

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAKKARİ KATI ATIK ENTEGRE DÜZENLİ DEPOLAMA
TESİSİNDEN KAYNAKLANAN METAN EMİSYONUNUN
MODELLENMESİ

Kader ZİREK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU

Temmuz, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAKKARİ KATI ATIK ENTEGRE DÜZENLİ DEPOLAMA
TESİSİNDEN KAYNAKLANAN METAN EMİSYONUNUN
MODELLENMESİ

Adı SOYADI tarafından hazırlanan tez çalışması 25.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU
İstanbul Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU, Danışman
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Afşin Yusuf ÇETİNKAYA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kübra ALTINDAŞ, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU'nun sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Hakkâri Katı Atık Entegre Düzenli Depolama Tesisinden Kaynaklanan Metan Emisyonunun Modellenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Kader ZİREK

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmanın tüm aşamalarında destek ve yardımlarını esirgemeyen gösterdiği ilgi, alaka sebebiyle tez danışmanım, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU hocama,

Bu alıőma için gerekli temeli oluőturmama destek sağlayan saygıdeğer hocalarıma,

Bu çalışmanın başarılı bir Şekilde tamamlanmasında katkıda bulunan herkese teşekkür ediyorum. Ayrıca bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim, baőarımızda sizin katkınız çok büyük oldu.

Maddi, manevi emeği geçen herkese teşekkür ediyorum.

Kader ZİREK

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-------------|
| TEŞEKKÜR | v |
| SİMGE LİSTESİ | viii |
| KISALTMA LİSTESİ | ix |
| ŞEKİL LİSTESİ | x |
| TABLO LİSTESİ | xi |
| ÖZET | xii |
| ABSTRACT | xiv |
| 1 GİRİŞ | 1 |
| 1.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi | 2 |
| 1.3 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri | 9 |
| 1.3.1 Yakma Yöntemi | 9 |
| 1.3.2 Kompostlaştırma | 10 |
| 1.3.3 Biyometanizasyon | 11 |
| 1.3.4 Proliz | 12 |
| 1.3.5 Düzenli Depolama..... | 13 |
| 2 DEPO GAZI İÇERİĞİ | 25 |
| 2.1 Genel Bilgiler..... | 25 |
| 2.2 Depo Gazı Bileşenleri | 27 |
| 2.2.1. Yağ Asitleri | 27 |
| 2.2.2. Aromatikler ve Halkalı Bileşikler | 27 |
| 2.2.3. İnorganik Kükürt..... | 28 |
| 2.2.4 Organik Kükürt | 28 |
| 2.2.5. Terpenler | 29 |
| 2.2.6 Diğer Kokulu Bileşikler | 29 |
| 3 METARYAL VE METHOD | 30 |
| 3.1. Hava Kalitesi Modelleri Modelleri | 30 |
| 3.1 Emisyon Kaynağı..... | 31 |
| 3.2. Alıcı Ortam | 31 |
| 3.3 Meteoroloji..... | 32 |
| 3.3.1. Atmosferik Kararlılık..... | 33 |
| 3.3.2. Rüzgâr Hızı ve Rüzgâr Profili..... | 34 |
| 3.4 Genel Gauss Dispersiyon Modeli | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5. Model Girdileri | 39 |
| 3.5.1. Alıcı Ortam | 40 |
| 3.5.2. Kirletici Kaynakları ve Emisyon Hızları | 41 |
| 3.5.3. Meteoroloji..... | 41 |
| 4 BULGULAR VE TARTIŞMA | 43 |
| 5 SONUÇ | 48 |
| KAYNAKÇA | 50 |
| TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR | 54 |



SİMGE LİSTESİ

σ Dispersiyon katsayısı



KISALTMA LİSTESİ

| | |
|--------|--|
| AERMOD | American Meteorological Society Environmental Protection Agency Regulatory Model |
| ÇED | Çevre Etki Değerlendirme |
| EROM | Avrupa Referans Koku Kütlesi |
| GDM | Gauss Dispersiyon Denklemi |
| NMOC | Metan İçermeyen Uçucu Organik Bileşikler |
| ORT | Koku algılama limiti |
| P | Kokulu bileşiğin basıncı (ppm) |
| TÜİK | Türkiye İstatistik Kurumu |
| UKAM | Uçucu Askıda Katı Madde |
| USEPA | Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı |
| VOC | Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds) |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1 Hakkâri atık karakterizasyonu [44] | 8 |
| Şekil 1.2 Düzenli depolama alan kesiti [50]..... | 18 |
| Şekil 1.3 Depo gazı oluşumu ve zamana bağlı oluşan konsantrasyon [30]..... | 22 |
| Şekil 3.1 Landfill Gas Emissions Model veri girişi..... | 38 |
| Şekil 3.2 LandGem metodunda metan emmisionunda kullanılan formüller..... | 54 |
| Şekil 3.3 Hakkari Katı atık entegre düzenli depolama alanının uydu görüntüsü .. | 41 |
| Şekil 3.4 Hakkari ili 2022 yılı için rüzgar gülü dağılımı..... | 42 |
| Şekil 4.1 Katı Atık Düzenli Depolama Alanı 2024-2050 Metan Emisyon Miktarı | 45 |
| Şekil 4.2 2025 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası..... | 46 |
| Şekil 4.3 2030 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası..... | 46 |
| Şekil 4.4 2035 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası..... | 47 |
| Şekil 4.5 2040 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası..... | 47 |

TABLO LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Tablo 1.1 Bazı ülkelerde katı atık Bileşimi [10] | 4 |
| Tablo 1.1 Bazı ülkelerde katı atık Bileşimi [10] (Devamı)..... | 5 |
| Tablo 1.2 Ülkemizde 2022 yılında oluşan atık miktarı [20] | 6 |
| Tablo 1.3 Çalışma alanında oluşan atık miktarı [20] | 7 |
| Tablo 1.3 Çalışma alanında oluşan atık miktarı [20] (Devamı)..... | 8 |
| Tablo 3.1 2024-2040 yılları arasındaki atık miktarı..... | 39 |
| Tablo 3.1 2024-2040 yılları arasındaki atık miktarı (Devamı) | 40 |
| Tablo 4.1 2024-2050 yılları arasında oluşan metan emisyon miktarı | 43 |
| Tablo 4.1 2024-2050 yılları arasında oluşan metan emisyon miktarı (Devamı)... | 44 |

HAKKÂRİ KATI ATIK ENTEGRE DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİNDEN KAYNAKLANAN METAN EMİSYONUNUN MODELLENMESİ

Kader ZİREK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Mühendisliği Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU

Son yüzyılda nüfus artışıyla birlikte üretim ve tüketim sorunu, canlıların hayatta kalabilmeleri için temel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik tüketim ve üretim yöntemlerinin gelişmesine ve atık sorununun çevre sorunları arasında yer alması ile sonuçlanmıştır. Bu durum büyük riskler oluştururken aynı zamanda sağlık sorunlarına da yol açmaktadır. Katı atık yönetim yönetmeliğine göre yönetilmesi gereken atıkların yanlış yönetilmesi doğrudan yada dolaylı olarak hava, su ve toprak kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle atıkların doğru şekilde bertaraf edilmesi büyük önem arz eder. Katı atık yönetim yönetmeliği ne göre atıklarda birincil olarak geri dönüşüm veya yeniden kullanım gibi yöntemler kullanılmalıdır. Atık yönetim sürecinde atıkların ayrıştırılması, parçalanması ve geri dönüştürülmesi için gerekli tesislerin kurulması gerekmektedir. Atıkları kontrol altına almak veya korumak ve etkili bir atık yönetimi için bakım hasar rejimlerinin kullanılması da önemlidir. Sonuç olarak atık yönetimi, çevrenin korunması ve insan sağlığının korunmasına yönelik adımların sürekli atılmasına büyük önem verilmektedir. Bu konuda kamuoyunun bilinçlendirilmesi ve atık yönetimi

konusunda iş birliği yapılması çevrenin ve gelecek nesillerin sağlığı açısından gereklidir.

Çalışmanın amacı, katı atık entegre düzenli depolama sahasından salınan metan emisyonunun hesaplanması ve dispersiyon ile modellenmesidir. Çalışmada kullanılan materyal ve metod ise EPA Landghem ile emisyon hesaplanması ardından Gauus dispersiyon yolu kullanılarak modellenmiştir. Çalışma sonucunda LandGem den elde edilen verilere bakacak olursak 2023 yılında işleme alınan tesiste onar yıl ara ile 2025, 2035 ve 2045 yılları için sırasıyla $7,416E+05$ m³/yıl, $7,182E+06$ m³/yıl, $8,475E+06$ m³/yıl olarak metan emisyonu hesaplanmıştır. Dispersiyon modeli ile oluşacak yer seviyesi konsantrasyonu modellenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık yönetimi, düzenli depolama, emisyon, dispersiyon, metan

MODELING OF METHANE EMISSIONS FROM THE HAKKÂRÎ INTEGRATED SOLID WASTE LANDFILL

Kader ZİREK

Department of Environmental Engineering
Environmental Engineering Program

Supervisor: Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU

With the increase in population in the last century, the production and consumption problem has resulted in the development of consumption and production methods to meet the basic needs of living things for their survival, and the waste problem has become one of the environmental problems. While this situation creates great risks, it also causes health problems. Mismanagement of waste, which must be managed according to the solid waste management regulation, directly or indirectly causes air, water and soil pollution. Therefore, correct disposal of waste is of great importance. According to the solid waste management regulation, methods such as recycling or reuse should primarily be used for waste. In the waste management process, necessary facilities must be established to separate, shred and recycle waste. It is also important to use maintenance damage regimes to control or protect waste and for effective waste management. As a result, great importance is attached to constantly taking steps towards waste management, environmental protection and human health protection. Raising public awareness on this issue and cooperation on waste management is necessary for the health of the environment and future generations.

The aim of the study is to calculate and model the methane emissions released from a solid waste integrated landfill site, including dispersion modeling. The material and method used in the study involve emission calculations using the EPA

LandGEM model, followed by dispersion modeling using the Gaussian dispersion method. According to the data obtained from LandGEM, the methane emissions for the facility, which started operation in 2023, are calculated to be $7,416E+05$ $m^3/year$, $7,182E+06$ $m^3/year$, and $8,475E+06$ $m^3/year$ for the years 2025, 2035, and 2045, respectively. The dispersion model was used to model the ground-level concentration of methane.

Keywords: Solid waste management, landfill, emission, dispersion, methane



YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING

1 GİRİŞ

Son yüzyılda artan nüfus artışı ve buna bağlı olarak üretim tüketim sorunu canlıların hayattaki temel ihtiyaçlarını karşılamak için tüketim ve aynı zamanda üretim yöntemlerini giderek geliştirmiştir. Bu gelişim sanayi devrimiyle makineleşmeye yoğunluk vererek insanlarda tüketim alışkanlıklarının da giderek farklı şekillenmesine yol açmıştır. İnsanların hazır gıdaya daha fazla yönelmesi hızlı tüketim çok al döngüsüyle sonuçlanmıştır. Diğer yandan kırsal göç olması kent nüfusunun artmasına sebep olmuştur. Kentlerde nüfusun artması oluşan atık miktarını artırırken çok fazla tek kullanımlık ürünler kullanıldı. Bu kullanım atık miktarının artmasında çok ciddi etki yarattı. Bu atıklar bilinçsizce ve oluşturabileceği riskler öngörülmeden, yerleşim yerine uzak alanlara gelişigüzel bırakılmıştır fakat hızla artan kentleşme ve nüfus artışı neticesinde vahşi depolama alanları yerleşim alanlarının içinde veya çok yakın mesafelere kadar ulaşmasıyla sonuçlanmıştır. Çevresel risk oluşturabilecek düzeye gelen katı atık kirliliği 1991 yılında resmî gazetede yayınlanan “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” ne göre oluşan atıkların toplumun huzuru ve çevreye verebileceği zararı minimize edecek şekilde bertaraf edilmesi gerektiğini içerir. Diğer yandan atığın oluşumundan bertarafına olan süreçte olası riskleride göz önünde bulundurarak bertaraf edilme yönteminde çeşitlilik sunar. Yalnız ülkemizin çeşitli bölgelerinde atıklar vahşi depolama yöntemini kullanılarak atıklar gelişigüzel bırakılır ve daha sonra dönem dönem yakma yöntemi kullanılır.

Çalışma alanı olan Hakkâri belediyesi sınırları içerisinde bulunan katı atık entegre depolama tesisi alanı Ağaç dibi köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Depolama alanının yerleşim alanının alan uzaklığı 4 km’dir. Hakkâri ili içerisinde 30 yılı aşkın süredir oluşan atıklar depolama alanına gelişigüzel atılmaktadır. Hakkâri-Çukurca yol güzergâhında yer alan alanın yakınlarında dağlık birçok gezi alanı ve dereler

bulunmaktadır. Üretim faaliyeti olarak alanın yakın çevresinde madencilik ve taş ocakları yaygınlık göstermektedir. Depolama alanının konumu itibariyle gün içerisinde il halkının en çok yaptığı il seferi olan Hakkâri-Van yolculuğunda koku ve görüntü olarak hiç de iyi sonuçlar vermemektedir. Diğer yandan alan çevresinde bulunan alanlarda toprağın verimliği gün geçtikçe azaldığı hatta bir zamandan sonra çorak bitki bile yeşermediği gözlenmiştir. İlde oluşan nüfus artışı madencilik faaliyetlerinde ve çeşitli sanayi faaliyetlerinde oluşan artış oluşan atık miktarını gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu da alanın giderek yeleşim alanın kaymasına neden olmuştur.

Noktasal kirlilik kaynağı oluşturan toprağı, yeraltı ve yerüstü sularını ekolojik açıdan ağır tahribe uğratan bu sahaların döküme kapatılması ve rehabilitasyon işlemlerinin başlatılması gerekmektedir. Ayrıca; sahanın çöp sızıntı sularının zap deresine karışması, zap deresinin yerleşim alanlarından geçmesi, balık turizmi ve alanın tarım sahalarına çok yakın konumda olması bu vahşi depolama alanının bir an önce kapatılıp rehabilite edilmesini elzem kılmıştır.

1.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi

Atık, canlıların çeşitli faaliyetleri sonucu oluşan bir materyaldir. Atığın birçok alanda çevreye ve insan sağlığına zararlı etkilere sahiptir [7].

Türkiye’de katı atık kavramı 2872 sayılı Çevre Kanunu’nda, “Katı atık genellikle evsel atıklar, endüstriyel atıklar, inşaat atıkları ve tehlikeli atıklar gibi çeşitli kaynaklardan gelmektedir. Bu atıkların düzenli şekilde bertaraf edilmemesi durumunda, çevre kirliliği, toprak ve su kaynaklarına zarar verme gibi olumsuz etkilere neden olabilir. Bu nedenle, atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması, bertaraf edilmesi ve yeniden kullanılması için etkili yöntemlerin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu süreçlerin düzgün bir şekilde uygulanması, toplumun huzur ve çevrenin korunması için hayati önem taşır. Bu nedenle, atıkların etkili bir şekilde kontrol altına alınması ve yönetilmesi için toplumsal ve kurumsal iş birliği büyük önem taşımaktadır [6].

Katı atık, herhangi bir girdi ve çıktısı olan süreçlerde, üretilen ürünlerin kullanım aşamasında veya kullandıktan sonra oluşan atıktır. Bu atıkların doğrudan yâda

dolaylı olarak ortama verilmesi canlılar üzerinde çeşitle olumsuzluklara sebep olmaktadır [10].

Katı atıklar kaynaklarına göre; evsel, endüstriyel, tıbbi, ticari ve kurumsal atıklar, inşaat, maden ve tarımdan kaynaklı atıklar olarak sınıflandırılabilir.[8] Oluşan atıkların çeşidi ve miktarı nüfusa, insanların bilincine, atık kaynağının gelişmişliğine çeşitliliğine bağlıdır. TÜİK 2002 değerlerine göre Ülke genelinde oluşan atık miktarı göz önüne alındığında ülkemizde en fazla atığın oluştuğu imalat sanayi kolunun ana metal ve fabrikasyon metal üretim tesislerinin onun ardından kimyasalların ve kimyasal ürünlerin, temel eczacılık ürünlerinin, kauçuk ve plastik ürünlerinin imalatı olduğunu görmekteyiz. Buna bağlı olarak ülkemizin çevresel risk taşıyan etmenlerin ve risk çeşitlerinin daha doğru tespit edilebilir. Çevresel bir risk oluşturan katı atıkların bertaraf veya geri kazanımında 1991 yılında kabul görmüş Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Oluşan atık miktarında göz önünde bulundurulması gereken bir diğer ölçüt ise atık çeşididir. Atık çeşidi oluşan atığın sıfır atık kapsamında değerlendirilebilirliğini etkilemektedir. Atık çeşidi düzenli depolama yapılan alanlarda da önemli bir parametredir, depolama alanında oluşabilecek gaz miktar ve çeşitliliğini etkilemektedir.

