Almanya'da aynı zamanda En 13725:2003'e ek olarak VDI 3884: 2015 "Olfaktometri - Dinamik olfaktometri ile koku konsantrasyonunun belirlenmesi - EN 13725 uygulaması için ek talimatlar" standardı yayınlanarak uygulanmaya başlanmıştır (Diaz ve diğ., 2019).

İngiltere'de kokular ile ilgili olarak resmi bir düzenleme bulunmamaktadır. İngiltere, Galler, İskoçya ve Kuzey İrlanda'daki endüstriyel ve ticari tesislerden kaynaklanan koku emisyonlarını düzenlemekte yerel otoriteler ve çevre ajansları sorumludur. Bu düzenlemeler genellikle kılavuzlar ile yapılmaktadır (Diaz ve diğ., 2019). Koku limitleri kötü, kısmen kötü ve daha az kötü olarak 3 kategoride değerlendirilmektedir. Koku konsatrasyonlarının belirlenmesi dinamik olfaktometre ile EN 13725:2003 standardı kullanılarak yapılmaktadır. Ortam havasındaki kokuların konsantrasyonlarının belirlenmesi için ise, AERMOD ve ADMS gibi Gauss dispersiyon modelleri ya da CALPUFF ve AUSTRAL2000 gibi Langrangian modelleri kullanılmaktadır. En az üç, tercihen beş yıllık bir süre için saatlik meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Farklı koku değerlendirme metodolojileri için ek kriterler de mevcuttur (Brancher ve diğ., 2017).

İtalyan Çevre Kanunu'nda, koku kirliliğinin önlenmesine dair herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. Eyaletler hava kalitesini düzenleme konusunda özerkliğe sahiptir. (Brancher ve diğ., 2017).

Avusturya'da koku kirliliğini kontrol etmek ve yönetmek için belirli yasal bir sınır değer yoktur. Endüstriyel Emisyon Direktifi çeşitli endüstriyel faaliyetlere uygulanmakta ve bu bağlamda kokuya sebep olabilecek tesislerin olfaktometrik ve modelleme çalışmalarına dayalı olarak belirli koku limitleri olabilmektedir (Diaz ve diğ., 2019). Sağlık kaplıcaları için hedef değerler belirten bir kılavuz bulunmaktadır. Kılavuza göre %3'lük aşılma olasılığı veya 1 KB/m^3'lük bir konsantrasyon eşiğinden oluşan bir hedef değer vardır. Bu kriter genellikle yıllık olarak saatlik bazda uygulanmaktadır (Brancher ve diğ., 2017). Bazı durumlarda Almanya'da yayımlanan GOAA/GIRL kılavuzu da uygulanmaktadır. Ayrıca hayvancılık tesislerinin yaşam alanlarına olması gereken asgari mesafelerin belirlenmesi için kullanılan bir kılavuzda

bulunmaktadır. Hayvancılık Yapılarında Hayvancılık Yetiştiriciliğinin Neden Olduğu Kirliliği Değerlendirme Ön Yönergesi'nde hayvancılık tesislerinden kaynaklanan koku emisyonları hayvanların sayısı ve tipi, havalandırma sistemi, gübre durumu ve hayvan yemi tipi ile depolanması parametreleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Tesislerin yerleşim alanlarından uzaklıkları belirlenirken dağılım modellemeleri de kullanılmaktadır (Diaz ve diğ, 2019).

1.4.2. Amerika ve Kanada'da koku kirliliği kontrolü

Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilebilir arazi eksikliği sonucu mülklerin atıksu arıtma tesisleri ve katı atık depolama tesislerinin yakınlarına inşa edilmesi ve hayvancılık sektöründe artışların meydana gelmesi sonucu koku problemleri şikayet konusu olmuştur (Mahin, 2003).

Günümüzde Amerika Birleşik Devletleri'nde 1970 yılında yayımlanan Çevre Koruma Yasası ile birlikte kokuda dahil olmak üzere hava kirleticilerini kontrol altına alınmaktadır. Yasanın 41. bölümünde, işletmenin havayı güvensiz ve kötü kokulu hale gelecek şekilde kirletmemeleri gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca Devlet Çevre Koruma Politikası (Hava Kalitesi Yönetimi) da koku kirliliğine yönelik önlemler içermektedir. Devlet Çevre Koruma Politikası koku ile ilgili olarak, işletmelerin yasal sorumluluklarını, koku azaltma yöntemlerini, önerilen veya standart koku limitlerini içermektedir. İşletmelerde koku limitleri aşılırsa, kokunun nasıl oluştuğu, ne kadar sürdüğü ve ne derecede güçlü olduğuna dair risk değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir (URL-10).

Amerika Birleşik Devletleri'nde kokuları düzenlemek için eyaletlerin farklı yaklaşımlarını bulunmaktadır. Yaklaşık 10 eyalet seyreltme/eşik seviyesi (D/T) ilkesini kullanarak kokuları düzenlemektedir (Tablo 1.3). Örneğin, Colorado Hava Kalitesi Kontrol Komisyonu'na göre izin verilen maksimum koku konsantrasyonları konut veya ticari olarak kullanılan alanlarda 7 D/T, diğer alanlarda 15 D/T olarak belirlenmiştir (Brancher ve diğ., 2017).

Farklı bir yaklaşım olarak atıksu arıtma tesislerinde ve hayvancılık sektörlerinde kokuya sebep olan hidrojen sülfür gibi bileşikler için eyaletlerin ayrı ayrı belirlediği ortam havası sınır değerleri (Tablo 1.4) bulunmaktadır (Mahin, 2003).

Tablo 1.3. Kullanılan KB/m^3 (D/T) limitlerine örnekler

Lokasyon	Tesis Dışı Sınır Değer	Ortalama Süre
Allegheny County Atıksu Arıtma Tesisi	4 D/T	2 dakika
San Francisco Körfezi Bölgesi Hava Kalitesi	5 D/T	90 gün içinde en az 10 şikayetten sonra başvurulur.
Colorado	7 D/T	-
Connecticut	7 D/T	-
Massachusetts	5 D/T	-
New Jersey	5 D/T	5 dakika ya da daha az
North Dakota	2 D/T	-
Oregon	1-2 D/T	15 dakika
Oakland, CA	50 D/T	3 dakika
San Diego Atıksu Arıtma Tesisi	5 D/T	5 dakika
Seattle Atıksu Arıtma Tesisi	5 D/T	5 dakika

Tablo 1.4. Kokuya neden olan bileşikler için ortam standartlarına örnekler

Lokasyon	Bileşik	Ortam Kokusu Standardı
California	Hidrojen sülfür	30 ppbv* (1 sa. ortalama)
Connecticut	Hidrojen sülfür Metil merkaptan	6,3 ug/m^3 2,2 ug/m^3
Idaho	Hidrojen sülfür	10 ppbv (24 sa. ortalama) 30 ppbv (30 dk. ortalama)
Minnesota	Hidrojen sülfür	30 ppbv (30 dk. ortalama)** 50 ppbv (30 dk. ortalama)***
Nebraska	Toplam indirgenmiş sülfür	100 ppb (30 dk. ortalama)
New Mexico	Hidrojen sülfür	10 ppbv (1 sa. ortalama) 100 ppbv (30 dk. ortalama)
New York State	Hidrojen sülfür	10 ppbv (14 ug/m^3) (1 sa. ortalama)
New York City	Hidrojen sülfür	1 ppbv (atıksu arıtma tesisleri için)
North Dakota	Hidrojen sülfür	50 ppbv (anlık, 15 dk. içinde iki okuma)
Pennsylvania	Hidrojen sülfür	100 ppbv (1 sa. ortalama) 5 ppbv (24 sa. ortalama)
Texas	Hidrojen sülfür	80 ppbv (30 dk. ortalama) - konut / ticari 120 ppbv - endüstriyel, boş veya menzil arazileri

* hacimce milyar başına parça
** 5 günlük bir süre içinde 2 günden fazla aşılmamalıdır.
*** yılda 2 defadan fazla aşılmamalıdır.

Kanada'da koku kontrolü ulusal olarak tek bir düzenleme ile değil, illere ve bölgelere ayrılarak düzenlenmektedir. Alberta, Newfoundland ve Labrador, Britanya Kolombiyası gibi bölgelerde dispersiyon modelleri ile hesaplanan ortam havası koku konsantrasyonları serisine dayanan sabit bir koku etki değeri belirlenmemiştir; koku genellikle Rahatsızlık Yasası ilkeleri tarafından düzenlenmektedir. Bazı eyaletler kokuya sebep olan NH_3 ve H_2S gibi bileşikler için rahatsızlıkları önlemek adına mesafe ve limit değerleri gibi hava kalitesi standartlarını düzenlemelerine konu almışlardır (Brancher ve diğ., 2017).

Kanada'da koku konsantrasyonlarına yönelik sınır değerlerine sahip tek yetki alanı Ontario ve Manitoba eyaletleridir. Ontario'da, tesisin işletilmesi aşamasında kaynaklanan kokudan en çok etkilenen alıcıdaki 10 dakikalık ortalama koku konsantrasyonunun 1 KB değerini geçmemesini öneren bir kılavuz bulunmaktadır. Manitoba'da ise istenilen maksimum koku seviyesi 1 KB'den düşüktür.

Fakat yerleşim yerlerinde 2 KB, endüstriyel bölgelerde 7 KB kabul edilebilmektedir (Engeneers, 2005). Manitoba ve Ontario'da koku ölçümleri emisyon kaynağında gerçekleştirilmektedir. Ölçümler genellikle, EN 13725:2003 ve ASTM E679-04 standartları kullanılarak dinamik olfaktometri yöntemi ile analiz edilmektedir (Brancher ve diğ., 2017).

Ontario, koku bazlı çarpışma noktası (point of impingement-POI) standartları, yönergeleri ve Ortam Hava Kalitesi Kriterleri (AAQC) ile yönetilen bir kimyasal listesine sahiptir. Kokularının kriterlerine ilişkin ortalama değerlendirme süreleri 10 dakika, 30 dakika, 1 saat ve 24 saat olarak belirlenmiştir. Bileşiklerinin bir kısmının standart koku konsantrasyon değerleri ile birlikte Tablo 1.5'te verilmiştir (Engeneers, 2005).

Tablo 1.5. Belirli bileşikler için koku bazlı konsantrasyon kriterleri

Bileşik	Standart değer	Ortalama süre	Düzenleme
Asetik Asit	2,500 $\mu g/m^3$	30 dakika	POI standardı
	2,500 $\mu g/m^3$	24 saat	AAQC
Aseton	48,000 $\mu g/m^3$	30 dakika	POI standardı
	48,000 $\mu g/m^3$	24 saat	AAQC
Asetilen	56,000 $\mu g/m^3$	30 dakika	POI standardı
	56,000 $\mu g/m^3$	24 saat	AAQC

Tablo 1.5. (Devam) Belirli bileşikler için koku bazlı konsantrasyon kriterleri

Bileşik	Standart değer	Ortalama süre	Düzenleme
Amonyak	3,600 μg/m^3	24 saat	POI standardı
Dimetil disulfit	40 μg/m^3	30 dakika	POI standardı
	41 μg/m^3	1 saat	AAQC
Etilbenzen	1,900 μg/m^3	10 dakika	AAQC
Formaldehit	65 μg/m^3	30 dakika	POI standardı
Hidrojen sülfür	30 μg/m^3	30 dakika	POI standardı
	30 μg/m^3	1 saat	AAQC
İzobütanol	1,940 μg/m^3	30 dakika	POI yönergesi
	655 μg/m^3	24 saat	AAQC
	2,640 μg/m^3	10 dakika	AAQC
Merkaptan	20 μg/m^3	30 dakika	POI standardı
	20 μg/m^3	1 saat	AAQC
Propiyonik Asit	100 μg/m^3	30 dakika	POI yönergesi
	100 μg/m^3	1 saat	AAQC
Toluen	2,000 μg/m^3	30 dakika	POI standardı
	2,000 μg/m^3	24 saat	AAQC

1.4.3. Asya ülkelerinde koku kirliliği kontrolü

Endüstriyel gelişmeler ile birlikte 1970'lerde Japonya'da hava kirliliği, gürültü kirliliği ve kötü kokular gibi çevre kirliliklerine yönelik şikayetler artmıştır. Kötü kokulara karşı gerekli önlemleri almak adına, 1972 yılında "Kötü Koku Kontrol Kanunu" çıkarılarak ticari faaliyetlerden kaynaklanan kokular düzenlenmiştir. Zamanla kanun kapsamında alınan önlemler ile birlikte azalan şikayetler, insanların günlük hayattaki kokulara karşı duyarlı hale gelmesi sebebiyle 1990 yılından sonra artmıştır. Kanunun amacı, kötü kokuları insanları rahatsız etmeyecek seviyeye kadar azaltarak çevre ve insan sağlığının korunmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, ticari faaliyetlerden kaynaklanan rahatsız edici kokulara karşı düzenleyici önlemler alınmakta ve günlük hayattaki rahatsız edici kokulara karşı önleyici tedbirlere teşvik edilmektedir.

Kötü Koku Kontrol Kanunu'na göre belirlenen alanlarda bulunan ticari faaliyetlerden kaynaklanan kokular ceza düzeninde kontrol altına alınmaktadır. Kokunun sağlığa zarar vermekten çok duyusal bir rahatsızlık vermesi sebebiyle sadece belirlenen alanlardaki kokulara sebep olan tesislerde önlemler alınmaktadır. Belirli alanlar

dışındaki bölgelerdeki tesislerden kaynaklanan koku emisyonlarının düzenlenmesine gerek duyulmamaktadır (The Offensive Odor Control Law in Japan, 1995). Belirlenen bölgelerdeki tesisler, havalandırma veya egzoz bacalarından çıkan gazların oluşturduğu kokular, atıksu çıkışlarından kaynaklanan kokular ve işletme sahaları içerisinde oluşan kokular için üç ayrı düzenleme standardını uygulamakla yükümlüdürler (Segawa, 2004).

Japonya'da kötü kokular için bir çok çalışma yapılarak, her bir kaynaktaki koku emisyonunun özellikleri ve emisyon kaynağı için yeterli koku giderici yöntemler geliştirilmiştir. Araştırma ve geliştirmeler, düşük maliyetli yüksek koku giderici yöntemlere yönelmiştir. Küçük ölçekli fabrika ve restoranlar için daha basit sistemler geliştirilmiştir. Koku oluşum mekanizması hammadde ve üretim işlemi olarak ayrı ayrı değerlendirilerek, koku giderim sisteminin planlanmasından önce depolama ve işletme koşulları iyileştirilmektedir (Fukuyama, 2004).

Kanuna göre koku kirliliğini düzenleyecek işletme, coğrafi ve demografik koşullarına bağlı olarak kötü kokulu bileşiklerin konsantrasyonu ve koku indeksi olmak üzere iki farklı yöntemi seçebilmektedir. Kötü Kokuların Kontrolü Kanunu'na göre belirlenen, kokuya sebep olabilecek 22 madde Tablo 1.6'da yer alan konsantrasyon sınır değerlerini sağlamak durumundadır.

Tablo 1.6. Japonya'da belirlenen maddelerin sınır konsantrasyonları

Bileşikler	Konsantrasyon (ppm)
Amonyak	1-5
Metil merkaptan	0.002-0.01
Hidrojen sülfür	0.02-0.2
Dimetil sülfit	0.01-0.2
Dimetil disülfür	0.009-0.1
Trimetilamin	0.005-0.07
Asetaldehit	0.05-0.5
Propionaldehit	0.05-0.5
Bütiraldehit	0.009-0.08
İzobütiraldehid	0.003-0.01
Pentanal	0.9-20
İzovaleraldehid	0.003-0.01
İzobütanol	0.09-20

Tablo 1.6. (Devam) Japonya'da belirlenen maddelerin sınır konsantrasyonları

Bileşikler	Konsantrasyon (ppm)
Etil asetat	3-20
Metil izobütil keton	1-6
Toluen	10-60
Stiren	0.4-2
Ksilen	1-5
Propiyonik asit	0.03-0.2
Bütirik asit	0.001-0.006
Valerik asit	0.0009-0.004
İzovalerik asit	0.001-0.01

Bir diğer yöntem olan koku indeksi kullanan işletmeler ise (1.13) numaralı formül ile kokuların yoğunluğunu hesaplanmaktadırlar. Yerel yönetimlerin belirlediği standart değerlere göre işletmenin koku indeksi 10-21 değer aralığında olmalıdır (The Offensive Odor Control Law in Japan, 1995).

Koku indeksi=10 log (koku konsantrasyonu) (1.13)

1972 yılında yayınlanan kanuna göre koku ölçümü gaz kromatografisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Koku şikayetlerin artması sonrasında yapılan iyileştirme çalıştırmaları sonucu 1995 yılında "Üçlü Koku Kontrol Torbası Yöntemi" uygulamaya kullanılarak işletmelerden bu yöntem ile koku indeksini belirlemeleri istenmiştir. Üçlü koku torbası yöntemi Kötü Koku Kontrol Kanunu'nda olfaktometri standardı olarak benimsenmektedir (Ueno ve diğ., 2006).

Ölçümler akredite kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Üçlü koku kontrol torbası yönteminde, ölçüm panelinde görev alan altı veya daha fazla paneliste bir kokulu iki kokusuz olmak üzere üç adet numune torbası verilerek panelistin kokulu torbayı seçmesi istenmektedir.

Koku yavaş yavaş seyreltilerek, kokulu torbanın ayırt edilemeyeceği seviyeye kadar ölçüm devam etmektedir. Koku indeksi, panelin artık doğru torbayı söyleyemediği seyreltme oranı ile hesaplanmaktadır (Segawa, 2004).

Koku indeksi=10 log (seyreltme oranı) (1.14)

Japon olfaktometri standardı Avrupa'da uygulanan standart ile karşılaştırıldığında koku koklama şartları ve panelist seçimi aşamalarında farklılıklar göstermektedir. Japonya'da Avrupa'nın aksine numune koku olfaktometre cihazındaki portlardan değil numune torbalarından koklanmaktadır. Ayrıca panelistler n-butanol ile değil, beş standart koku verici numune ile test edilerek belirlenmektedir (Ueno ve diğ., 2006).

Güney Kore'de rahatsız edici kokuların sebep olduğu koku kirliliği duyusal kirlilik olarak sınıflandırılmaktadır. Japonya'dan sonra sanayileşen Kore yarımadasının güney sahilinde bulunan Ulsan ve Yeocheon gibi ağır sanayilerin bulunduğu alanda ağır koku şikayetleri sosyal bir sorun haline gelmiştir. 1993 yılında Kore, tesis sınırları içerisinde oluşan kötü kokuların konsantrasyon sınırını Japonya Kötü Koku Kontrol Kanunu'na benzer şekilde kabul etmiştir (Yang, 2004).

Günümüzde Kore'de ticari faaliyetlerden kaynaklanan rahatsız edici kokuların kontrolü, Kore Çevre Bakanlığı tarafından 2004 yılında uygulamaya alınan Kötü Koku Önleme Yasası ile sağlanmaktadır. Yasaya göre Japonya'da olduğu gibi 22 madde kötü kokulu olarak belirlenmiştir (Lee ve diğ., 2013). Kokuya sebep olabilecek 22 madde, indirgenmiş sülfür bileşikleri, karboniller, azotlu bileşikler ve uçucu yağ asitleri olmak üzere beş gruba ayrılarak değerlendirilebilmektedir. Söz konusu maddelerin yasaya göre kimyasal analizleri sonucu izin verilen konsantrasyon sınır değerleri Tablo1.7'de verilmiştir (Kim ve Kim, 2014).

Tablo 1.7. Kore'de belirlenen maddelerin sınır konsantrasyonları

Bileşikler	Konsantrasyon (ppm)
Hidrojen sülfür	20
Metanetiol	2
Dimetil sülfit	10
Dimetil disülfür	9
Asetaldehit	50
Propionaldehit	100
Bütiraldehit	100
İzovaleraldehid	6
Pentanal	20
Amonyak	1000
Trimetilamin	20
Stiren	400
Toluen	10000
m-Ksilen	1000
P-Ksilen	1000

Tablo 1.7. (Devam) Kore'de belirlenen maddelerin sınır konsantrasyonları

Bileşikler	Konsantrasyon (ppm)
O-Ksilen	1000
Metil Etil Keton	13000
Metil izobütil keton	1000
Butil Asetat	1000
İzobütanol	900
Propiyonik asit	30
Bütirik asit	1
İzovalerik asit	1
Valerik asit	0.9

Ayrıca koku ölçümlerinde hava seyreltme duyusal testi de (ADS) yasaya göre belirlenen standart ile uygulanmaktadır. ADS testi, Kötü Koku Kontrol Yasası'na göre belirli bir koku örneği için koku indeksi değerlerinin geometrik olarak türetildiği bir eşik olfaktometrisi olarak kabul edilmektedir. Japonya'da uygulanan üçlü koku torbası yönteminden geliştirilen KMOE yöntemi günümüzde Kore'de ana test yöntemi olarak kullanılmaktadır. Test dört standart koku ile belirlenen beş panelistten oluşan bir panel ile gerçekleştirilmektedir. Her numune panelistlere sunularak, evet/hayır görüşlerinin kombinasyonu ile seyreltme-eşik (D/T) oranının elde edilmesi ile sonuçlanmaktadır (Kim ve Kim, 2014). Kokulu madde çıkışlarında (baca dahil) maksimum emisyon standardı, sanayi bölgelerindeki tesisler için 1000 D/T, diğer alanlardaki tesisler için 500 D/T olarak sınırlandırılmaktadır (Brancher ve diğ., 2017).

Günümüzde Çin'de, rahatsız eden kokular Çevre Koruma Bakanlığı (MEP) tarafından yayımlanan Ortam Havası Kalitesi Standartları (GB 3095-2012) kapsamında değerlendirilmemektedir. Kokular GB 14554-93 Koku Kirleticileri için Emisyon Standartları ile kontrol altına alınmaktadır. Standartta 8 adet kokuya sebep olan kirletici (amonyak, trimetilamin, hidrojen sülfür, metil merkaptan, dimetil sülfür, dimetil disülfür, karbon disülfür ve karbon disülfür) için emisyon standartları belirtilmektedir (Brancher ve diğ., 2017). Mevcut standartta belirtilen kokulu kirleticilerin bir defalık emisyonu için izin verilen maksimum limitleri ve farklı zaman dilimlerinde oluşacak kokuların fabrika sınırı konsantrasyon limitleri bulunmaktadır. Standart inşaat projelerinin çevre koruma tesislerinin yanı sıra, inşaat sonrasında emisyon yönetiminin tasarlanması süreçlerinde tüm işletmeler ve düzenli depolama tesisleri için geçerlidir (URL-8). 15 metre yüksekliğindeki koku kaynakları için emisyon standartları uygulanmaktadır. Daha düşük yükseklikteki kaynaklar ise üç

sınıfa ayrılarak değerlendirilmektedir. Sınıf 1 milli parklar ve tarihi yerler gibi özel koruma bölgelerini, sınıf 2 konut ve karma alanları, sınıf 3 ise özel endüstriyel alanları kapsamaktadır. Sınıf 1 olan alanlarda imisyon sınır değeri 10 iken, sınıf 2 olarak değerlendirilen alanlar yeni kuruluyor ise imisyon değeri 20, yeniden inşa ediliyorsa 30 olarak sınırlandırılmıştır. Sınıf 3 olan endüstriyel bölgelerde ise tesisin yeni kurulumu için imisyon sınır değeri 60, yeniden inşa veya büyüme aşamalarında 70 olarak belirlenmiştir (Brancher ve diğ., 2017).

