



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Hakkari Merkez ve Yüksekova Katı Atık Vahşi Depolama Alanlarının Rehabilitasyonu ve Değerlendirilmesi †

Mesrur DEMİR¹, Ayşe ÖZGÜVEN^{*2}

¹Hakkari Belediyeleri ve İl Özel İdaresi Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı, Hakkari, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

*Sorumlu yazar e-posta: ayseozguven@yyu.edu.tr

Öz: Günümüzde çöp döküm sahalarının iyileştirilmesi ve sürdürülebilir atık yönetimi stratejileri, çevre ve halk sağlığını koruma açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Hakkâri Merkez ve Yüksekova’da bulunan katı atık vahşi depolama alanlarının mevcut durumları, bu alanların çevresel etkileri ve rehabilitasyon süreci detaylı bir şekilde incelenmiştir. Vahşi depolama alanları, kontrolsüz atık birikimi nedeniyle su, toprak ve hava kirliliğine neden olmakta ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Hakkâri ve Yüksekova’daki vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu kapsamında atıkların üzerinin uygun malzemelerle kapatılması, sızıntı sularının toplanması, gaz gözlem bacalarının yerleştirilmesi, çim serimi ve yeşillendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Özellikle sızıntı suyu yönetimi ve gaz emisyonlarının kontrol altına alınması, yeraltı sularının korunması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu, sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının bir parçası olarak ele alınmalı ve bu tür çalışmaların sürekliliği sağlanmalıdır. Çalışma sonuçlarına göre, rehabilite edilen bölgelerin yeşil alanlar, rekreasyon alanları veya yenilenebilir enerji projeleri için kullanılabileceği görülmüştür. Bunun yanı sıra, rehabilitasyon sürecinde yaşanan teknik ve finansal zorluklar da ele alınarak, gelecekte benzer projelerin daha etkin bir şekilde yürütülebilmesi için öneriler sunulmuştur. Bu çalışma, sadece Hakkâri ve Yüksekova özelinde değil, benzer sorunların yaşandığı diğer bölgeler için de önemli bir rehber niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hakkari, Katı atık, Rehabilitasyon, Vahşi depolama, Yüksekova

Rehabilitation and Evaluation of Hakkari Center and Yüksekova Solid Waste Wild Landfills

Abstract: Nowadays, landfill upgrading and sustainable waste management strategies are of great importance for the protection of the environment and public health. In this study, the current status of solid waste landfills in Hakkari Centre and Yüksekova, their environmental impacts and rehabilitation process were examined in detail. Wild landfills may cause water, soil and air pollution due to uncontrolled accumulation of wastes and lead to negative impacts on the ecosystem. Within the scope of the rehabilitation of wild landfills in Hakkari and Yüksekova, covering of wastes with suitable materials, collection of leachate, installation of gas monitoring chimneys, grass laying and greening works were carried out. Particularly, leachate management and control of gas emissions are critical for protecting groundwater and improving air quality. Rehabilitation of wild landfills should be considered as a part of sustainable waste management policies and the continuity of such studies should be ensured. According to the results of the study, the rehabilitated areas could be used for green areas, recreation areas or renewable energy projects. In addition, technical and financial difficulties experienced during the rehabilitation process were also discussed and suggestions were presented for more effective implementation of similar projects in the future. This study is an important guide not only for Hakkari and Yüksekova, but also for other regions with similar problems.