Tablo 1.1'deki veriler, farklı ülkelerin atık yönetim stratejilerindeki çeşitliliği ve geri dönüşüm oranlarındaki farklılıkları gözler önüne seriyor. Örneğin, Finlandiya ve Kanada, kâğıt ve karton atıklarının yüksek oranlarda geri dönüştürülmesi ile dikkat çekerken, Hindistan ve ABD kâğıt geri dönüşümünde daha düşük oranlar sergiliyor. Organik atıklar söz konusu olduğunda, Avusturalya ve Hindistan yüksek geri dönüşüm oranları ile öne çıkıyor; buna karşın ABD ve Fransa gibi ülkelerde organik atık geri dönüşüm oranları daha mütevazı. Cam geri dönüşümünde ise İsveç ve Japonya'nın yüksek oranları, bu ülkelerin cam atıkları konusunda etkili politikalar uyguladığını gösteriyor. Plastik geri dönüşümünde Almanya ve Avusturya'nın öne çıkması, bu ülkelerin plastik atık yönetimi konusunda başarılı stratejilere sahip olduğunu işaret ediyor. Metal atıkların geri dönüşümünde ise Hollanda ve Kanada'nın yüksek oranları dikkat çekiyor, bu da bu ülkelerin metal geri dönüşümüne önem verdiklerini gösteriyor. Öte yandan, Filipinler gibi ülkelerde taş ve tuğla atıklarının geri dönüşüm oranlarının yüksek olması, bu

ülkelerin inşaat atıkları yönetiminde etkin bir yaklaşım benimsediklerini ortaya koyuyor. Bu veriler, ülkeler arasındaki geri dönüşüm uygulamalarının ne kadar çeşitli olduğunu ve her ülkenin atık yönetimi konusunda farklı önceliklere sahip olduğunu vurguluyor.

Tablo 1.1 Bazı ülkelerde katı atık Bileşimi [10]

| Ülke | Kâğıt | Organik | Cam | Plastik | Metal | Tekstil | Taş ve Tuğla | Diğer |
|---------------------------|-------|---------|------|---------|-------|---------|--------------|-------|
| ABD ¹ | 37.6 | 29.2 | 6.6 | 9.3 | 8.3 | - | - | - |
| Almanya ² | 20.8 | 28.3 | 10.4 | 7.7 | 3.9 | - | 2.8 | - |
| Avustralya | 24 | 46 | 11 | 10 | 5 | - | - | 4 |
| Avusturya | 22.4 | 27.8 | 5.3 | 10.3 | 4.2 | 2.2 | 4.6 | 23.2 |
| | 29 | 38 | 4 | 5 | 1.3 | - | - | 21 |
| Danimarka ⁴ | 34 | 30 | 6 | 6 | 8 | - | - | 16 |
| Filipinler | 10 | 33 | 3 | 9 | 4 | - | - | 42 |
| Finlandiya | 51 | 29 | 6 | 5 | 2 | 2 | - | 5 |
| Fransa | 30 | 25 | 12 | 6 | 5 | 4 | - | 18 |
| Güney Afrika ⁵ | 33 | 31 | 12 | 7 | 7 | - | 0 | 9 |
| | 16 | 45 | 12 | 10 | 8 | - | 3 | 5 |
| Hindistan | 2.2 | 45 | 12 | 10 | 8 | - | 3 | 5 |
| Hollanda ² | 24.2 | 52.4 | 7.2 | 7.1 | 3.2 | 2.9 | - | 3 |
| İngiltere ⁶ | 33.9 | 23.4 | 14.4 | 4.2 | 7.1 | 4.1 | - | 12.9 |

Tablo 1.1 Bazı ülkelerde katı atık Bileşimi [10] (Devamı)

| Ülke | Kâğıt | Organik | Cam | Plastik | Metal | Tekstil | Taş ve Tuğla | Diğer |
|---|-------|---------|-------|---------|-------|---------|--------------|-------|
| İsveç | 35-45 | 25-35 | | | | | | |
| İsviçre ⁷ | 20.8 | 33 | 8.7 | 13.4 | 5.9 | - | - | 9.6 |
| İtalya | 22.3 | 42.1 | 7.1 | 7.2 | 3 | - | - | 18.3 |
| Japonya | 31-37 | | 14-16 | 5.5-6.4 | 3.8 | - | - | - |
| Kanada | 38.9 | 33.9 | 6.5 | 4.9 | 6.2 | 3.6 | 1.8 | 4.4 |
| ¹ 1193 verilerine göre | | | | | | | | |
| ² Sadece evsel katı atıklar | | | | | | | | |
| ³ Tekstil atıkları dahil | | | | | | | | |
| ⁴ Altteki değerler sadece evsel katı atıkları göstermektedir. | | | | | | | | |
| ⁵ Üstteki değerler şehirlere, alttakiler ise kırsal bölgelere aittir | | | | | | | | |
| ⁶ 1980 verilerine göre | | | | | | | | |
| ⁷ 1983 verilerine göre | | | | | | | | |
| ⁸ Cam ve inert maddeler | | | | | | | | |

Çıkan atık miktarı ve atık karakterizasyonu bize atığın kaynağı hakkında birçok bilgi vermektedir. Tablo 1.1 de yer alan değerleri göz önünde bulunduracak olursak cam ve plastic atıklar insanların tüketim alışkanlıkları ve çevreye duyarlılığı için ön bilgi oluşturabilir. Diğer yandan tekstil atıkları insanların alışkanlıklarını, oluşan taş ve tuğla atıkların kaynağın dönüşüm içerisinde olduğunu bir yapılanmaya gittiğine dair bilgi verebilir.

TÜİK verilerini göre belediyelreden toplam 109, 2 milyon ton atık toplandığı gösterilmektedir. Oluşan atık miktarının kaynağına göre kategorize edersek aşağıda

yer alan şekilde yer aldığı gibi en fazla atığın imalat sanayi işlerinde oluştuğunu söyleyebiliriz.

Tablo 1.2 Ülkemizde 2022 yılında oluşan atık miktarı [20]

| VERİLER | Toplam atık miktarı(ton) | | Tehlikeli atık miktarı(ton) | | Tehlikesiz atık miktarı(ton) | |
|--|--------------------------|----------------|-----------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| | 2020 | 2022 | 2020 | 2022 | 2020 | 2022 |
| Toplam | 104 739 181 | 109 237 232 | 30 770 088 | 29 380 898 | 73 969 093 | 79 856 334 |
| İmalat sanayi işleri | 23 867 866 | 27 969 021 | 4 597 274 | 5 439 883 | 19 270 593 | 22 529 139 |
| Termik Santraller | 24 375 356 | 27 815 548 | | | 24 365 343 | 27 805 036 |
| Maden İşletmeleri ⁽¹⁾ | 27 581 875 | 26 309 170 | 26 044 730 | 23 794 881 | 1 537 144 | 2 514 289 |
| Organize Sanayi Bölgeleri | | | | | | |
| | 279 067 | 323 140 | 116 720 | 127 268 | 162 347 | 195 872 |
| Hane Halkı ⁽²⁾ | 28 635 018 | 26 820 352 | 1 352 | 8 354 | 28 633 665 | 26 811 998 |
| (1) Dekapaj malzemesi / pasa hariç atık miktarıdır. | | | | | | |
| (2) Hanehalkından kaynaklı atık miktarı, Belediye Atık İstatistikleri kullanılarak tahmin yöntemiyle hesaplanmıştır. | | | | | | |

Oluşan atıkların oluştuğu tesistarafından yönetiminden ziyade ülkemizde yer alan 427 belediyenin kendi hakimiyetinde 30,3 ton atığın oluşmuştur. Buda kişi başı toplanan günlük atık miktarının 1,03 kg denk gelmektedir. Bu atıkların %17 sinin

depolama sahasında bertaraf edildiği %82,6 sının ise atık işleme tesislerine gönderildiğine ulaşılmıştır [20].

Atık yönetiminde ülkemizde kullanılan metodlar ve izlenen süreçlere bakacak olursak;

İki yılda bir elde edilen TÜİK verilerine göre 2 yıl içerisinde 384 adet atık bertaraf ve geri kazanım tesislerinin arttığına ulaşılmaktadır. evre Yönetim süreçlerinde yönetmeliklerin gitgide sahada daha iyi uygulandığı yönünden düşünebiliriz. Faaliyete geçen tesislerden yanısıra 16 adet Düzenli depolama sayısının arttığını dşnrssek bu da oluşan atıkların vahşi depolamada depolanma oranının azaldığını, kontrolsüz yakma yönteminin azaldığını atık yönetiminde yer alan arkadaşlarımızın bu süreci daha iyi yönettiklerine yorumlayabiliriz.

Tablo 1.3 alışma alanında oluşan atık miktarı [20]

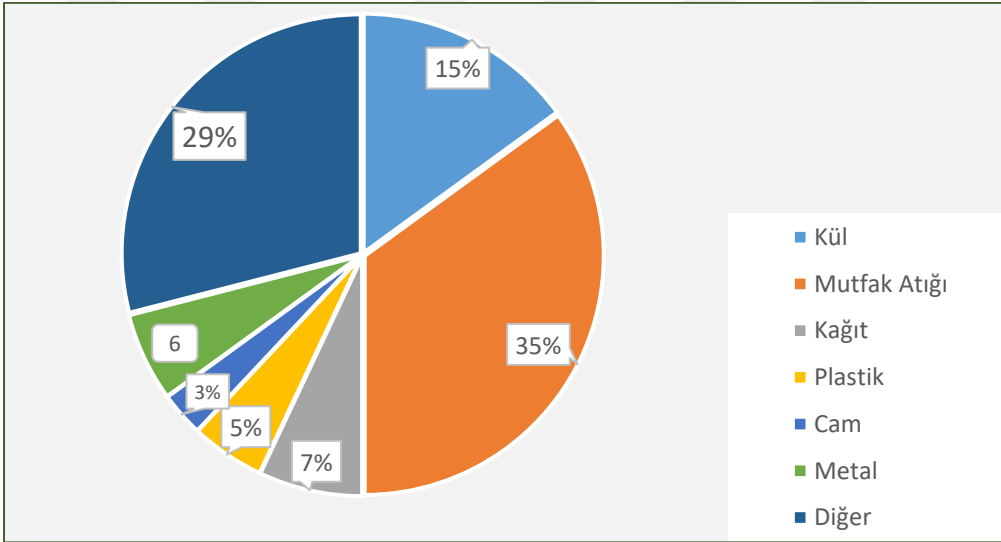
| | Türkiye | Hakkâri | Van | Yozgat | Batman | şırnak |
|---|------------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| Toplam Belediye Nüfusu | 80 785 141 | 176 468 | 1 128 749 | 318 145 | 541 139 | 420 731 |
| Tolam Belediye Sayisi | 1391 | 8 | 14 | 36 | 11 | 19 |
| Atık Hizmetİ Veren Belediye Sayisi | 1389 | 8 | 14 | 36 | 11 | 19 |
| Atık Hizmeti Verilen Belediye Nüfusu | 80 319 403 | 176 061 | 1 123 675 | 318 057 | 538 344 | 420 116 |
| Verilen Belediye Nüfusunun Toplam Belediye Nüfusuna Orani (%) | 99.4 | 99.8 | 99.6 | 100 | 99.5 | 99.9 |
| Toplam Atık Miktarı (Ton) | 30 283 757 | 58 530 | 419 453 | 134 744 | 176 709 | 217 716 |

Tablo 1.3 Çalışma alanında oluşan atık miktarı [20] (Devamı)

| | Türkiye | Hakkâri | Van | Yozgat | Batman | Şırnak |
|--|---------|---------|------|--------|--------|--------|
| Kişi Başı Ortalama Atık Mikyati (Kg/Gün) | 1.03 | 0.91 | 1.02 | 1.16 | 0.9 | 1.42 |

Çalışma alanımızın atık durumu bakacak olursak ortalama kişi başı atık miktarı 0,91 kg/gün olduğu kabul edilmektedir. 2019 nüfus verilerini göre 286470 nüfusa sahip olan olan Hakkâride yıllık 33.2 ton/yıllık atık oluşmaktadır.

Hakkâri yöresinin atık karakterizasyonu Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Hakkâri atık karakterizasyonu [44]

Hakkâri ili coğrafi şartı ve konumu itibariyle sanayileşmenin çok az yaşandığı illerden biridir. Bu sebepten ötürü üretim tesislerinden kaynaklı atıklardan daha fazla evsel nitelikli atık miktarı fazla oluşmaktadır. Ülkemizin geneline bakacak olursak bölgesel dağılımlarda üretim ve sanayileşme düzenli dağılım göstermediğinden atık çeşitliliğinin fazla olduğu söylenebilir

Katı atığın çeşitliliği dışında verimliliğini ve daha sonraki süreç yönetimini atığın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri dikkate alınarak alternatif üretilir.

Katı atık miktarının yanında fiziksel özellikleri atığın bertaraf yönteminin seçiminde büyük bir öneme sahiptir. Fiziksel özellikler miktarı, kompozisyon, birim hacim ağırlığı, nem içeriği, parçacık boyutu, tarla kapasitesi ve permeabilitesidir [27]. Fiziksel parametreleri atığın kullanılabilirliği, ger dönüşümü veya bertaraf yöntemlerinin seçiminde önemli rol oynar.

Katı atıkların kimyasal özellikleri; UKAM, kül muhtevası, inorganik karbon ve klorifik değerleridir. Biyolojik özellikleri ise organik madde içeriğidir. Yukarıda bahsetmiş olduğumuz fiziksel. Kimyasal ve biyolojik değerler katı atığın oluşumundan bertarafına kadar geçen süreçlerde rehberlik ederek atığın çevreye minimum zarar verecek şekilde sürecin tamamlanmasını sağlar.

1.3 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

Katı atık yönetim sistemlerinin en temel hedefi atık oluşumunu azaltmak ve mevcut olan kaynakları daha verimli kullanmaktır. Bir diğer hedef oluşan atıkları çevreye, canlıya verebileceği zararı minimize edecek şekilde onu bertaraf etmektir. Katı Atık atık yönetim süreci atık oluşum ile bertarafına kadar geçen süreçlerde ele alınan ve değerlendirilen teori ve uygulamalara dayanır. Bertaraf yöntemi olarak başlıca kompostlaştırma, biyometanizasyon, Termal sistemleri (Yakma, Proliz, Gazifikasyon) ve Düzenli depolama sistemleri sayılabilir [1].

Kompostlama organik atıkların (gıda ve toprak) biyolojik bozunurluğunu kontrol altına alan yöntemdir. Atık içerisinde mevcut olan organik yükün çeşitli reaksiyonlar sonucu atığın bulunduğu ortama besin kaynağı sağlamasını amaçlar. Gübrenin kullanımı, bitkisel hastalıkların önlenmesini, toprağın gübre pestisitlere olan ihtiyacının doğal yöntemlerle karşılanmasını gibi birçok yarar sağlar [2].

1.3.1 Yakma Yöntemi

Atıkların hijyenik olarak zararsız hale gelmesini sağlarken atık hacminin azalmasına ve ekonomik olduğu koşullarda enerji kazanımında kullanılabilir yöntemdir. Yakma sonucunda atık miktarının %75-80 arasında azaldığı kabul edilir. Yakma tesisin projelendirilmesi ve süreçlerin kontrol işleyişinde çevreye verebilecek zararın minimize edilmesi atığın bertarafına uygun olarak hareket edildiğinde hava kirliliğine neden olamamasını sağlamak için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğine uygun olarak işletilmelidir. İşletim süreçleri neticesinde oluşan

zararlı gazların hava kirliliği oluşturmaması için yönetmelikte yer alan sınır emisyon değerlerine sağlayan baca gazı temizleme sistemi kurulmalıdır [4].

Yakma sistemlerini şu şekilde ayırabiliriz [4]:

1. Izgaralı yakma işlemleri
2. Akışkan yataklı fırınlar
3. Döner fırınlar
4. Plazma teknolojileri
5. Alternatif sistemler

- Yaş oksidasyon
- Proliz
- Gazlaştırma ve kombine sistemler

Yakma sistemlerini genel olarak değerlendirecek olursak kurulum maliyeti ve ülkelerin ekonomik seviyelerine bağlı olarak kullanılmaları değişkenlik göstermektedir. Klasik yöntemlerde emisyon kontrolü kontrolü daha zor sağlanıyor ve bu kontrol mekanizması yüksek masraflara neden olabiliyor. Alternatif sistemlerde gazlaştırma ve proliz sonucunda oluşan ara ürün veya atıklar çevreye büyük tehdit oluşturmamaktadır. Ancak süreç sonunda ağır metal bulunması durumu hale risk taşımaktadır.

1.3.2 Kompostlaştırma

Belediye katı atıkları büyük yerleşik alanlarda mevcut nüfusun artışı, kentleşmenin çarpıklaşmasına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Katı atık türlerinden olan organik atıkların geri kazanımında kullanılan yaygın bir yöntemdir. Organik atıklar bu süreçlerde daha basit organik ve inorganik maddelere ayrıştırılır.

Kompost yapımı, organik atıkların mikroorganizmalar tarafından parçalanması ve ayrışması sonucunda ortaya çıkan humuslu bir toprak amacıyla gerçekleştirilir. Kompost yapımı için aşağıdaki adımlar takip edilir [5].

Atık seçimi: Kompost yapımı için çeşitli organik malzemeler kullanılır. Bunlar arasında meyve ve sebze artıkları, yapraklar, çim biçme artıkları, kahve telvesi, odun çipsi vb. bulunur. Farklı malzemelerin karışımı, kompostun besin elementi açısından dengeli olmasını sağlar.

Atıkların doğru şekilde karıştırılması: Organik malzemeler ezilmeden ve doğal hallerinde karıştırılır. Malzemeler arasında hava geçişinin sağlanması için düzenli olarak karıştırma yapılır.