GB 14554-93 standardında koku konsantrasyonu birimi boyutsuz olarak tanımlanmaktadır. Standartta koku ölçümü olarak, üçlü koku torbası yöntemi önerilmektedir. GB/T14675-93 Üçlü Koku Torbası Yöntemi standardı ile gerçekleştirilen ölçümlerde sertifikalı panelistler ve panel yöneticileri görev almaktadır (Shi, 2004). Standart, koku kirliliğine sebep olan kaynaklardan ve ortam havasından alınan örneklerin insan koku alma yöntemi ile belirlenmesini sağlamaktadır. Standarda göre örnekler, bir çeşit kötü koku maddesi veya ikiden fazla çeşit koku maddesini içeren bileşik koku örnekleri olabilmektedir. Yöntem, koku maddesi türlerinin sayısı, konsantrasyon kapsamı ve içerdiği maddelerin oranı ile sınırlı değildir (URL-9).

1.4.4. Türkiye'de koku kirliliği kontrolü

Ülkemizde Avrupa Birliği'ne uyum aşamalarında koku kirliliği ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu, son hali Resmi Gazete'de 2013 yılında yayımlanan 'Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik' yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. İlgili yönetmelik kokuya sebep olan emisyonların kontrolüne ve azaltılmasına yönelik idari ve teknik esasları düzenlemek amacıyla yayımlanmıştır.

Çevre Kanunu'nca alınması gereken izin ve lisanslar hakkındaki yönetmelikte Ek-1 ve Ek-2 listesinde belirtilen faaliyetler ve tesisler, Çevresel Etki Değerlendirme Mevzuatı, Çevre Denetim Mevzuatı ve şikayetlerin değerlendirmesi kapsamında, koku emisyonu sınır değerini aşmamak amacı ile yönetmeliğin belirlediği koku giderim tekniklerini gerekli ise kullanmak ve belirlenen önlemleri almakla yükümlüdür.

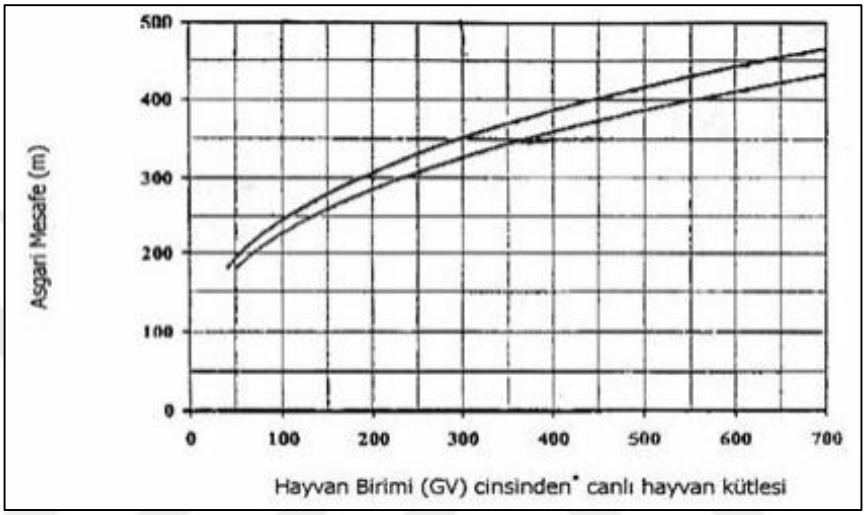
Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmeliği'ne göre tesisler için koku emisyon sınır değeri 1000 KB/m^3'tür. Şikayete sebep olması nedeniyle ölçüm yaptırması gereken işletmelerdeki kokuya sebep olabilecek kaynak veya kaynaklardan, tesisisin çalıştığı süre zarfında ulusal ve uluslararası standartlara uyarak üç kokulu gaz numunesi alınmalıdır. Bu numuneler yönetmelikte de belirtildiği üzere bakanlığın belirlediği kurumlarda olfaktometrik olarak ölçülmelidir. Ölçüm sonuçları yönetmelikte Ek-3'te bulunan ölçüm raporuna uygun olarak raporlanmalıdır.

Ölçüm sonuçlarına göre koku emisyon değeri 1000 KB/m^3'ün altında ise, işletmenin koku giderimi ve azaltımı için herhangi bir teknik uygulamasına gerek yoktur. Ölçüm değeri 1000-10.000 KB/m^3 arasında ise işletmeye koku kontrol/ek koku kontrol tedbiri alınması için yapılacak çalışmaları içeren ilgili raporun yetkili kuruma sunulması için süre verilmektedir. Bu süre zarfında işletme koku emisyon değerini 1000 KB/m^3'ün altına düşürecek çalışmalar yapmalıdır. Eğer koku değeri 10.000 KB/m^3'ün üzerinde ise işletmeye idari yaptırım uygulanır ve koku emisyon değerini düşürmek amacıyla çalışmalar yapması için süre verilmektedir. Tesisten kaynaklanan koku emisyonunun hedonik tonu olumlu ise, yani hoş bir koku ise sınır değer iki ile çarpılmaktadır.

Koku şikayetine neden olan işletmeler önlem aldıktan sonra tekrar koku ölçümü yaptırmak zorundadır. Alınan önlemler sonucu işletmeler, tekrar şikayet olması durumunda ek tedbirler ile koku azaltım sistemlerini iyileştirmeleri beklenmektedir.

Koku sınır değerine ek olarak yönetmelikte spesifik olarak belirlenen tesisler bir takım esaslara uymak zorundadırlar. Kesimhaneler, kümes ve ahırlar, düzenli depolama tesisleri, hayvan yağlarının eritildiği tesisler, et ve balık ürünlerinin tütsülendiği tesisler, jelatin, post tutkalı, deri tutkalı veya kemik tutkalı üreten tesisler ve gübre kurutma tesisleri olmak üzere yedi bölümde değerlendirilen sektörler yönetmelikte belirtilen şartları sağlamakla yükümlüdürler. Yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden sonraki tarihlerde yapılan kesimhanelerin mevcut veya planlanan yerleşim yerlerine uzaklıklarının en az 500 metre olması gerekmektedir. Eğer yüksek kokulu gaz filtre edilebiliyorsa asgari değerin altına düşülebilmektedir. Koku oluşturabilecek kesimhane yan ürünleri soğuk ortamda, kapalı konteyner veya odalar içerisinde depolanmalıdır. Eğer tesiste hayvansal yan ürünler veya artıkları işlenerek depolanıyorsa, oluşan kokulu gazlar toplanarak arıtma sistemi uygulanmalıdır.

Yönetmelik tarihinden sonra kurulan kümes ve ahırların yerleşim yerlerine olan uzaklığı, herhangi bir atık gaz giderim sistemi kullanılmıyorsa asgari mesafe eğrisinin (Şekil 1.13) altında olamaz. Ayrıca tesiste tam temizlik ve kuruluk sağlanmalı, koku giderme ünitelerine sahip havalandırma sistemi bulunmalı, katı dışkılar için sızdırmaz bir depolama alanı yapılmalıdır. Sıvı dışkılar, koku sızdırmayan kanallardan geçirilerek ahırların dışında, kapalı konteynerlerde depolanmalıdır.



Şekil 1.13. Ahır ve kümeslerin asgari mesafe eğrisi

Canlı hayvan kütlesinin 0-50 GV arasında olan tesisler için asgari mesafe şartı aranmamaktadır. Hayvan yeri sayısını canlı hayvan kütlesine dönüştürme faktörleri (Tablo 1.8) kullanılarak ortalama münferit hayvan kütlesi hesaplanmalıdır.

Tablo 1.8. Hayvan yeri sayısını hayvan kütlesine dönüştürme faktörleri

Hayvan Cinsi	Ortalama Münferit Hayvan Kütlesi
Büyükbaş/Küçükbaş Hayvanlar	
Yüklü ya da yüksüz dişi	0,30
10 kg'a kadar yavrulu dişi	0,40
Yetiştirilen yavru (25 kg'a kadar)	0,03
Genç dişi (90 kg'a kadar)	0,12
Besi hayvanları (110 kg'a kadar)	0,13
Besi hayvanları (120 kg'a kadar)	0,15
Kümes Hayvanları	
Yumurtlayan kümes hayvanları	0,0034
Genç kümes hayvanları (18. Haftaya kadar)	0,0014
35 güne kadar besi piliçleri	0,0015
49 güne kadar besi piliçleri	0,0024
Yetiştirilen pekin ördekleri(3. Haftaya kadar)	0,0013

Tablo 1.8. (Devam) Hayvan yeri sayısını hayvan kütlesine dönüştürme faktörleri

Hayvan Cinsi	Ortalama Münferit Hayvan Kütlesi
Kümes Hayvanları	
Besi pekin ördekleri (7. haftaya kadar)	0,0038
Yetiştirilen uçan ördek (3. Haftaya kadar)	0,0012
Besi uçan ördeği (10. Haftaya kadar)	0,0050
Yetiştirilen hindi (6. Haftaya kadar)	0,0022
Besi hindisi, dişi kanatlılar (16. haftaya kadar)	0,0125
Besi hindisi, erkek kanatlılar (21. haftaya kadar)	0,0222

Düzenli depolama tesislerinde kokuyu azaltmak için depolanan atıkların üzerine günlük ara örtü tabakası yerleştirilmelidir. Biyobozunur atıkları kabul eden tesislerin düzenli depolama tesislerinde gaz toplama sistemi kurularak, elde edilen depo gazı enerji üretiminde kullanılmalıdır (KOEKHY, 2013).

1.5. Literatür Araştırması

1.5.1. Türkiye'de koku kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar

Türkiye'de koku kirliliği ile ilgili yapılan çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalarda genellikle olfaktometrik ve analitik ölçümler yapılmış ve koku giderim yöntemleri araştırılmıştır. Kokunun bölgede dağılımını incelemek adına modelleme ve anket çalışmalarının yapıldığı kısıtlı çalışma bulunmaktadır. Konu ile ilgili yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları yapılmıştır.

Ülkemizde koku kirliliğine yönelik herhangi bir yönetmelik ve standart bulunmuyorken, Güvener'in (2004) gerçekleştirdiği tez çalışması konu ile ilgili ilk çalışmalardan biri olup kokunun ülkemizde hava kalitesi standartlarında değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Güvener'in Ankara'da gerçekleştirdiği çalışmada koku emisyon ve imisyonları Orta Doğu Teknik Üniversitesi Koku Laboratuvarı'nda bulunan olfaktometre ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı endüstrilerden alınan koku emisyonlarının T07 model olfaktometre ile konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca bir şeker fabrikasının sebep olduğu kokulu imisyonların konsantrasyonları hesaplanarak, fabrika etrafında bir koruma sınırının olması gerektiği belirlenmiştir. Çalışmada kokuya sebep olduğu düşünülen dökümhane ve demircilik, boya üretimi, cam ve taş yünü üretimi, katı atık depolama alanı ve kümes hayvanları endüstrilerinden alınan numunelerin koku konsantrasyon

aralıkları; 25 – 45.000 KB/m^3 olarak belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre katı atık depolama alanlarının koku konsantrasyonları en yüksek değerlere sahiptir. Şeker fabrikasının çevresinde ise, farklı noktalarda 1 yıl boyunca yapılan ölçümlerde kokulu zamanlar belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına bağlı olarak Ocak-Haziran arasındaki kokulu zamanların Temmuz-Aralık dönemlerine oranla çok daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye'de de bir koku yönetmeliği olması gerektiği vurgulanmış ve öncelikle emisyon sınır limitinin belirlenmesi önerilmiştir. Farklı ülkelerin yönetmelikleri incelenerek, olası koku emisyonu konsantrasyon limitinin 1000 KB/m^3 olması, kokulu saatlerin ise yerleşim yerleri için %20, sanayi bölgeleri için %30 ile sınırlandırılması önerilmiştir. Ayrıca bölgedeki insanların kokudan rahatsız olmasını engellemek amacıyla, şeker üretim tesislerinin yerleşim yerlerine en az 1,5 km uzaklıkta olması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca uygun bir modelleme programı vasıtasıyla kokunun birçok senaryo ile dağılımın izlenebileceği ve tesis kurulum öncesi tesisin bölgeye etkisi belirlenerek uygun olmayan bir tesisin inşa aşaması maliyetinin ve halkın tepkisinin önüne geçilebileceği belirtilmiştir.

Dinçer (2007) tarafından yapılan çalışmada ise atık depolama alanı, et üretim tesisi ve petrokimya üretim tesislerindeki farklı ünitelerden alınan kokulu numunelerin olfaktometre ile koku konsantrasyonları belirlenmiştir. Kokulu gazların GC-MS yöntemi ile analiz edilmesi kokuyu oluşturan maddelerin belirlenmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca yerleşim ve sanayi bölgesinden alınan numuneler ile de karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada ölçümler yılın farklı dönemleri olmak üzere 3 ayrı dönemde tamamlanmıştır. Ölçüm sonuçlarına bağlı olarak özellikle arıtma tesisleri ve atık depolama alanlarından kaynaklanan kokuların konsantrasyonları çevredeki vatandaşları rahatsız edecek kadar yüksek bulunmuştur. Bölgede kokuya katkı sağlayan bileşikler incelendiğinde propanol ve aldehitler koku eşikleri düşük olduğundan, kokuya en çok sebep olan bileşikler olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın en önemli sonuçlarından biri, atıksu arıtma tesislerinde kokuya H_2S dışında farklı bileşiklerinde sebep olduğunun belirlenmesidir. Arıtmanın ilk aşamalarında propanal, dekanal ve monoaromatikler vb. bileşikler, ilerleyen aşamalarda ise karbonil ve toluen gibi bileşiklerin kokuya sebep olduğu gözlenmiştir.

Atıksu arıtma tesislerinin genel problemlerinden bir tanesi de koku sorunu olduğundan, arıtma tesislerinde de çok fazla çalışma yapılmıştır. Ölmez'in (2008) çalışmasında atıksu arıtma tesislerinde ozonlama ve kimyasal yıkama ile koku kontrolü üzerine pilot tesis çalışması yapılmıştır. Çalışma mevcut atıksu arıtma tesislerinin işletme parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada koku giderim teknikleri karşılaştırılmış, ozonlama ve kostikle yıkama detaylı olarak incelenmiştir. Pilot tesiste proses olarak ozonlama ve kimyasal yıkama kullanılmış ve yapılan deneysel çalışmalarla, arıtma tesislerinde kokuya en çok sebep olan bileşik olan H_2S'in kostik ve ozon kullanımı ile yüksek oranda giderimi sağlanmıştır.

Akmırza (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise bir sektöre ait koku emisyonları hedef alınarak, gıda endüstrisi kaynaklı koku emisyonlarının kontrolünün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ilk olarak literatür araştırması ile gıda endüstrisinden kaynaklanan koku emisyonlarının karakterleri ve koku eşik seviyeleri belirlenmiştir. Daha sonrasında farklı senaryolar kullanılarak AERMOD modelleme programı ile bölgedeki kokunun dağılımı modellenmiştir. Model çıktılarına bağlı olarak kokunun yoğun olduğu bölgelere yönelik kokunun giderilmesi için kontrol yöntemleri belirlenmiştir. Kokuya en fazla sebep olan sektörlerden biri olan gıda endüstrisinde maya alt sektörü, fermantasyon prosesinden dolayı koku rahatsızlığına sebep olabilmektedir. Söz konusu çalışma baz aldığı sektör açısından oldukça faydalı bir kaynaktır. Literatür çalışmaları sonucu maya sektöründe kokuya sebep olan kirleticiler etanol ve asetaldehitin çevre havasında dağılımı kentsel alan senaryosu, kırsal alan senaryosu ve ileriki dönemlerde emisyonun iki katına çıkması senaryosu olmak üzere 3 farklı senaryo modellemesi yapılmıştır. Model çıktıları incelendiğinde koku probleminin tesise yakın bölgelerde eşik seviyesinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Koku giderim sistemleri hakkında yapılan incelemeler sonucunda, uygun maliyetli ve çevreci olması açısından biyofiltre sistemlerinin yoğun bölgelerdeki koku problemini çözeceği kanısına varılmıştır. Aynı zamanda biyofiltre sisteminin biyo yıkayıcı sistemlerle desteklenerek kullanılması, kokulu emisyonların 2 katına çıkması durumunda daha verimli olacağı düşünülmektedir.

Gıda sektöründen kaynaklanan kokulu emisyonlar yoğun rahatsızlık vermesi açısından en çok çalışılan konulardandır. Güler (2015) tarafından gıda ve organik kimya sektörlerinden kaynaklanan koku emisyonlarının karakterizasyonu çalışmasında

pompa sistemi ile sorbent tüplere proses kaynağından alınan koku numuneleri, TD/GC/MS sisteminde analiz edilmiştir. Çalışmada gıda sektörü numuneleri için farklı sorbent türleri detaylı incelenerek en verimli olması açısından multisorbet tüpler kullanılmıştır. Kokunun subjektif algısının belirlenmesi için ECOMA TO8 olfaktometre cihazı kullanılarak, EN13725:2004 Hava Kalitesi – Dinamik Olfaktometre ile Koku Derişimin Tayin metodu ile analiz gerçekleştirilmiştir. Organik kimya sektörü numuneleri için yerli olarak üretilen sorbentler kullanılmıştır. Analizler sonucu analitik ve olfaktometrik sonuçlar karşılaştırılarak aralarında bir bağ olduğu tespit edilmiştir. Gıda sektöründen alınan numunelerin analitik ölçümleri sonucunda 130 mg/m^3'lük emisyonun atmosfere salındığı belirlenmiştir. Fakat atmosfere salınan emisyon, fermantörün 17 saatlik çalışması boyunca herhangi bir saatte oluşmaktadır. Bu sebeple örneklemenin 17 saat boyunca her saat başı numune alınacak şekilde devam etmesi uygun görülmüştür. Fermantasyon prosesinin 10. saati itibariyle değerlerde ciddi bir düşüş tespit edilmiştir. Organik kimya sektöründe ise kokuya sebep olan emisyonların boru hatlarındaki kaçaklardan oluştuğu düşünülerek yapılan analizler sonucu, tesiste saatte 44-48 mg/m^3'lük trimetilamin emisyonu oluştuğu tespit edilmiştir. Yine yapılan olfaktometrik ölçümlerin analitik ölçümlerle örtüştüğü tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda koku kontrolü için biyolojik koku giderim yöntemlerinin kullanılabileceği önerilmiştir.

Yılmaz (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da gıda endüstrisinin maya alt sektöründeki kokulu emisyonlar incelenmiş olup biyofiltre sistemi ile giderimi araştırılmıştır. Sorbent tüplere alınan numuneler TD-GC/MS cihazı ile analiz edilmiştir. Ayrıca akredite bir laboratuvar tarafından ECOMA TO8 olfaktometrede yapılan olfaktometrik ölçümler ile koku konsantrasyonu yönetmelik şartlarına göre oldukça yüksek (40.000 KB/m^3) çıkmıştır. Tesisten kaynaklanan kokulu emisyonların giderimi için pilot bir biyofiltre sistemi tasarlanarak işletmeye alınmıştır. Biyofiltrenin performansı üzerine çalışılmış, %90-96 arası giderim verimi elde edilmiştir.

Doğruparmak ve diğ. (2018) tarafından ise bir atık yakma tesisinden kaynaklanan koku emisyonlarının dağılımı CALPUFF modelleme programı ile modellenerek bölgedeki koku sorunu incelenmiştir. Modelde gözlenen ve tahmin edilen değerlerin analizleri ise farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirildiğinde model performansının tüm noktalar için kabul edilebilir olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Gözlemlenen değerlerin öngörülen değerlerden düşük olmasının sebebi, ölçüm günlerindeki hava koşullarına bağlı olarak rüzgarın kokuyu dağıtması olarak tahmin edilmiştir. Öngörülen değerlerin üzerinde gözlemlenen ölçüm sonuçlarının ise, tesis çevresindeki farklı endüstrilerden kaynaklanan kokulu emisyonların katkısı sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Model çıktılarına göre kokudan rahatsız olan bölgelerin birincil yerleşim yerleri değil, daha az nüfus yoğunluğuna sahip bölgeler olduğu görülmüştür.

Ulutaş (2017) tarafından yapılan araştırma, koku kirliliğine en fazla sebep olan bir diğer sektör olan atıksu arıtma tesislerine yöneliktir. Atıksu arıtma tesislerinin gerekliliklerinden ve çevresinde ikamet eden insanlara verdiği koku rahatsızlığından dolayı incelenmesi gereken önemli bir konudur. Çalışma kapsamında belirlenen atıksu arıtma tesisinin tüm ünitelerinden alınan numuneler analitik ve olfaktometrik olarak analiz edilmiştir. Ayrıca atıksu arıtma tesislerinin çevresinde ikamet eden insanların kokudan rahatsızlıklarını tespit edebilmek amacıyla anket çalışması gerçekleştirilmiştir. AERMOD modelleme programı ile koku modellenerek bölgedeki dağılımı incelenmiştir. Detaylı olarak yapılan tesis içi ve tesisi dışı ölçümler ile incelemeler sonucu, çamur ünitelerinde koku ve UOB'lerin en yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Olfaktometrik ölçümlere ve analitik ölçümlere göre tesisteki koku giderme ünitesinin veriminin farklı olduğu görülmüştür. Bu farkın sebebinin pasif ölçümlere yön ve mesafenin etki etmesi olarak düşünülmektedir. Tesis çevresinde yapılan anketlere göre vatandaşların kokudan rahatsız olmalarına rağmen, tesisin gerekli olduğu görüşüne ulaşılmıştır. Yapılan modelleme sonucu ile ise en yüksek konsantrasyonun 500 m uzaklığa ulaşmadan %50 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Son yıllarda ülkemizde yapılan koku kirliliği çalışmaları incelendiğinde, Akmırza (2019) tarafından gıda fermantasyonu ve petrokimya üretim sektörlerinden kaynaklanan koku emisyonların biyolojik olarak giderilmesi üzerine çalışma yapıldığı belirlenmiştir. Çalışmada, diğer çalışmalar gibi hem analitik hem de duyusal sonuçlara ulaşmak için GC-MS ve olfaktometri yöntemleri kullanılmıştır. Karakterizasyon analizi yapılan kokuların biyofiltre sistemi kullanılan pilot bir sistem ile giderilmesi sağlanmıştır. Çalışma sonucunda kullanılan arıtma sisteminin 2000 mg/m^3'den daha düşük konsantrasyonlarda ve yüksek atık gaz debisindeki akımları arıtmak için

alternatif yöntemlere göre daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tesisten kaynaklanan kokuya sebep olan uçucu organik maddelerin giderilmesi verimli bir şekilde gerçekleştirilirken, aseton giderilmesinde arıtma sisteminin veriminin düştüğü gözlenmiştir. Çalışmanın bir diğer sektörü olan petrokimya üretim aşamasında ise bir ilk olarak BTEX bileşenlerinin anoksik koşullarda biyolojik olarak arıtılması üzerinde çalışılmıştır.