Keywords: Hakkari, Rehabilitation, Solid waste, Wild landfill, Yüksekova

† Bu çalışma Doç. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN danışmanlığında tamamlanan Mesrur DEMİR'in "Hakkâri Merkez ve Yüksekova Katı Atık Vahşi Depolama Alanlarının Rehabilitasyonu ve Değerlendirilmesi" isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Gönderilme Tarihi: 27.02.2025

Kabul Tarihi: 17.06.2025

Nasıl atıf yapılır: Demir, M., & Özgüven, A. (2025). Hakkari merkez ve Yüksekova katı atık vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu ve değerlendirilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(2), 647-662. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1647809>

1. Giriş

Sanayileşme, nüfus artışı ve kentleşme süreçleriyle birlikte katı atık miktarında büyük bir artış yaşanmaktadır. Dünya genelinde her yıl milyonlarca ton katı atık üretilmekte ve bu atıkların yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir konu haline gelmiştir (Palabıyık & Altunbaş, 2004). Toplanan atıkların kontrolsüz bir şekilde açık alanlara dökülmesi hava sirkülasyonu, yüzeysel ve yeraltı suyu akışları yoluyla yayılan kirliliği artırmaktadır (Zairi ve ark., 2004). Gelişmiş ülkelerde atık yönetimi stratejileri büyük ölçüde geri dönüşüm, kompostlama ve düzenli depolama yöntemlerine dayanırken, gelişmekte olan ülkelerde vahşi depolama gibi kontrolsüz atık bertaraf yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Vahşi depolama, atıkların herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan çevreye bırakılması anlamına gelmekte olup, su ve toprak kirliliği, hava emisyonları ve ekosistem bozulması gibi ciddi çevresel tehditler oluşturmaktadır (Gökçe ve ark., 2015; Öztürk & Özgüven, 2022). Katı atık vahşi depolama alanlarının düzenli ve kontrollü olması gerektiği gerçeğine rağmen, pek çok bölgede bu temel prensipler uygulanmamakta ve sonuç olarak vahşi depolama alanları oluşmaktadır. Bu alanlarda rüzgârın etkisiyle toz bulutlarının oluşması, gaz oluşumu nedeniyle hava kirliliği, katı atıkların geniş bir alana yayılması nedeniyle çevre ve görüntü kirliliği, atıklarla beslenen hayvanların bulaşıcı hastalıklara yakalanması gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır (Tarakci Eren ve ark., 2018). Katı atık vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu, çevre sağlığını korumak ve sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi kurmak için kritik bir öneme sahiptir (Citaristi, 2022). Katı atık vahşi depolama alanları, çevre ve halk sağlığı açısından büyük riskler taşımaktadır. Katı atıkların bertarafının çevresel etkileri çoğunlukla gaz ve sızıntı suyunun bertaraf sahası çevresinden taşınıp çevreye salınımından kaynaklanmaktadır. Çöp yığınlarının kontrolsüz bir şekilde biriktirilmesi, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açmaktadır. Özellikle yağmur suları, çöplerden sızan zehirli maddeleri yeraltı sularına taşıyarak içme suyu kaynaklarını kirletebilir. Bu durum, uzun vadede ciddi sağlık sorunlarına, özellikle de çocuklar ve hassas gruplar için tehlikeli olabilecek hastalıklara yol açabilir (WHO, 2019). Vahşi depolama alanlarının ıslahı ve bitkilendirilmesi çalışmalarında, bu alanlardaki zehirli gazların ve sızıntı sularının alandaki bitkilerin gelişimini doğrudan etkilediği gösterilmiştir (Gökçe & Hasanoğlu, 2015).

Katı atık vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu, bu alanların olumsuz çevresel etkilerini minimize etmeyi ve doğal ekosistemleri yeniden kazandırmayı amaçlamaktadır. Genellikle atıkların üzerinin güvenli bir şekilde kapatılması, yüzey sularının ve yeraltı sularının korunması, gaz deponi alanlarının ıslah edilmesi üzerine çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Bitkilendirmeye elverişli olan bu alanların yeşillendirilmesi için belediyelerin üniversitelerle iş birliği içinde çalışmalar yapması başarılı bitkilendirme uygulamaları için büyük önem taşımaktadır (Gökçe & Hasanoğlu, 2015). Depolama sahasındaki bitki örtüsü, estetik değer kazandırmanın yanı sıra erozyon kontrolü ve kirlетici maddelerin uzaklaştırılmasında da önemli bir role sahiptir (Erdoğan & Uzun, 2007). Ayrıca depolama alanı örtüleri, sızıntı sularının yeraltı suyu kirlenme riskini azaltmak için kullanılmaktadır.