Nem kontrolü: Kompostun nemli olması, mikroorganizmaların aktif olarak çalışmasını sağlar. Nem oranı yaklaşık olarak %50 ile %60 arasında olmalıdır. Gerekirse su eklenerek nem oranı ayarlanır.

İyi havalanma sağlanması: Kompost yığınının içerisinde hava geçişi sağlanmalıdır. Bu, mikroorganizmaların oksijen almasını ve kompostun kokusuz olmasını sağlar.

Sıcaklık kontrolü: Kompost yapımı sırasında içerisinde bulunan mikroorganizmaların aktivitesi sonucu ısı üretilir. Bu ısı, kompostun içerisindeki zararlı organizmaların ölmesini sağlar. İdeal ısının 55-65°C arasında olduğu kabul edilir.

Süreç takibi ve tamamlanması: Kompost süreci 2 ile 6 ay sürebilir. Belirli aralıklarla kompostun nem, sıcaklık ve hava durumu kontrol edilerek süreç takip edilir. Kompost tamamlandığında, kahverengi bir toprak görünümüne sahip olur ve karakteristik bir toprak kokusu yaymaya başlar.

Kompost yapımı, doğal bir geri dönüşüm süreci olduğu için çevresel faydaları vardır. Atıkların değerlendirilmesini sağlar, toprak verimliliğini artırır ve doğal kaynak tasarrufu yapmayı sağlar. Ayrıca, organik atıkların kompostlanmasıyla ortaya çıkan humuslu toprak, bitki besin elementleri açısından zengin olduğu için bitki büyümesini destekler.

1.3.3 Biyometanizasyon

Son yıllarda, biyoyakıtların üretimi ve kullanımı dünya genelinde önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Biyoyakıtlar, fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltmak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla tercih edilen bir enerji kaynağıdır. Türkiye'de de biyoyakıt üretimi ve kullanımı hızla artmaktadır. Biyoyakıt üretimi, katı atıklardan etanol ve dizel yakıt elde etmek amacıyla gerçekleştirilir. Bu işlemde atıklardaki organik maddeler ayrıştırılarak biyokütleyle dönüştürülür ve ardından uygun şartlarda fermantasyon süreciyle etanol veya dizel yakıt elde edilir. Biyoyakıtlar genellikle bitkilerden elde edilir. Biyoetanol, nişasta oranı yüksek bitkilerden veya sakkaroz oranı yüksek bitkilerden üretilir. İlk nesil biyoetanol

olarak adlandırılan bu yakıt, tarımsal üretimde kullanılan besinlerden elde edildiği için tercih edilmez. Bunun yerine, ikinci ve üçüncü nesil biyoetanol üretimi tercih edilir. İkinci nesil biyoetanol, odun, bitki artıkları ve tarım endüstrisinden kaynaklanan atıklardan üretilirken, üçüncü nesil biyoetanol alglerden elde edilir [16].

Biyodizel ise yağlı biyokütlelerden üretilir. Bu yakıt genellikle ayçiçeği, kanola gibi bitkilerden elde edilir. Bu bitkilerin yağları işlenerek biyodizel yakıtı elde edilir.

Türkiye'de biyoyakıt üretimi konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Özellikle son on yılda biyodizel üretimi yaygınlaşmış ve tarım sektöründe kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla biyodizel üretimi yapılmaktadır. Türkiye'de biyoetanol üretimine yönelik olarak da üç tesis bulunmaktadır ve bu tesislerde yaklaşık 152 milyon litre biyoetanol üretimi yapılmaktadır. Bu gelişmeler, Türkiye'nin enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve sürdürülebilir enerji kullanımı konusunda önemli adımlar atmış olduğunu göstermektedir [14].

Ayrıca, biyometanizasyon tesisleri sera gazı emisyonunu azaltarak çevresel etkileri minimize eder, sıvı atık ve çamur miktarı azaltılır, atıklardan geri dönüşümlü ve ekonomik olarak değerli ürünler elde edilebilir, enerji üretimi için alternatif ve sürdürülebilir bir yol sunar. Bu tesisler aynı zamanda atıkların bertarafını kolaylaştırır ve temiz enerji üretimine katkıda bulunur.

Ülkemizde birçok bölgede yer alan biyogaz tesislerden biri olan Kocaeli Biyogaz tesisinde 19-20 ton/gün atık miktarı mevcut olup 1089 m³ metan üretilmektedir. Üretilen metan gazı elektrik enerjisine dönüştürülüp tesis içerisinde kullanılabilir [17].

1.3.4 Proliz

Proliz organik bir ürüne yüksek ısı ve oksijen olmayan ortam oluşturulması ile uygulana bir yöntemdir. Proliz prosesi sonucunda ürünler katı sıvı veya gaz olabilir [19].

Plastik atıkların çevresel etkisini azaltmak ve doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanmak için uygulanır. Plastikler, daha önce kullanılmayan değerli malzemelere dönüştürülebilir ve geri kazanılabilir. Ayrıca, piroliz yöntemi ile elde

edilen ürünler, çözücüler, vakslar, dizel benzeri yakıtlar gibi petrokimya ürünlerine dönüştürülebilir.

Sonuç olarak, plastiklerin geri kazanımı ve kimyasal dönüşümü, çevresel etkilerini azaltmak, doğal kaynakların verimli kullanılmasını sağlamak ve ekonomik faydalar elde etmek için önemli bir uygulamadır. Bu çalışmalar, plastik atıkların çevreye zarar vermesini önlerken, aynı zamanda yeni kaynaklar yaratmakta ve istihdam sağlamaktadır [18].

1.3.5 Düzenli Depolama

Düzenli depolama ticari, evsel ve endüstriyel katı atıkların yönetmeliğe uygun arazi seçimi ve arazinin depolamaya hazır hale getirilmesi ile atıkların arazide kontrolünü Düzenli ve sağlık şartlarına uygun olarak depolanmasıdır [21]. Bu tür atıkların çevreye zarar vermeden depolanması ve kontrol altında tutulması için belirlenmiş standartlar ve prosedürler bulunmaktadır. Atıkların Düzenli depolanmasına dair yönetmeliğine bağlı olarak işletilmektedir.

Dünya üzerinde Düzenli depolama yönetimini en çok kullanan ülke Avusturya daha sonra Kanada gelmektedir. Diğer bertaraf yöntemlerinden yanısıra Düzenli depolamanın kullanılması ülkenin fiziki, ekonomik ve coğrafi olarak gelişmiş olduğunu gösterebilir. Nüfus yoğunluğu, Eğitim ve bilinç seviyesi, ülke ekonomisinde çevreye verilen önem gibi birçok etken bunu etkileyebilir.

Tablo 1.4 Bazı ülkelerde katı atık bertaraf teknolojilerini kullanım oranları [24]

| Ülke | Düzenli Depolama | Yakma | Kompostlaştırma | Geri Kazanım |
|------------|------------------|-------|-----------------|--------------|
| Avustralya | 82 | 2.5 | - | 15.5 |
| Kanada | 80 | 8 | 2 | 10 |
| Fransa | 45 | 42 | 10 | 3 |
| Almanya | 46 | 36 | 2 | 16 |
| Yunanistan | 100 | - | - | - |
| İrlanda | 97 | - | - | 3 |
| İtalya | 74 | 16 | 7 | 3 |
| Hollanda | 45 | 35 | 5 | 15 |
| Portekiz | 85 | - | 15 | - |
| İspanya | 64 | 6 | 17 | 13 |
| İngiltere | 88 | 6 | - | 6 |
| ABD | 67 | 16 | 2 | 15 |

Ülkemizde düzenli depolamanın kullanım oranına bakacak olursak TÜİK verilerini göre toplam 1389 belediyeden sadece 2 tanesinin atık yönetimini sağlamadığını söyleyebiliriz. Oluşan atıkların ise %69, 4'ünün depolama tesislerine, %17'sinin belediye çöplüklerine ve %13, 2'sinin ise geri kazanıma verildiğini söylenebilir [9]. Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizi bölgeye göre oluşan atık miktarı, atık türü ve atık yönetimi bölgede yer alan şehirlerin konumuna, ulaşım olanaklarının gelişmişliğine, nüfusuna sanayi bölgelerinde yer alan üretim faaliyetlerinin türüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Sanayinin en fazla geliştiği bölge Marmara Bölgesidir, bu bölgede oluşan atıkların tamamı belediye

tarafından yönetilmektedir. Bursa, Kocaeli ve Sakarya başta olmak üzere oluşan atıkların yüzde sekseni atık işleme tesislerine gönderilmektedir [9].

Çalışma alanımız olan Hakkâri ve çevre illerinde toplamda 695699 ton atık oluşurken 670220 ton atık belediye çöplüğüne gönderilmiştir [9].

Doğu Anadolu Bölgesinde atık işleme tesisleri yaygın olmadığından dolayı genellikle vahşi depolama yapılmaktadır.

Çalışma ilimiz olan Hakkâride geçmişten beri süre gelen bir alışkanlık haline gelerek vahşi depolama yapılmaktadır. Vahşi depolama alanında belli aralıklarla atıklar yakılarak bertaraf ediliyor. Hakkâri- Van karayolu üzerinde bulunan vahşi depolama alanında özellikle atıklar yazın yakılmaktadır. Yakma sonucu oluşan koku halkı rahatsız ederken diğer yanda alanda yaşanan hayvanlara ve bitkilerde zarar vermektedir. Hakkâri Beldiyesi Katı Atık Birliğinin yönetimin 2021 yılında Bağışlı ve Akçalı köylerine yakın bir alanda başlayan Katı Atık Entegre Katı Atık tesisi 2021 yılında inşaatına başlanıp 2024 Ocak ayında faaliyete geçmiştir. Hakkâri ve ilçelerinde oluşan 27 yıllık atığın yönetimini planlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Katı atıkların düzenli bir şekilde depolanması, çevreyi korumak, sağlık risklerini en aza indirmek ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olmak için son derece önemlidir. Düzenli depolama ile çevreye yayılma ve kirlilik riskleri azaltılır, toprak ve su kaynakları kontamine olmaz, hava kirliliğine neden olacak gazların salınımı önlenir. Ayrıca, düzenli depolama ile ayrılan ve geri dönüştürülebilecek atıkların geri kazanılması ve kaynakların yeniden kullanılması sağlanabilir. Bu sayede doğal kaynak tüketimi azalır ve atıkların doğaya zarar vermeden bertaraf edilmesi mümkün olur. Bu nedenle, katı atıkların düzenli depolanması, sürdürülebilir bir çevre yönetimi için temel bir adımdır [21].

Düzenli depolamanın uygulanmadığı alanlarda görüntü kirliliği, yeraltı suyu kirliliğine, atıkların çevreye gelişi güzel sarılmasına ve atıkların diğer canlılar aracılığıyla yerleşim bölgelerine taşınması ön görülen risklerdendir. Oluşabilecek risklere karşı alınabilecek en iyi yöntemlerden biri düzenli depolama alanlarıdır. Düzenli depolama alanlarında atık sahalarında atıkları türüne uygun ve çevreye verebileceği zararı minimize edecek şekilde yönetilmesini sağlar. Depo alanlarının yönetmeliğe uygun bir şekilde tasarlanıp işletilmesi sızıntı suyunun yeraltına

sızmasını önleyerek yeraltı suyu kirliliğini önlerken atıkların sistematize olarak yönetilmesi görüntü kirliliğininde önler. Depolama sahalarının birçok kirliliği önlemesi dışında alanda oluşacak reaksiyonlar sonucunda oluşan aerobic, asidik aerobic ve metajonik aerobic fazlar sonucu geri dönüşüm sağlanabilir [24].

1.3.5.1 Düzenli Depolama Alan Tasarımı

Düzenli depolama alanı için Öncelikle alan planlaması ve tasarımı yapılmaktadır tasarım öncesi bölgenin havandan ve karadan ölçümleri yapılması ve saha haritasının yapılması gerekir [25].

Düzenli depolama tesis tasarımında öncelikle planlanan tesisin hangi grupta yer aldığı belirlenir. Depolama tesisleri kendi içerisinde 3 sınıfa ayrılır

I. Sınıf Düzenli Depolama Tesisi: Tehlikeli atıkların depolanması için gerekli olan özel depolama alanları, sızıntı önleme sistemleri, atık madde ayrıştırma ve muhafaza ekipmanları bu tesiste bulunmaktadır. Ayrıca atıkların taşınması ve imha edilmesi için uygun şartlar sağlanmaktadır. Tesis, güvenli ve çevreye duyarlı bir şekilde tehlikeli atıkların depolanmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede hem çevre kirliliği önlenmekte hem de insan sağlığı korunmaktadır.

II. Sınıf Düzenli Depolama Tesisi: Bu tesis, belediye atıklarının düzenli bir şekilde depolanması için uygun koşullara sahip olmalıdır. Atıkların ayrıştırılması ve geri dönüşümü için gerekli ekipman ve işçi sağlanmalıdır. Tesisin atık yönetimi planı olmalı ve sık sık denetlenmelidir. Ayrıca, tehlikesiz atıkların da ayrı şekilde depolanması ve işlenmesi için gelişmiş bir altyapı sunulmalıdır. Bu tesis, çevreyi koruyarak atık oluşumunu azaltmaya yönelik çalışmaları desteklemelidir. Sonuç olarak, belediye atıkları ile tehlikesiz atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen bir atık yönetim sistemi oluşturmaktadır.

III. Sınıf Düzenli Depolama Tesisi: Bu tesis, çöplerin düzenli olarak depolanması ve yönetilmesi için gerekli tüm ekipmanlara, teknolojiye ve personel kaynaklarına sahip olmalıdır. Ayrıca lisanslı bir tesis olmalı ve çevresel etkileri en aza indirmek için gerekli önlemleri almalıdır. İnert atık depolama tesisleri genellikle kirlilik kontrolü, izleme ve raporlama gibi alanlarda düzenli denetimlere tabi tutulurlar. Bu

sayede hem çevre hem de insan sağlığı için güvenli bir şekilde çalışmalarını sürdürebilirler [26].

Alan tasarımında hacim/alan kestirimi ilk basamaktadır burada nüfusa bağlı olarak oluşacak atık miktarı hesaplanır. (Nüfus* kişi başına düşen ortalama atık miktarı) Hesaplama haricinde geçmiş 10 yıl içerisinde oluşan atık miktarında yola çıkılarak ortalama bir atık miktarı belirlenebilir. Sıkıştırılmış çöp yoğunluğu, kişi başına geri kazanılabilecek atık miktarı yıllık olarak hesaplanır [26].

Yer seçiminde aşağıdaki kriterler göz önüne alınır [26];

Mevcut Alan Miktarı; planlanan işletme süresi boyunca yeterli miktarda alanın mevcut olması en önemli kriterlerdendir.

Taşıma Mesafesi; Toplama ve taşıma güzergahı depolama sisteminin maliyeti hesabında en önemli paya sahip olan basamaktır. Sistem çevre açısından en iyi bertaraf yöntemine sahip olsada maliyet olarakda en iyisi olacak şekilde planlanmalıdır.

Alanın ulaşılabilirliği; Depolama alanı için yeterli büyüklükte olan alanlar hali hazırda olan ulaşım ağlarına yakın yerlerde değildir. Bundan ötürü ulaşım imkanı kısıtlı olan, yol inşaaı gerektiğinden genellikle tercih edilmezler. Alan seçiminde oluşan bu olumsuz durumlar ulaşım maliyeti, verimlilik kaybı, Pazar erişimi ve rakabet gücünün azalmasına yol açar.

Yerleşim kısıtları; Hava alanından enaz 3 km uzakta, taşkın alanlarının dışında, Fay hattından en az 60 m uzakta olmalıdır.

Topografya; Bölgenin topografik özellikleri, depolama yöntemini ve işletimini etkileyen en önemli faktördür.

İklimsel koşullar; Dört mevsimde göz önünde bulundurulmalıdır, ulaşım alternatifi, rüzgâr hızı gibi koşulları göz önünde bulundurulmalıdır.

Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikler; Depolama alanının zeminini olabildiğince sızdırmaz özellikte olmasına dikkat edilir, yer altı suyu derinde yüzeysel su kaynakları uzakta olmalıdır.

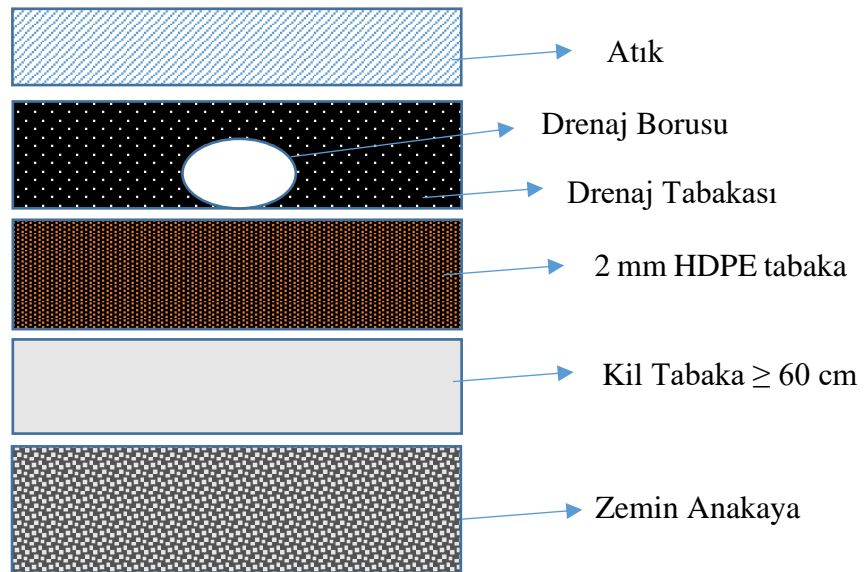
Arazi kullanımı; Tarımsal ve ormanlık alanlar depolama sahası olarak uygun değildir.