Etli'nin (2019) gerçekleştirdiği çalışmada, atıksu arıtma tesislerinde oluşan kokulu emisyonların karakterleri GC-MS cihazında analiz edilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği arıtma tesisinde kokunun yoğun olarak hissedildiği çamur kurutma ünitelerinden sorbent tüplere numuneler alınmış olup, laboratuvar ortamında analiz gerçekleştirilmiştir. Numunelerin örneklenmesi ve taşınması aşamasında karşılaşılan zorluklar sebebiyle, laboratuvar ortamında basit bir kurutma düzeneği kurularak, tesisten alınan çamur örnekleri bu düzenekte kurutularak GC-MS analizi için örneklenmiştir. Laboratuvar ortamında alınan numunelerde en fazla kirletici türüne ulaşılmıştır. Ölçüm sonuçları literatür araştırması ile karşılaştırıldığında çalışmada daha yüksek koku düzeylerinin görüldüğü tespit edilmiştir. Yüksek değerlerin tesisteki koku arıtma sistemi veriminin yeterli olmadığı yönünde yorumlanmıştır.

1.5.2. Dünya'da koku kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar

Koku kirliliği hakkında Dünya'da oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Birçok bilimsel dergileri içeren bir araştırma web sitesinde "odor pollution" konusunda yapılan sorgulamada 1996 yılından itibaren yayınlanan 21.334 makale olduğu sonucuna ulaşılmıştır (URL-11). Son 10 yılda yayınlanan ve bu tez çalışmasına benzer nitelikte olan bazı çalışmalar incelenmiştir.

Aatamila ve diğ. (2010) tarafından Finlandiya'da yapılan bir çalışmada belirlenen atık işleme tesisinden kaynaklanan kokulu emisyonların, tesis çevresinde yaşayan kişiler üzerindeki etkisi ve fiziksel belirtileri araştırılmıştır. Çalışma büyük ölçekli kompost süreçlerine sahip bir tesisin 1,5, 3 ve 5 km çevresinden rastgele seçilen 1142 kişi ile telefonda görüşülerek anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anket 102 maddeden oluşmak üzere, katılımcıların kişisel özelliklerini, koku maruziyetlerini ve son 1 yıl içindeki semptomları hakkında soruları içermektedir. Katılımcılara son 1 yılı içeren sorularda yaşadıkları solunum ve gastroenterolojik sorunlar ile kronik hastalıkları

(alerjik rinit, egzama, astım) içeren sorular sorulmuştur. Ayrıca kişilerin kokuya karşı hassasiyetlerini tanımlamak amacıyla "kötü koku veya diğer kokular sizi rahatsız ediyor mu?", "yerleşim alanınızda bulunan atık işleme tesisinden kaynaklanan bir koku fark ettiniz mi?", "bölgedeki koku sizi rahatsız ediyor mu?" gibi sorular yönlendirilmiştir. Fiziksel semptomlar kişilerin atık işleme merkezine olan uzaklığına, koku algısına ve rahatsızlık durumuna göre analiz edilmiştir. Kokudan rahatsızlık duyan kişilerde olağandışı nefes darlığı, göz tahrişi, ses kısıklığı, boğaz ağrısı, diş ağrısı, olağandışı yorgunluk, ateş/titreme, eklem ağrısı ve kas ağrısı gibi fiziksel semptomların daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel analizler SAS 9.1. programı ile yapılmıştır. Belirtilen fiziksel semptom analizleri için lojistik regresyon modeli ile mesafe, koku algısı ve rahatsızlık durumları kullanılarak olasılık oranı ve %95 güven aralıkları elde edilmiştir. Yapılan istatiksel analizler sonucu fiziksel semptomların tesisten kaynaklanan koku problemi ile güçlü olmasada ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Sironi ve diğ. (2010) tarafından İtalya'nın kuzeyinde hayvansal ürünlerin işlendiği birbirine yakın 4 tesisin koku problemi araştırılmıştır. Çalışmada örnekler noktasal kaynaklardan ve pasif alan kaynaklarından Polietilentereftalattan (PET) yapılan rüzgar tünelleri ile alınmıştır. 4 panelist ile ECOMA markasının TO8 olfaktometre modelinde koku konsantrasyonları belirlenmiştir. Yılın farklı dönemlerinde yapılan olfaktometrik analizler ile her bir tesisten yayılan toplam koku emisyon oranı değerlendirilmiştir. İşlenen malzeme cinsine ve koku giderme sisteminin düşük verime sahip olmasının bölgede kokuya en çok sebep olma nedeni olduğu belirtilmiştir. Diğer tesislerden kaynaklanan koku emisyonları da bölgedeki koku problemine katkı sağlamaktadır. Tesislerden kaynaklanan koku dağılımını izlemek amacıyla CALPUFF dağılım modeli kullanılmıştır. Model çıktıları olfaktometrik araştırmanın sonuçlarını doğrulamıştır. Ayrıca bölgede ikamet eden kişilerin de bir anket aracılığıyla kokuyu algılama durumları sorgulanmış ve algılar ile ölçümler arasında %86.5 gibi yüksek korelasyon bulunmuştur.

Capelli ve diğ. (2011) tarafından İtalya'nın sanayileşmiş Terni şehrindeki 3 ayrı sektöre ait yaklaşık 15 endüstrinin bölgede yarattığı koku problemi incelenmiştir. Endüstriler çelik, kimyasal ve diğer olarak tanımlanan (atıksu ve katı atık arıtma tesisi) sektörlerden oluşmaktadır. Olfaktometrik ve dispersiyon modellemesinin

kombinasyonu ile gerçekleştirilen çalışmada koku problemine en fazla sebep olan kaynak belirlenmiştir. Analizlerde ECOMA TO8 olfaktometre cihazı ve CALPUFF dispersiyon modelleme programı kullanılmıştır. Bölgeden atmosfere salınan toplam koku emisyonun 218.000 KB/s olduğu ve %51'inin çelik sektöründeki endüstrilerden, %29'unun kimya sektöründeki endüstrilerden, %20'sinin ise diğer tesislerden kaynaklandığı tahmin edilmiştir. Model çıktılarına bağlı olarak kokuların bölgede önemli bir etkisi olduğu ve neredeyse tüm şehri etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca tesislerdeki kokuya kaynakları da incelenerek, her sektörde hangi tesisin en fazla koku problemi yarattığı da belirlenmiştir.

Jeong (2011) tarafından yapılan çalışmada endüstriyel alan kaynaklı koku emisyonlarının oranı ve bölgedeki yayılımı incelenmiştir. Kore'de sanayi bölgesi olan Seobu'da 5 gün boyunca toplanan koku numunelerin yayılımı CALPUFF ve AERMOD modelleri ile hesaplanmıştır. Çalışma sonucu elde edilen veriler BOOT istatiksel inceleme yazılımda analiz edilmiştir. BOOT analizi ile iki model karşılaştırıldığında, her iki modelde iyi bir koku dağılımı simüle etmiştir fakat CALPUFF modelinin rüzgar yönünde koku konsantrasyonunun tahmininin AERMOD'dan daha iyi olduğu görülmüştür AERMOD modeline göre konsantrasyonların dağılımları daha geniştir. Çalışmada elde edilen konsantrasyon sonuçları, hayvan yemi kokularını baz alan bir diğer çalışma ile karşılaştırıldığında, bölgedeki konsantrasyonun 10 kat daha düşük olduğu gözlenmiştir.

De Melo ve diğ., (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, birbirine bağlı iki binadan oluşan bir domuz çiftliğinden kaynaklanan kokunun, tesis etrafına yayılması rüzgar tüneli verileri kullanılarak, PRIME (Plume Rise Model Enhancement) algoritması içeren iki Gauss atmosferik dağılım modeli AERMOD ve CALPUFF ile modellenerek karşılaştırılmıştır. Modelleme sonuçlarına bağlı olarak, AERMOD modeli tarafından gözlemlenen konsantrasyonlar CALPUFF modeline göre daha yüksek tespit edilmiştir. İki modelde tesisten kaynaklanan emisyonları yeterince tahmin etmiştir.

Brezilya'da gerçekleştirilen bir çalışmada, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklana koku emisyonlarını karakterize etmek adına bir elektronik burun geliştirilmiştir. Rodríguez ve diğ., (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada atıksu arıtma tesisinin prosesinin

altı farklı aşamasından alınan numuneler kalitatif ve kantitatif koku analizi yapılabilen elektronik burun temelli bir ölçüm sistemi ile incelenmiştir. Elektronik burnun kantitatif ölçüm yapabilmesi iki özellik vektörü eklenmiştir. Ayrıca kokuların kaynaklarını ayırmak ve örnekler arasındaki ilişkileri tespit etmek için temel bileşenler analizi (PCA) ve koku parmak izi tespiti de yapılmıştır. Bu ölçümlerde dinamik olfaktometre kullanılmıştır. Elektronik burun tarafından koku konsantrasyonlarını tahmin edebilmek için PLS regresyon modeli kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde geliştirilen elektronik burnun atıksu arıtma tesislerinde kokuları karakterize etmek için fazla girdi verisi olmadan ölçebildiğini göstermiştir. Cihaza eklenen vektörler, koku parmak izi ve PCA sonuçlarına bağlı olarak cihazın kalitatif ve kantitatif analiz için tek cihaz olarak kullanılabileceği görülmüştür. Cihaz aynı zamanda tesisteki düzensiz kokuları tespit ederek kaydetmeye olanak sağladığından, kokuları azaltmak için portatif bir şekilde kullanılarak tesisin koku yönetimine yardımcı olabilmektedir.

Sironi ve Capelli (2018) tarafından Güney İtalya'da bulunan bir atık depolama alanından kaynaklanan koku emisyonları, panelistler aracılığıyla saha denetlemesi ve konsantrasyonların modellemesi ile analiz edilmiştir. Bölgede depolama alanı dışında çelik fabrikası ve petrol rafinerisi de bulunmaktadır. Çalışmanın amacı kokunun varlığını veya yokluğunu (evet/hayır) belirleyerek saha denetimi yapmaktır. Sonrasında saha incelemesinin sonuçları koku dağılım simülasyonları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada saha denetimlerinde kullanılan 2 farklı yöntemden (ızgara ve duman bulutu) duman bulutu yöntemi kullanılmıştır. Izgara yöntemi yaklaşık bir yıl gibi uzun süreli bir analiz olduğundan duman bulutu yöntemi tercih edilmiştir. Duman bulutu yöntemi ile analiz meteorolojik koşullar altında yaklaşık bir gün içerisinde tamamlanmaktadır. Analizin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için meteorolojik koşulların sabit olması oldukça önemlidir. Çalışmanın amacı depolama alanından kaynaklanan kokuları tespit etmek için en uygun yöntemin değerlendirilmesi olduğundan analiz tek koku kaynağının depolama gazı olduğu dönemde yapılmak üzere planlanmıştır. Bölgedeki konsantrasyonu belirlemek amacıyla örnekleme rüzgar tüneli yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Olfaktometrik ölçümler saha denetimi ile karşılaştırılabilir olması için eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki koku emisyonlarının dağılımı CALPUFF modeli

kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın sonucunda koku emisyonlarını saha denetlemesinin modele oranla daha fazla tahmin ettiği gözlenmiştir. Sabit bir koku emisyon oranının kullanılmasının iki yöntem arasında karşılaştırma yapmak için faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Damuchali ve Guo tarafından (2019) Kanada'da gerçekleştirilen çalışmada yakın zamanda Scentroid firması tarafından geliştirilen SM 100 alan olfaktometresinin doğruluğu araştırılmıştır. SM 100 portatif bir alan olfaktometresi olup, çalışma kapsamında n-butanol ve bir tavuk çiftliğinin koku emisyonlarının ölçülmesinde kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları laboratuvar tipi bir olfaktometre ile karşılaştırılarak cihazın doğruluk oranı test edilmiştir. EN 13725:2003 standardına göre tasarlanan standart olfaktometrede 8 panelist ve üçlü zorunlu seçim metodu ile analiz gerçekleştirilmiştir. Her iki cihazda yapılan ölçüm sonuçları istatistiksel (varyans analizi ile) değerlendirildiğinde, iyi bir uyum ($p>0.05$) olduğu gözlenmiştir. Ölçülen koku konsantrasyonları arasında 50-850 KB/m^3 arasında farklılılar oluşmuştur. Alan olfaktometresi tavuk çiftliğinde daha yüksek konsantrasyonlar elde ederken, n-butanol testinde SM 100 16 kez seyreltilmiş numunelerde %53 ve %9 oranlarında daha yüksek konsantrasyon sonuçları verirken, 64 ve 128 kat seyreltilmiş numunelerde %9 daha düşük konsantrasyon değerleri vermiştir. Bu sebeple cihazın güvenilirliğini tam olarak test etmek için daha fazla koku çeşidi üzerinden değerlendirme yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Cheng ve diğ., (2019) tarafından yapılan çalışmada atık depolama ve kompost tesisinden kaynaklanan koku emisyonlarının tanımlanması ve sağlık etkileri üzerine araştırma yapılmıştır. Çalışma kapsamında iki tane büyük ölçekli atık depolama ve kompost tesisinde oluşan kokulu emisyonlar incelendiğinde kompost tesisinin özellikle de yığın döndürücü prosesinde daha ağır bir koku kirliliğine sebep olduğu tespit edilmiştir. Tesislerde alınan numunelerin analiz aşamalarında, örnekleme için tedlar numune torbaları kullanılırken, analiz için TD-GC/MS cihazı kullanılmıştır. Atık depolama tesisinde kokuya sülfitler ve aromatikler sebep olurken, kompost tesisi için NH_3 ve oksijenli bileşikler kokuya sebep olmaktadır. Atık depolama tesisinde kokuya sebep olan öncelikli bileşikler H_2S, benzen ve NH_3 olurken, kompost tesisi için ise NH_3, etil asetat ve benzen koku oluşturma durumunda azalan bir sıraya sahiptir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı ile İlgili Bilgiler

Çalışmanın yapıldığı Kocaeli ili, bünyesinde bulundurduğu sanayi kuruluşları sebebiyle Türkiye'nin en önemli sanayi kentlerinden biridir. Kurulan ve kuruluş çalışmaları devam eden 16 adet organize sanayi bölgesi ile 400 adet 1. Sınıf ve neredeyse 7000 adet 2. ve 3. Gayrı Sıhhi Müesseseye (GSM) sahip, Türkiye ve Dünya için örnek bir sanayi kenti olan Kocaeli, birçok küresel ve yerel firmanın üretim tesislerini sınırları içerisinde bulundurmaktadır. Otomotiv ana ve yan sanayi, demir-çelik, kimya, plastik, kauçuk ve metal sektörü olmak üzere birçok sektöre ait endüstrinin bulunduğu Kocaeli, son 10 yılın istatistiki bilgilere göre Türk imalat sanayi üretimine yaklaşık %13'lük bir katkı sağlamaktadır (URL-1, URL-2, URL-3).

Hava kirliliğinin başlıca sebeplerinden olan plansız kentleşme, düzensiz sanayileşme, motorlu taşıt sayısının artışı ve kalitesiz yakıt kullanımı Kocaeli ilinin hava kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Yüz ölçümü 3.626 km² olan Kocaeli 1.906.391 kişilik nüfusu ile yüzölçümüne kıyasla yoğun nüfuslu bir şehirdir.

Kocaeli ili kara, hava, deniz trafiği ve endüstriyel tesisler sebebiyle birçok hava kirletici parametresine maruz kalmaktadır. İnsan sağlığına ciddi bir etkisi olan hava kirliliği, Kocaeli'nde, sınırları içerisinde bulunan Ulusal Hava Kirliliği İstasyonu'na bağlı toplamda 13 adet istasyon ile kontrol edilmektedir. İstasyonların bulunduğu bölgedeki kirletici kaynaklarına bağlı olmak üzere SO_2, NO, CO, O_3, $PM_{2.5}$, PM_{10} ve NO_2 parametrelerinde ölçümler yapılarak kirleticiler sınır değerlerin altında tutulmaktadır (Kocaeli Çevre Durum Raporu, 2018).

Çalışma alanı olarak 758313,62 m (D), 4518014,39 m (K) koordinatları ile sınırlandırılan bölge, hava kirleticilerinden biri olan kokunun yoğun olarak hissedildiği bir alandır (Şekil 2.1). Bölge içerisinde koku emisyonlarına sebep olan en önemli kaynaklardan olan gıda sektörüne, lastik sektörüne ait endüstriler, atık su arıtma ve atık yakma tesisi olmak üzere birçok farklı sektöre ait tesisler bulunmaktadır.

Ayrıca bölge içerisinde nüfusa bağlı olarak artan konutlaşma ile birçok hane, alışveriş merkezi ve hastane bulunmaktadır. Bölgede sanayileşme ve konutlaşmaya bağlı olarak trafik yoğunluğu yaşanmaktadır.



Şekil 2.1. Çalışma alanı

Koku oluşturan emisyonlarının yayılmasına sebep olan meteorolojik veriler değerlendirildiğinde, Kocaeli'nin ortalama 14.9°C sıcaklığa, günlük en hızlı 126.0 km/sa rüzgara maruz kaldığı ve günlük toplam en yüksek yağış miktarının 169.4 mm olduğu görülmektedir (URL-4).

2.2. Örnekleme Noktaları

Çalışma kapsamında örnekleme, fabrikaların ve konutların bulunduğu bölgelerdeki farklı noktalarda tek seferlik olmak üzere 2018 Mayıs ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kokunun insanların yoğun olarak ikamet ettiği bölgedeki etkisini belirlemek adına, numunelerin büyük çoğunluğu yerleşim alanlarından alınmıştır. Çalışma alanında bulunan atıksu arıtma, gıda üretim, lastik üretim ve katı atık depolama tesislerine yakın bölgelerde ve sanayi tesislerine çok yakın bir mesafede bulunan, hastane ve alışveriş merkezlerinin dış alanlarında da örnekleme yapılmıştır Örnekleme, bölgenin meteorolojik şartları değerlendirilerek hava bölgedeki kokunun dağılmasını etkilememesi adına rüzgarın olmadığı ve hava sıcaklığının ortalama olduğu bir gün seçilerek gerçekleştirilmiştir. Numune noktaları Şekil 2.2'de gösterilmiştir



Şekil 2.2. Numune alınan noktalar

Tablo 2.1'de koordinatları verilen toplam 26 noktadan alınan numunelerin koku konsantrasyonları, laboratuvar ortamında olfaktometri tekniği ile belirlenmiştir.

Tablo 2.1. Koku ölçüm noktaları ve koordinatları

Numune No.	Koordinatlar		Numune No.	Koordinatlar	
	Enlem	Boylam		Enlem	Boylam
1	40.765669	29.976967	**14**	40.754203	29.989233
2	40.767730	29.972453	**15**	40.755724	29.981795
3	40.772015	29.974712	**16**	40.758324	29.956105
4	40.774639	29.971985	**17**	40.775049	29.992084
5	40.767396	29.968389	**18**	40.758592	29.993535
6	40.763273	29.967415	**19**	40.755449	29.988326
7	40.762263	29.973949	**20**	40.759765	29.976389
8	40.765537	29.983236	**21**	40.759196	29.980458
9	40.760709	29.981810	**22**	40.756756	29.994172
10	40.769815	29.986926	**23**	40.756065	30.003120
11	40.767646	30.004208	**24**	40.763031	29.980496
12	40.755795	30.013977	**25**	40.761273	29.975841
13	40.752191	29.990066	**26**	40.768543	29.980383

2.3. Örnekleme Yöntemi

Çalışma kapsamında vakum pompası kullanılarak 26 noktadan koku numunesi alınmıştır. Kokunun yoğun olarak hissedildiği alanlarda örnekleme yapılırken, kokuya direk sebep olabilecek bir kaynak doğrudan hedef alınmamıştır. Numuneler, suya ve organik maddeye karşı geçirimsiz aynı zamanda kokusuz olmasından dolayı Nalophan (Polyethyleneterephthalate) cinsi (Şekil 2.3) 5-15 L'lik numune torbalarına vakum cihazı içeren bir örnekleme çantası ile çekilmiştir. Vakum cihazı ile numune torbaları arasındaki bağlantı Teflon (Polytetrafluoroethylene) giriş hortumları ile sağlanmıştır.



Şekil 2.3. Nalophan cinsi numune torbaları

Nalophan cinsi numune torbaları tek kullanımlık olup, koku analizlerinde standartlara uygun olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Maliyet açısından uygun olmasının yanı sıra uzun süre numune saklanması için uygun değildir. Bu sebeple analizin örnek alındıktan en geç 24-30 saat aralığında gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Örneklemede kullanılan cihaz (Şekil 2.4), içerisinde kendi vakum sistemini bulunduran, portatif, farklı boyutlardaki numune torbalarına örnek alacak kapasiteye sahip bir hava numunesi toplama cihazıdır. Cihaz şarj edilebilir vakum pompası ile vakum oluşturarak numuneyi örnekleme torbalarına aktarmaktadır.



Şekil 2.4. Vakum pompası

2.4. Ölçüm Yöntemi ve Kullanılan Cihaz

Numune analizlerinden önce panelist akreditasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Panelistler analiz gününden farklı bir günde, EN 13725:2003 standardına uygun olarak, n-butanol ile bireysel eşiklerine göre seçilmiş olup, tüm ölçümler aynı panelistler ile gerçekleştirilmiştir. Akredite aşamasında cihaza ait n-butanol duyarlılık test kiti (Şekil 2.5) kullanılmıştır. Akredite işleminde seyreltme oranına bağlı olarak sıvı n-butanol ilk olarak kanister tüpüne enjekte edilmiştir. Sonrasında kanister tüpüne teflon hortum aracılığıyla kokusuz hava doldurularak n-butanol gerekli oranda seyreltilmiştir. Akreditasyon işlemi için hazır olan karışım 1 litrelik Tedlar torbaya alınarak, olfaktometre aracılığıyla panelistlere sunulmuştur. Panelistler ile evet/hayır metodu aracılığıyla koku ölçümü gerçekleştirilerek uygun panelistlerin seçilmesi sonucu akreditasyon aşaması tamamlanmıştır.