Hakkari ve Yüksekova gibi ulaşımı zor olan bölgelerde, atık yönetimi altyapısının yetersizliği nedeniyle vahşi depolama sahalarının yaygın olduğu bilinmektedir. Bu tür sahalarda, kontrolsüz çöp birikimi nedeniyle su kaynakları sürekli kirlenmektedir, bu nedenle bu alanlarda metan gazı kontrolü, toprak stabilizasyonu gibi teknik işlemlerin yapılması gerekmektedir (Mejjad ve ark., 2021). Bu süreçte, öncelikle alanın mevcut durumu detaylı bir şekilde değerlendirilmekte ve çevresel riskler belirlenmektedir. Tunus'taki El Yahoudia vahşi depolama alanının rehabilite edilmesi, gelişmekte olan bir ülkede rehabilite edilen bir çöp sahasının canlı bir örneğidir (Zairi ve ark., 2004). Nas ve Bayram (2008), Türkiye'de Gümüşhane ilindeki vahşi depolama alanının rehabilitasyonunun ve kapatılmasının zor ve maliyetli olduğunu belirtmişlerdir (Nas ve Bayram, 2008). Rehabilitasyon, yeşil alanların oluşturulması, rekreasyon alanlarının planlanması ve ekosistem restorasyonu gibi çeşitli faaliyetleri kapsamaktadır. Rehabilitasyon çalışmaları hem mevcut çevresel sorunları çözmek hem de gelecekte benzer sorunların ortaya çıkmasını engellemek için kritik öneme sahiptir (EPA, 2020).

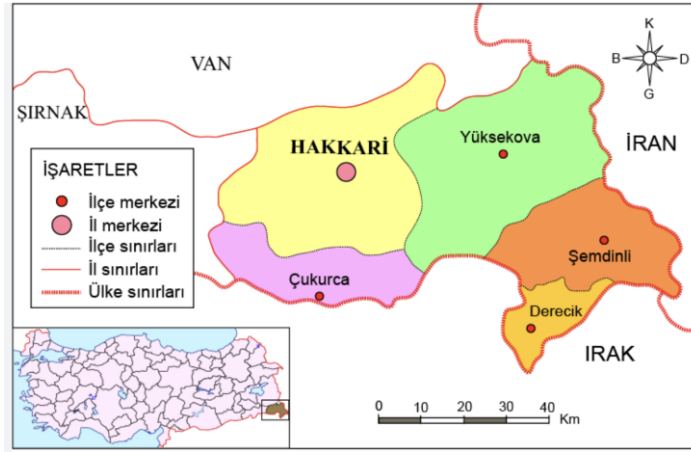
Bu çalışmada, Hakkari Merkez ve Yüksekova'da bulunan katı atık vahşi depolama alanlarının mevcut durumları incelenmiş, bu alanların çevresel etkileri analiz edilmiş ve rehabilitasyon süreçleri değerlendirilmiştir. Rehabilitasyon sürecinde atıkların üzerinin kapatılması, sızıntı sularının kontrol altına alınması, metan ve diğer zararlı gazların toplanması gibi yöntemler uygulanarak, çevreye olan olumsuz etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, rehabilite edilen alanların nasıl değerlendirilebileceği üzerinde durulmuş ve bu sahaların yeşil alanlar, rekreasyon alanları veya yenilenebilir enerji projelerine dönüştürülebileceği önerilmiştir. Hakkari Merkez ve Yüksekova