Toplumsal ve politik: toplumsal ve politik anlaşmazlıklar depolama tesislerinin planlanmasında en önemli faktördür. Yerleşim alanına yakınlık genelde halkın pek de istediği bir durum değildir.

Yer seçiminde klasik ve modern yer seçimi olarak iki farklı yöntem değerlendirilebilir. Klasik yer seçimi yaklaşımında 1/25000 ve daha küçük ölçekli haritalar üzerinden yapılan seçimle karar ver – ilan et ve savun yöntemiyle yapılır. İkinci yöntem olan modern yer seçimi (CBS) nde ise daha çok modelleme ve haritalandırma sistemleri kullanılarak yer seçimi yapılır [26]. Her iki yöntemi değerlendirecek olursak modern sistemleri ile yapılan yer seçimi projenin yönetiminde ve işletim süreci için risk payını düşürebilir.

Düzenli depolama tesisleri alan tasarımı için gerekli kriterler ve ölçümler yapıldıktan sonra atıkların yeraltında depolanmasını sağlayacak şekilde inşa edilir. Atıkların depolanması sırasında çevreye zararlı maddelerin sızmasını engellemek için alt zeminde sızdırmaz bir tabaka bulunur ve atıkların üstü de sıkıca kapatılır. Ayrıca depolama alanının çevresinde drenaj sistemleri ve atık gazı toplama sistemleri gibi önlemler de alınır [25].

Depolama sahasının proje aşamasında depolamadan kaynaklanabilecek sızıntı sularının sistemli bir şekilde kontrol edilmesi depo alanını aşağıda yer aldığı şekilde döşenir kil tabakasının kalınlığı geçirimsizliği depolanan atık türüne depolama alanının toprak tipine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 1.2 Düzenli depolama alan kesiti [50]

Düzenli depolama alanı geçirimsiz tabaka, filtre tabakaları, sızıntı suyu toplama sistemi ve deponun gazı toplama sistemi olarak sistemlendirilir.

Düzenli depolama tesisleri genellikle uzun vadeli kullanım için tasarlanır ve belirli aralıklarla kontrol ve bakım çalışmaları yapılır. Bu tesislerin işletilmesi için gerekli izinler ve lisanslar alınmalıdır ve atık türüne göre belirlenen düzenlemelere uyulmalıdır [25].

1.3.5.2 Düzenli Depolama Sahasında Atık Ayrışması

Depolama sahasında atıklar fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerde ayrışırlar. Ayrışma prosesleri sonucunda oluşan katı, sıvı ve gaz fazlarda ara ürün oluşmaktadır. Gaz fazındaki ürünlerin atmosfere salınması sonucu çevresel etkiler de ortaya çıkabilir. Bu nedenle, atık depo sahasının yönetiminde bu üç farklı prosesin birlikte ele alınması ve kontrol altında tutulması önemlidir. Katı atık depo sahasının yönetiminde, atıkların ayrıştırılması, geri dönüşümü, kompostlanması gibi yöntemlerle atık miktarının azaltılması ve geri dönüşüm oranının artırılması önemli bir adımdır. Ayrıca, atık depo sahasının tasarımı ve işletilmesinde çevresel etkilerin en aza indirgenmesi ve atık depo sahasının çevreye zarar vermemesi de göz önünde bulundurulmalıdır.

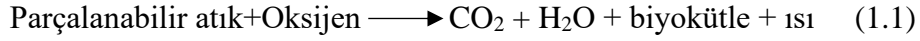
Bununla birlikte, atık depo sahasının yönetiminde güvenlik tedbirleri ve çalışanların sağlığı açısından önlemler alınmalıdır. Atık depo sahasında çalışanların eğitilmesi ve gerekli koruyucu ekipmanların kullanılması gerekmektedir. Atık depo sahasının yönetimi, atık miktarının azaltılması, geri dönüşüm oranının artırılması, çevresel etkilerin en aza indirgenmesi ve çalışanların güvenliği açısından önemli bir konudur. Bu nedenle, atık depo sahasının etkin ve güvenli bir şekilde yönetilmesi için gerekli tedbirler alınmalı ve sürekli olarak izlenmelidir.

1.3.5.2.1 Aerobik Parçalanma Fazı

Aerobik faz boyunca, mikroorganizmalar, özellikle bakteriler, organik maddeleri parçalayarak enerji elde ederler. Bu süreç sonucunda organik atıklar karbondioksite, suya ve diğer bazı inorganik bileşenlere dönüşürler. Bu dönüşüm sırasında gazlar da açığa çıkar, bu nedenle aerobik faz sırasında genellikle bir kötü koku oluşur. Aerobik fazın sona ermesiyle birlikte, atıklar anaerobik koşullara geçer ve daha fazla parçalanma süreci yaşanır. Bu durumda sıcaklık daha da

artabilir ve pH seviyeleri değişebilir. Son olarak, atıkların tamamen parçalanması ve stabilize olması için biraz daha süre geçmesi gerekebilir. Bu süreç sonunda oluşan madde ise humus olarak adlandırılır ve toprağın verimliliğini artırır. Bu fazda organik maddeler aerobik olarak parçalanırken CO₂ ve ısı açığa çıkar. 1 saat ile 1 hafta arasındaki tahmini sürede gerçekleşir [29].

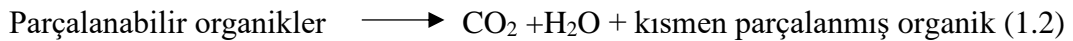
Aerobik mikroorganizmalar, organik maddeleri karbon dioksit, su ve artık organiklere dönüştürür.



Aerobik parçalanma sonucu oluşan karbon dioksit seviyesi ve sıcaklık artmaktadır. Artan karbondioksit pH değerinin düşmesine neden olur.

1.3.5.2.2 Asidik Anaerobik parçalanma Fazı

Aerobik reaksiyonlardan sonra ortamdaki oksijen seviyesi giderek tükendiğinden dolayı fakültatif mikroorganizmalar ortamda çoğalır ve bölünmenin diğer aşaması başlamış olur. Bu asit veya asetojenik fazda, metan sentezleyen metanojenik mikroorganizmaların aktivitesi azalır ve organik asitler üreilmeye başlar. Bu organik asitler, sonraki metan yapımının ana maddesini oluştururlar. Asit veya asetojenik fazda, ortamın pH değeri düşer ve ortam asidik hale gelir. Bu durum, çoğu mikroorganizmanın aktivitesini inhibe eder ve sadece asit oluşturan mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik eder. Asit fazı genellikle hızlı bir şekilde başlar ve çoğunlukla ilk birkaç hafta içinde tamamlanır. Asit veya asetojenik fazın sonunda, organik asitlerin tükenmesiyle birlikte metan yapımı başlar ve metanojenik mikroorganizmaların sayısı artar. Bu aşamada, metan gazı üretilir ve depolanmış organik atıkların çözünürlüğü azalır. Sonuç olarak, organik atıkların parçalanması ve stabilizasyonu tamamlanmış olur. Bu aşamanın sonunda, depolanan katı atıkların gömüldüğü alan stabil bir şekilde düşer ve daha fazla çürüme veya kokuya neden olmaz.



1.3.5.2.3 Metanojenik Anaerobik Parçalanma Fazı

Metan oluşturan bakteriler ile gerçekleşen bu aşama organik maddeleri anaerobic stabilizasyonunun son evresidir. Metanojenik bakteriler hücre yapısı ve şekli olarak farklılık göstermeyen ama değişik türleri olan bakteri grubudur. Metanojenler,

organik maddelerin anaerobik olarak çürütülmesi sonucu metan ve karbondioksit üretirler. Metanojenik bakteriler metan üreten enzimleri sayesinde metana dönüşüm sağlarlar. Metanojenlerin yaşadıkları ortama bağlı olarak farklı sıcaklık aralıklarında faaliyet göstermeleri, bu bakterilerin çeşitliliğini ve adaptasyon yeteneklerini göstermektedir [31].

Metanojenlerin anaerobik stabilizasyon sürecindeki önemi büyüktür. Organik atıkların metan ve karbondioksit gibi gazlarla çıktığı bu süreç, organik atıkların daha az zararlı bileşenlere dönüşmesini sağlar. Bu sayede atıkların çevresel etkileri azaltılmış olur. Metanojenlerin bir diğer önemli rolü ise biyogaz üretiminde kullanılmalarıdır. Organik atıkların metana dönüştürülmesi sonucu elde edilen biyogaz enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

Parçalanma Fazında depolama sahasında biyolojik parçalanma süregelirken bağlı ve serbest oksijen tükenir, anaerobic metajonik bakterilerin çoğunlukta olduğu parçalanma başlar. Parçalanma sonucu metan, karbondioksit ve su ile birlikte ısı meydana gelir.

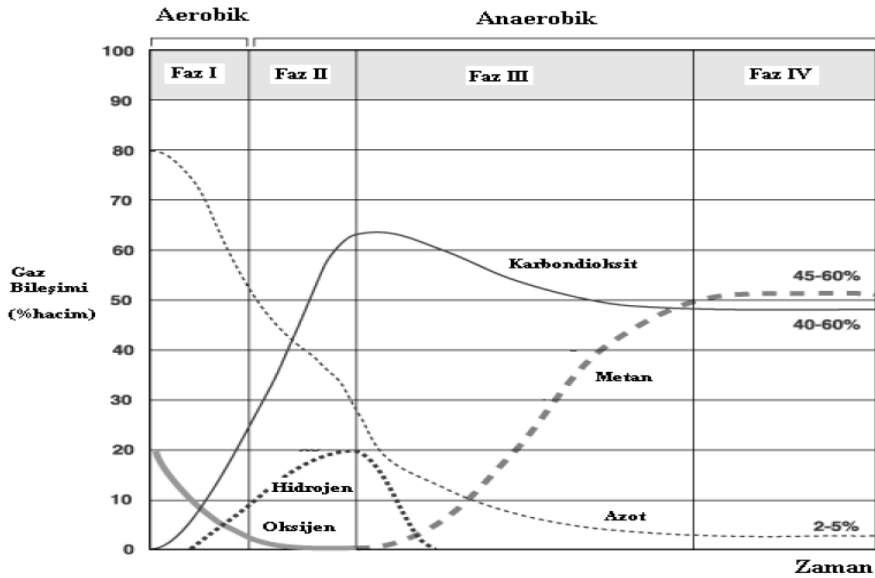
Bu durumda, metanojenik kararlı fazın gaz üretimi ve bileşenleri sabit olup çoğunlukla %40-70 CH₄ ve %30-60 CO₂ içerirken, CH₄ konsantrasyonu en yüksek seviyede bulunmaktadır. Ancak, CH₄'in molar fraksiyonu %50'nin altına düştüğünde ve H₂ gazı bulunduğunda, CH₄ üretimi yavaşlar ve gaz bileşimi sabit kalır, ancak gaz oluşum hızı azalır. Saha çalışmaları, bu kararlı fazda gaz miktarının zamanla azalmasına rağmen, gaz basıncının hava girmesini engelleyecek seviyelerde olduğunu göstermektedir. Bu faz, ortalama 10-20 yılda tamamlanır çünkü organik maddeler katı fazdan sıvı faza geçerek çözünür hale gelmesi uzun zaman alır. Bu nedenle, metanojenik kararlı fazda gaz üretimi sabit kalırken, gaz bileşimi değişmeden konsantrasyon değerleri %40-70 CH₄ ve %30-60 CO₂ olarak devam eder. Bu fazın tamamlanması ise organik maddelerin çözünür hale gelmesiyle zamanla gerçekleşir [30].

Depo gaz oluşum fazlarından her birinin süresi; kuruma Fazı, Bu faz genellikle depo alanına atılan organik atıkların üst kısmında gerçekleşir. Bu fazda atıkların nem içeriği azalır ve organik bileşenlerin hava ile teması sağlanarak aerobik ayrışma süreci başlar. Bu süre genellikle birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişebilir. Anaerobik Faz: Kuruma fazının ardından, organik bileşenlerin aerobik

ayrışması yerini anaerobik ayrışma sürecine bırakır. Bu süreçte, atıkların iç kısımlarında bulunan organik bileşenler, mikroorganizmalar tarafından parçalanarak metan gazı, hidrojen sülfür ve diğer gazlar oluşturur. Bu faz genellikle birkaç haçtan birkaç yıla kadar sürebilir.

Olgunlaşma Fazı: Anaerobik ayrışma sürecinin sonunda, olgunlaşma fazı başlar. Bu fazda, organik madde miktarı azalır, atıkların nem içeriği düşer ve toprak benzeri bir yapı oluşmaya başlar. Bu süreç genellikle birkaç aydan birkaç yıla kadar sürebilir.

Depo gaz oluşum süreçlerinin tamamlanması ve gazların stabil hale gelmesi için genellikle birkaç yıl süre gerekebilir. Bu süreçte, organik bileşenlerin depo alanındaki dağılımı, atığın nem muhtevası ve diğer faktörler önemli rol oynar. Bu nedenle, depo gaz oluşum fazları ve süreleri depo alanının özelliklerine bağı olarak değişiklik gösterebilir [32].



Şekil 1.3 Depo gazı oluşumu ve zamana bağı oluşan konsantrasyon [30]

1.3.5.3 Depo Gazını Etkileyen Faktörler

Sıcaklık, nem içeriği, pH, partikül boyutu, atığın yoğunluğu, gömülen atıkların bileşimi, toksik bileşenler, oksijen ve amonyak olarak sıralanabilir [33].

Atık Bileşimi: Atık bileşiminin doğru bir şekilde belirlenmesi, depo gazı üretim potansiyelini belirlemek için önemli bir adımdır. Organik atık miktarı, depo gazının oluşumunu etkileyen en önemli faktördür çünkü organik atıklar metan gazının ana kaynağıdır. Bu nedenle, depo sahasındaki atıkların bileşimi, gaz üretiminin tahmin edilmesi ve depo sahasının gaz performansının değerlendirilmesi için kritik bir parametredir. Atık bileşiminin yanı sıra, atıkların özellikleri de (örneğin nem içeriği, organik madde içeriği) depo gazı üretimini etkileyebilir. Ayrıca, depo sahasının özellikleri (örneğin, sızıntı oranı, yer altı su seviyeleri) da gaz üretimini etkileyebilir ve bu faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Sonuç olarak, atık bileşiminin doğru bir şekilde belirlenmesi, depo gazı üretim potansiyelinin ve depo sahasının gaz performansının değerlendirilmesi için hayati öneme sahiptir.

Bu nedenle, atık bileşiminin düzenli olarak analiz edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması, doğru ve güvenilir bir depo gazı yönetimi için önemlidir.

Atık Yoğunluğu ve Dane Büyüklüğü: Dane büyüklüğü Bioaktif nem geçirgenliği ve difüzyon etkileyicidir) dansitesi ve yoğunluğu, besin maddelerinin ve nemin depo gövdesi arasındaki hareket açısından önemlidir. Küçük dane boyutları, depo gazı oluşum oranını artırabilir. Depo gövdesinin yoğunluğu atığın ne kadar sıkıştırılmak istendiğine bağlı olarak değişir; sıkışma hem mekanik hem de doğal olarak gerçekleşir ve atık yüksekliği arttıkça devam eder, atık yoğunluğu yüksek olduğunda depo gazı toplama sisteminde sorunlar yaşanabilir. Dane büyüklüğü azaldıkça ayrışma hızı artabilir. Örneğin, 250 mm'den 10 mm'ye düşürüldüğünde ayrışma hızınının 4.4 kat arttığı belirtilmiştir [35].

Sıcaklık: Depo gövdesi içerisindeki sıcaklık anaerobik reaksiyonlardan dolayı dış ortamdan daha yüksektir ve baskın olan bakteri popülasyonuna bağlı olarak sıcaklık değişkenlik göstermektedir. Ayrışma hızı ve gaz konsantrasyonu sıcaklıkla doğru orantılıdır. Atık yüksekliği sıcaklığı etkileyen bir diğer parametredir [36].

Nem İçeriği: Atık depolandıktan sonra nem parametresinin takip edilmesi ve su dengesinin doğru kurulması, toplam oluşacak depo gazının tahminlenmesi ve bu tahminlerin yakalanması açısından oldukça önemlidir [37].

Nem atık içerisinde homojen olarak dağılmadığından dolayı depolama sahasının farklı bölgelerinde yüzey örtüsüne göre farklılık göstermektedir. Oluşacak miktarından max verim alabilmek için nem içeriği %50-60 arasında olmalıdır. Dşşk olması durumunda anaerobic parçalanma yavaşlar ve kısıtlayıcı etki göstererek oluşabilecek gaz üretim potansiyeli düşmektedir [35].

pH ve Nütrientler: Genellikle depo sahasında pH'ın nötr olduğu durumda depo gazı üretimi max seviyede izlenmektedir. Asidik pH ortamında üretim yavaşladığı görüldüğünden, metan üretiminde gecikme yaşanabilmektedir [37].