Şekil 2.5. Olfaktometre n-butanol hassaslık test kiti

Ölçümde herhangi bir hatanın olmaması için panelistlere yönelik belirli şartlar ve kurallar belirlenmiştir. Bu kurallara göre, alerjiye sahip olmamaları ve sigara kullanmamaları gerekmektedir. Ayrıca ölçüm günü baharatlı yiyecek ve içecek tüketmemeleri, parfüm kullanmamaları ölçümün duyarlılığının korunması için gereklidir. Panelistler ölçüm sırasında sadece su tüketebilmektedirler. Ayrıca koku ölçüm laboratuvarında kokuya sebep olabilecek herhangi bir madde bulunmamaktadır. Cihazın ve laboratuvarın temizlenmesi için kokusuz temizlik maddeleri kullanılmaktadır.

Örnekleme sonrası alınan numuneler 24 saat içerisinde laboratuvara getirilerek EN 13725:2003 ve KOEKHY (2013)'de belirtilen şartlara uygun olarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında koku ölçümünde en çok kullanılan yöntem ve duyusal bir teknik olan dinamik olfaktometri yöntemi kullanılmıştır. Ölçüm, Kocaeli Üniversitesi Koku Ölçüm Laboratuvarı'nda bulunan olfaktometre cihazında, 6 panelist ile evet/hayır metoduyla gerçekleştirilmiştir.

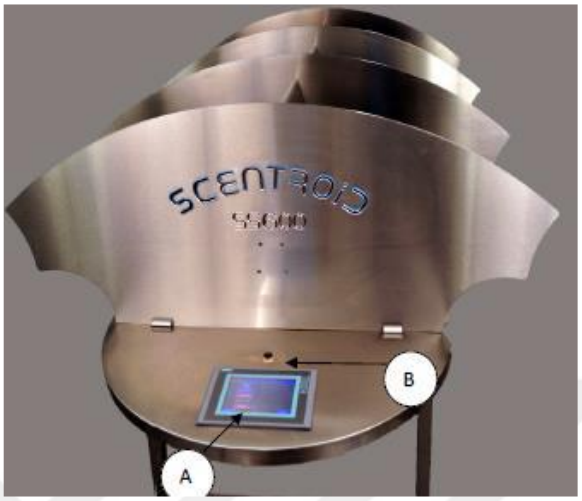
Ölçümde kullanılan analiz cihazı IDES Canada Inc. tarafından üretilen laboratuvar tipi koku ölçüm cihazı olan Scentroid SS600 isimli olfaktometredir (Şekil 2.6). Cihaz KOEKHY'de belirtilen ve kullanılması gereken metot olan evet/hayır metodu ile ölçüm yaparken, aynı zamanda diğer ülkelerde kullanılan binary (ikili seçim) ve triangular (üçlü seçim) metotları ile de analiz yapabilmektedir. Cihaz konsantrasyon ölçümünü gerçekleştiren üç metot dışında, kokunun hoşluk veya nahoşluk durumunu belirlemek adına kullanılan hedonik ton metodunu da içermektedir. Cihaz uluslararası koku ölçüm standartları olan EN 13725:2003, ASTM E67904, NVN 2820, VDI 3881, AS 4323.3 standartlarının tümüne uygun olarak analiz gerçekleştirebilmektedir (IDES Inc., 2013).



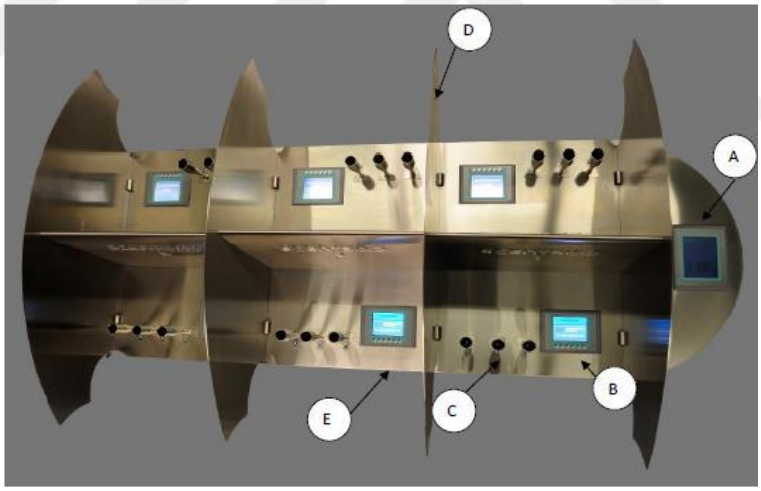
Şekil 2.6. Scentroid SS600 Olfaktometre

Cihaz 1 yönetici istasyonundan (Şekil 2.7) ve 6 panelist istasyonundan (Şekil 2.8) oluşmaktadır. Numuneler, panel yöneticisi tarafından seçilen artan veya azalan seyreltme sırası ile cihaz tarafından otomatik olarak 2^2-2^{14} opsiyonel aralığında seyreltilerek, panelist istasyonlarında bulunan port ile panelistlere sunulmaktadır. Panelistler cihaz tarafından belirlenen sürede, portu koklayarak herhangi bir koku

algılayıp algılamama durumlarına göre evet veya hayır seçeneklerinden birini işaretlemektedirler. Cihaz panelistlerin verdiği cevaplar doğrultusunda, koku numunesinin konsantrasyonunu hesaplamaktadır.



Şekil 2.7. Yönetici bölümü (A: Dokunmatik ekran, B:Veri aktarımı için USB girişi)



Şekil 2.8. Panelist bölümleri (A:Yönetici ekranı, B:Panelist ekranları, C:Koklama portları, D:Paslanmaz çelik ayıraçları, E:Paslanmaz çelik bölmeleri)

2.5. Anket Çalışması

KOEKHY'ine göre koku denetimleri vatandaşların şikayetleri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Şikayet sonucu denetim geçiren işletme, koku ölçümlerini yaptırmakta ve ölçüm sonucuna göre gerekli önlemleri almakla yükümlüdür. Bu sebeple koku kirliliği konusunda tesis çevresinde ikamet eden vatandaşların görüşleri oldukça önemlidir. Bölgedeki koku kirliliğinin teknik açıdan değerlendirilmesinin

yanı sıra sosyal bakış açısından da değerlendirilmesi adına, tesislere yakın bölgelerde ikamet eden 200 gönüllü vatandaş ile anket çalışması yapılmıştır.

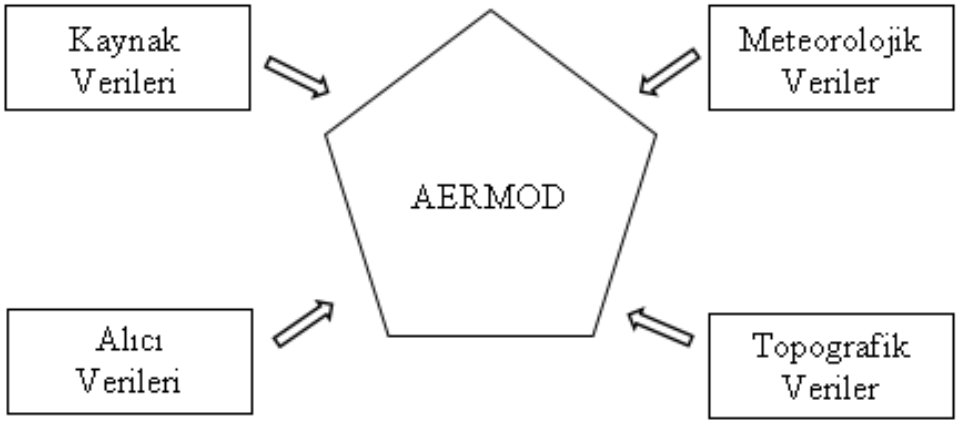
Anket kapsamında gönüllü katılımcılara Demografik Yapı, Koku Şikayetinin Tanımı, Sağlık ve Davranış Belirtileri ve Çevreye Genel Bakış olmak üzere dört bölüm üzerinden toplam 22 soru yöneltilmiştir. Demografik Yapı bölümü kişilerin yaş, cinsiyet, ikamet adresi gibi kişisel bilgilerini içermektedir. Koku Şikayetinin Tanımı bölümünde ise kişilere bölgede koku hissedip hissetmeme durumları, kokuyu ne kadar sıklıkta hissettikleri, kokunun karakteri ve hedonik tonu gibi kokuyu tanımlayabilecekleri sorular sorulmuştur. Üçüncü bölüm olan Sağlık ve Davranış Belirtileri bölümünde kişilere kokunun sağlıkları üzerindeki etkilerini değerlendirmeleri ve yaşadıkları nörolojik, gastrojenik (mide) ve solunum rahatsızlıklarını sıralamaları için yöneltilen sorular bulunmaktadır. Bu bölümde ayrıca kişilere kokunun günlük aktivitelerine engel olup olmadığına dair sorular da yöneltilmiştir. Son bölüm olan Çevreye Genel Bakış kısmında ise katılımcılara çevre sorunları hakkında görüş ve önerileri sorulmuştur (Ek-A).

2.6. Kullanılan Dağılım Modellemesi

Bölgedeki koku emisyonları kaynağa yakın bölgeleri etkilerken, bölgenin meteorolojik ve topografik koşullarına bağlı olarak kaynaktan uzak noktalara da ulaşabilmektedir. Bu sebeple kokuyu dağılım modelleri ile modellemek bölgenin hava kalitesini belirlemede oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında bölgedeki kokunun modellemesi için hava kirliliğinin modellenmesinde sık kullanılan AMS/EPA düzenleme modeli olan AERMOD'un View 9.5.0 sürümü kullanılmıştır. Model kararlı hal Gauss dağılım duman akımı eşitliğini kullanmaktadır.

2.6.1. Giriş verileri

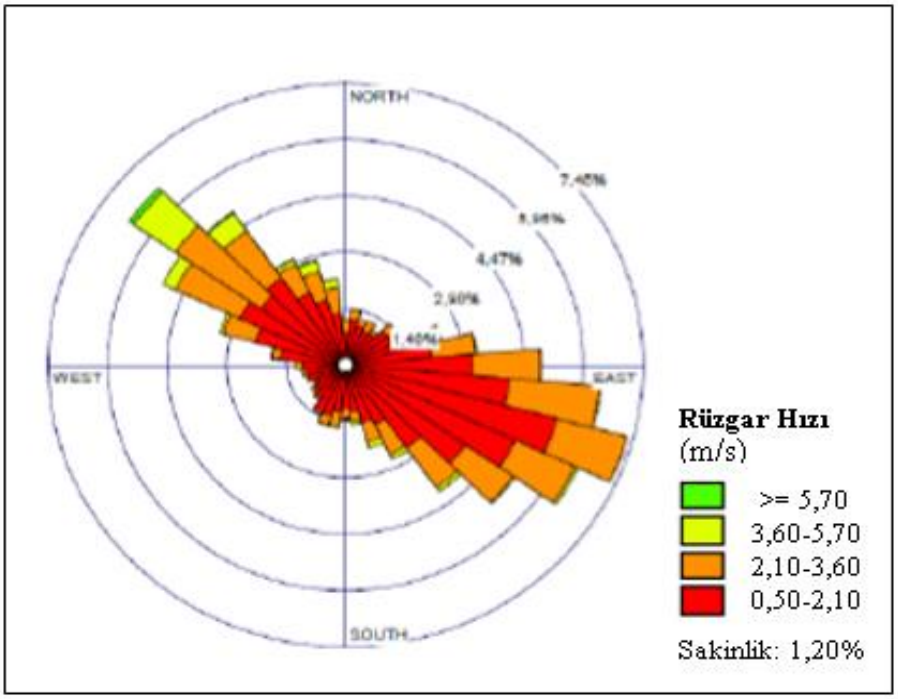
Model kirleticinin dağılımını simüle etmek için birçok giriş verisine ihtiyaç duymaktadır (Şekil 2.9). Modelleme programına, emisyona ait veriler haricinde bölgenin meteorolojik ve topografik özelliklerini gösteren veriler ve alıcı verilerinin de girilmesi gerekmektedir.



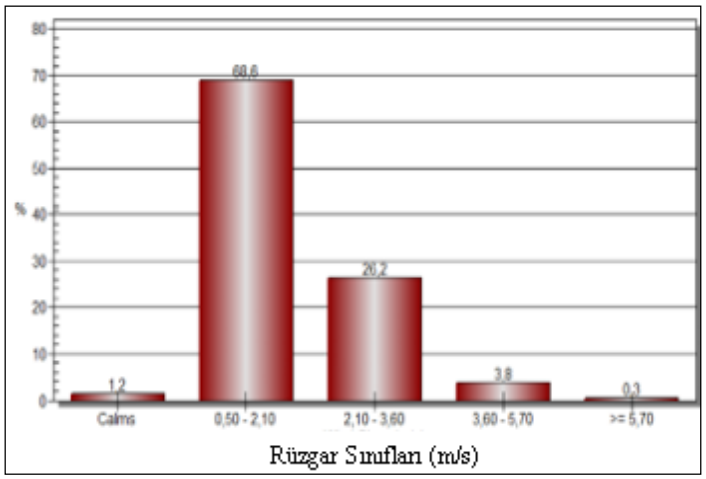
Şekil 2.9. AERMOD modelleme programı giriş verileri

2.6.1.1. Meteorolojik veriler

AERMOD modelleme programının ön işlemcilerinden biri olan AERMET için gerekli meteorolojik veriler bölgeye en yakın Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Modellemede meteorolojik veri olarak saatlik bazda yıllık veri kullanılmıştır. Rüzgar verileri model kapsamındaki WRLPLOT işlemcisi tarafından işlenmiştir. Bu program yardımıyla elde edilen rüzgar gülü ve rüzgar verilerinin frekans dağılımı Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de verilmiştir.



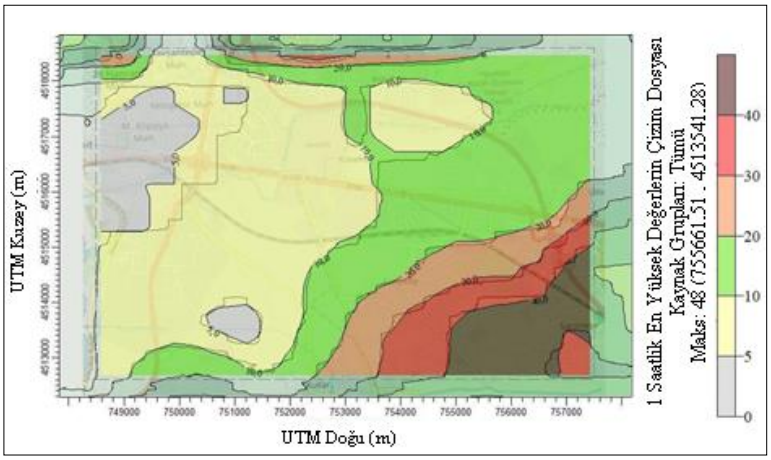
Şekil 2.10. Çalışma alanına ait WRLPLOT ile hazırlanan rüzgar gülü



Şekil 2.11. Modelleme alanında 2017 yılına ait rüzgar verilerinin frekans dağılımı

2.6.1.2. Topografik veriler

Programın bir diğer ön işlemcisi olan AERMAP için gerekli veriler ise programın içerisinde bulunan WebGIS modülünden temin edilmiştir. Modelin çalışması için gerekli olan bölge konumu UTM zone olarak seçilmiştir. Referans noktaları 758313,62 m (D), 4518014,39 m (K) olarak girilmiştir. AERMAP ile hazırlanan bölgenin arazi yükselti haritası Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. AERMAP ile hazırlanan arazi yükselti haritası

2.6.1.3. Kirletici kaynak verileri

Çalışma alanında yapılan örnekleme sonucu en yüksek konsantrasyonlar fabrika bölgesine ait olduğundan, bölgedeki 3 numune (Şekil 2.13) modele alansal kaynak verisi olarak girilmiştir.



Şekil 2.13. Modele emisyon kaynak verisi olarak girilen noktalar

2.6.1.4. Alıcı verileri

Modelleme programına alıcı noktaları olarak; 441 uniform kartezyen alıcı noktası (442,33 x 289,82) ile ortam ölçümlerinin yapıldığı 23 kartezyen alıcı noktası olarak toplamda 464 nokta girilmiştir (Şekil 2.14).

Olfaktometrik olarak ortam ölçümlerinin yapıldığı 23 noktanın konsantrasyonları model vasıtasıyla da hesaplanmıştır. Bu sayede söz konusu noktalarda modelin hesapladığı konsantrasyon sonuçları ve olfaktometrik analiz ile belirlenen konsantrasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.14. Modele alıcı kaynak olarak girilen noktalar

2.7. İstatistiksel Analiz

İstatistik analizde kullanılan testler arasında Z, t ve F testleri parametrik testler ya da klasik testler olarak bilinmektedir. Bu testlerin temel özelliği örneklerin seçildikleri yığınların ilgili değişken bakımından normal dağıldığı varsayımına dayanmasıdır (Ünver ve diğ., 2011). Bu nedenle belirli bir parametrik değeri hesaplanabilen verilere göre hipotez testleri yaparken verilerin normal dağılım göstermesi koşuluyla parametrik testlerden yararlanmak mümkündür (Özdamar, 2010). Örneklerin seçildikleri yığınların dağılımları hem normal değil hem de örnek çapları yeteri kadar büyük değilse parametrik olmayan testler kullanılmalıdır (Ünver ve diğ., 2011). Parametrik olmayan testlerin bazıları parametrik testlerin parametrik olmayan alternatifleridir. Kikare, Mann-Whitney *U*, Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testi, Kolmogorov-Smirnov, Kruskal-Wallis ve Friedman testleri en sık kullanılan parametrik olmayan testler arasındadır (Özdamar, 2010; Ünver ve diğ., 2011).

2.7.1. Kolmogorov-smirnov testi

Kolmogorov-Smirnov (KS) testi, frekans dağılımının, belirli veya herhangi bir dağılıma uygunluk gösterip göstermediğini test etmek amacıyla kullanılmaktadır. Tek örnek Kolmogorov-Smirnov (KS) testinde n_1 hacimli bir örneğin yığılımlı frekans dağılımının, teorik belirli bir ya da herhangi bir $F_0(X)$ teorik yığılımlı olasılık dağılımına uygunluğu test edilir. Bunun için örneğin frekans dağılımı ve yığılımlı görsel frekans dağılımı elde edilir. $F_0(X)$ k sınıflı ve tek düze dağılan bir yığılımlı dağılımdır.

Tek örnek KS testi uygulamak için öncelikle "Uygunluk vardır (Ho, sıfır hipotezi)" ve "Uygunluk yoktur (H_1, alternatif hipotez)" şeklinde hipotez kurulur. Frekans dağılımı durumuna getirilen verilerin yığılımlı olasılık dağılımı oluşturulur ($S_n(X)$). H_0 hipotezi altında örneğin alındığı varsayılan herhangi bir teorik dağılımın, $F_0(X)$ yığılımlı olasılık dağılımı belirlenir. Her iki olasılık dağılımlarının, her sınıfta olasılıkları arasındaki mutlak farklar belirlenir. En büyük farklılığın, rastgelelik koşullarından ayrılıp ayrılmadığı test edilir (Özdamar, 2010).

2.7.2. Mann-whitney *u* testi

Mann-Whitney *U* testi, bağımsız iki örneğin, aynı medyana sahip popülasyondan alınmış rastgele örnekler olup olmadığını test etmek için uygulanmaktadır (Özdamar, 2010; Ünver ve diğ. 2011).

Mann-Whitney *U* testinde test edilen hipotezlerinden sıfır hipotezi (H_0), n_1 ve n_2 veri setlerinin aynı dağılıma sahip olduğunu, alternatif hipotez (H_1), n_1 veri setinin gözlemlerinin yarısından fazlasının diğer setten farklı olduğunu ifade etmektedir.

$H_1 : p\,(a > b) \neq 1/2$

n_1 ve n_2 dizisine birlikte verilen sıralama puanlarının 1. örneğe ait olanlarının toplamı olan R_1 ve 2. örneğe ait olanlarının toplamı olan R_2 bulunur.

Birim sayıları ve toplam sıralama puanlarından yararlanarak U_1 ve U_2 test istatistikleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$U_1 = n_1 \text{ x } n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \qquad (2.1)$$

$$U_1 = n_1 \text{ x } n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2 \qquad (2.2)$$

U_1 ve U_2'nin küçük olanı *U* test istatistiği olarak alınır ve önemliliği normal yaklaşımla bulunur. Öncelikle ortalama ve standart sapması bulunur ve z test istatistiği aşağıdaki verilen formül yardımıyla hesaplanır.

$$Z = \frac{U-\mu_u}{\sigma_u} = \frac{U-(n_1)(n_2)/2}{\sqrt{\frac{(n_1)(n_2)(n_1+n_2+1)}{12}}} \qquad (2.3)$$

Z test istatistiği standart normal dağılım göstermektedir ve önemliliği şu şekilde belirlenir (Özdamar, 2010);

$|Z| < 1{,}96$ ise $p > 0{,}05$ durumunda H_0, kabul edilirken,

$|Z| \geq 1{,}96$ ise $p < 0{,}05$ durumunda H_0, red edilir.

$|Z| \geq 2{,}58$ ise $p < 0{,}01$ durumunda H_0, red edilirken

$|Z| \geq 3{,}28$ ise $p < 0{,}001$ durumunda H_0, red edilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Olfaktometrik Ölçüm Sonuçları

Çalışma kapsamında bölgedeki farklı lokasyonlardan alınan 26 numunenin koku konsantrasyonları, bir yönetici panelist ve kendi eşik seviyelerine göre seçilen 6 panelist ile birlikte laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Ölçümler Kocaeli Üniversitesi Hava Kirliliği Laboratuvarı'nda bulunan olfaktometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümde kullanılan panelistler, n-butonol örnek numune olacak şekilde özel olarak seçilerek akredite edilmiştir.

Olfaktometre cihazında 6 panelist eşliğinde yapılan analizlerin sonucu elde edilen konsantrasyonlar Tablo 3.1'de verilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre bölgeden alınan numunelere bağlı olarak koku konsantrasyonları yaklaşık olarak 192,8 KB/m^3 ile 2186,2 KB/m^3 arasında değişmektedir. Fabrikaların yoğun olduğu sanayi bölgesi olarak belirlenen bölgeden alınan numuneler daha yüksek konsantrasyon değerlerine sahipken, yerleşim bölgesi olarak bilinen bölgedeki numunelere ait konsantrasyonlar nispeten daha düşük değerlerdedir. Ölçüm sonuçlarının ortanca (medyan) değeri 680,9 KB/m^3 olarak belirlenmiştir.

Ölçümde en yüksek konsantrasyon değeri olan 2186,2 KB/m^3, sanayi bölgesi olarak belirlenen bölgeden alınan 19 numaralı numunede ölçülmüştür. Diğer yüksek konsantrasyonlar olarak bu bölgeden alınan 13, 14 ve 15 numaralı numunelerin konsantrasyonları sırasıyla; 1557,2 KB/m^3, 1356,4 KB/m^3, 1430,4 KB/m^3 olarak belirlenmiştir.