depolama alanının rehabilitasyonu ülkemizde özellikle Doğu Anadolu Bölgesinde ıslah edilmeyi bekleyen çöp alanları için örnek oluşturacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Hakkâri, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Hakkâri Bölümü'nde bulunan bir ildir. İl, 7.228 km² yüzölçümüyle Türkiye topraklarının yaklaşık %0.92'sini kaplamaktadır. Hakkâri, Merkez ilçesiyle birlikte toplamda 4 ilçe (Yüksekova, Şemdinli, Çukurca, Derecik), 3 belde (Durankaya, Büyükçiftlik, Esendere), 136 köy ve 377 mezradan oluşmaktadır. İl, doğuda Türkiye -İran, güneyde ise Türkiye- Irak sınırlarıyla çevrilidir. Hakkâri, 42° 10' ve 44° 50' doğu boylamları ile 36° 57' ve 37° 48' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır ve deniz seviyesinden ortalama 1.720 m yükseklikte bulunmaktadır. Yüksekova ilçesi, Türkiye'nin doğusunda, İran ve Irak sınırlarına yakın bir serhat ilçesidir. Doğusunda İran ve Şemdinli, güneyinde Irak, batısında Çukurca ve Hakkâri, kuzeyinde ise Van'ın Başkale ilçesi ile çevrilidir. 2291 km²'lik bir yüzölçümüne sahip olan ilçe, Hakkâri'ye 80 km uzaklıktadır. Etrafı dağlarla çevrili olan Yüksekova'nın rakımı 1950 m'dir. Hakkâri ilinin Türkiye'deki konumunu gösteren harita Şekil 1'de verilmiştir (Anonim, 2024).



Şekil 1. Hakkâri ili haritası (Anonim, 2024).

Bu bölgeler, dağlık ve engebeli arazi yapısına sahip olup, sert karasal iklim özellikleri göstermektedir. Kış aylarında uzun süreli kar yağışı ve düşük sıcaklıklar gözlenirken, yaz ayları kısa ve kuraktır. Hakkâri'nin bitki örtüsü, kuzey yarımkürede orta enlemlerde yer alması ve dağlık topografyası gibi coğrafi faktörlerden etkilenir. Genel olarak, bitki örtüsü bozkır özellikler gösterir. Ancak, bölgedeki mevcut step görünümü doğal bitki örtüsü değildir. Uzun yıllar süren insan kaynaklı tahribatlar sonucu ortaya çıkan, antropojen bozkırlar bu görünümü oluşturmuştur. Yani, doğal bitki örtüsünün yok olması ve insan etkisiyle oluşan bozkırlar söz konusudur (Dönmez & Aydınöz, 2012). 2024 yılı itibarıyla Hakkâri ilinin toplam nüfusu 287.625 olarak kaydedilmiştir. Bu nüfusun 154.235'i erkek, 133.390'ı ise kadındır. Hakkâri'deki nüfus artış oranı %4.27 olarak hesaplanmış ve bu artış 12.292 kişilik bir nüfus artışına denk gelmiştir. Yüksekova 121.969 kişi ile Hakkâri'nin yüksek nüfuslu bir ilçesidir (TÜİK, 2024). Bölgede sanayi faaliyetleri sınırlı olup, ekonominin temelini tarım, hayvancılık ve sınır ticareti oluşturmaktadır.

Hakkâri Merkez katı atık vahşi depolama alanı, Hakkâri-Çukurca karayolu üzerinde Kililan olarak anılan mevkide, kent merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta Zap Suyu Nehri boyunca yer almaktadır. Bu alan 30 yıl aktif olarak kullanılmıştır. Alanın mülkiyeti hazine'ye aittir. Depolama sahası yüzey alanı 5.6 ha'dır. Ancak atıklar katı atık vahşi depolama alanına dağılmış ve toplamda 9 ha alan kirletilmiştir. Hakkâri Merkez katı atık vahşi depolama alanı 250 bin m³'lük alana sahiptir. Bu alanda 2 adet gaz tahliye bacası yapılmıştır. Hakkâri Merkez katı atık vahşi depolama alanı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Hakkari Merkez katı atık vahşi depolama ve rehabilitasyon alanı.