Hakkaride yaklaşık olarak gnde 0.91 kg/kişi-gün atık oluşmaktadır [9]. Bu atığın tamamı 2022 yılına kadar il ve ilçelerde bulunan vahşi depolama alanlarında yakılarak bertaraf edilmiştir. Temmuz 2023 yılı itibariyle faaliyete geçen Entegre katı atık düzenli depolama tesisinin isletime alınması ile bundan sonra atık yönetiminde düzenli depolama kullanılacaktır.

2 DEPO GAZI İÇERİĞİ

2.1 Genel Bilgiler

Katı atıklar depolama sahalarında biyolojik ve kimyasal olarak dikkate alındığında ilk oluştuğu anda reaksiyona maruz kalmaktadır. Atığın oluştuğu ilk yer olan atık kaynağından başlayan bu reaksiyonlar toplama-taşıma-depolama aşamalarında ve atıkların düzenli depolama veya diğer bertaraf yöntemlerinde de devam etmektedir. Organik maddeler biyolojik reaksiyonlar ile oluşan gazlar metan ve karbondioksit oluşurken biyolojik ve kimyasal süreçler ile parçalanmayan kısım ise kararlı katı atık olarak adlandırılır. Oluşan metan gazı farklı yöntemlerle kullanılabilir. Depo sahasının tipik Bileşimi Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Depo gazlarının bileşimi [32]

| Bileşen | Kimyasal Formül | Hacimce Yüzde (%) |
|-----------------|------------------|-------------------|
| Metan | CH ₄ | 45-55 |
| Karbondioksit | CO ₂ | 45-50 |
| Karbon monoksit | CO | 0,1 |
| Su buharı | H ₂ O | 3 |
| Hidrojen | H ₂ | 0.1 |
| Hidrojen sülfür | H ₂ S | 0,01 |

Depolama sahasında kimyasal ve biyolojik reaksiyonlarla temelde metan ve karbondioksit oluşumu yaklaşık olarak bilinse de farklı reaksiyonlar ile daha karmaşık yapıları organik kökenli bileşiklerin meydana gelmesi beklenir. Bu organik yapılar sıvı halde bulunurlar ve buharlaşma sıcaklıkları düşüktür böylece kolayca gaz fazına dönüşebilirler. Oluşan gazların kolayca buharlaşabilmeleri metan ve

karbondioksitle beraber oluşan gazların da atmosfere salınımını kolaylaştırmaktadır. Kolay buhalaşabildikleri ve organik kökenli olduklarından dolayı Uçucu Organik Birleşik (VOC) olarak adlandırılır.

Uçucu organik birleşikler suda çözünürlükleri ve sıvıda kalma özelliklerine göre sızıntı suyuna geçebilir. Bu konu yapılan araştırmalara bakacak olursak yüzden fazla VOC çeşidinin olduğu görülmektedir [39].

Düzenli depolama sahalarında oluşan gazlar arasında konsantrasyon olarak büyük bir alana sahip olmamalarına karşın alanda koku probleminin ana kaynağıdır. Kötü koku problem vahşi ve düzenli depolama alanlarında atıkların toplanmasından başlayıp, aktarma istasyonuna alınması ve depolama alanına gelene kadar her aşamada problem sebep olmaktadır [40].

VOC'ler aynı zamanda Hava Kalitesi Yönetmeliklerinde diğer kirleticilere nazaran daha sıkı tutulmaktadır. VOC'ler genellikle hafif, keskin veya hoş olmayan kokulara sahiptir ve ortamda bulduklarında insanların bu kokuları fark etmeleri kolaylaşır. Konsantrasyonları arttıkça kokular daha belirgin hale gelir ve insanlar bu kokuları daha kolay algılar. Özellikle meyve, çiçek ya da kimyasal kokular gibi belirgin kokular VOC'lerin koku özelliğini etkileyebilir. Bu nedenle, kişiler genellikle koku moleküllerinin kimyasal yapısına, boyutuna ve elektriksel özelliklerine bağlı olarak farklı VOC'leri fark edebilir. Toplam depo gazı içerisindeki VOC konsantrasyonları da insanların kokuları farketmesinde etkilidir. Yüksek konsantrasyonlarda VOC'ler daha belirgin hale gelir ve insanlar bu kokuları daha kolay algılar. Bu nedenle, kapalı alanlarda veya yoğun trafikte VOC seviyeleri daha yüksek olabilir ve bu durumda insanlar bu kokuları daha fazla fark edebilir.

Sonuç olarak, VOC'lerin koku özelliği insanların bu kimyasalları farketmesinde önemli bir rol oynar ve konsantrasyonları ile karakteristik kokuları bu farkındalığı artırır. Bu nedenle, VOC'lerin çevresel etkileri ve sağlık riskleri de bu kokuların insanlar üzerindeki etkilerini düşünme açısından önemlidir. Bundan dolayı, koku özelliğine sahip VOC'ler için koku eşik değeri KEK olarak adlandırılır. KEK değeri; koku özelliği mevcut olan bir VOC gazının duyu organı ile algılanabildiği veya hissedildiği minimum konsantrasyondur. KEK her VOC çeşidi için farklıdır ve tespiti sadece insanın koklaması ile yapılmaktadır. Belli cihazlarla tespit edilen değer ise VOC'ların havadaki ve gaz karışımındaki mevcut konsantrasyonlarıdır.

Koku konsantrasyonu gazın ortamdaki konsantrasyon değeri iken koku şiddeti oluşan gazın insanlar tarafından algılanabilirliği [41]

2.2 Depo Gazı Bileşenleri

Depo gazları genellikle kötü kokular yayarak çevre kirliliğine neden olabilirler. Bu gazlar solunum yoluyla insan sağlığını olumsuz etkileyebilir ve çevre üzerinde de zararlı etkilere yol açabilir. Bunun yanı sıra, depo gazları aynı zamanda patlayıcı özelliklere sahip olabilir. Bu nedenle depolardan sızan gazların kontrol altında tutulması ve düzenli olarak izlenmesi önemlidir. Depo gazlarının kontrol altına alınması için depo sahalarında uygun filtreleme ve havalandırma sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Ayrıca, depolardaki atıkların düzenli olarak temizlenmesi ve bertaraf edilmesi de gazların oluşumunu azaltabilir. Sonuç olarak, depo gazları doğaya ve insan sağlığına zararlı olabilen kokulu ve patlayıcı bileşikler içerebilirler. Bu nedenle, depo sahalarında alınacak önlemlerle bu gazların kontrol altına alınması ve çevreye zarar vermeden bertaraf edilmeleri önemlidir [43].

2.2.1. Yağ Asitleri

Yağ asitleri, genellikle karbon atomlarıyla hidrojen atomlarının bir araya gelmesiyle oluşurlar. Yağ asitlerinin karbon sayısı arttıkça zincir uzunluğu da artar ve doymuş veya doymamış olmalarına bağlı olarak farklı özellikler gösterirler. Yağ asitleri, vücut için önemli besin maddeleridir ve enerji kaynağı olarak kullanılırlar. Ayrıca hücre zarlarının yapısında yer alır, hormonların üretiminde rol oynarlar ve bazı vitaminlerin emilimini sağlarlar. Doymuş yağ asitleri genellikle hayvansal kaynaklardan elde edilirken, doymamış yağ asitleri genellikle bitkisel yağlardan elde edilir. Sağlıklı bir beslenme programında, doymuş yağ asitlerinin alımının sınırlandırılması ve doymamış yağ asitlerinin tercih edilmesi önerilir. Yağ asitleri, insan sağlığı üzerinde birçok olumlu etkiye sahip olabilir ancak aşırı tüketildiğinde obezite, kalp hastalıkları ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle dengeli ve çeşitli bir beslenme programıyla yağ asitlerinin optimal düzeyde alınması önemlidir [44].

2.2.2. Aromatikler ve Halkalı Bileşikler

Aminler genellikle insanlar için hoş olmayan kokulara neden olurlar ve bu nedenle genellikle çeşitli endüstriyel işlemlerde arıtma süreçleri kullanılarak giderilirler.

Aminlerin kokulu olmalarının nedeni, bu bileşiklerin düşük molekül ağırlıklı olmaları ve uçucu olmalarıdır. Aminlerin anaerobik parçalanması sonucunda oluşan yan ürünler arasında amonyak, hidrojen sülfür ve metan bulunmaktadır. Bu gazlar da genellikle kötü kokulara neden olurlar ve çevreye zarar verebilirler. Aminlerin sanayi atıklarından kaynaklanan kokuların kontrol altına alınması için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler arasında havalandırma sistemleri, kimyasal arıtma işlemleri ve filtreleme sistemleri bulunmaktadır. Sonuç olarak, aminler çeşitli endüstriyel işlemlerden kaynaklanan kokuların ana nedenlerinden biridir ve bu kokuların kontrol altına alınması için uygun önlemlerin alınması önemlidir [47].

2.2.3. İnorganik Kükürt

Genellikle petrol ve doğalgaz endüstrisinde, madenlerde, atık su arıtma tesislerinde ve volkanik bölgelerde sıkça karşılaşılan bir gazdır. Hidrojen sülfür, zehirli bir gaz olup solunduğunda solunum sisteminde tahrişe sebep olabilir, aynı zamanda sinir sistemi üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Hidrojen sülfür, havadan daha ağır olduğu için düşük yüksekliklerde birikebilir ve bu durum solunum problemlerine neden olabilir. Bu nedenle, hidrojen sülfürün ortamda bulunma durumu sürekli olarak izlenmeli ve gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır. Hidrojen sülfür, kolayca tespit edilebilen bir kokuya sahip olsa da bazı durumlarda gazın konsantrasyonu o kadar düşük olabilir ki kokuya dayanarak varlığı tespit edilemeyebilir. Bu nedenle, hidrojen sülfürün gaz analizörleri ve diğer ölçüm cihazlarıyla düzenli olarak kontrol edilmesi ve izlenmesi önemlidir. Sonuç olarak, hidrojen sülfürün varlığı çevresel ve insan sağlığı açısından ciddi bir tehdit oluşturabilir. Bu nedenle, bu gazın kullanıldığı alanlarda etkili güvenlik önlemleri alınması ve düzenli olarak kontrol edilmesi gereklidir [44]

2.2.4 Organik Kükürt

Merkezi sinir sistemi üzerinde etkili olan bir gaz olan hidrojen sülfür de organik sülfür bileşiklerindedir. Hidrojen sülfür, çürük yumurta kokusuna benzer keskin ve rahatsız edici bir kokuya sahiptir. Ayrıca metalürjide ve kimya endüstrisinde de kullanılan önemli bir gazdır. Organik sülfür bileşikleri genellikle belirgin kokuları nedeniyle gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde kokulandırma maddesi olarak kullanılır. Sülfür, tıp ve biyoloji alanlarında da önemli bir elementtir. Örneğin,

insülin gibi proteinlerde bulunan kistik yapıya sahiptir ve bağlanma oluşumunda önemli rol oynar. Sülfür, biyolojik sistemlerde en bol bulunan altıncı elementtir ve vücuttaki toplam kütleinin %0.25'ini oluşturur. Bu nedenle, sülfürün biyolojik sistemlerdeki önemi oldukça büyüktür. Tüm bu özelliklerinden dolayı, organik sülfür bileşikleri hem endüstriyel hem de biyolojik alanda çeşitli uygulamalara sahiptirler. Ayrıca, sülfür bileşiklerinin yakıt ve enerji kaynakları alanında da gelecekte potansiyel olarak önemli bir rol oynaması beklenmektedir [44].

2.2.5. Terpenler

Terpenler, atmosferde ozon ve organik aerosol oluşumunda önemli bir rol oynarlar. Özellikle α -pinen gibi terpenler, atmosferik kimyanın önemli bir parçası olup ozon oluşumunda önemli bir rol oynarlar (Kesselmeier ve Staudt, 1999). Ayrıca terpenler, atmosferdeki hidroksil radikalleri tüketerek gaz fazındaki atmosferik reaksiyonlara katkı sağlarlar. Bu nedenle terpenler, atmosferik kimyanın karmaşıklığını artıran ve iklimi etkileyen önemli bileşiklerdir [32].

2.2.6 Diğer Kokulu Bileşikler

Depo sahalarında kokulu bileşikler ortamda diğer gazlara göre baskın olabilmektedir. Bu kokulu bileşikler genellikle depo sahalarında sızıntıları tespit etmek ve önlemek için kullanılan gaz dedektörleri aracılığıyla algılanabilir. Bu sayede depo sahasındaki çalışanlar ve çevre güvenliği için önlem alınabilir. Kokulu bileşiklerin atmosfere salınması insan sağlığına zararlı olabilir ve çevre kirliliğine neden olabilir. Bu nedenle depo sahalarında bu bileşiklerin salınımını minimize etmek önemlidir. Bunun için düzenli bakım ve kontroller yapılmalı, sızıntıların hızlı bir şekilde tespit edilip onarılması sağlanmalıdır. Depo sahalarında güvenliği sağlamak ve çevre kirliliğini önlemek için kokulu bileşiklerin salınımıyla ilgili düzenlemeler ve kontrol mekanizmaları oluşturulmalıdır. Ayrıca depo sahalarının düzenli olarak izlenmesi ve denetlenmesi de önemlidir. Bu sayede depo sahalarında oluşabilecek tehlikeli durumların önüne geçilebilir ve çevre korunabilir [44].

3.1. Hava Kalitesi Modelleri Modelleri

Dispersiyon modellemesi, kirleticilerin kaynaklardan çevreye nasıl yayıldığını ve bu yayılmanın alıcı ortamda nasıl konsantre olduğunu anlamaya yönelik bir çalışma metodudur. EPA, bu amaca hizmet eden çeşitli modeller sunar, en bilinenlerinden biri AERMOD'dur. AERMOD, kirleticilerin atmosfere salınımını ve bu kirleticilerin yer yüzeyindeki konsantrasyonlarını hesaplamak için meteorolojik veriler, arazi özellikleri ve kirletici kaynakların özelliklerini dikkate alır. Model, kirleticilerin hava akımları, sıcaklık farklılıkları ve diğer meteorolojik faktörler aracılığıyla nasıl dağıldığını simüle eder. Bu modelleme, özellikle endüstriyel tesislerin, trafik kaynaklı emisyonların ve diğer kirletici kaynaklarının çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılır.

Kimyasal taşınım modellemesi ise hava kirliliğinin kimyasal dönüşüm ve reaksiyon süreçlerini analiz eder. Bu süreç, kirleticilerin atmosferde nasıl kimyasal olarak değiştiğini ve bu değişimlerin hava kalitesini nasıl etkilediğini anlamak için kritik öneme sahiptir. EPA, kimyasal taşınım süreçlerini incelemek için çeşitli modelleme araçları sağlar. Örneğin, CMAQ (Community Multiscale Air Quality) modeli, geniş ölçekli hava kirliliği analizlerinde kullanılır ve kirleticilerin kimyasal reaksiyonlarını, atmosferdeki taşınımını ve havadaki konsantrasyon değişimlerini simüle eder. CMAQ, emisyon kaynaklarını, atmosferik kimyasal reaksiyonları ve hava kütlelerinin taşınımını bütünleşmiş bir şekilde modelleyerek hava kalitesinin zaman içindeki değişimini tahmin eder.

EPA'nın bu modelleme araçları, çevresel politika geliştirme, düzenleyici kararlar alma ve halk sağlığını koruma çabalarında büyük bir rol oynar. Dispersiyon ve kimyasal taşınım modellemeleri, hava kalitesini değerlendirme ve iyileştirme stratejilerini belirleme konusunda kritik bilgiler sağlar. Bu modellerin sağladığı veriler, çevresel etki değerlendirmeleri, emisyon kontrol stratejileri ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılan yönetim kararlarının temelini oluşturur.

3.1 Emisyon Kaynağı

AERMOD modeli, hava kirliliği emisyonlarının atmosferdeki dağılımını ve çevre üzerindeki etkilerini simüle etmek için çeşitli emisyon kaynaklarını dikkate alır. Bu kaynaklar genellikle dört ana kategoride değerlendirilir: alan, nokta, çizgi ve hacim kaynakları. Alan kaynaklar, geniş bir alan boyunca eşit şekilde dağılan emisyonları temsil eder ve genellikle depo sahaları veya büyük endüstriyel alanlarda bulunan kirleticiler için kullanılır. Nokta kaynakları ise belirli bir noktadan, genellikle bir baca aracılığıyla atmosfere salınan kirleticileri ifade eder; bu kaynakların yüksekliği, çapı ve emisyon hızı, kirleticilerin atmosferdeki yayılımını doğrudan etkiler. Çizgi kaynakları, emisyonların uzun ve dar bir çizgi boyunca yayıldığı durumları temsil eder ve trafik yolları, boru hatları gibi uzun çizgisel kaynaklar için kullanılır. Hacim kaynakları ise belirli bir hacim boyunca yayılmış emisyonları modelleyerek, büyük endüstriyel alanlarda ortaya çıkan kirleticilerin atmosferdeki hareketini simüle eder. AERMOD, bu farklı kaynak türlerini uygun parametrisasyonlarla modelleyerek, hava kirliliğinin atmosferde nasıl dağıldığını ve yer yüzeyindeki konsantrasyonları daha doğru bir şekilde tahmin etmeyi sağlar. AERMOD üzerinden sonuç alabilmek için bazı verilere ihtiyaç duyulur. Nokta kaynaklar için kütleli emisyon debisi, gazın bacadan çıkış hızı, bacanın fiziki yüksekliği, çıkan gazın sıcaklığı ve baca çıkış noktasının iç çapı bilinmelidir. Alan kaynaklarda ise birim alandan çıkan kütleli kirletici emisyonu, emisyonun yerden yüksekliği, emisyonun gerçekleştiği boyutlar bilinmelidir. Tüm bu veriler, Gauss Dispersiyon Modeli veya diğer dispersiyon modelleri kullanılarak kirleticinin atmosferdeki yayılma şekli ve alıcı ortama etkisi tahmin edilebilir. Bu modellemeler, hava kirliliğinin kontrolü ve izlenmesi için önemli bir araçtır.