Yine sanayi bölgesi olarak belirlenen bölgeden alınan 20, 21, 22, 23 numaralı numunelerde ölçülen konsantrasyonların, yerleşim bölgelerinde ölçülen numunelerin konsantrasyonlarına oranla nispeten daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1. Olfaktometrik ölçüm sonuçları

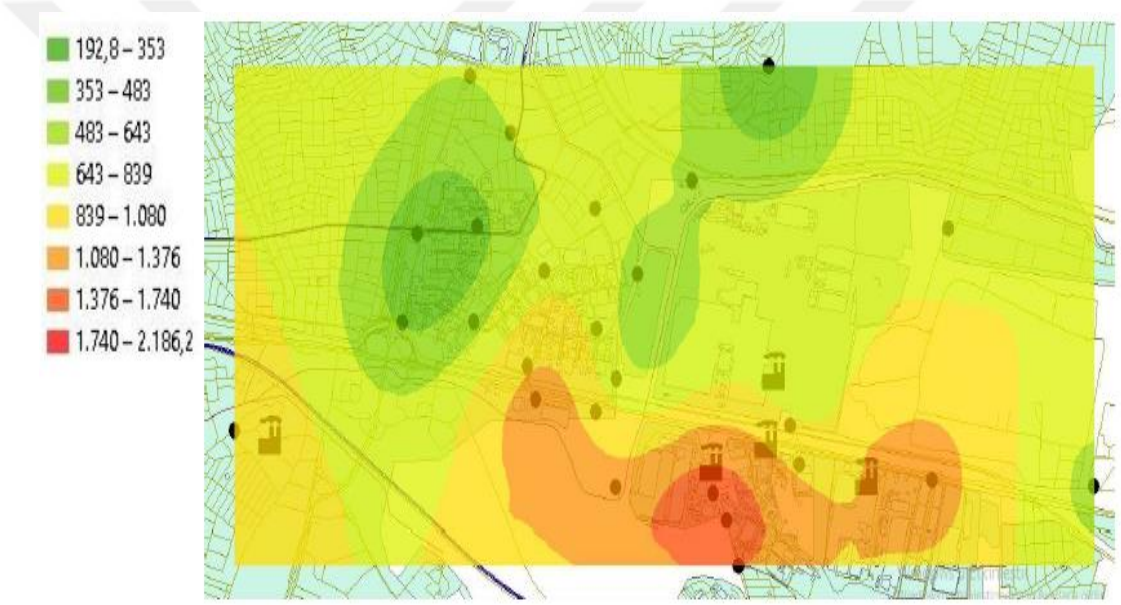
Numune No.	Koku Konsantrasyonu (KB/m^3)
1	689,6
2	340,8
3	672,2
4	568,8
5	324,9
6	372,2
7	565,7
8	475,7
9	281
10	619
11	749,6
12	487,1
13	1557,2
14	1356,4
15	1430,4
16	994
17	192,8
18	560,5
19	2186,2
20	1409,6
21	1174,2
22	1381
23	1371,3
24	1195,3
25	1048
26	668,8

3.2. Koku Kirliliğinin Coğrafi Dağılımı

Numune noktalarındaki konsantrasyon değerlerine ait olfaktometrik ölçüm sonuçları ARCGIS 10.5 coğrafi bilgi sistemi yazılımı aracılığıyla haritalandırılmıştır (Şekil 3.1). Coğrafi bilgi sistemleri neredeyse tüm meslek alanlarında coğrafi bilgiyi sisteme işlenebilir biçimde aktarmak amacıyla kullanılmaktadır. Birçok alanda haritalandırma süreçlerinde kullanılan coğrafi bilgi sistemleri, çevre yönetiminde de çevre düzeni planları, çevre koruma alanları, ÇED raporu hazırlama, sulak alanların tespiti, çevresel izleme, hava ve gürültü kirliliği, kıyı yönetimi olmak üzere çeşitli uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Töreyen ve diğ., 2010).

ARCGIS 10.5 yazılımı, hava kalitesini belirlemek adına konsantrasyon dağılımlarını haritalandırmak için uygun ve kullanımı kolay bir program olduğundan tercih edilmiştir. Örnek alma noktaları, konsantrasyon sonuçları ve bölgenin haritası veri olarak ARCGIS programına işlenmiştir.

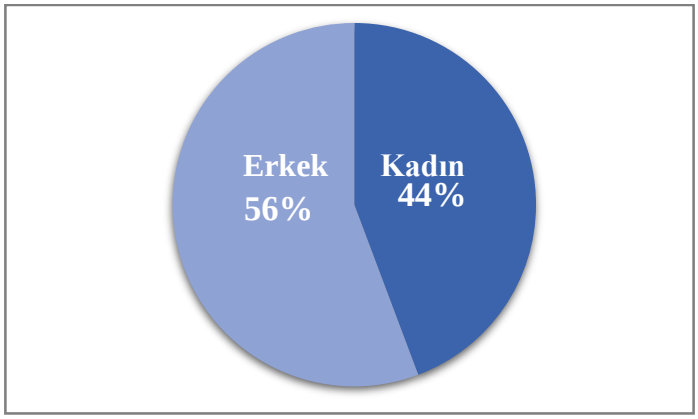
Örnek alma noktaları harita üzerinde siyah noktalar ile gösterilirken, fabrikaların yerleri belli olması adına fabrika binasına benzer siyah simgeler kullanılmıştır. Harita üzerinde örnek noktaları değerlendirilirken, ölçüm konsantrasyonları belirli bir skalaya bağlı olarak renklendirilmiştir. Konsantrasyon sonuçları en yüksekten en düşüğe doğru derecelendirilirken, kırmızıdan yeşile renk geçişleri kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına bağlı olarak fabrikaların bulunduğu bölgede yer alan ölçüm noktalarındaki konsantrasyonların en yüksek seviyede olduğu harita üzerinde de görülmektedir. Buna bağlı olarak bölge kırmızı renk ile gösterilmiştir. Yerleşim yerlerine doğru koku konsantrasyonları düştüğünden, renklendirme kırmızıdan yeşil renge doğru değişmektedir.



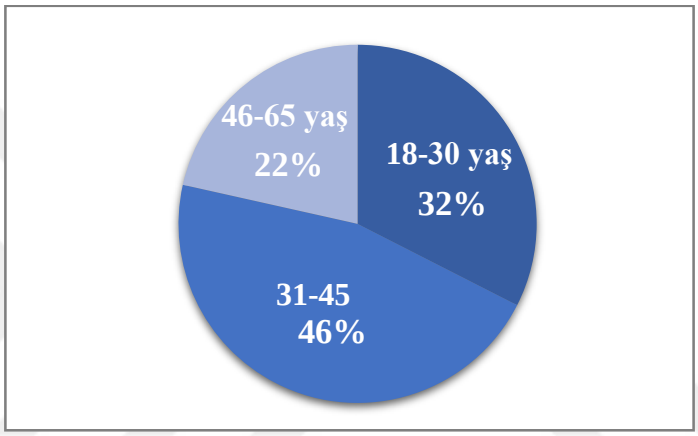
Şekil 3.1. ARCGIS kullanılarak hazırlanan koku kirliliğinin coğrafi dağılım haritası (KB/m^3)

3.3. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanı kapsamındaki bölgede bulunan gönüllü 200 kişi ile yapılan anket çalışmasında ilk bölüm olan demografik yapı kısmında kişilere yaş, cinsiyet, eğitim durumu, adres ve ikamet süresi olmak üzere kişisel sorular yöneltilmiştir. Kişilerin cevapları incelendiğinde; anketin 112 erkek (%56) ve 88 (%44) kadın katılımcı ile gerçekleştirildiği belirlenmiştir (Şekil 3.2). Katılımcıların %32'si 18-30 yaş aralığında, %46'sı 31-45 yaş aralığında, %22'si ise 46-65 yaş aralığındadır (Şekil 3.3).

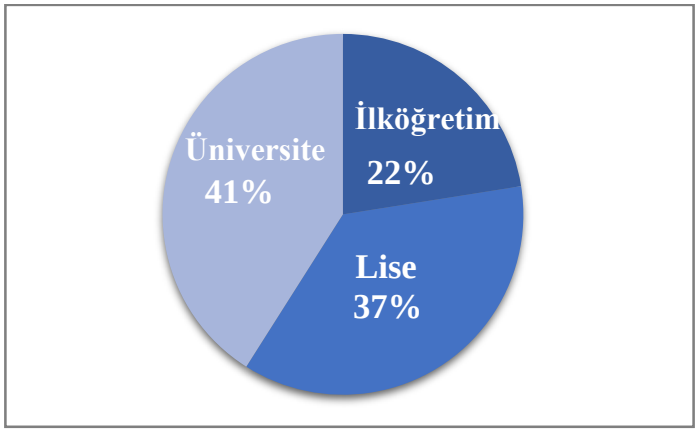


Şekil 3.2. Cinsiyet dağılımı

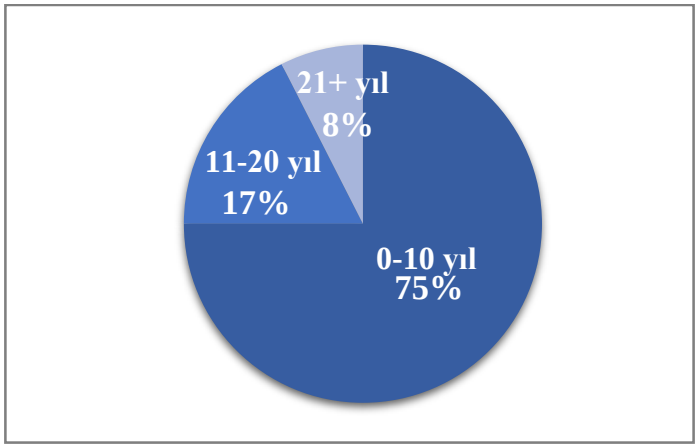


Şekil 3.3. Yaş dağılımı

Ankete, %41 oranında üniversite mezunu, %37 oranında lise mezunu ve %22 oranında ilköğretim mezunu olan kişi katılmıştır (Şekil 3.4). Ankete katılan kişilerin %76'sı ikamet adreslerinde 0-10 yıldır bulunduklarını, %18'i 11-20 yıldır bulunduklarını, %6'sı ise 21 yıl ve üzeri zamandır bulunduklarını belirtmiştir (Şekil 3.5).

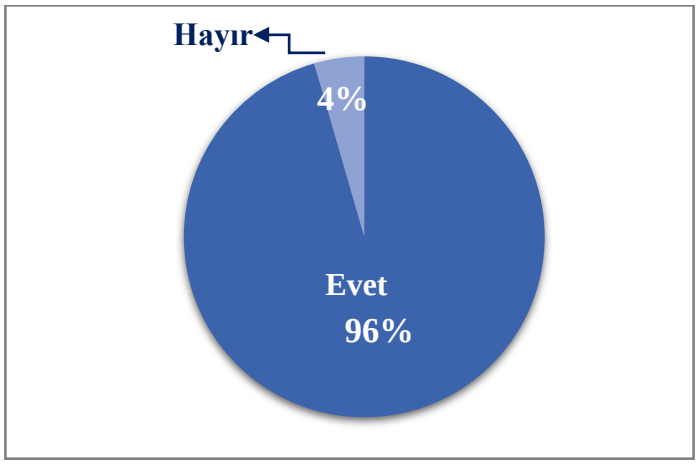


Şekil 3.4. Eğitim durumu



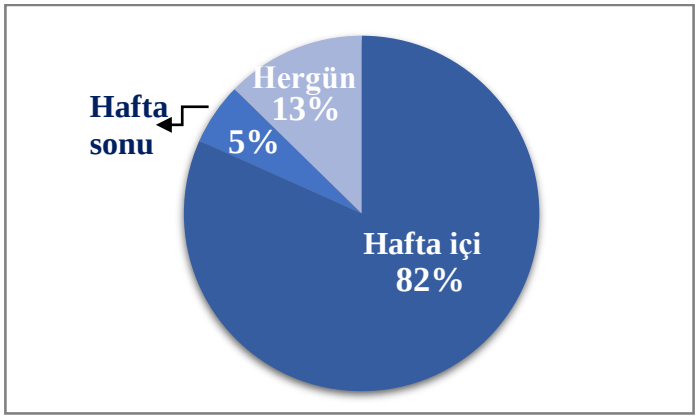
Şekil 3.5. İkamet süresi dağılımı

Anketin ikinci bölümü olan 'Koku Şikayetinin Tanımı' bölümünde, bölgede kokunun ne derece hissedildiğini belirlemek için kişilere "Bölgede hiç koku hissettiniz mi?", "En fazla hangi zamanlar kokuyu hissediyorsunuz?", "Kokunun süresi?" gibi sorular sorulurken, aynı zamanda kokunun hedonik tonu, karakteri ve kaynağı gibi bölgedeki kokunun nasıl bir kokuya benzediğini tanımlamak adına sorular sorulmuştur. Bu bölüme verilen cevaplar incelendiğinde, katılımcıların %96'sının bölgede koku hissettiği, %4'ünün ise bölgede koku hissetmediği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 3.6).

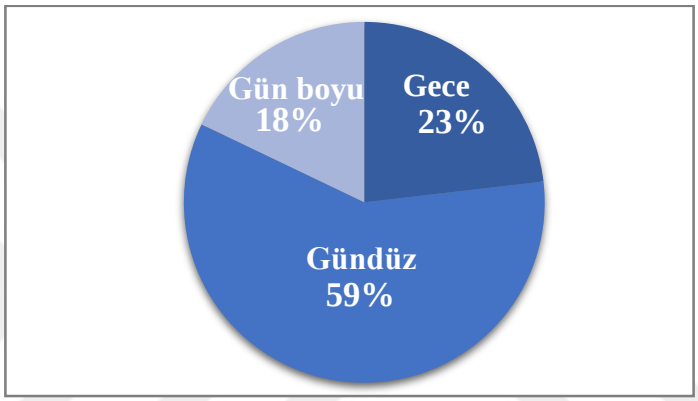


Şekil 3.6. Kokunun hissedilme durumu

Bölgede koku hisseden kişilerden %82'si hafta içi, %5'i hafta sonu, kalan %13'lük kısmı ise haftanın her günü bölgede koku duymaktadır (Şekil 3.7). Katılımcıların kokuyu hissettikleri saat dilimleri sorgulandığında %59'u gündüz saatlerinde koku hissederken, %23'ü gece, %18'i ise gün boyu koku hissetmektedir (Şekil 3.8).

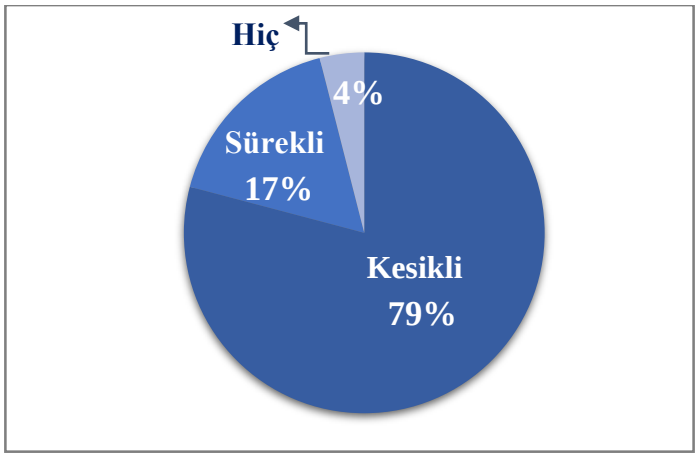


Şekil 3.7. Kokunun en fazla hissedildiği zamanlar

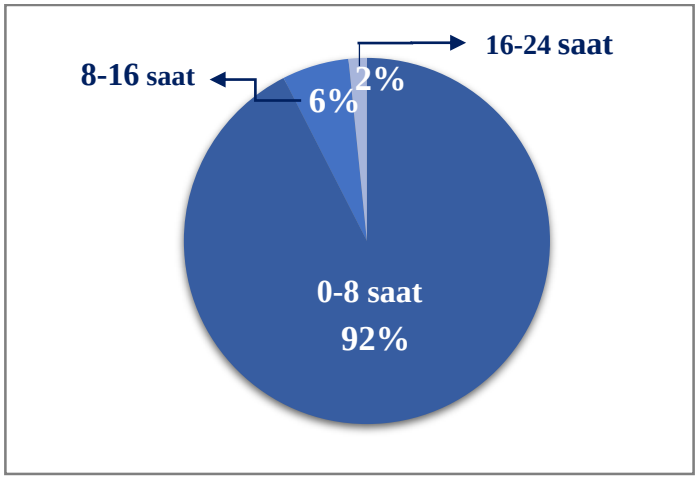


Şekil 3.8. Kokunun en fazla hissedildiği zamanlar

Katılımcılara bu bölümde kokunun sürekliliği ve süresi ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Katılımcıların verdikleri cevaplar doğrultusunda, %79'unun kokuyu gün içerisinde kesikli sürelerde duyduğu, %17'sinin sürekli hissettiği (Şekil 3.9), %92'lik kısmın gün içerisinde 0-8 saat aralığında koku hissettiği, %6'lık kısmın 8-16 saat aralığında, kalan 52'lik kısmın ise 16-24 saat aralığında koku hissettiği belirlenmiştir (Şekil 3.10).

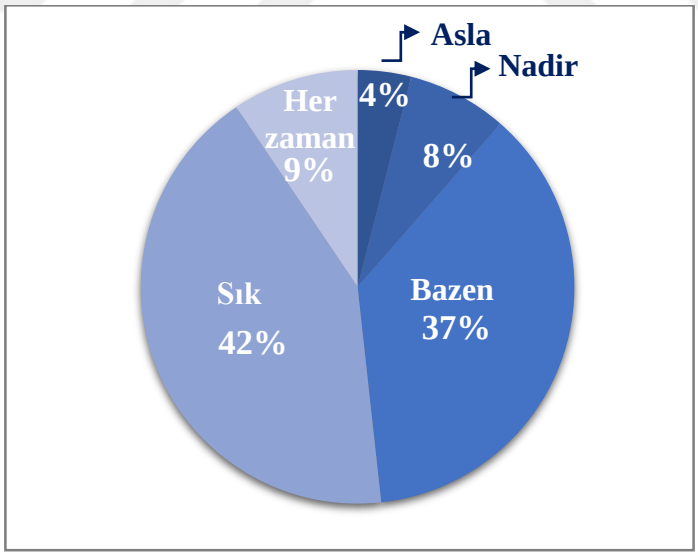


Şekil 3.9. Kokunun sürekliliği



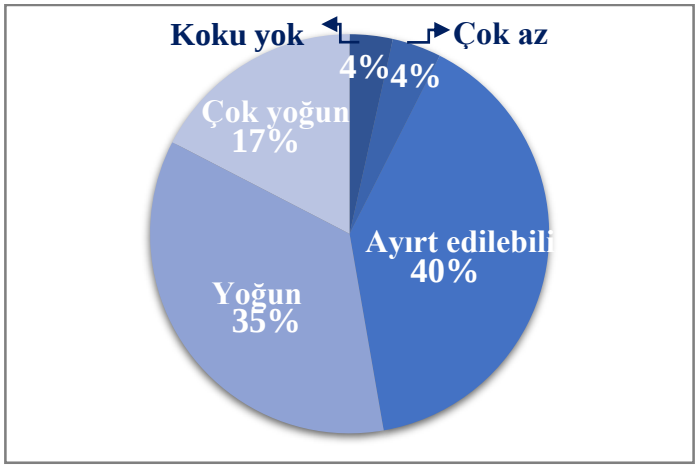
Şekil 3.10. Kokunun süresi

Katılımcılar tarafından kokunun algılanmasına yönelik sorulara verilen cevaplardan yola çıkılarak, kokunun %10 oranında her zaman, %43 oranında sık (günde 1 defa) olarak algılandığı, %37 oranında bazen (haftada 2-5 defa), %7 oranında nadir (haftada 1 gün) algılandığı görülmektedir. Bölgede koku hissetmediğini belirten katılımcıların bu soruya verdikleri cevaplar sonucu %4'lük kısmın asla koku algılamadığı görülmektedir (Şekil 3.11).



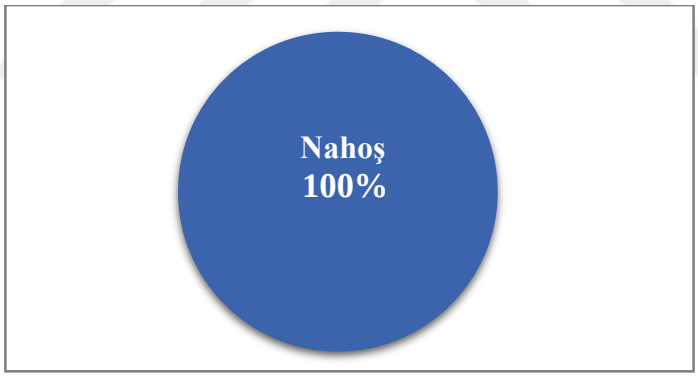
Şekil 3.11. Kokunun algılanma sıklığı

Katılımcıların %17'si kokuyu çok yoğun algılarken, %35'i yoğun, %40'ı ayırt edilebilecek derecede algılamaktadır. %4'lük kısım kokuyu çok az algılarken kalan %4'lük kısım ise koku algılamamaktadır (Şekil 3.12).

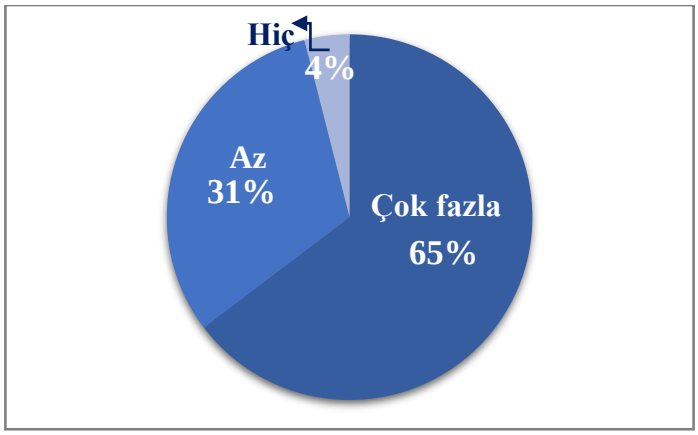


Şekil 3.12. Kokunun algılanma yoğunluğu

Kokunun kişilerin üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik sorulara verilen cevaplar incelendiğinde; bölgede koku hisseden 192 kişinin tamamı, kokunun nahoş (kötü) kokulu olduğunu belirtmiştir (Şekil 3.13). Katılımcıların %65'i bölgedeki kokudan çok fazla rahatsız olduklarını, %31'i az rahatsız olduklarını, geriye kalan %4'ü ise kokudan rahatsız olmadıklarını cevapları ile belirtmişlerdir (Şekil 3.14).