Hakkari Belediyesi, belediye atıklarını her gün toplamaktadır. Halihazırda, katı atık vahşi depolama alanına atılan atıklar tartılmamaktadır. Toplama kamyonlarının kapasite ve sefer sayılarına göre, belediye yetkilileri, yerel depolama sahasında biriktirilen atık miktarının yaklaşık 50-65 ton/gün olduğunu tahmin etmektedirler. Cüruf ve kül kış aylarında bu amaç için tahsis edilmiş 3 kamyonla toplanmakta ve toplanan atık miktarının 300-400 ton/hafta olduğu tahmin edilmektedir. Belediye yetkilileri atık toplama oranının %100 olduğunu ifade etmektedirler. Konteynırlar çoğunlukla atıkların geçici olarak depolanması amacıyla kullanılmaktadır.

Yüksekova katı atık vahşi depolama alanı, kent merkezine 20 km mesafede Pilonk'ta (Çakırkaya) bulunmaktadır. Mülkiyeti özel mülk olup Belediye tarafından kiralanmıştır. Bu alan 20 yıldan uzun süredir faal olarak kullanılmıştır. Katı atık vahşi depolama sahasının tahmini yüzey alanı 4 ha'dır. Yüksekova'nın rehabilitasyon alanı 320.000 m³ alana sahiptir. Bu alanda 3 adet gaz tahliye bacası yapılmıştır. Gaz tahliye bacaları 8 m derinliğine yerleştirilmiş olup ve her biri 50 m²'lik alana hitap etmektedir. Rehabilitasyon alanı yüzeye yakın alana 1.5 m'lik kısmına talaş serilerek, çıkan gazlardan metan ve sülfür absorbe edilerek doğaya salınmasını engellenmektedir. Yüksekova ilçesinin katı atık vahşi depolama alanı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Yüksekova katı atık depolama ve rehabilitasyon alanı.

3. Bulgular

Hakkari ilindeki evsel nitelikli katı atıkları bertaraf etmek için Hakkari ili, Akçalı Köyü, Beyaztaş Mevkiinde Hakkari Belediyeleri ve İl Özel İdaresi Katı Atık Birliği tarafından katı atık depolama tesisi kurulmuştur. Atıkları bertaraf etmek amacıyla II. Sınıf düzenli depolama tesisi, kompost tesisi, mekanik ayırma tesisi, tıbbi atık sterilizasyon tesisi, düzenli depolama alanı ve sızıntı suyu arıtma tesisi yapılmıştır. Hakkari ilinde çıkan atık miktar oranları ve yüzdeleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. İlçelerin Hakkari entegre katı atık tesisine mesafesi ve atık oranları

Belediye	Katı atık tesisine mesafesi (km)	Atık miktarı oranı (gün/ton)	Atık miktarı yüzdesi (%)
Hakkari Merkez	40	60	30
Durankaya	66	2	1
Çukurca	108	14	7
Büyükçiftlik	37	2	1
Yüksekova	44	76	37
Şemdinli	95	40	20
Esendere	81	2	1
Derecik	154	6	3