3.2. Alıcı Ortam

Topografik verileri ve yapısal özellikleri modellemede kullanarak daha gerçekçi sonuçlar elde etmeyi amaçlar. Örneğin, bir orman veya diğer engellerin dispersiyon üzerindeki etkilerini hesaba katarak daha doğru sonuçlar sunabilir. Ayrıca, rüzgâr hızı ve yönü gibi değişkenleri de dikkate alarak dispersiyonu daha doğru bir şekilde modelleyebilir. Bu modifikasyonlar, genel GDM'nin sınırlamalarını aşarak daha güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlar. Bu nedenle, atmosferik dispersiyon

modellemesi yaparken genel GDM'nin yanı sıra bu modifikasyonlara da başvurmak önemlidir. Bu sayede, daha gerçeğe uygun ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

Daha önce yapılan çalışmalara bakacak olursak binaların dispersiyonu ciddi şekilde etkilediğini ve kirleticilerin daha uzun süre havada kalmasına neden olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, şehir planlamasında, binaların yerleşimi, yüksekliği ve mesafeleri gibi faktörlerin dispersiyon üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, binaların çevresinde yeşil alanların oluşturulması ve düşük binaların tercih edilmesi gibi önlemler alınarak dispersiyon etkisi minimize edilmelidir. Tüm bu faktörlerin göz önünde bulundurulması, hava kirliliği ile mücadelede etkili bir strateji oluşturulmasına ve insan sağlığının korunmasına yardımcı olacaktır.

Bu nedenle atmosferik dispersiyonu etkileyen binaların yerleşimi konusunda daha fazla araştırma yapılması ve önlemler alınması oldukça önemlidir. Topografyanın dispersiyon üzerindeki etkilerini daha doğru bir şekilde hesaplayabilmek için kullanılır. Bu sayede, dispersiyon modellemesi topografik etkilere daha duyarlı hale gelir ve sonuçlar daha gerçekçi olur. Topografinin dispersiyon üzerindeki etkileri genellikle hava akımının yükseklik değişimlerinden kaynaklanır. Rüzgâr, tepe veya dağ gibi yükseltilmiş alanlardan geçerken hızı ve yönü değişebilir, bu da dispersiyonu etkileyen faktörlerden biridir. Ayrıca, tepe veya dağ eteklerinde oluşan rüzgâr şekilleri de dispersiyon üzerinde önemli bir rol oynar. Topografyanın dispersiyon üzerindeki etkilerini doğru bir şekilde modellemek için, dispersiyon modellemesi genellikle yüksek çözünürlüklü topoğrafik veriler ve aerodinamik çökeltme modifikasyonları kullanır. Bu sayede, topografyanın etkileri daha doğru bir şekilde hesaplanabilir ve dispersiyon modellemesi daha güvenilir hale gelir. Sonuç olarak, topografinin dispersiyon üzerindeki etkileri genellikle önemli bir faktördür ve dispersiyon modellemesi bu etkileri dikkate alacak şekilde modifiye edilmelidir. Bu sayede, dispersiyon üzerinde topografyanın doğru bir şekilde hesaplanması ve analiz edilmesi mümkün olur.

3.3 Meteoroloji

Rüzgâr hızı, kirleticinin taşınma mesafesini ve dağılımını etkiler. Daha yüksek rüzgâr hızları, kirleticinin daha uzak mesafelere taşınmasına ve daha geniş bir alana yayılmasına neden olabilir. Ayrıca, yüksek rüzgâr hızları hava kütesinin

karışmasını sağlayarak kirleticinin yukarı doğru yükselmesini de kolaylaştırabilir. Atmosferik stabilite ise hava kütlelerinin dikey hareketlerini ve karışmasını etkiler. Düşük atmosferik stabilite durumunda, hava kütlelerinin dikey hareketleri artar ve kirleticinin yukarı doğru hareket etmesi zorlaşır. Bu durumda kirleticinin atmosferde yayılması ve dağılması daha zor olabilir. Yüksek atmosferik stabilite durumunda ise hava kütlelerinin dikey hareketleri azalır ve kirleticinin yükselmesi kolaylaşır. Atmosferik sıcaklık da hava kütlelerinin yükselmesini etkiler. Daha sıcak hava, daha hafif olup yukarı doğru yükselme eğilimindedir. Bu durumda kirleticinin yükselmesi kolaylaşır ve dispersiyonu etkilenir. Sonuç olarak, rüzgar hızı, atmosferik stabilite ve sıcaklık gibi meteorolojik etkenler kirleticinin dispersiyonunu etkileyerek havadaki kirliliğin yayılmasını belirleyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle, bu faktörlerin dikkatlice değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi kirlilik yönetimi ve çevre koruma politikalarının oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

3.3.1. Atmosferik Kararlılık

Atmosferin kararlılık derecesi genellikle iki faktör tarafından belirlenir:

1. Isıtma ve soğutma etkileri: Güneş ışınları ve atmosferin yüzeyi arasında gerçekleşen ısınma ve soğuma süreçleri atmosferik kararlılığı etkiler. Yüzey ısısının hava sıcaklığını etkilemesiyle, atmosferdeki hava tabakalarının farklı sıcaklıklara sahip olması ve bu tabakalar arasındaki yoğunluk farkları atmosferin kararlılığını belirler.
2. Dikey hava hareketleri: Atmosferdeki rüzgarlar ve termal konveksiyon gibi dikey hareketler, hava parçacıklarının yukarı veya aşağı yönlü taşınmasıyla seyrelme kapasitesini etkiler. Kararlı atmosferde dikey hareketler sınırlı olup, kirleticiler yüzeye yakın tabakalarda kalırken, kararsız atmosferde dikey hareketler daha fazla olup, kirleticiler yukarı yönlü taşınabilir ve seyrelme daha etkili olabilir. Atmosferin kararlılık derecesi genellikle meteorolojik parametreler ve atmosferik koşulların analiziyle belirlenebilir. Bu bilgiler kirleticilerin seyrelme kapasitesi ve hava kalitesi üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesinde önemli bir rol oynar.

3.3.2. Rüzgâr Hızı ve Rüzgâr Profili

Rüzgârlar atmosferdeki kirleticilerin taşınımını kolaylaştırarak havanın temiz kalmasına yardımcı olmaktadır. Rüzgârların yönü ve hızı, kirleticilerin taşınımını üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu yüzden hava kirliliğinin kontrolü ve yönetimi için rüzgârın rolü önemlidir. Rüzgârlar, kirleticilerin atmosferdeki dağılımını düzenleyerek hava kalitesini korumaya yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, rüzgâr hızı ve yönü hava kirliliğinin yayılımını göz önünde bulundurarak planlama ve politika oluşturulmasında dikkate alınmalıdır.

Ayrıca, yüzeyin özellikleri, sıcaklık farklılıkları ve diğer meteorolojik faktörler de dikey rüzgâr profillerini etkileyebilir. Örneğin, bir alandan diğerine olan sıcaklık farkı, termal olarak indüklenen rüzgâr akımlarına neden olabilir ve bu da dikey rüzgâr profillerini etkileyebilir. Bu faktörlerin tümü, hava kirliliğinin yayılması ve dağılımı üzerinde etkili olabilir. Özellikle, kirleticilerin hareketi ve dağılımı, dikey rüzgâr profilleri üzerindeki etkileri nedeniyle yüzeyin özelliklerine ve atmosferik koşullara bağlı olacaktır. Dolayısıyla, hava kirliliğini kontrol etmek ve yönetmek için, dikey rüzgâr profillerinin dikkate alınması önemlidir. Bu profiller, hava kirliliği modellerinin oluşturulmasında ve hava kirliliği kontrol stratejilerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

3.4 Genel Gauss Dispersiyon Modeli

Bu model, atmosferdeki hava hareketleri, sıcaklık, nem ve diğer faktörlerin etkileşimlerini dikkate alarak, kirletici gazların atmosferde nasıl yayılacağını tahmin etmeye çalışır. Atmosferik dispersiyon modeli genellikle Gauss hüzmeye modeli veya Lagrangean modeli gibi belirli matematiksel yaklaşımlara dayanır. Aşağıdaki denklemde Gauss dispersiyon modelinin denklemi verilmiştir.

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (3.1)$$

Burada:

$C(x,y,z)$ = Kirletici konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q = Kaynaktan salınan kirletici kütleli debisi (g/s)

σ_y = Yatay yöndeki dispersiyon katsayısı (m)

σ_z = Dikey yöndeki dispersiyon katsayısı (m)

u = Rüzgar hızı (m/s)

H = Etkin baca yüksekliği (m)

x, y, z = Alıcı ortam koordinatları

Olarak tanımlanır.

Gauss dispersiyon modeli, kirletici gazın atmosferde yayılmasını iki boyutlu bir Gauss fonksiyonu ile temsil eder. Bu model, atmosferin stabil veya kararsız durumunda, rüzgâr hızı ve yönü gibi faktörleri dikkate alarak kirletici gazların yayılma paternini tahmin etmek için kullanılır. Lagrangean modeli ise, kirletici gazın her bir parçacığının hareketini izleyen bir modeldir. Bu model, rüzgârın etkisi altında parçacıkların nasıl dağıldığını ve atmosferde nasıl yayıldığını detaylı olarak simüle eder.

Atmosferik dispersiyon modelleri genellikle hava kirliliğinin kontrolü ve yönetimi, kirleticilerin potansiyel etkilerinin belirlenmesi ve acil durum müdahale planları geliştirme gibi alanlarda kullanılır. Bu modeller sayesinde, kirleticilerin atmosferdeki yayılma paterni ve etkileri daha iyi anlaşılabilir ve bu sayede daha etkili önlemler alınabilir. Bu denklemler rüzgâr hızı ve yönü, hava sıcaklığı, atmosferik kararlılık, baca çıkış hızı ve yüksekliği gibi çeşitli atmosferik koşulları dikkate alarak kirleticinin atmosferdeki hareketini tahmin eder. Bu model sayesinde, kirletici gazların belli mesafelere ne kadar yayılacağı, hangi yönlerde ve ne hızda hareket edeceği gibi önemli bilgilere sahip olunabilir. Bu bilgiler, kirletici gazların çevreye olan etkilerini değerlendirmek ve gerekli önlemleri almak için kullanılabilir. Bu nedenle atmosferik dispersiyon modelleri, çevresel etkilerin belirlenmesi ve kontrol edilmesi için önemli bir araçtır.

3.4.1. Dispersiyon Katsayılarının Hesaplanması

Bu denklemler genellikle Gauss ve Pasquill-Gifford modelleri gibi meteorolojik faktörlere dayanmaktadır. Bu modeller genellikle rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, kararlılık sınıfı, emisyon kaynağının yüksekliği ve yayılma bileşeni gibi faktörleri içermektedir. Yatay dispersiyon genellikle rüzgâr hızı ve yönüne bağlı olarak

değişirken dikey dispersiyon genellikle atmosferin kararlılık durumuna bağlı olarak değişmektedir. Kararlı koşullarda, dikey dispersiyon genellikle daha düşüktür ve kirlilik katman içinde birikmeye eğilimli olabilir. Tersine, kararsız koşullarda, dikey dispersiyon genellikle daha yüksektir ve kirliliğin daha hızlı dağılmasına neden olabilir. Bu nedenle, kentsel ve kırsal alanlarda hava kirliliğinin dispersiyonunu değerlendirmek için yatay ve dikey dispersiyon katsayılarının belirlenmesi önemlidir. Bu faktörlerin dikkate alınması, hava kalitesi tahminleri ve kirlilik kontrol stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir adımdır [38].

3.4.2. Etkin Baca Yüksekliğinin Hesaplanması

Bununla birlikte, hava kirliliği ve emisyon kontrolü alanında yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, hava kirliliği önleme politikalarının oluşturulmasında sanal kaynak modellemesi oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Sanal kaynak modellemesi, emisyon kaynaklarının konumlarının ve özelliklerinin belirlenmesiyle atık gazların dağılımını ve kirleticilerin etkisini tahmin etmeye imkân tanır. Bacadan atılan kirleticilerin alıcı ortama etkilerinin belirlenmesi ve kontrol altına alınmasında sanal kaynak modellemesi ve hüzme çözümlemesi gibi analitik yöntemlerin kullanılması önemlidir. Bu yöntemler, kirleticilerin yayılımı ve dağılımı üzerindeki etkilerin daha iyi anlaşılmasını sağlar ve hava kalitesinin korunması için daha etkili politikalar geliştirilmesine yardımcı olur. Bu nedenle, hava kirliliği kontrolü ve emisyon azaltımı çalışmalarında bu analitik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

Bu nedenle, baca gazı hüzmesinin yükselmesini hesaplarken genellikle deneysel veriler veya emperik denklemler kullanılmaktadır. Bu denklemler genellikle baca gazının hızı, sıcaklığı, yoğunluğu, çapı, çıkış hızı ve rüzgâr hızı gibi parametreleri içermektedir. Ayrıca, baca gazı hüzmesinin yükselmesini etkileyen diğer faktörler de dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalıdır.

Hüzme yükselmesinin doğru bir şekilde hesaplanması, kirletici gazların dağılımının belirlenmesi ve çevreye olan etkilerinin değerlendirilmesi açısından son derece önemlidir. Bu nedenle, bacadan atılan kirleticilerin alıcı ortamda oluşturduğu konsantrasyonların doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için hüzme yükselmesinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir [38].

Bu sayede çevre kirliliğinin etkilerini minimize etmek ve çevre koruma politikalarına uygun hareket etmek mümkün olacaktır. Baca gazı hüzmesinin yükselmesinin doğru bir şekilde hesaplanması, çevre kirliliği ile mücadelede çok önemli bir adımdır ve bu konuda titizlikle çalışılmalıdır. Ayrıca, baca gazı hüzmesinin yüksekliğinin yanı sıra, gaz içeriğinin de analiz edilmesi ve kontrol altında tutulması da çevre koruma açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, baca gazı emisyonlarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi, çevre kirliliği ile mücadelede etkili bir strateji oluşturulmasına katkı sağlayacaktır ve çevreye verilen zararın minimum seviyede tutulması ve hava kalitesinin korunması sağlanabilir [38].

Baca etkileri ve rüzgâr yönündeki hüzme dağılımını tahmin etmek için kullanılan modeller ve denklemlerden bahsedecek olursak; Hüzme yüksekliği ve rüzgârın etkisi baca tepesinin üstünde rüzgâr yönünde bir mesafe alıp ulaştığı azami yüksekliği tahmin etmek için kullanılır Bu yükseklik, baca dibine doğru bir hüzme alçalması olduğunda değişiklik gösterebilir. Dikey mesafe ise hüzmenin rüzgâr yönünde belirli bir mesafede alçalması olmadan ulaşabileceği yüksekliği temsil eder. Etkin baca yüksekliği, baca etrafındaki hüzme dağılımını tahmin ederken dikkate alınır. Baca yakını mesafelerde, tahmin edilen hüzme yüksekliği genellikle gerçek konsantrasyonlardan daha yüksek olabilir.

Bu çalışma Doğu Anadolu Bölgesinde ülkemizin güneydoğusunda yer alan Hakkâri ilinde bulunan Katı Atık Düzenli Depolama Entegre Tesisi ve daha önceki yıllarda atıkların yakılarak bertaraf edildiği vahşi depolama alanında oluşan emisyonların ölçümünü amaçlamaktadır.

Çalışmada atık miktarı, meteorolojik veriler, coğrafik veriler kullanılacak Gauss dispersiyon modelinde işlenerek dağılım modellenmesi oluşturulmuştur.

Atık miktarında projenin ÇED raporunda yer alan tahmini atık miktarları baz alınarak yıllık artan atık miktarına göre ara yıllardaki atık miktarı hesaplanmıştır.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi hesaplama metodunda sağ tarafta girilen atık verileri ve sol tarafta yer alan bazı kabuller baz alınarak yıl bazlı metan emisyonu hesaplanmıştır. Kullanılan sabitler metan üretim hızı (k), Potansiyel metan üretim

kapasitesi (Lo), NMOC konsantrasyonu (ppmV) ve metan içeriği (% by volume) dir.