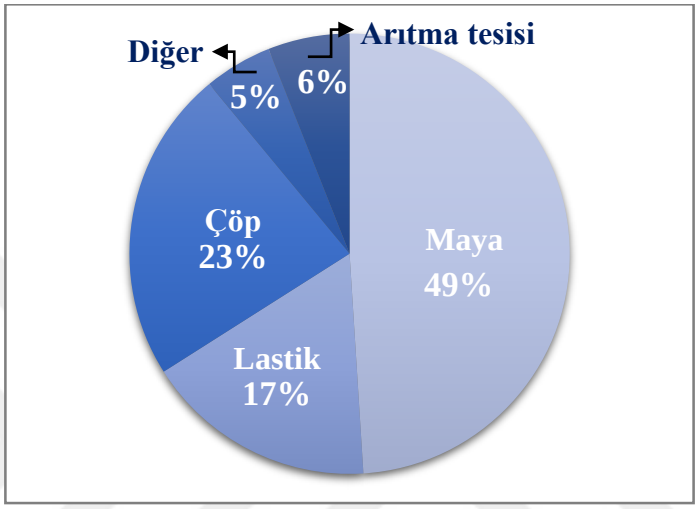


Şekil 3.13. Kokunun hedonik tonu



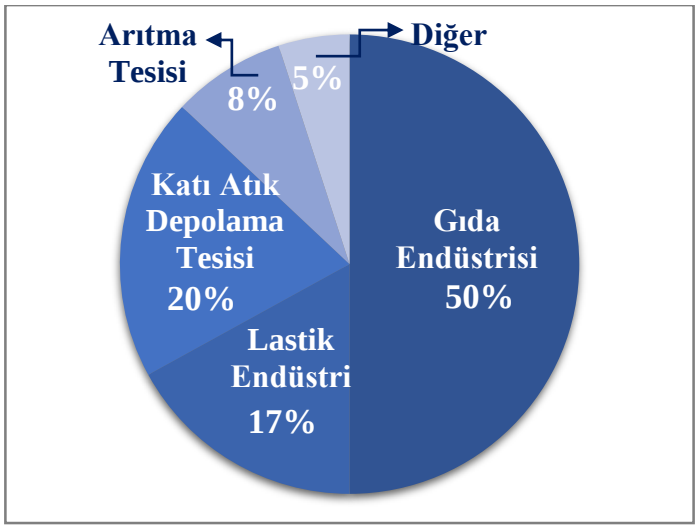
Şekil 3.14. Kokunun rahatsızlık durumu

Kokunun şikayetinin tanımı bölümünde katılımcılara son olarak kokunun karakterinin neye benzediği ve kokunun nereden kaynaklandığını düşündüklerine dair sorular sorulmuştur. Katılımcıların verdiği cevaplara göre %49'luk bir kesimin kokuyu maya kokusuna benzettiği, %17'sinin lastik, %23'ünün çöp, %6'sının arıtma tesisi kokusuna benzettiği sonuçlarına ulaşılmıştır. %5'lik kısım ise kokuyu yağ, odun, kağıt gibi farklı kokulara benzetmiştir (Şekil 3.15).



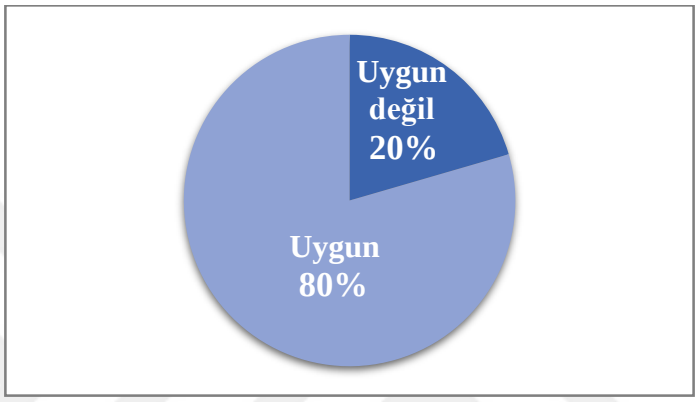
Şekil 3.15. Kokunun karakteri

Kokunun karakterine bağlı olarak katılımcıların %50'sinin gıda endüstrisinden, %20'sinin katı atık depolama tesisinden, %17'sinin lastik endüstrisinden, %5'inin arıtma tesisinden koku kaynaklandığını düşündüğü sonucuna varılmıştır. %8'lik kısım ise kokunun kaynağı olarak farklı kaynaklar belirtmiştir (Şekil 3.16).



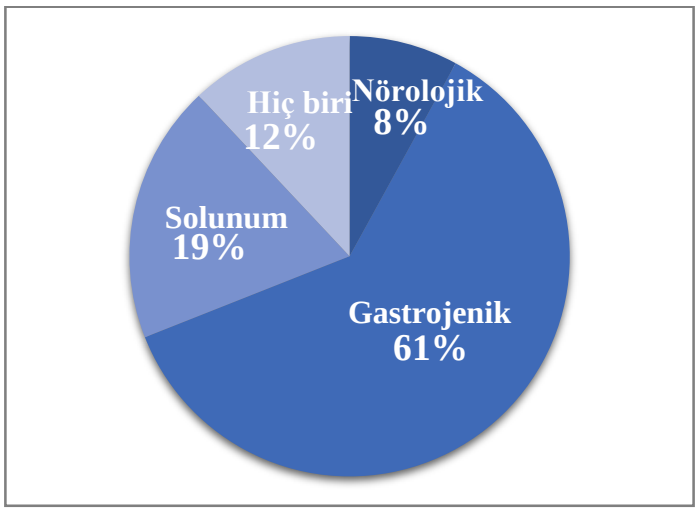
Şekil 3.16. Kokunun kaynağı

Anketin 3. bölümünde katılımcılara kokunun sağlıkları ve davranışları üzerine olan etkisine yönelik sorular sorulmuştur. Toplam 5 soru ile bölgede yaşamanın uygunluğu, kokunun nörolojik, gastrojenik ve solunum açısından sorunlara sebep olup olmadığı ve koku hissettikleri süre zarfında hangi davranışlarının olumsuz etkilendiği irdelenmiştir. Katılımcıların %80'i bölgede yaşamanın uygun olmadığını düşünmektedir. %20'sinin ise bölgenin yaşamaya uygun olduğunu düşündüğü sonucuna varılmıştır (Şekil 3.17).



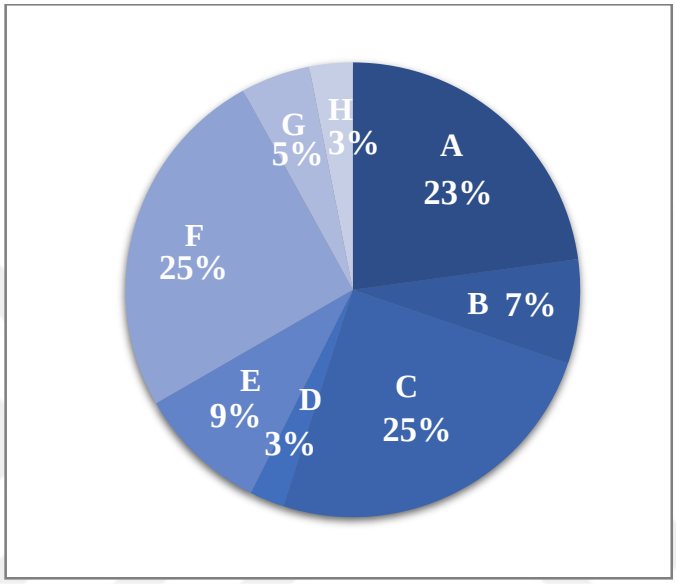
Şekil 3.17. Bölgenin sağlık açısından uygunluğu

Katılımcıların %61'i kokudan dolayı gastrojenik (bulantı, kusma, iğrenme ve ishal), %19'u solunumsal (kalpte veya göğüste ağrı, nefes almada sıkıntı, göğüste daralma ve öksürük), %8'i ise nörolojik (duygu karmaşası, uyku bozukluğu, baş dönmesi ve uyuşukluk) problemlerden bir veya bir kaçını yaşadığına yönelik cevaplara ulaşılmıştır. %12'lik kesim ise günlük hayatında kokudan kaynaklı herhangi bir sorun yaşamamaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Kokudan kaynaklı yaşanılan rahatsızlıklar

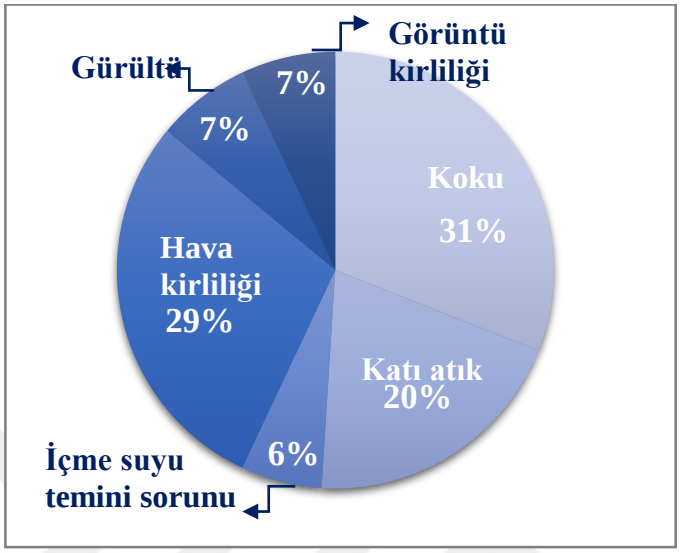
Katılımcıların %25'i bölgedeki koku sebebiyle pencerelerini devamlı kapalı tuttuklarını (F), %25'i derin nefes alamadıklarını (C), %23'ü ise evde olmaktan hoşlanmadıklarını (A) belirtmişlerdir. Kokunun katılımcıların davranışlarına ve aktivitelerine olan etkileri içerisinde bulunan, iştah kaybı (B), uyku problemi (G), çocukların dışarıda oynayamaması (D), hasta hissetme (E) ve konsantrasyon problemleri (H) daha az yaşanmaktadır (Şekil 3.19).



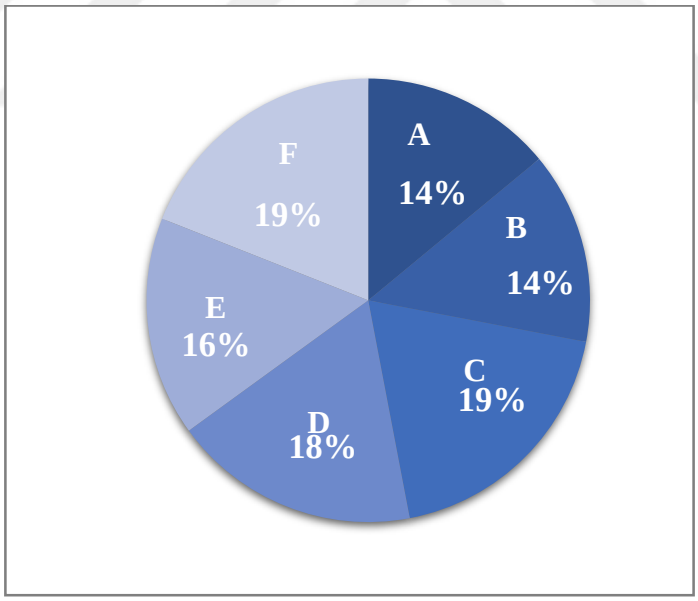
Şekil 3.19. Kokunun davranış ve aktivitelere etkisi

Ankette katılımcılarına son bölümde çevre kirliliği hakkında görüşlerini almak adına genel sorular yönlendirilmiştir. Bu bölümdeki ilk soru ile kişilere en sık yaşadıkları çevre sorunu sorulmuştur. Katılımcılar koku kirliliği, katı atıklar, içme suyu temini yetersizliği, hava kirliliği, gürültü kirliliği ve görüntü kirliliği seçeneklerinden en sık yaşadıkları sorunu işaretlemişlerdir. Anket sonuçlarına göre, bölgede %31 oranında koku kirliliği problemi ve %20 oranında ise hava kirliliği sorunu yaşanmaktadır. Bu sorunları %20 oranında katı atık problemi izlerken, düşük oranlarda görüntü kirliliği, gürültü kirliliği ve içme suyu temini eksikliğinin yaşandığı görülmektedir (Şekil 3.20). Katılımcılara bir diğer soru olarak çevre sorunlarının sebepleri sorulmuştur. Katılımcılardan ankette verilen şıklardan (en çok yaşanandan en az yaşanana doğru sıralayarak) 3 tanesini işaretlemeleri istenmiştir. Şıklar, çevre teknolojilerinin yetersiz olması, halkın çevreye karşı duyarsızlığı, yetkili mercii çalışmalarının yetersizliği, insanların çevre konusunda eğitimsizliği, yasa ve yönetmeliklerdeki boşluklar, yerel yönetim çalışmalarının yetersizliği, olmak üzere genel sorunlardan oluşmaktadır. Verilen cevaplar doğrultusunda katılımcıların %19'unun yetkili mercilerin

çalışmalarını yetersiz bulduğu, yine %19'unun yerel yönetim çalışmalarını yetersiz bulduğu belirlenmiştir. %18'lik kesim ise insanların çevre konusunda eğitimlerinin yetersiz olduğunu düşünmektedir. (Şekil 3.21).



Şekil 3.20. Yaşanılan çevre sorunları



Şekil 3.21. Çevre sorunlarının sebepleri

Anketin ve bölümün son sorusu olarak kişilere çevre sorunlarını önlemek için önerileri sorulmuştur. Katılımcılar bu bölümde açık uçlu olarak yorum ve önerilerini belirtmişlerdir. 200 kişi ile gerçekleştirilen anket çalışmasında, katılımcıların çoğunluğu halka yönelik çevre eğitimlerinin ve endüstriyel kuruluşlarda gerçekleştirilecek çevre denetimlerin daha sık olmasını önermektedir.

3.4. Koku Konsantrasyonlarının Dağılım Modellemesi

Çalışma kapsamında olfaktometrik ölçüm sonuçlarına bağlı olarak endüstrilerin bulunduğu noktalar koku kaynağı olarak belirlenmiştir. Sanayi alanındaki en yüksek konsantrasyonlara sahip 3 noktanın ortalama konsantrasyonu (1700 KB/m^3) modele alansal kaynak olarak işlenmiştir. Bu alandan yayılan koku imisyonunun gauss dağılım modelleme yöntemiyle yıllık dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, Tablo 3.2'deki sonuçlar elde edilmiştir. AERMOD 9.5.0 dağılım modeli kullanılan çalışmada, kokunun 1, 3, 6, 12 ve 24 saatlik dağılım haritaları incelenmiştir. Yerleşim bölgelerinin çoğunluğu, 1 saatlik dağılımda 100-500 KB/m^3 arasındaki koku konsantrasyonuna, 3 ve 6 saatlik dağılımda 50-250 KB/m^3, 12 ve 24 saatlik dağılımda ise 0-250 KB/m^3 arasındaki konsantrasyonlara maruz kalmaktadır.

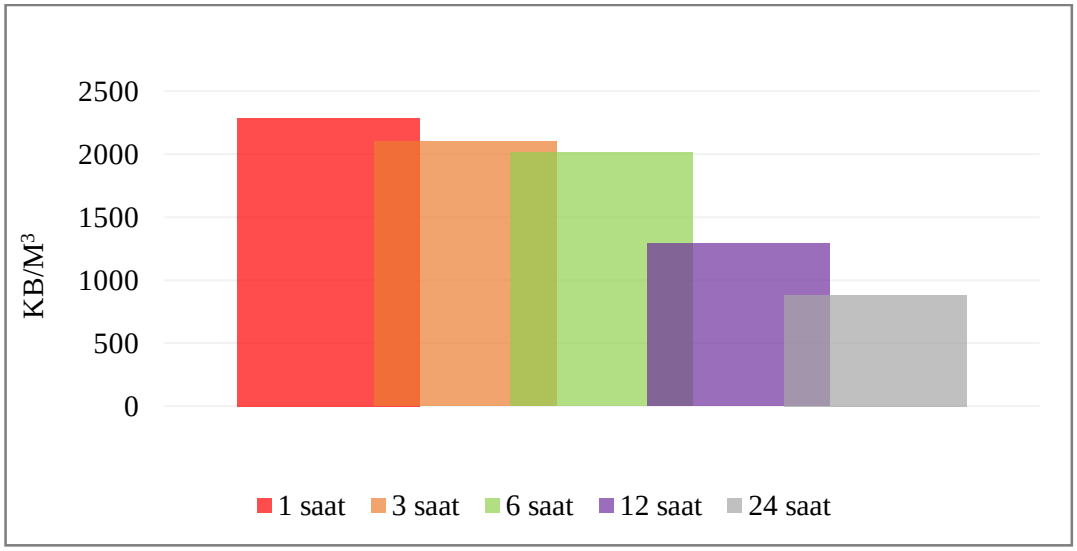
Tablo 3.2. Modelleme sonuçları

KOKU - Konsantrasyon – Kaynak grubu: Hepsi

Ortalama Dönem	Sıra	Pik	Birim	X (m)	Y (m)	Pik zamanı, Başlama saati
1-SA	1.	2288.41190	KB/m^3	752122.87	4515859.84	13.05.2017, 1
3-SA	1.	2099.06434	KB/m^3	752122.87	4515859.84	11.12.2017, 3
6-SA	1.	2011.78512	KB/m^3	752122.87	4515859.84	30.09.2017, 6
12-SA	1.	1289.65667	KB/m^3	752122.87	4515859.84	30.09.2017, 12
24-SA	1.	881.42210	KB/m^3	752122.87	4515859.84	10.11.2017, 24
Dönemsel		423.90195	KB/m^3	752122.87	4515859.84	

Tablo verileri incelendiğinde konsantrasyonun zamana bağlı değişimi gözlenmektedir. Kokunun kişiler üzerindeki en fazla etkisi konsantrasyonun pik (maksimum değer) yaptığı noktalarda rahatsız edici olmaktadır. Bu sebeple modelde kokunun maksimum konsantrasyona ulaştığı noktadaki konsantrasyon değişimi değerlendirilmiştir. 1 saatteki maksimum koku konsantrasyonu 2288 KB/m^3 iken, 3. saatte 2099 KB/m^3, 6. saatte 2011 KB/m^3, 12. saatte 1290 KB/m^3 olarak gözlenirken, 24. saat sonunda koku konsantrasyonu 881 KB/m^3'e kadar düşmektedir.

Maksimum konsantrasyonun görüldüğü noktadaki konsantrasyonun zamana bağlı değişimi incelendiğinde (Şekil 3.22), 1. saatteki 2288 KB/m3'lük konsantrasyonun 3. saatte %8, 6. saatte %12, 12. saatte %44, 24. saatte % 61 azaldığı görülmüştür.



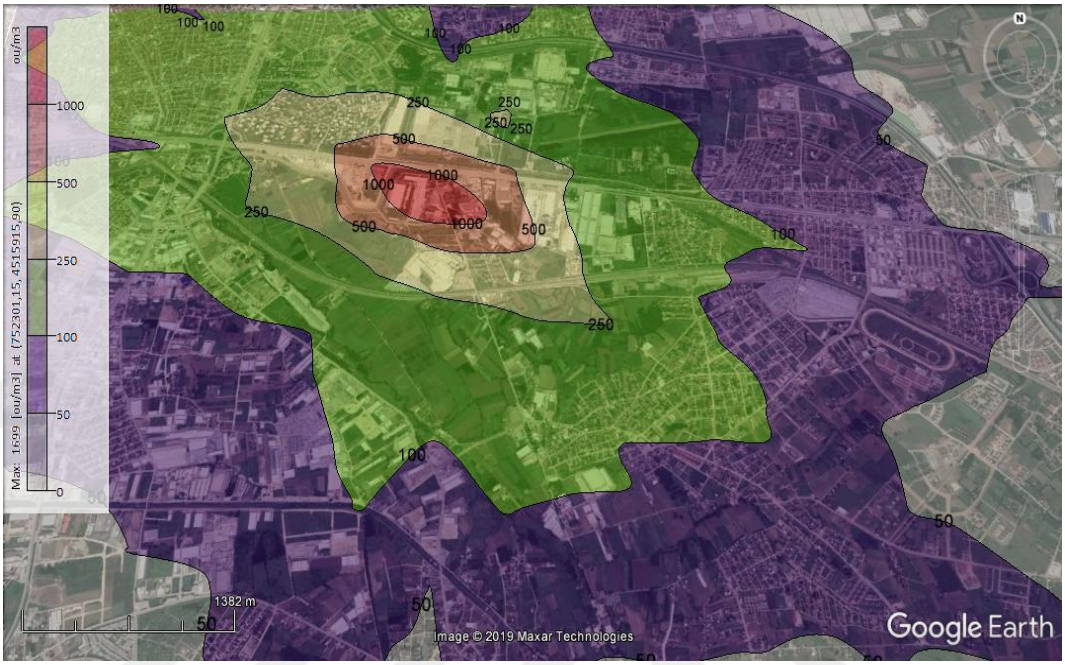
Şekil 3.22. Maksimum konsantrasyonun zamana bağlı değişimi

Dağılım haritaları incelendiğinde yüksek konsantrasyonun, gözlendiği alandan yerleşim bölgeleri de dahil olmak üzere tüm yönlere doğru yayıldığı görülmektedir. Yerleşim yerlerinin büyük çoğunluğunun, 1 saatlik dağılımda yaklaşık 100-500 KB/m^3 koku konsantrasyonu arasında kokuya maruz kaldığı gözlenmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Kokunun 1 saatlik dağılımı

3 ve 6 saatlik dağılım modellendiğinde yerleşim yerlerinin büyük çoğunluğu 50-250 KB/m^3 arasındaki koku konsantrasyonuna sahip kokuya maruz kalmaktadır (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25).