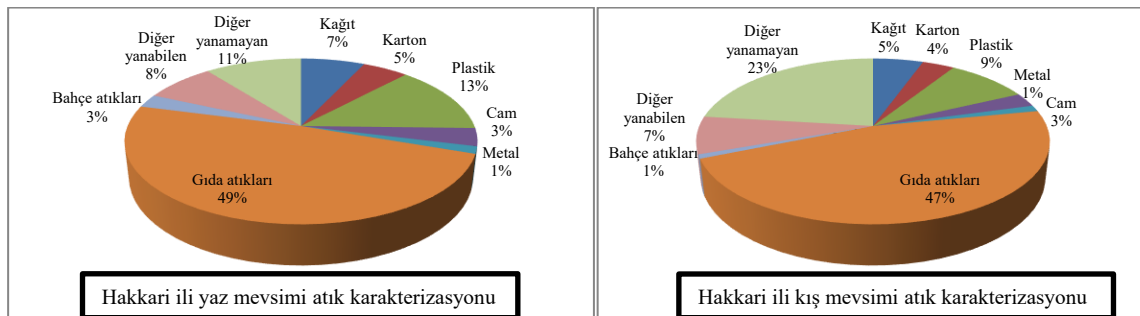
Çizelge 1’de görüldüğü gibi il genelinde oluşan toplam atığın %67’si Hakkari ve Yüksekova’da oluşmakta olup bu yerleşimlerin düzenli depolama alanına mesafeleri sırasıyla 40 ve 44 km’dir. Hakkari ilinin katı atık analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Hakkari ilinin katı atık analiz sonuçları

Parametre	Değer (%)	Açıklama
Nem İçeriği	30.8	Atığın su içeriğini ifade eder. %30.8 nem oranı, enerji üretimi sırasında bu suyun buharlaşmasını gerektireceği için enerji kaybına neden olabilir.
Karbon	35.6	Organik yapının karbon oranıdır. %35.6 karbon, biyokütle enerjisi üretim potansiyelini gösterir, ancak daha yüksek enerji verimi için karbon miktarının artırılması avantajlı olabilir.
Azot	1.2	Atığın azot miktarını ifade eder. Kompost yapımında faydalıdır, ancak enerji üretimi sırasında yüksek azot oranı, NO _x emisyonlarına yol açabilir.
C/N Oranı	29.67	C/N oranı, kompostlama için ideal seviyeye yakındır. 29.67 oranı, organik atıkların azot katkısı olmaksızın kompostlanabilir olduğunu gösterir.
Uçucu Madde Miktarı	45.80	Yanabilir bileşenlerin miktarını gösterir. %45.80 uçucu madde, enerji üretimi için yüksek bir potansiyele işaret eder.
Sabit Madde Miktarı	25.13	Yanma sonrası geride kalan kül ve inorganik bileşenlerin oranıdır. %25.13 sabit madde miktarı, yanma sonrası önemli miktarda kül oluşacağını gösterir.

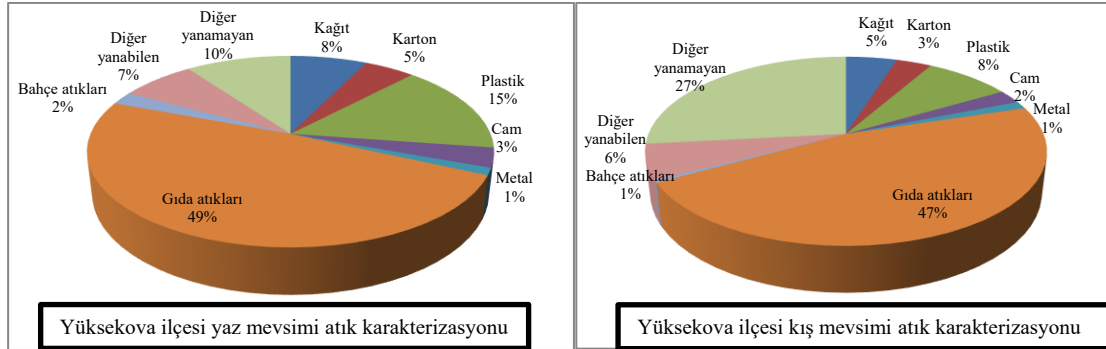
Hakkari kırsal yerlerinden alınan katı atık analiz değerleri ve açıklamaları yukarıdaki Çizelge 2’de verilmiştir. Bu parametreler, Hakkari kırsal alanlarından elde edilen atıklardan enerji üretimi ve kompostlama açısından değerlendirilmesi için yol gösterici bilgiler sağlar.