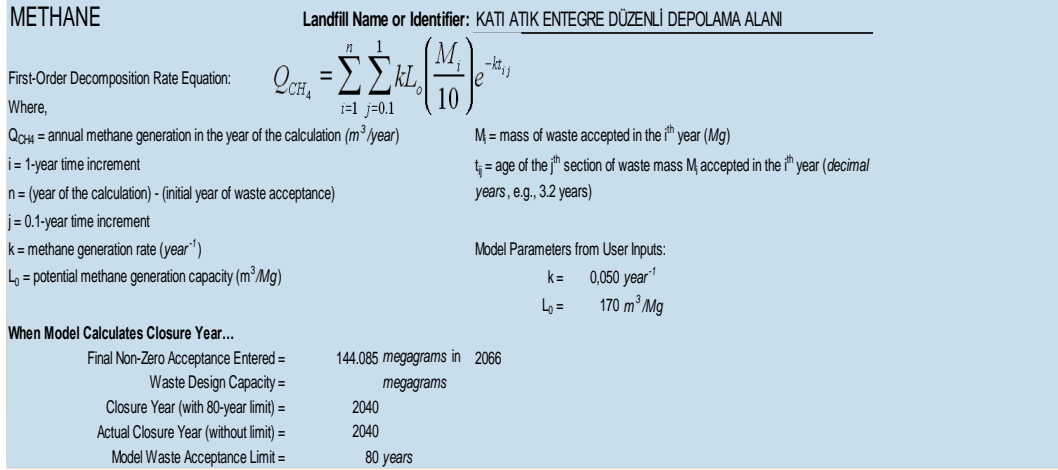
Metan üretim hızı(k); Noktasal ve alansal olarak değerlendirilir. Üretim hızı depo sahasındaki atık kütlesi için metan üretim oranını belirler. k değeri ne kadar yüksek olursa metan üretim hızı o kadar artar. Nem içeriği, nutrient içeriği pH ve sıcaklık etkilidir. Metan gazının alansal dağılımı incelendiğinden 0,5 olarak baz alınmıştır.

Potansiyel metan üretim kapasitesi (Lo); Yalnızca depolama sahasına yerleştirilen atığın türüne ve bileşimine bağlıdır. 170 (m³/mg) olarak baz alınmıştır. LandGem depolama gazının %50'sini metan gazı ve %50'sin karbondan oluştuğunu varsayar. NMOC konsantrasyonu (ppmV); Depo sahasındaki atık türlerinin ve atıklarının anaerobic ayrışmasından çeşitli bileşikler üreten reaksiyonların bir boyutudur. Alansal dağılım için 4 ppmV baz alınmıştır.

Atık miktarı ve kabullerle birlikte emisyon miktarı Şekil4.1'de gösterilmektedir.

| Year | Input Units (short tons/year) | Calculated Units (Mg/year) |
|------|----------------------------------|-------------------------------|
| 2024 | 98148,000 | 89.225 |
| 2025 | 100255,000 | 91.141 |
| 2026 | 102362,000 | 93.056 |
| 2027 | 104469,000 | 94.972 |
| 2028 | 106576,000 | 96.887 |
| 2029 | 108683,000 | 98.803 |
| 2030 | 110794,000 | 100.722 |
| 2031 | 112763,000 | 102.512 |
| 2032 | 114732,000 | 104.302 |
| 2033 | 116701,000 | 106.092 |
| 2034 | 118670,000 | 107.882 |
| 2035 | 120641,000 | 109.674 |
| 2036 | 122387,000 | 111.261 |
| 2037 | 124133,000 | 112.848 |
| 2038 | 125879,000 | 114.435 |
| 2039 | 127625,000 | 116.023 |
| 2040 | 129375,000 | 117.614 |
| 2041 | | 0 |
| 2042 | | 0 |
| 2043 | | 0 |
| 2044 | | 0 |
| 2045 | | 0 |
| 2046 | | 0 |
| 2047 | | 0 |

Şekil 3.1 Landfill Gas Emissions Model veri girişi



Şekil 3.2 LandGem metodunda metan emmisyonunda kullanılan formüller

Landgem hesaplama metodunda giriş bölümünde yer alan değerler kullanılarak metan emisyonu hesaplanırken giriş yılı olarak tesisin işletmeye alındığı yıldan (2023) ihtabaren yıl bazlı olarak biriken atık miktarı üzerinden hesaplama yapılır.

3.5. Model Girdileri

Gauss dispersiyon modelinde alıcı ortamın meteorolojik verileri, coğrafi konumu ve elde edilen emisyon değerleri baz alınarak emisyonun alan içerisindeki dağılımı modellenir.

Bu çalışmada Hakkâri Katı Atık Entegre Düzenli depolama tesisinden yayılan gazların emisyon değerleri dispersiyon metodu kullanılarak modellenmiştir.

Modelde ihtiyacımız olan atık miktarı verisi için 2023 yılına ait atık miktarı Çevre Durum Raporunda yer alan tutar kullanılırken 2025 ve 2040 yılı arasındaki verileri ÇED raporunda yer alan tahmini atık miktarları kullanılmıştır atık verileri Tablo 4.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 2024-2040 yılları arasındaki atık miktarı

| Yıl | Atık miktar (tonryıl) |
|------|-----------------------|
| 2024 | 98148 |
| 2025 | 100255 |

Tablo 3.1 2024-2040 yılları arasındaki atık miktarı (Devamı)

| | |
|------|--------|
| 2026 | 102362 |
| 2027 | 104469 |
| 2028 | 106576 |
| 2029 | 108683 |
| 2030 | 110794 |
| 2031 | 112763 |
| 2032 | 114732 |
| 2033 | 116701 |
| 2034 | 118670 |
| 2035 | 120641 |
| 2036 | 122387 |
| 2037 | 124133 |
| 2038 | 125879 |
| 2039 | 127625 |
| 2040 | 129375 |

3.5.1. Alıcı Ortam

Hakkâri Entegre Katı Atıkdüzenli Depolama sahasının çevresinde Bağışlı, Akçalı ve Aşağı Kayacık Mezrası olmak üzere 3 adet yerleşim yeri bulunmaktadır. Tesisin bu alanlara uzaklıkları sırasıyla 2 km, 1,5 km ve 1 km dir.

Çalışma belgesinin yapısı Gauss dispersiyon modelinde kullanılabiliecek özelliklere sahiptir. Depolama alanından yayılan gazlar Rüzgâr ile taşınır ve karşılaştığı yapılar (dağ ve vadiler) kirletici hüzmelerin hareket alanını ve dağılımını nitelendirir.



Şekil 3.3 Hakkari Katı atık entegre düzenli depolama alanının uydu görüntüsü

3.5.2. Kirletici Kaynakları ve Emisyon Hızları

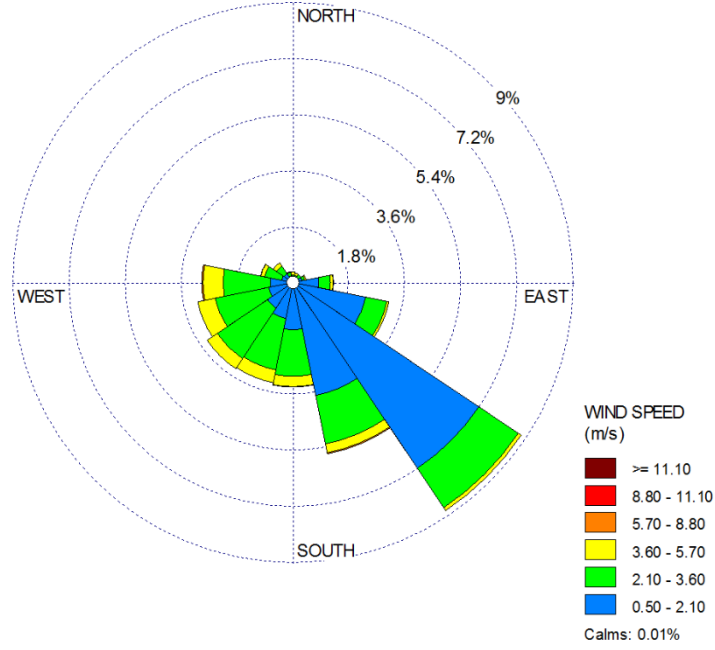
Düzenli depolama alanından ve vahşi depolama alanında oluşan gazların konsantrasyonları yıllık oluşan atık miktarı ve bazı sabitlerle birlikte Landgem üzerinden hesaplanmıştır. Üretilen kütsel emisyon debileri emisyonun gerçekleştiği alana bölünerek kirletici birim alan emisyonları hesaplanmıştır.

3.5.3. Meteoroloji

AERMOD'un meteorolojik girdileri AERMET ön işlemisi ile hazırlanmaktadır. Bunun için minimum gereksinimler Yer seviyesi ölçümlerinden sıcaklık, bulut kapallığı ve rüzgâr hızı ile yönüdür. Aynı zamanda radiosonde verilerinden elde edilen günlük iki ölçüm verisi de girdi olarak yer almaktadır. Bu parametrelerin doğru bir şekilde girdi olarak verilmesi, hava kirliliği ve diğer atmosferik problemlerin tahmin edilmesinde büyük önem taşır. Bu nedenle dispersiyon modellemesi yapılırken tüm meteorolojik parametrelerin dikkatlice analiz edilmesi ve hesaba katılması önemlidir.

Çalışmada kullanılan meteoroloji verileri 17285 kodlu Hakkâri Meteoroloji İstasyonu'ndan 2022 yılı için saatlik olarak temin edilmiştir. Yine aynı periyot için

radiosonde verileri 17095 kodlu Erzurum İstasyonu'ndan temin edilmiştir. Verilerin işlenmesi neticesinde AERMOD girdisi olan *.sfc ve *.pfl uzantılı dosyalar oluşturulmuştur. Bölgenin rüzgâr hızı ve yönünün dağılımı Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Hakkari ili 2022 yılı için rüzgar gülü dağılımı

Şekil incelendiğinde hâkim rüzgâr yönünün güneydoğu olduğu görülmektedir. Bu yönden esen rüzgarlar toplam dağılımın yaklaşık %9'unu oluşturmaktadır. Çoğunluk rüzgâr hızı ise 3,6 m/s'nin altındadır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Emisyon kaynağı olarak baz aldığımız vahşi depolama alanı ve katı tük Entegre düzenli depolama alanında metan, karbondioksit ve metan içermeyen uçucu gazlar (NMOC) oluşmaktadır. Oluşan metan gazının yıllık dağılımları aşağıda gösterilmiştir. Katı atık düzenli depolama sahasından oluşabilecek metan konsantrasyonu Tablo 6.1 'de gösterilmektedir. 25 yıl içerisinde yaklaşık $7.17E+05$ m^3 / yıl metan emisyonu oluşmaktadır. Metanın enerjinin yaklaşık MJ/m^3 olduğu varsayalım.

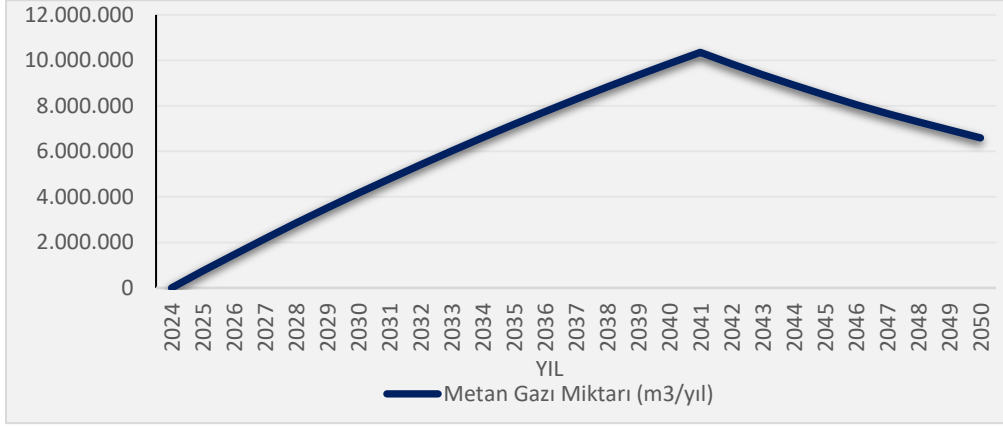
O halde en düşük metan emisyon değeri için tamamının enerjiye dönüştürüldüğü düşünürsek yaklaşık olarak tesisin 8 aylık elekliğini karşılamaktadır (bir sanayi tesisinin ortalama aylık elektrik tüketiminin 1,000,000 kWh (1 milyon kWh) olduğunu varsayalım)

Tablo 4.1 2024-2050 yılları arasında oluşan metan emisyon miktarı

| Yıl | Metan Gazı Miktarı (m^3 /yıl) |
|------|----------------------------------|
| 2024 | 0 |
| 2025 | 7.416E+05 |
| 2026 | 1.463E+06 |
| 2027 | 2.165E+06 |
| 2028 | 2.849E+06 |
| 2029 | 3.515E+06 |
| 2030 | 4.165E+06 |
| 2031 | 4.799E+06 |
| 2032 | 5.417E+06 |
| 2033 | 6.020E+06 |

Tablo 4.1 2024-2050 yılları arasında oluşan metan emisyon miktarı (Devamı)

| Yıl | Metan Gazı Miktarı (m ³ /yıl) |
|------|--|
| 2034 | 6.608E+06 |
| 2035 | 7.182E+06 |
| 2036 | 7.744E+06 |
| 2037 | 8.291E+06 |
| 2038 | 8.824E+06 |
| 2039 | 9.345E+06 |
| 2040 | 9.854E+06 |
| 2041 | 1.035E+07 |
| 2042 | 9.846E+06 |
| 2043 | 9.366E+06 |
| 2044 | 8.909E+06 |
| 2045 | 8.475E+06 |
| 2046 | 8.061E+06 |
| 2047 | 7.668E+06 |
| 2048 | 7.294E+06 |
| 2049 | 6.938E+06 |
| 2050 | 6.600E+06 |



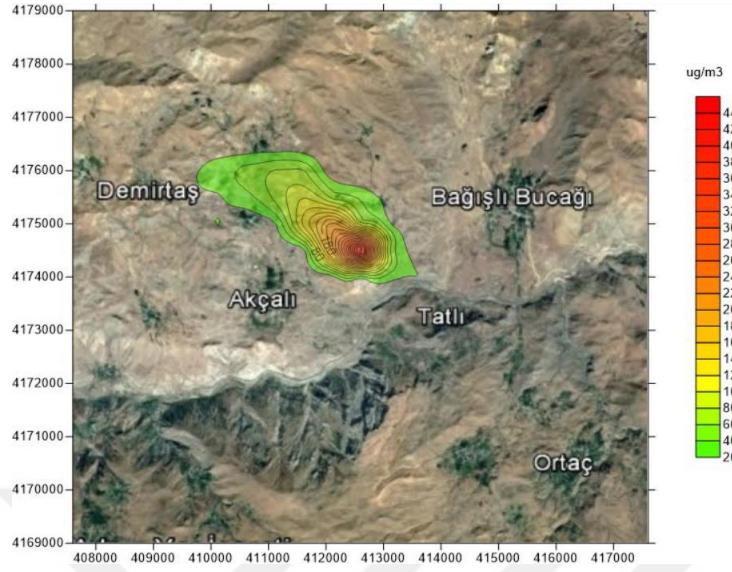
Şekil 4.1 Katı Atık Düzenli Depolama Alanı 2024-2050 Metan Emisyon Miktarı

LandGem de elde projenin kapatılış yılı olarak 2040 baz alınırsa 2025 yılı için 494.76 ton/yıl tahmini metan emisyonu hesaplanmıştır. Hesaplanan emisyon miktarı yıl bazlı olarak artış azalış gösterebilir en yüksek emisyon 2040 yılında 6573,95 ton/yıl ve en düşük emisyon ise 2025 yılından daha sonra 2026 yılında 976,03 ton/yıl olarak tahmini olarak hesaplanmıştır. İran'ın Kerman kentinde yapılan bir çalışmada 2054 yılı için 304.300 ton metan emisyonu hesaplanmıştır [50] 2144 yılında metan emisyonunun 3380 ton/yıl mertebelerine düşeceği hesaplanmıştır. Özellikle nüfus sayısındaki farklılık önemli derecede emisyon oluşumunu değiştirmektedir.

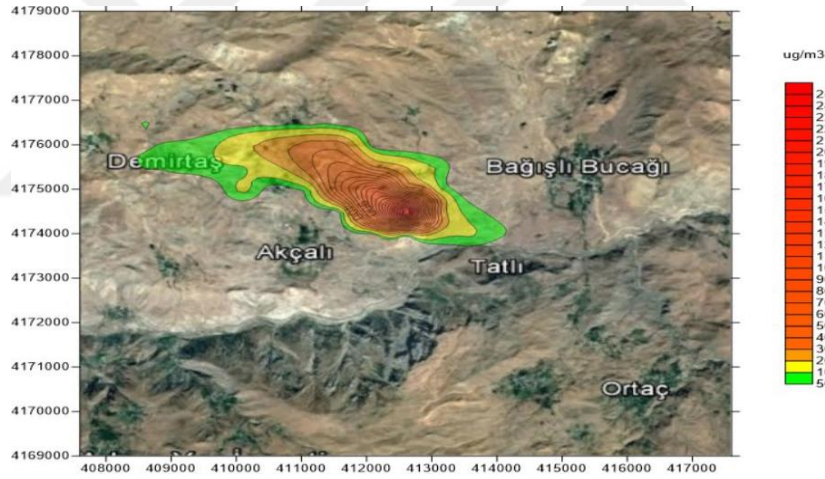
Şekil 4.1 ve Tablo 4.1'de görüldüğü üzere alanda biriken atık miktarı artarken metan emisyonu artarken 2040 yılından sonraki yıllar için atık miktarı belirtilmediğinden dolayı ortamda bulunan organik atık miktarı giderek azalacağından dolayı oluşan metan miktarı da azalır. Oluşan metan miktarı daha önce de belirtildiği gibi atık türüne göre değişiklik göstermektedir Hakkâri katı atık entegre düzenli depolama tesisine gelen atık türü şehirde yer alan üretim türlerinin çeşitli olmamasından kaynaklı çoğunluklu evsel kaynaklı atık oluşumu gözlenmektedir.