Şekil 3.24. Kokunun 3 saatlik dağılımı

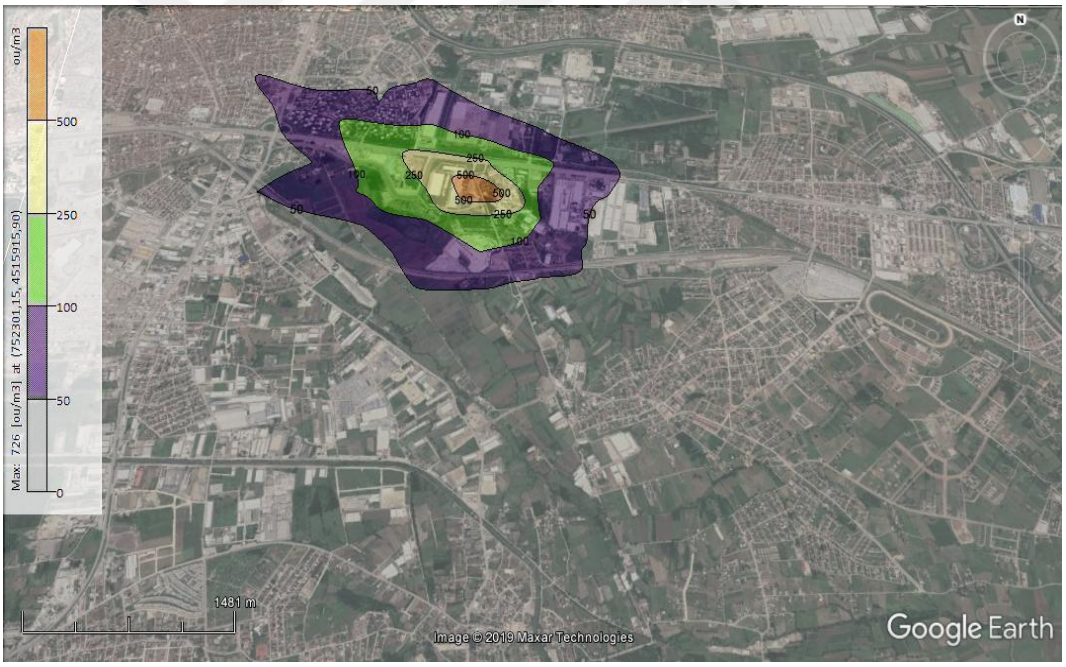


Şekil 3.25. Kokunun 6 saatlik dağılımı

12 ve 24 saatlik dağılım haritaları incelendiğinde, yerleşim bölgesi 0-250 KB/m^3 arasındaki koku konsantrasyonlarına maruz kalmaktadır (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27).



Şekil 3.26. Kokunun 12 saatlik dağılımı



Şekil 3.27. Kokunun 24 saatlik dağılımı

Çalışma kapsamında bölgeden numune alınarak ölçüm yapılan 23 nokta, modelleme programına alıcı nokta olarak girilmiştir. Bu noktalardaki konsantrasyonlar model aracılığıyla tahmin edilmiş ve ortam ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Alıcı noktalardaki modelleme ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Ortam Ölçüm Noktaları	AERMOD ile Tahmin Edilen Maksimum Konsantrasyon (KB/m^3)	Ölçülen Koku Konsantrasyonu (KB/m^3)	% fark
1	392	689,6	43
2	333	340,8	2
3	276	672,2	59
4	250	568,8	56
5	281	324,9	14
6	289	372,2	22
7	406	565,7	28
8	434	475,7	9
9	681	281	**-142**
10	383	619	38
11	254	749,6	66
12	215	487,1	56
15	675	1430,4	53
16	188	994	81
17	270	192,8	**-40**
18	748	560,5	**-33**
20	425	1409,6	70
21	500	1174,2	57
22	826	1381	40
23	287	1371,3	79
24	524	1195,3	56
25	447	1048	57
26	346	668,8	48

Tablo incelendiğinde alıcı noktalarda yapılan olfaktometrik ölçüm sonucunda elde edilen konsantrasyonlar modelin tahmin ettiği konsantrasyonlardan daha yüksek çıkmıştır. Ölçüm ile elde edilen ve modelin tahmin ettiği konsantrasyonlar arasındaki sonuçlar %2 - %81 oranları arasında farklılık göstermektedir. Üç noktada ise (9., 17. ve 18. noktalar) ortam ölçümleri sonucundaki konsantrasyonlar, modelin tahmin ettiği konsantrasyonlara kıyasla daha düşük çıkmıştır.

Koku modellemesi yapılan çalışmalar incelendiğinde, modelleme programlarında bu gibi sonuçlarla karşılaşıldığı görülmektedir. Modelleme yapılırken 1 yıllık meteorolojik veriler kullanıldığından sonuçlar günlük değil yıllık bazda alınmaktadır. Fakat ortam ölçümlerinde günlük rüzgar yönleri ve hızları, ortam havası konsantrasyonunu etkileyebilmektedir. Úbeda ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada bu sorun gauss dağılım yönteminin, kokunun dağılımını modellemede yeteri kadar başarılı olmadığı yorumu yapılmıştır. Yapılan diğer çalışmalar

incelendiğinde hava kirleticilerinin konsantrasyon dağılımını tahmin etmek için geliştirilen dispersiyon modellerinde, kirletici olarak koku kullanılması durumunda yaşanan sorunlardan bir başkası, kullanılan modellerin kaynaktan alıcıya konsantrasyonu yansıtmak için kütlenin korunumunu kullanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Koku ise kokulu bileşiklerin algılanma eşiğini ifade ettiğinden kütlesel bir kirlilik olarak değerlendirilmemektedir. Koku bu sebeple modelleme kısmında diğer kirleticiler kadar iyi simüle edilememektedir.

Bir diğer problem olarak ortam ölçümlerinde kullanılan koku ölçüm cihazı olan olfaktometre, numunenin koku algılama eşiğine ulaşmak için gerekli seyreltme sayısını hesaplayarak bu değeri KB/m^3 biriminde vermektedir. Çalışmada kullanılan modelleme programında ise veri girişi yapılırken kirletici birimi seçilen bölümde böyle bir birim bulunmamaktadır. Koku emisyon ve imisyonlarının veri girişinde birimden dolayı yaşanan bu problem, olfaktometre ölçümü sonucunda elde edilen konsantrasyonlar (KB/m^3) ve koku kütlesi olarak kullanılmak üzere hesaplanan akış hızı (KB/s) kullanılarak çözülmektedir.

Dağılımı etkileyen bir diğer sorun ise, kaynaktan yayılan kokunun bölgede dağılırken farklı kokular ile karışarak, asıl özelliklerinin değişebilmesidir. Kaynak noktasında belirli konsantrasyona sahip emisyonlar, kendi koku eşiklerinin altına düşmesi sebebiyle koku karışımına katkıda bulunmamaktadır (Laor ve diğ., 2014). Bu sebeple bölgede ölçülen konsatrasyonlarda, modellenen kokunun etkisinin olmama ihtimali mevcuttur.

Latos ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada birim farklılığı problemini çözebilmek adına modele veri girişi yapılırken, kirletici seçiminde koku yerine kokuya sebep olan bileşikler seçilmiştir. Yapılan modellemede, kaynakta NH_3 ve H_2S kaynaklı yüksek konsantrasyonların olabileceği fakat kaynaktan birkaç metre sonra hızla konsantrasyon düşüşü olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dispersiyon modellemesinin kokulu kirleticilerin etkilerini hafife aldığı çünkü kokunun sebep olduğu etkilerin pik konsantrasyonlara bağlı olduğu düşünülmektedir. İnsanlardaki koku algısı kokunun anlık pik (en yüksek) konsantrasyonuyla orantılı olduğundan, konsantrasyonun yüksek olduğu birkaç saniye insanların kokudan rahatsız olması için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. (Latos ve diğ., 2010). Modelde tahmin edilen

sonuçlar sadece alıcı noktadaki kokuya bağlı olduğundan ve ortam ölçümlerine bölgedeki diğer kaynaklarların da (çöp, trafik ve kanalizasyon vb.) etki etmesinden dolayı ortam ölçüm sonuçlarının daha yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.

3.5. Sanayi ve Yerleşim Bölgesinde Yaşayanlara Uygulanan Anketin ve Elde Edilen Koku Konsantrasyonlarının İstatistiksel Analizi

Koku konsantrasyonları farklı bölgelerde farklılıklar gösterebilmektedir. Çalışma kapsamında sanayi bölgesi ve yerleşimin yoğun olduğu bölgelerin dış ortamlarında elde edilen koku konsantrasyonları ve bu bölgelerde yaşayanlarla yapılan ankette sorulan sorulara verilen cevaplar değerlendirilerek incelenen iki bölgede hem koku konsantrasyonları hem de yaşadıkları bölgeye ilişkin sorulara verdikleri cevaplarda bir farklılığın olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Tablo 3.4'te, örneklenen yerleşim yeri ve sanayi bölgesinde yaşayanlara ait koku konsantrasyonu ve anket sorularına verilen cevaplara ilişkin *p* test istatistikleri verilmektedir.

İncelenen bölgelerin koku konsantrasyonları ve anket sorularına verilen cevapların oransal olarak birbirine nazaran büyük olması, yorum yapabilmemiz için tek başına yeterli olmadığından veri setine istatistiksel analiz yöntemleri uygulanmıştır. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile incelenmiştir. Testler sonucunda incelenen tüm değişkenlerin normal dağılım göstermemesi nedeniyle parametrik olmayan test yöntemlerinden birinin uygulanmasına karar verilmiştir.

Veri setine istatistik değerlendirme kapsamında parametrik olmayan test yöntemleri içerisinde birbirinden bağımsız iki örneklemenin (sanayi ve yerleşim bölgesi) bağımlı bir değişkene ilişkin sonuçlarının karşılaştırılarak iki dağılım arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılan Mann-Whitney *U* testi uygulanmıştır. Buna ilişkin değerlendirme, birçok bilim dalında yaygın olarak kullanılan bir istatistik programı olan, SPSS (Statistics Programme for Social Scientist) istatistik yazılımı Versiyon 22 (IBM) kullanılarak yapılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde %95 güven aralığı kullanılmıştır. Anlamlılık (*p*) değerinin 0,05'in altında olduğu durumlar "istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar" şeklinde değerlendirilmiş ve Tablo 3.4'te koyu renkli olarak verilmiştir.

Tablo 3.4. Yerleşim yeri (N=97) ve sanayi bölgesinde (N=103) yaşayanlara ait p test istatistiği

Değişkenler	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	*p* değeri
Koku Konsantrasyonu	315	5068	-11,494	**0**
Yaşadığınız bölgede koku hissettiniz mi?	4583,5	9336,5	-2,967	**0,003**
Gündüz koku hissettiniz mi?	3853,5	7858,5	-2,612	**0,009**
Gece koku hissettiniz mi?	4015,5	9371,5	-1,732	0,083
Kokuyu gün içerisinde sürekli mi hissediyorsunuz?	4551	8646	-0,152	0,879
Koku hissedilebilir şekilde algılanıyor mu?	4619	9179	-1,583	0,114
Kokunun hedonik tonu nahoş mu?	4488	8493	-1,071	0,284
Koku sizi rahatsız ediyor mu?	4590	9055	-2,1	**0,036**
Sağlık açısından bölgede yaşamak sizce uygun mu?	3984	9340	-3,536	**0**
Koku nedeniyle nörolojik açıdan sıklıkla rahatsızlık hissediyor musunuz?	4983	9736	-0,053	0,957
Kokudan kaynaklı duygu karmaşası yaşıyor musunuz?	4388	8666	-0,799	0,425
Kokudan kaynaklı baş dönmesi yaşıyor musunuz?	3890	8168	-2,57	**0,01**
Kokudan kaynaklı uyuşukluk yaşıyor musunuz?	4333,5	9383,5	-1,132	0,257
Gastrojenik açıdan sıklıkla rahatsızlık hissediyor musunuz?	4303,5	9056,5	-2,035	**0,042**
Kokudan kaynaklı mide bulantısı yaşıyor musunuz?	4722,5	9873,5	-0,139	0,889
Kokudan kaynaklı diyare problemi yaşıyor musunuz?	4639	9790	-0,917	0,359
Solunum açısından sıklıkla rahatsızlık hissediyor musunuz?	4749,5	9502,5	-0,904	0,366
Kokudan kaynaklı nefes almada sıkıntı yaşıyor musunuz?	4649,5	9114,5	-0,555	0,579
Kokudan kaynaklı göğüste daralma yaşıyor musunuz?	4772	9237	-0,081	0,935
Kokudan kaynaklı öksürük sorunu yaşıyor musunuz?	4187	8652	-1,788	0,074
Koku sebebiyle evde bulunmaktan hoşlanmadığınız oluyor mu?	4652,5	9405,5	-1,234	0,217
Kokudan kaynaklı iştah kaybı yaşıyor musunuz?	4977,5	10333,5	-0,107	0,915
Koku, çocukların dış ortamda oynama durumunu etkiliyor mu?	4901,5	9654,5	-0,948	0,343
Kokudan kaynaklı kendinizi hasta hissediyor musunuz?	4968	9721	-0,147	0,883
Kokudan dolayı pencereleri sürekli kapalı tutuyor musunuz?	4684	10040	-1,089	0,276
Kokudan dolayı arkadaşlarınızı evinize davet etmekte sorun yaşıyor musunuz?	4944	10300	-1,03	0,303
Kokudan dolayı dikkat problemi yaşıyor musunuz?	4953	9706	-0,384	0,701
Bölgede en çok yaşanan çevre sorununun koku kirliliği olduğunu düşünüyor musunuz?	4572	8943	-0,514	0,607

Uygulanan istatistiksel analiz sonucu elde edilen *p* anlamlılık değerleri ele alındığında toplam 7 değişken için istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunurken (*p*<0,05), incelenen diğer değişkenler için istatistiksel olarak anlamlı bir fark (*p*>0,05) bulunamamıştır (Tablo 3.4). İncelenen iki bölge arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar; koku konsantrasyonları, bölgede kokunun hissedilmesi, kokunun gündüz hissedilmesi, kokunun rahatsızlık vermesi, bölgede yaşamanın sağlık açısından uygunluğu, kokudan kaynaklı baş dönmesi yaşanması ve gastrojenik açıdan rahatsızlık hissedilmesi değişkenlerinde görülmüştür. Sanayi bölgesinde elde edilen ortalama koku konsantrasyonları (1387 KB/m^3), yerleşim yerlerinde elde edilen koku konsantrasyonları ortalamasından (600 KB/m^3) istatistiksel olarak anlamlı farklılık (*p*=0,000) göstermesi sanayi bölgesinde yoğun bir koku kirliliği yaşandığına işaret etmektedir. İncelenen iki bölgenin koku düzeyleri arasında anlamlı bir farklılığın bulunması beraberinde bazı anket sorularına verilen cevaplarda da kendisini göstermiştir. Sanayi bölgesinde; daha fazla koku hissedildiği (*p*=0,003), gündüz hissedilen kokunun daha ayırt edici olduğu (*p*=0,009), kokunun daha fazla rahatsız edici olduğu (*p*=0,036), daha fazla baş dönmesi yaşandığı (*p*=0,010) ve gastrojenik açıdan daha fazla rahatsızlık hissedildiği (*p*=0,042), bunun yanında yerleşimin yoğun olduğu yerlerde yaşayanlar için ise istatistiksel olarak anlamlı tek farklılık olarak yerleşimin yoğun olduğu bölgede yaşamanın sanayi bölgesine göre daha uygun olduğu (*p*=0,000) sonuçları elde edilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Koku kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok ülkede koku emisyonu kontrol limitlerinin genellikle 500-1000 KB/m^3 arasında sınırlandığı görülmektedir. Kokulu emisyonların 1000 KB/m^3 altında olması, kokunun rahatsızlığını kabul edilebilir seviyeye getirmektedir. Fakat 1000 KB/m^3 üzerinde olan kokular çevredeki insanları rahatsız etmekte olup, kontrolü gereken emisyonlardır (Güvener, 2004). Tesislere ait kokulu emisyonların sınır değeri aşma durumunun belirlenmesi için direk tesislerin kaynaklarından numune alınması gerekmektedir. Çalışmada örnekler ortam havasından alındığından koku imisyonu olarak değerlendirilmiştir. İmisyon kriteri olarak kokunun insanlara ulaştığı etki, bölgede çalışan ve ikamet eden vatandaşların hayat kalitesi açısından oldukça önemlidir. Yapılan ölçümlerde sanayi tesisleri yakınlarında yapılan örneklemelerde koku konsantrasyonları genellikle KOEKHY koku sınır değeri olan 1000 KB/m^3'den yüksektir. En yüksek koku konsantrasyon değeri 2186,2 KB/m^3 olarak ölçülmüştür. Koku örneği kaynaktan alınmadığı için söz konusu konsantrasyonun birçok koku kaynağını içerdiği düşünülmektedir. Kokunun içeriği ve bölgedeki sanayi tesislerinin kaynaklarındaki koku konsantrasyon değerleri bilinmediğinden kokunun tam kaynağı hakkında yorum yapılamamaktadır.

Yerleşim alanlarında yapılan örneklemelerin konsantrasyon değerleri, sanayi tesisleri yakınlarındaki ölçümlerin aksine çok daha düşüktür. Yerleşim alanında yapılan ölçümlerde en yüksek değer 1381 KB/m^3 olarak belirlenmiştir. Koku düzeyinin yüksek bulunduğu bu nokta, diğer noktalara oranla sanayi tesislerine nispeten daha yakın mesafede bulunmaktadır. Bu noktada değer yüksek seyrederken, yerleşimin yoğun olduğu diğer bölgelerde konsantrasyonlar daha düşük değerlerde seyretmektedir. Yerleşim alanları arasındaki bu farkın sanayi bölgesindeki tesislerinin yoğunluğuna bağlı olduğu düşünülmektedir. Tesislerin kendi başına sebep olduğu koku konsantrasyonları sınır değerlerin altında olsa bile, birden fazla tesisten kaynaklanan koku emisyonlarının ortak etkisiyle taşınarak yerleşim alanlarında rahatsızlığa sebep olduğu düşünülmektedir.

Sanayi tesislerinin yakınlarındaki noktalarda yapılan örnekleme sonucu analiz edilen koku imisyonları, AERMOD hava dispersiyon modelleme programı ile modellenerek, söz konusu yüksek koku konsantrasyon değerlerinin yerleşim alanlarına doğru etkisini kaybederek daha düşük değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Modelleme ile alıcı noktalarında hesaplanan konsantrasyon değerleri ise ölçüm noktalarında yapılan olfaktometrik ölçüm sonuçları ile farklılık göstermektedir. Bu farklılığın, modelin günlük değil yıllık meteorolojik verileri kullanması ve modelleme programının sadece ölçüm yapılan noktadaki kokuyu modellemesinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Alıcı noktalarda koku konsantrasyonuna etki eden farklı kaynaklar (çöp kutusu, araçlardan kaynaklanan egzoz kokusu ve diğer koku kaynakları) olması sebebiyle olfaktometrik ölçümlerin genellikle daha yüksek değerlerde olması normal olarak karşılanmaktadır.

Koku rahatsızlığı konusunda kokunun hissedilme süresi, sıklığı ve zamanı da oldukça önemli bir noktadır. Kokunun gün içerisinde uzun saat aralıklarında hissedilmesi, bölgede yaşayan kişilerin şikayetlerini arttırmaktadır. Çalışmadaki anket sonuçları incelendiğinde, kişilerin genellikle gündüz saatlerinde ve 0-8 saat aralığında, çoğunlukla hafta içi kokuyu hissettikleri görülmektedir. Katılımcıların çoğunluğu kokuyu kesikli ve yoğun olarak hissettiğini belirtmektedir. Kokunun gün içerisinde sık ve çok yoğun olarak hissedilmesi ile kıyaslandığında ve bölgedeki tesislerin sektörleri ile kokuya sebep olabilme ihtimalleri değerlendirildiğinde, mevcut durum nispeten kontrol altına alınmış gibi görülmektedir. Fakat yıl içerisinde farklı zamanlarda, mevsimlerin kokuya etkisi düşünülerek, yapılan ölçümler ve bölgedeki tesislerin koku giderim sistemlerini daha etkili kullanmaları halinde kokunun daha iyi kontrol edilebileceği düşünülmektedir.

Türkiye'de koku emisyonları kontrolü hakkında yayımlanan ilk yönetmelik olan 4 Eylül 2010 tarih ve 27692 sayılı Kokuya Sebep Olan Emisyonların Kontrolü Yönetmeliği'nde, koku şikayetine konu olan işletmelerin kaynak ölçümlerinin yanı sıra dış ortamlarında da koku ölçümü yaptırma yükümlülükleri bulunmaktadır. Söz konusu yönetmeliğin kaldırılması ve 19.07.2013 tarih ve 28712 sayılı Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik'in yürürlüğe girmesi ile işletmelerin dış ortam ölçümü yükümlülükleri kaldırılmıştır. Kokuya sebep olan endüstrilerin koku kaynaklarına önlem alsalar dahi, tesisteki herhangi bir sızıntı veya yanlış hammadde

ve atık depolanması gibi sebeplerden dolayı dış ortamlarında koku problemi oluşturma riskleri bulunmaktadır. Tesislerde koku kirliliği tam olarak kontrol altına alması için, kokunun yoğun olarak hissedildiği 3 ay süreli olarak yapılan dış ortam ölçümleri sonucu belirlenen kokulu zaman yüzdelerinin, yürürlükten kaldırılan yönetemeliğe göre yerleşim yerlerinde %15, sanayi bölgelerinde %20 olarak şekilde sınırlandırılması, koku kirliliği problemi çözmede daha verimli sonuçlar ortaya çıkaracağı düşünülmektedir. Ayrıca farklı ülkelerde kokuya sebep olan bazı bileşikler için konsantrasyon sınır değerleri ile birlikte sınır sürelerin belirlenmesinin, yüksek konsantrasyonlara sebep olan tesislerde uygulanabilmesi, yoğun kokulu zamanları azaltma açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında koku örneklerinin alındığı bölge temelde koku düzeylerinin yüksek olarak tespit edildiği sanayi bölgesi ve göreceli olarak düşük düzeylere sahip yerleşim bölgesi şeklinde ele alındığında bu bölgeler arasında toplam 7 değişken için istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunurken (p<0,05), incelenen diğer değişkenler için istatistiksel olarak anlamlı bir fark (p>0,05) bulunamamıştır. İstatistiksel olarak tespit edilen anlamlı farklar; koku konsantrasyonları, bölgede kokunun hissedilmesi, kokunun gündüz hissedilmesi, kokunun rahatsızlık vermesi, bölgede yaşamanın sağlık açısından uygunluğu, kokudan kaynaklı baş dönmesi yaşanması ve gastrojenik açıdan rahatsızlık hissedilmesi değişkenlerinde görülmüştür. Bu çalışma sonuçları, yüzölçümünün küçük olması ve nüfüs yoğunluğunun çok yüksek olması durumunda sanayi tesisleri ile yerleşim alanlarının doğal olarak içiçe geçmesine neden olduğunu bu durumda, sanayi bölgelerinde hissedilen kirliliğin yerleşim alanlarında da etkili şekilde hissedilmesi ile rahatsızlığa neden olmasına bir örnek olarak gösterilebilir.