Hakkari ilinde 2023-2024 yıllarında yapılan bu çalışma, bölgedeki atık yönetimi stratejilerinin iyileştirilmesi, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Hakkari ilinde 2023-2024 yılları arasında yapılan atık karakterizasyonu analizi Şekil 4’de verilmiştir. Atık karakterizasyonu verileri, Hakkari ve Yüksekova’daki atık yönetimi politikalarının iyileştirilmesi açısından önemli bilgiler sunmuştur.



Şekil 4. Hakkari ilinin atık karakterizasyonu.

Yüksekova Belediyesi yazın haftada 7 gün, kışın ise haftada 3-4 gün atıkları toplamaktadır. Katı atık vahşi depolama alanına atılan atıklar tartılmamaktadır. Her gün 70-90 ton atık döküldüğü tahmin etmektedir. Yüksekova ilçesinde 2023-2024 yılları arasında yapılan yaz ve kış mevsimi atık karakterizasyonu sırasıyla Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Yüksekova ilçesinin atık karakterizasyonu.

Şekil 4 ve Şekil 5’te sırasıyla Hakkari ve Yüksekova’da katı atıkların yüzdesel oranları görülmektedir. Her bir dilim, belirli bir atık türünün toplam atık içindeki payını yansıtmaktadır. Görüldüğü gibi, en büyük payı gıda atıkları ve geri dönüşüm için uygun olan kâğıt, plastik atıklar ve diğer yanmayan atıklar (taş, toz, seramik, kum, v.b.) oluşturmaktadır. Hakkari ve Yüksekova ilçelerinin katı atıklarının %47-49 gibi önemli bir bölümünü gıda atıkları oluşturmaktadır. Atık analizleri bölgedeki organik atık oranının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir ve kompostlama gibi biyolojik dönüşüm yöntemlerinin bölgesel atık yönetimine entegre edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca plastik, metal ve cam atıklarının oranları, geri dönüşüm altyapısının geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yapılan diğer çalışmalarda da benzer bulgular mevcuttur. Örneğin Karadeniz Bölgesi’nde katı atıkların %55-65 gibi önemli bir bölümünü organik atıkların oluşturduğu tespit edilmiştir (Kadılar & Dursun, 2025). Van İlinde yapılan bir katı atık karakterizasyonu çalışmasında ise atığın %34.34 ‘ünün organik, %42.41’inin ise sabit madde içerdiği rapor edilmiştir (Öztürk & Özgüven, 2022).