Şekil 4.2 ve 4.3'te yer alan metan dağılımlarını karşılaştıracak olursak 5 yıl içerisinde metanın emisyonunun ortalama 6 kat arttığı ve yaklaşık 400 m alanda dağılım gösterdiği söylenebilir. Alanın yakınında yer alan yerleşim alanında oluşan gazın hissedilmesi tartışmaya açıktır. Diğer yandan oluşan metandan elektrik

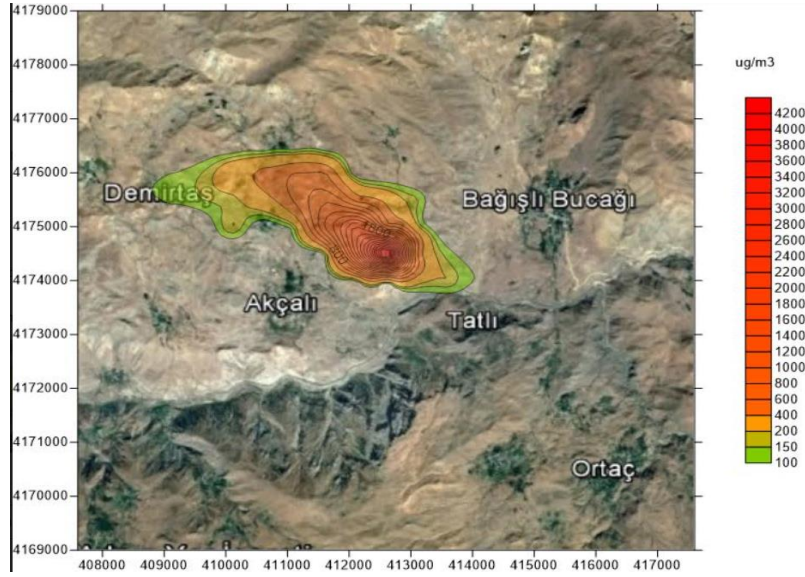
üretimi için yeterli seviyeye ulaşması durumunda enerji dönüşümünde kullanılabilir.



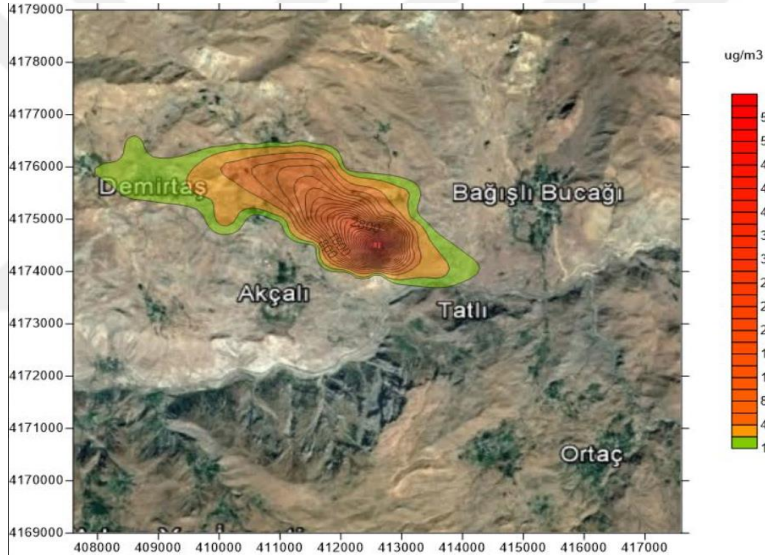
Şekil 4.2 2025 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası



Şekil 4.3 2030 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası



Şekil 4.4 2035 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası



Şekil 4.5 2040 yılı içerisindeki metan emisyonunun dağılım haritası

Şekil 4.4 ve 4.5'e bakıldığında depo sahasında oluşan metan emisyonu organik atık miktarının giderek artması ile artış göstererek alan içerisindeki dağılımıda giderek artmıştır.

5

SONUÇ

Bu tez çalışmasında Hakkâri Belediyesi Katı Atık birimi tarafından yönetilen Katı Atık Entegre Düzenli depolama tesisinde 2023 yılında faaliyete alınan atıkların ayrışması ve depolaması ile oluşan metan gazının USEPA tarafından geliştirilen bir model olan LandGEM modeli kullanılarak tahmini edilmiştir ve Gauss dispersiyon yöntemi ile dağılımı modellenmiştir.

Depolama sahasında yüzlerce çeşit VOC yayılımı görülebilir. Nitekim LandGEM’de farklı VOC türleri için birim emisyonlar mevcuttur. Bu farklı bileşik türleri hem çevresel sağlık açısından hem de atık yönetim stratejilerinin geliştirilmesi açısından dikkate alınması gerekmektedir. VOC türleri aynı zamanda koku problemi oluşturan bileşiklerdir ve koku kontrolü ve yönetimi için belirlenmeleri gerekebilir. Günümüzde özellikle bu VOC’lerin yanında sera gazı bileşiklerinin de belirlenmesi büyük önem kazanmıştır. Bilhassa CO₂ ve CH₄ majör depo gazı bileşenleri arasında yer alır ve ikisi de sera gazıdır.

Bu çalışma, önemli bir depo gazı bileşeni olan metan gazı emisyonlarının belirlenmesi ve modellenmesi üzerine hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında, tesisin atık kapasitesi ve meteorolojik koşullar ile topoğrafik özellikler göz önüne alınarak metanın dispersiyonu çalışılmıştır. Emisyon tahminlerine göre en fazla metan gazı emisyonu depo kapasitesi dolduktan sonraki yıl olan 2041 yılında $1,035 \times 10^7$ m³ olarak gerçekleşmektedir. AERMOD ile yapılan dispersiyon çalışması neticesinde yıllık ortalama metan konsantrasyonları 2025, 2030, 2035, 2040 yılları için hesaplanmıştır. Modelleme neticesinde elde edilen konsantrasyonlar yer seviyesi konsantrasyonu olup birimi $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Depo sahası sınırları içinde bu metan gazının muhtemel yıllık ortalama konsantrasyonlarının maksimum değerlerin görünmesi, emisyonların yer seviyesinden gerçekleşmesinden dolayıdır. Ayrıca atık birikiminin artması ile de yıllık olarak bakacak olursak 2040 yılı için metan gazının miktar ve alanda dağılımı 2025 yılına nazaran yaklaşık 15 katı olduğunu ve metan ile salınan diğer organik bileşik türlerinin ilerleyen yıllarda yerleşim alanlarına koku problem oluşturabileceği düşünülebilir. Özellikle hâkim rüzgar yönünde bulunan Demirtaş yerleşim yeri etkilenme potansiyeline sahiptir. Yerel yönetimler

yeni yerleşim alanına izin verme noktasında bu hususları dikkate alabilirler. Bu durum, çevresel etkilerin yanı sıra insan sağlığı açısından da değerlendirilmesi gereken bir husustur. Aynı zamanda, bu tür durumların izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması hem çevre hem de insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.



- [1] Atıklar,”csb.gov.tr”,2022,https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikle_r/10_at-kler_brosur-20191128880579.pdf. [Erişim Tarihi: 11 Şubat 2024]
- [2] L. Traven, "Sustainable energy generation from municipal solid waste: A brief overview of existing technologies," Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, vol. 8, no. 100491, 2023.
- [3] “Katı atık yönetimi,” <https://acikders.ank.ara.edu.tr> [Erişim tarihi:11-Şub-2024].
- [4] A. Mountouris and E. Voutsas, "Solid waste plasma gasification: Equilibrium model development and exergy analysis," Energy Conversion and Management, vol. 47, pp. 1723-1737, 2006.
- [5] "Gıdanı Korumayı Destekleyen Kompost," Tarım ve Orman Bakanlığı,. Available:<https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararası%20Kuruluşlar/Gıda%20Koruma%20Kompost.pdf>. [Erişim Tarihi: 11-Aug-2024].
- [6] Çevre Kanunu, (1983), T.C. Resmi Gazete, 18132, 11 AĞUSTOS 1983.
- [7] Y. S. Kebede and A. N. T. Endalemaw, "Urban landfill investigation for managing the negative impact of solid waste on environment using geospatial technique: A case study of Assosa town, Ethiopia," Environmental Challenges, vol. 4, no. 100103, 2021.
- [8] U. P. Pradhan, "Sustainable solid waste management in a mountain ecosystem: Darjeeling, West Bengal, India," M.S. thesis, University of Manitoba, Faculty of Graduate Studies, Manitoba, Canada, 2008.
- [9]”Türkiye İstatistik Kurumu(TÜİK),” www.tuik.gov.tr
- [10] G. Varank, "Katı atık düzenli depo sahalarında atıkların aerobik ve anaerobik ayrışması üzerine sızıntı suyu geri devrinin etkileri," M.S. thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [11] H. F. Pulat and Y. Y. Aksoy, "Türkiye kentsel katı atık kompozisyonunun kayma mukavemeti özellikleri ve çevre dayanıklılığının incelenmesi," İMO Teknik Dergisi, pp. 7703-7724, 2017.
- [12] G. Kanat and G. Ö. Ergüven, "Katı atık yönetiminde kompostlaştırmanın önemi, problemler ve çözüm önerileri: Türkiye örneği," Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, no. 19, pp. 66-71, 2020

- [13] J. Thran, G. Garcia-Garcia, C. Parra-López, A. Ufarte, C. García-García, S. Parra, and S. Sayadi-Gmada, "Environmental and economic assessment of biodegradable and compostable alternatives for plastic materials in greenhouses," *Waste Management*, vol. 175, pp. 92–100, 2024.
- [14] E. Arıkan, "Çok kriterli karar verme teknikleri ile katı atık bertaraf etme teknolojisi seçimi ve bir uygulama," M.S. thesis, Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2013.
- [15] M. Megharaj, K. Venkateswarlu, and R. Naidu, "Bioremediation," in *Encyclopedia of Toxicology*, 3rd ed., P. Wexler, Ed. Academic Press, 2014, pp. 485-489, ISBN 9780123864550.
- [16] D. Karaca and M. Bilgin, "Evsel katı atıkların biyometanizasyon yöntemi kullanarak değerlendirilmesi: Afyonkarahisar örneği," Aksaray, 2022.
- [17] "Proliz nedir," Dpumekatronik.com, [Online]. Available: <https://www.dpumekatronik.com/piroliz-nedir/>. [Accessed: 24-May-2024].
- [18] A. Koç and S. Alan Korun, "Conversion of polyethylene wastes to useful products by chemical degradation method (pyrolysis)," *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 19-26, 2021.
- [19] A. Aksoğan Korkmaz ve İ. Bentli, "Kömür Zenginleştirmenin Piroлиз Ürün Verimlerine Etkisinin Araştırılması", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 31, sy. 2, ss. 259–267, 2019, doi: 10.35234/fumbd.499279.
- [20] "Atık İstatistikleri 2022," Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik_Istatistikleri-2022-49570. [Accessed: 18-Aug-2024].
- [21] "Düzenli depolama," Çevreci Mühendisler, 2017. [Online]. Available: <https://cevrecimuhendisler.wordpress.com/2017/01/31/duzenli-depolama/#:~:text=D%C3%BCzenli%20depolama%3B%20evsel%2C%20ticari%20ve,uygun%20bir%20%C5%9Fekilde%20depolanmas%C4%B1%20aktivitesidir>. [Accessed: 18-Mar-2024].
- [22] B. Özkaya, "Katı atık depo sahalarında sızıntı suyu geri devrinin atıkların ayrışması ve sızıntı suyu üzerindeki etkilerinin incelenmesi," Ph.D. thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [23] M. Hayrullah Akyıldız, "Düzenli depolama alanlarının taban sızdırmazlığında gerekli olan kil kalınlığının tespiti," *Mühendislik Dergisi*, vol. 8, no. 4, pp. 695-701, 2027.
- [24] "Düzenli depolama," Avys, [Online]. Available: <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/akuleyin/144858/d%C3%BCzenli%20depolama%203.pdf>. [Accessed: 18-Aug-2024].

- [25] "Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi Ve İşletme Kılavuzu," 2014. Erişim tarihi: 20 Eylül 2024. https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/Duzenli_Depolama_Tesis_Saha_Yon_ve_isletme_kilavuzu.pdf
- [26] "Düzenli depolama: Giriş ve yer seçimi," Avys, [Online]. Available: [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/akuleyin/144858/d%C3%BCzenli%20%20depolama%201%20\(giri%C5%9F%20ve%20Yer%20Se%C3%A7imi\).pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/akuleyin/144858/d%C3%BCzenli%20%20depolama%201%20(giri%C5%9F%20ve%20Yer%20Se%C3%A7imi).pdf). [Accessed: 18-Aug-2024].
- [27] "Yüksek lisans tezi," Sakarya Üniversitesi, [Online]. Available: <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12619/76457/T05366.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Accessed: 18-Aug-2024].
- [28] D. R. Reinhart and A. B. Al-Yousfi, "The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics," Waste Management and Research, vol. 14, pp. 337-346, 1996.
- [29] "Anaerobikarıtım," <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/akuleyin/110653/2.%20anaerobik%20ar%C4%B1t%C4%B1m%20.pdf>. [Erişim Tarihi: 18-Aug-2024]
- [30] R. Bove and P. Lunghi, "Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies," Energy Conversion and Management, vol. 47, pp. 1391-1401, 2006.
- [31] Z. G. Erzincan, "Katı atık düzenli depolama sahası deponi gazı ölçülmesi ve deponi gazdan enerji üretimi," 2020.
- [32] G. Tchobanoglous, H. Theisen, and S. Vigil, Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, Inc., 1993, ISBN 0070632375.
- [33] E. A. McBean, F. A. Rovers, and G. J. Farquhar, Solid Waste Landfill Engineering and Design, Prentice Hall PTR, 1995, ISBN 0130791873.
- [34] K. A. Adu-Gyamfi, "Renewable energy: Landfill gas and EfW: Now, next and future," 2012.
- [35] M. Öztürk, "Katı atık depolama alanında metan gazı oluşumu," Ankara, 2008.
- [36] V. Rajaram, From Landfill Gas to Energy - Technologies and Challenges, 1st ed., Taylor & Francis Group, London, 2012.
- [37] Dutch Sustainable Landfill Foundation, "Opening the Black Box: Process-Based Design Criteria to Eliminate Aftercare of Landfills," Netherlands, 2006.
- [38] Demir S., "Katı atık düzenli depo sahalarından kaynaklanan VOC emisyonlarının dağılımının modellenmesi," , Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.

- [39] S. C. Zou, S. C. Lee, C. Y. Chan, K. F. Ho, X. M. Wang, L. Y. Chan, and Z. X. Zhang, "Characterization of ambient volatile organic compounds at a landfill site in Guangzhou, South China," *Chemosphere*, vol. 51, pp. 1015–1022, 2003.
- [40] S. Sironi, L. Capelli, P. Centola, R. Del Rosso, and M. Il Grande, "Odour emission factors for assessment and prediction of Italian MSW landfills odour impact," *Atmospheric Environment*, vol. 39, pp. 5387–5394, 2005.
- [41] S. T. Leong, S. Muttamara, and P. Laortanakul, "Applicability of gasoline containing ethanol as Thailand's alternative fuel to curb toxic VOC pollutants from automobile emission," *Atmospheric Environment*, vol. 36, no. 21, pp. 3495–3503, 2002.
- [42] B. Berglund, U. Berglund, and T. Lindvall, "Assessment of discomfort and irritation from indoor air," *ASHRAE*, pp. 138-149, 1986.
- [43] R. T. Haug, *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, CRC Press LLC, USA, 1993.
- [44] K. Verschueren, *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold Company, NY, USA, 1983.
- [45] R. T. Haug, *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, CRC Press LLC, USA, 1993.
- [46] D. H. Stade, *Meteorology and Atomic Energy 1968*, Atomic Energy Commission, Washington DC, USA, 1968.
- [47] S. R. Hanna, G. A. Briggs, and R. P. Hosker, *Handbook on Atmospheric Diffusion*, US Department of Energy, USA, 1982.
- [48] "Hakkari ili 2021 yılı çevre durum raporu," Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ocak 2022. [Online]. Available: https://webdosya.csb.gov.tr/db/cedlicerikler/hakkar-_-cdr2021-2022110913242.pdf. [Accessed: 18-Aug-2024].
- [49] Katı Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Oranları Tablosu. Erişim Tarihi: 16 Ağustos 2024
- [50] M. N. Goushki, M. A. Shiri, M. Nozari, "Estimation of Gas Emissions using the LandGEM Model from the Landfill of Baft County, Kerman, Iran", *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1444.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

- 1.Zirek K., Kuzu S.L., (2024) Measurement of Emissions Resulting from Solid Waste Integrated Landfill Facility via Dispersion, 3rd International Graduate Research Symposium - IGRS'24, 8-10 Mayıs 2024, İstanbul-Türkiye