Bu çalışmada tesisler hedef alınmamış olup, bölgedeki genel koku kirliliği duyusal yöntemler ile analiz edilerek değerlendirilmiştir. Şikayete konu olan koku kirliliğine çözüm yöntemi sunulabilmesi için, kokuya sebep olan kaynakların belirlenmesi gerekmektedir. Bölgedeki kokunun GC-MS cihazı yardımıyla analitik olarak analiz edilmesi ile kokuya sebep olan bileşikler belirlenerek, kokunun kaynağı konusunda fikir sahibi olunabileceği düşünülmektedir. Koku rahatsızlığının azaltılması için ise, tesislerin kaynak ölçümleri yapılarak, koku giderim sistemlerinin verimliliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Analitik analizlere ek olarak konsantrasyonu belirlenen kokuya sebep olan bileşiklerin, hava dispersiyon modelleme programları ile en yakın yerleşim bölgesine dağılımının incelenmesi bölgedeki hava kalitesinin iyileştirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Aatamila M., Verkasalo P. K., Korhonen M. J., Suominen A. L., Hirvonen M. R., Viluksela M. K., Nevalainen A., Odour Annoyance and Physical Symptoms among Residents Living Near Waste Treatment Centres, *Environmental Research*, 2011, **111** (1), 164–170.

Akmırza İ., Gıda Endüstrisi Kaynaklı Koku Emisyonlarının Kontrol Stratejilerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 349641.

Akmırza İ., Removal of Odor Emissions from Food Fermentation and Petrochemical Production Processes with Using Biological Treatment Methods, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 546331.

Bajpai P., Biological Odour Treatment, Springer, India, 2014.

Brancher M., Griffiths K. D., Franco D., de Melo Lisboa H., A Review of Odour Impact Criteria in Selected Countries Around the World, *Chemosphere*, 2017, **168**, 1531-1570.

Bockreis A., Steinberg I., Measurement of Odour with Focus on Sampling Techniques, *Waste Management*, 2005, **25(**9), 859–863.

Both R., Sucker K., Winneke G. ve Koch E., Odour Intensity and Hedonic Tone – Important Parameters to Describe Odour Annoyance to Residents?, *Water Science and Technology*, 2004, **50**(4), 83–92.

Capelli L., Sironi S., Rosso R., Céntolaa P., Rossib A., Austerib C., Odour Impact Assessment in Urban Areas: Case Study of The City of Terni, *Procedia Environmental Sciences*, 2011, **4**, 151–157.

Capelli L., Sironi S., Del Rosso R., Guillot J. M., Measuring Odours in the Environment vs. Dispersion Modelling: A Review, *Atmospheric Environment*, 2013a, **79**, 731-743.

Capelli L., Sironi S., Del Rosso R., Odor Sampling: Techniques and Strategies for the Estimation of Odor Emission Rates from Different Source Types, *Sensors*, 2013b, **13**(1), 938-955.

Capelli L., Sironi S., Combination of Field Inspection and Dispersion Modelling to Estimate Odour Emissions from an Italian Landfill, *Atmospheric Environment*, 2018, **191**, 273–290.

Çetin Doğruparmak Ş., Pekey H., Arslanbaş D., Odor dispersion modeling with CALPUFF: Case Study of a Waste and Residue Treatment İncineration and Utilization Plant in Kocaeli, Turkey, *Environmental Forensics*, 2018, **19**(1), 79-86.

Cheng Z., Sun Z., Zhu S., Lou Z., Zhu N., Feng L., The Identification and Health Risk Assessment of Odor Emissions from Waste Landfilling and Composting, *Science of the Total Environment*, 2019, **649**, 1038–1044.

Conti C., Guarino M., Bacenetti J., Measurements Techniques and Models to Assess Odor Annoyance: A Review, *Environment International*, 2020, **134**, 105261.

Cseh M., Nárai K. F., Barcs E., Szepesi D. B., Szepesi D. J., Dicke J. L., Odor Setback Distance Calculations Around Animal Farms and Solid Waste Landfills, *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 2010, **114**(4), 303–318.

ÇŞB, R.G. Tarih-No: 19.07.2013-28712, KOEKHY, Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ankara, Türkiye, 2013.

Damuchali A. M., Guo H., Evaluation of a Field Olfactometer in Odour Concentration Measurement, *Biosystems Engineering*, 2019, **187**, 239-246.

Delahunty C. M., Eyres G., Dufour J. P., Gas chromatography-olfactometry, *Journal of Separation Science*, 2006, **29**(14), 2107–2125.

de Melo A. M. V., Santos J. M., Mavroidis I., Junior N. C. R, Modelling of Odour Dispersion Around a Pig Farm Building Complex Using AERMOD and CALPUFF. Comparison with Wind Tunnel Results, *Building and Environment*, 2012, **56**, 8-20.

Demirarslan K. O., Kocaeli İli Körfez İlçesinde Hava Kirletici Kaynaklarının ve Hava Kalitesi Seviyesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012, 323156.

Diaz C., Izquierdo C., Capelli L., Arias R., Salas Seoane N., Analysis of Existing Regulations in Odour Pollution, Odour Impact Criteria 1, D-NOSES, 2019, H2020-SwafS-23-2017-789315.

Dinçer F., Characteristics and Chemistry of Odors from Selected Industrial Facilties in İzmir, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007, 213209.

Engeneers, R. W. D. I., Final Report Odour Management in British Columbia: Review and Recommendations, BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2005, project number: W05-1108.

Etli S., Atıksu Arıtma Tesislerinde Oluşan Koku Bileşenlerinin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 609796.

Evren C., Yiğit V. B., Çınar F., Koku Fonksiyonunun Subjektif Değerlendirilmesi: Derleme, *Kulak Burun Boğaz İhtisas Dergisi*, 2015, **25**(1), 59-64.

Fang J. J., Yang N., Cen D. Y. M., Shao L. M., He P. J., Odor Compounds from Different Sources of Landfill: Characterization and Source Identification, *Waste* Management, 2012, **32**(7), 1401–1410.

Fukuyama J. O. J. I., Odor Pollution Control for Various Odor Emission Sources in Japan, East Asia Workshop on Odor Measurement and Control Review, Office of Odor, Noise and Vibration, Environmental Management Bureau, Ministry of the Environment, Government of Japan, 67-77, 2004.

Gostelow P., Parsons S. A., Stuetz R. M., Odour Measurements for Sewage Treatment Works, *Water Research*, 2001, **35**(3), 579-597.

Güler U., Gıda Fermantasyon Prosesinden ve Organik Kimya Sektöründen Kaynaklanan Koku Emisyonlarının Karakterizasyonu, İstanbul teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 405085.

Güvener H. M., Investigation of Odorous Emissions and Immissions in Ankara with Olfactometer, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004, 153343.

Harreveld A. V., Odor Regulation and the History of Odor Measurement in Europe, OdourNet, 54-61, 2003.

Hove N. C., Langenhove H., Van Weyenberg S., Demeyer P., Comparative Odour Measurements According to EN 13725 Using Pig House Odour and n-butanol Reference Gas, *Biosystems Engineering*, 2016, **143**, 119-127.

Hu R., Liu G., Zhang H., Xue H., Wang X., Lam P. K. S., Odor Pollution due to Industrial Emission of Volatile Organic Compounds: A Case Study in Hefei, China, *Journal of Cleaner Production*, 2020, **246**, 119075.

Jeong S. J., CALPUFF and AERMOD Dispersion Models for Estimating Odor Emissions from Industrial Complex Area Sources, *Asian Journal of Atmospheric Environment,* 2011, **5**(1), 1-7.

Kamarulzaman N. H., Le-Minh N., Fisher R. M., Stuetz R. M., Quantification of Vocs and the Development of Odour Wheels for Rubber Processing, *Science of the Total Environment*, 2019, **657**, 154-168.

Kandemir S., Muluk N. B., Koku Fizyolojisi ve Koku Testleri: Derleme, *Turkish Journal of Clinics and Laboratory*, 2016, **7**(2), 48-53.

Kim K. H., Kim Y. H., Composition of Key Offensive Odorants Released from Fresh Food Materials, *Atmospheric Environment*, 2014, **89**, 443-452.

Klarenbeek J. V., Ogink N. W., Voet H., Odor Measurements according to EN 13725: a Statistical Analysis of Variance Components, *Atmospheric Environment,* 2014, **86**, 9-15.

Kocaeli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kocaeli İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu, Türkiye Cumhuriyeti Kocaeli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 3-19, 2018.

Laor Y., Parker D. ve Pagé T., Measurement, Prediction, and Monitoring of Odors in the Environment: A Critical Review, *Reviews in Chemical Engineering*, 2014, **30**(2), 139-166.

Latos M., Karageorgos P., Mpasiakos C. H., Kalogerakis N., Lazaridis M., Dispersion Modeling Of Odours Emitted From Pig Farms: Winter-Spring Measurements, *Global NEST Journal*, 2010, **12**(1), 46-53.

Lee H. D., Jeon S. B. , Choi W. J., Lee S. S., Lee M. H., Oh K. J., A Novel Assessment of Odor Sources Using Instrumental Analysis Combined with Resident Monitoring Records for an Industrial Area in Korea, *Atmospheric Environment*, 2013, **74,** 277-290.

Lewkowska P., Cieślik, B., Dymerski T., Konieczka P., Namieśnik J., Characteristics of Odors Emitted From Municipal Wastewater Treatment Plant and Methods for Their İdentification and Deodorization Techniques, *Envıronmental Research*, 2016, **151**, 573-586.

Liu Y., Zhaod Y., Lu W., Wang H., Huang Q., ModOdor: 3D Numerical Model for Dispersion Simulation of Gaseous Contaminants from Waste Treatment Facilities, *Environmental Modelling and Software*, 2019, **113**, 1–19.

Lucernoni F., Capelli L., Sironi S., Odour Sampling on Passive Area Sources: Principles and Methods, *Chemıcal Engineering Transactions*, 2016, **54,** 55-60.

Mahin T., Measurement and Regulation of Odors in the USA, Ministry of Environment, 62-68, 2003.

Mielcarek P., Rzeźnik W., Odor Emission Factors from Livestock Production, *Polish Journal of Environmental Studies*, 2015, **24**(1).

Mishra P. K., Tripathi J, Gupta S., Variyar P. S., GC-MS Olfactometric Characterization of Odor Active Compounds in Cooked Red Kidney Beans (Phaseolus Vulgaris), *Heliyon*, 2019, **5**(9), e02459.

Munoz R., Sivret E. C., Parcsi G., Lebrero R., Wang X., Suffet I. M., Stuetz R. M., Monitoring Techniques for Odour Abatement Assessment, *Water Research*, 2010, **44**(18), 5129-5149.

Nicell J. A., Assessment and Regulation of Odour Impacts, *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(1), 196–206.

Ölmez S.S. Odour Control in Wastewater Treatment Plants Using Ozonation and Chemical Scrubbing, Master Thesis, Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, İstanbul, 2008, 238801.

Özdamar K, *PASW ile Biyoistatistik*, Kaan Kitabevi, 8.baskı, Eskişehir, 2010.

Pawar P.V., Latake P.T., Ranveer A.C., Odour Pollution and Its Measurement, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 2015, **3**.

Piringer M., Petza E., Groehna I, Schauberger G., A Sensitivity Study of Separation Distances Calculated with the Austrian Odour Dispersion Model (AODM), *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(8), 1725–1735.

Pullen, J., Vawda, Y., Review of Dispersion Modelling for Odour Predictions, Technical Report, UK Environment Agency, Bristol, 2007.

Rappert S., Müller R., Odor Compounds in Waste Gas Emissions from Agricultural Operations and Food Industries, *Waste Management*, 2005, **25**(9), 887-907.

Rodríguez A. B., Camara V. F., Campo F., Becheran L., Duran A., Vieira V. D., de Melo H., Garcia-Ramirez A. R., Development of an Electronic Nose to Characterize Odours Emitted from Different Stages in a Wastewater Treatment Plant, *Water Research*, 2018, **134**, 92-100.

Scentroid SS600, Six Station Automated Olfactometer, "Operating and Maintenance Manual", Ides Canada In, Version D2.1., 2013.

Schauberger G., Piringer M., Petz E., Separation Distance to Avoid Odour Nuisance Due to Livestock Calculated by the Austrian Odour Dispersion Model (AODM), *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, **87**(1), 13–28.

Segawa, T., Odor Regulation in Japan, Noise and Odor Division Ministry of the Environment, Japan, 2004.

Shi L., Odor Pollution Control Regulation and Measurement in China, China State Key Laboratory of Odor Pollution Contro, TianJin, China, 2004.

Sironi S., Capelli L., Centola P., Del Rosso R., Pierucci S., Odour Impact Assessment by Means of Dynamic Olfactometry, Dispersion Modelling and Social Participation, *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(3), 354-360.

The Offensive Odor Control Law in Japan (brochure), Office of Odor, Noise and Vibration Environmental Management Bureau, Ministry of the Environment Government of Japan, 1995.

Töreyen G., Özdemir İ., Kurt T., ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dokümanı, İlk baskı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti., Ankara, 2010.

Úbeda Y., Ferrer M., Sanchis E., Calvet S., Nicolas J., López P. A., Evaluation of Odour Impact From a Landfill Area and a Waste Treatment Facility Through the Application of Two Approaches of a Gaussian Dispersion Model, *International Environmental Modelling and Software Society*, 2010.

Ueno H., Tatsuich H., Iwasaki Y., A Comparative Study of Japanese and European Olfactometry Standards in Odor Measurement Review, Office of Odor, Noise and Vibration Environmental Management Bureau Ministry of the Environment, Government of Japan, 88-94, 2006.

Ulutaş K., Tuzla Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde Koku Emisyonunun Karakterizasyonu ve Çevreye Etkisinin Dispersiyon Modellemesi ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017, 466645.

URL-1: https://kocaeli.ktb.gov.tr/TR-69185/genel-bilgiler.html (Ziyaret tarihi: 29 Aralık 2019).

URL-2: https://kosano.org.tr/rakamlarla-kocaeli/ (Ziyaret tarihi: 29 Aralık 2019).

URL-3: http://www.kocaeli.gov.tr/kocaeli-ekonomisinde-sanayinin-yeri (Ziyaret tarihi: 29 Aralık 2019).

URL-4: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI (Ziyaret tarihi: 29 Aralık 2019).

URL-5: https://ippc.csb.gov.tr/mevcut-en-iyi-teknikler-met-i-3129 (Ziyaret tarihi: 24 Nisan 2020).

URL-6: https://en.wikipedia.org/wiki/Best_available_technology#Pollution_control (Ziyaret tarihi: 24 Nisan 2020).

URL-7: https://www.nen.nl/NEN-Shop-2/Standard/NENEN-137252003-en.htm (Ziyaret tarihi: 24 Nisan 2020)

URL-8: http://english.mee.gov.cn/Resources/standards/Air_Environment/Emission_standard1/200 710/t20071024_111822.shtml (Ziyaret tarihi: 02 Mayıs 2020).

URL-9: http://english.mee.gov.cn/Resources/standards/Air_Environment/air_method/200809/t20080924_129341.shtml (Ziyaret tarihi: 02 Mayıs 2020).

URL-10: https://www.epa.vic.gov.au/for-community/environmental-information/odour/odour-law (Ziyaret tarihi: 03 Mayıs 2020).

URL-11: https://www.sciencedirect.com/search?qs=odor%20pollution&lastSelectedFacet=years, (Ziyaret tarihi: 24 Mayıs 2020).

URL-12: https://dnoses.eu/about-d-noses/, (Ziyaret tarihi: 14 Haziran 2020)

Ünver Ö., Gamgam H., Altınkaynak B., *Temel İstatistik Yöntemler*, Seçkin yayıncılık, 6. baskı, Ankara, 2011.

Wang L., Parker D. B., Parnell C. B., Lacey R. E., Shaw B. W., Comparison of CALPUFF and ISCST3 Models for Predicting Downwind Odor and Source Emission Rates, *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(25), 4663–4669.

Xu A., Chang H., Zhao Y., Tan H., Wang Y., Zhang Y., Lu W., Wang H., Dispersion Simulation of Odorous Compounds from Waste Collection Vehicles: Mobile Point Source Simulation with ModOdor, *Science of the Total Environment*, 2020, **711**, 135109.

Yang S. B., A Comparative Study on Odor Regulation in Japan and Korea, Odor Measurement Review, Office of Odor, Noise and Vibration Environmental Management Bureau Ministry of the Environment, Government of Japan, 2004, 77-81.

Yılmaz M., Gıda Fermantasyon Sektöründen Kaynaklanan Koku Emisyonlarının Biyofiltre Sistemi Kullanılarak Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 439584.

Yuwono A. S., Lammers P. S., Odor Pollution in the Environment and the Detection Instrumentation, *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, Invited Overview Paper, 2004, **4**.

Zhao Y., Xu Y., Xu A., Tan H., Liu Y., Zhang Y., Wang H., Assessing Transfer Distances and Separation Areas of Odorous Compounds from Probability Analysis with Numerical Dispersion Modeling, *Journal of Environmental Management*, 2020, **268**, 110669.

EKLER

Ek-A

Sayın Katılımcı,

Yahya Kaptan ve Kartepe Bölgesinde koku düzeylerinin belirlenmesi konulu bir araştırma yapmaktayız. Ankete olan katkınız çok önemlidir ve veriler sadece akademik çalışmalarda kullanılacaktır. Değerli katılımlarınızı bekler şükranlarımızı sunarız.

Dr.Öğr.Üyesi
Şenay ÇETİN DOĞRUPARMAK
Kocaeli Üniversitesi
Çevre Müh. Böl.

Doç.Dr.Beyhan PEKEY
Kocaeli Üniversitesi
Çevre Müh. Böl.

Prof.Dr. Hakan PEKEY
Kocaeli Üniversitesi
Çevre Müh. Böl.

DEMOGRAFİK YAPI		
1) Yaş	*2) Cinsiyet* ☐E ☐K	*3) Eğitim Durumu*
4) Adres:		
5) Kaç yıldır bu adrestesiniz		

KOKU ŞİKAYETİNİN TANIMI					
1) Bölgede hiç koku hissettiniz mi?		*2) En fazla hangi zamanlar hissediyorsunuz*			
☐Hayır ☐Evet		☐Gece ☐Gündüz ☐Haftaiçi ☐Haftasonu			
3) Bu süre içinde kesikli mi sürekli mi?	☐Kesikli	☐Sürekli	*3) Kokunun süresi (Örnek:3 saat)*		
4) Koku algılama sıklığı					
☐ Asla	☐ Nadir (1 defa/hafta)	☐ Bazen (2-5 defa/hafta)	☐ Sık (1 defa/gün)	☐ Her zaman	
5) Koku algılama yoğunluğu					
☐ Koku Yok	☐ Çok Az	☐ Ayırt Edilebilir	☐ Yoğun	☐ Çok Yoğun	
6) Kokunun hedonik(bıraktığı izlenim) tonu nasıl?		*7) Koku sizi rahatsız ediyor mu?*			
☐ Hoş	☐ Nahoş	☐ Çok Fazla	☐ Az	☐ Hiç	
8) Kokunun karakteri (kokusu) neye benziyor?					
9) Kokunun nereden kaynaklandığını düşünüyorsunuz?					

SAĞLIK VE DAVRANIŞ BELİRTİLERİ				
1) Genel sağlık açısından bu bölgede yaşamak sizin için uygunmudur?				
☐ Çok Uygun	☐ Uygun	☐ Etkisiz/Normal	☐ Az Uygun	☐ Uygun Değil
2) Nörolojik (sinirsel) açıdan yaşadığınız rahatsızlıkları sıklığına göre sıralayınız. **(1- Sık Yaşanan, 2- Bazen Yaşanan, 3-Nadiren Yaşanan, 4- Hiç Yaşanmayan)**				
( ) Duygu karmaşası	( ) Uyku bozukluğu	( ) Baş dönmesi	( ) Uyuşukluk	
3) Gastrojenik(mide) açıdan yaşadığınız rahatsızlıkları sıklığına göre sıralayınız. **(1- Sık Yaşanan, 2- Bazen Yaşanan, 3-Nadiren Yaşanan, 4- Hiç Yaşanmayan)**				
( ) Bulantı	( ) İğrenme	( ) Kusma	( ) İshal	

4) Solunum belirtileri açısından yaşadığınız rahatsızlıkları sıklığına göre sıralayınız. **(1- Sık Yaşanan, 2- Bazen Yaşanan, 3-Nadiren Yaşanan, 4- Hiç Yaşanmayan)**
( ) Kalpte veya göğüste ağrı ( ) Nefes almada sıkıntı ( ) Göğüste daralma ( ) Öksürük
5) Davranış ve aktivitelerde etkisi açısından yaşadığınız rahatsızlıkların ilk üçünü (sıklığına göre) sıralayınız ***(1 en sık yaşanan-2, 3 devam ederek)***
( ) Evde olmaktan hoşlanmama ( ) İştah kaybı ( ) Derin nefes alamama
( ) Çocukların dışarıda oynayamaması ( ) Hasta hissetme ( ) Pencerelerin devamlı kapalı kalması
( ) Arkadaşlarını davet edememe ( ) Uyku rahatsızlığı ( ) Yaptıklarına dikkatini verememe

ÇEVREYE GENEL BAKIŞ		
Yaşanılan çevre sorunu		
1) En çok yaşadığınız çevre sorunlarının ilk üçünü sıralayınız (1 en çok yaşanan, 3 en az yaşanan)	( )	Koku Kirliliği
	( )	Katı Atıklar/Çöpler
	( )	İçme Suyu Temini
	( )	Hava Kirliliği
	( )	Gürültü Kirliliği
	( )	Görüntü Kirliliği
Çevre sorununun sebepleri		
2) Genel anlamda çevre sorunlarının meydana gelmesindeki ilk üç ana sebebi sıralayınız (1 en çok yaşanan, 3 en az yaşanan)	( )	Çevre teknolojilerinin yeterli olmayışı
	( )	Halkın çevreye karşı duyarsızlığı
	( )	İlgili bakanlık çalışmalarının yetersizliği
	( )	İnsanların çevre konusunda eğitimsizliği
	( )	Yasa ve yönetmeliklerdeki boşluklar
	( )	Yerel yönetim çalışmalarının yetersizliği
Çevre sorunlarını önlemek için öneriler		
3) Çevre sorunlarının önlenmesi/en aza indirilmesi için önerileriniz nelerdir?	1.	
	2.	
	3.	

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Ergün B., Çetin Doğruparmak Ş., Pekey B., Pekey H., Koku Kirliliğinin Olfaktometre ile Belirlenmesi: Kocaeli Örneği, *International Marmara Sciences Congress (Autumn 2019)*, Kocaeli, 01 – 03 Kasım 2019.

Ergün B., Pekey H., Çetin Doğruparmak Ş., Pekey B., Kokunun AERMOD Dağılım Modeli ile Modellenmesi: Kocaeli Örneği, *Çevre Mühendisliği Kaynak Geri Kazanımı Uluslararası Kongresi*, İstanbul, 12 – 13 Aralık 2019.

ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Kocaeli'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2012 yılında başladığı Kocaeli Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2018 yılında C sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı'nı aldı. 2018 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Öğrenimine devam etmektedir. Geri dönüşüm sektöründe farklı pozisyonlarda görev aldıktan sonra, şuan bir danışmanlık şirketinde Çevre Danışmanı olarak görev yapmaktadır.