3.1. Rehabilitasyon sürecinde kullanılan teknikler

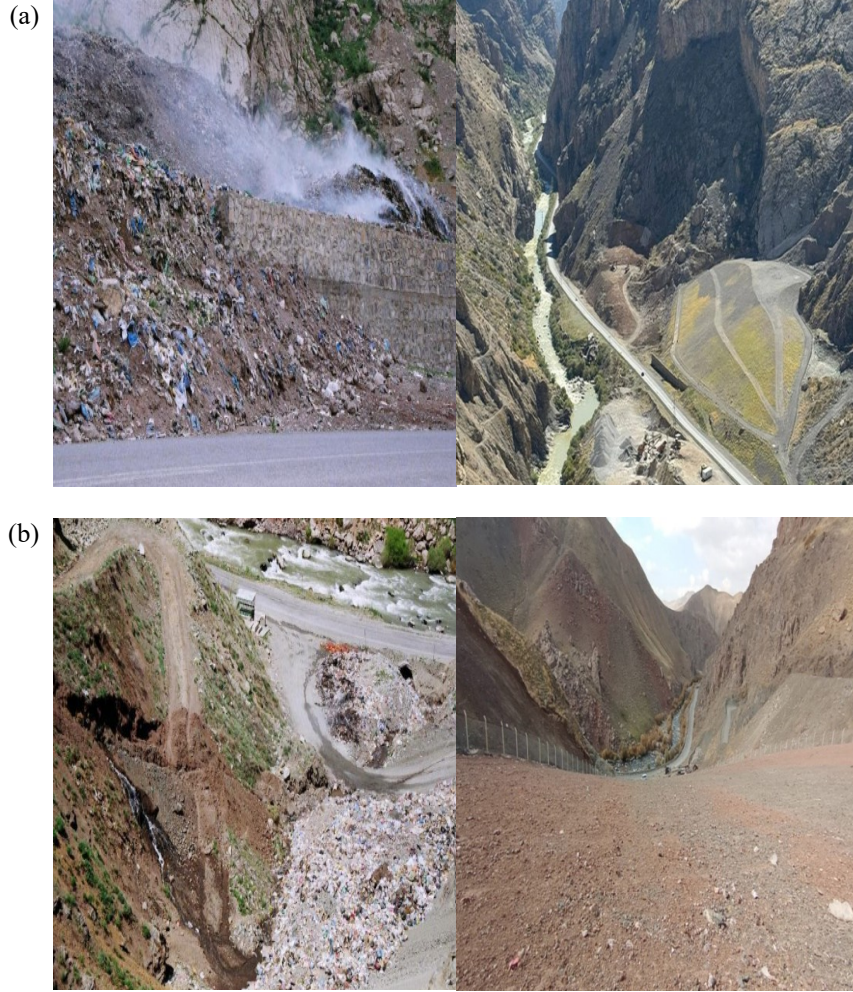
Hakkari Merkez ve Yüksekova’daki Katı Atık vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu sürecinde atıkların üzerinin kapatılması ve yalıtım, sızıntı suyu yönetimi, gaz gözlem ve tahliye sistemleri, çimlendirme ve bitkilendirme gibi adımlar izlenmiştir.

3.1.1. Atıkların üzerinin kapatılması ve yalıtım

Hakkâri ve Yüksekova’da katı atık yönetimi altyapısı yeterince gelişmiş değildir. Atıkların büyük bir kısmı düzensiz olarak depolanmakta ve mevcut depolama alanları kontrolsüz çöp yığınları haline gelmektedir. Bu durum, yeraltı suyu kirliliği, kötü koku, haşere popülasyonunun artışı ve metan gazı emisyonları gibi çeşitli çevresel problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle Hakkari Merkez ve Yüksekova katı atık vahşi depolama alanlarının etrafı çitle kapatılmış ve yeşillendirme çalışması yapılmıştır (Katı atık vahşi depolama alanlarında yaşayan başıboş hayvanlar için alan korunaklı bir hale getirilebilir ve ilgili belediyeler tarafından bu alanlara köpek barınakları yapılarak yaşam alanı oluşturabilir). Depolama alanının rehabilitasyonunda ilk önce üst yüzeyinin tesviye edilmesi ve sıkıştırılması gerekmektedir. Sıkıştırılan zemine atık tabakasının üzerine bir toprak tabakası yerleştirilmiştir. (Bunun kalınlığı depolanan atığın boyutlarına bağlı olmakla 20 cm kadar olmalıdır). Daha sonra rehabilitasyon alanlarının tüm yüzeyini kaplayacak şekilde geosentetik kil tabakası (GKT) serilmiştir ve kaynakla birleştirilmiştir. GKT bir izolasyon tabakası olarak suya karşı tam olarak geçirimsizdir. GKT serimi bittikten sonra üzerine killi toprakla bir katman oluşturulur. Bu katmandan sonra geotekstil serimi (koruyucu ve ayırıcı geotekstil) yapılmıştır. Burada kullandığımız ayırıcı geotekstil, toprak örtüsüyle çakıl arasında kullanılmaktadır ve kil görevi üstlenmektedir. Daha sonra

üzerine çakıl serimi yapılmıştır ve depolama alanının son örtüsü olan humuslu toprak serilerek süreç tamamlanmıştır.

Geleneksel olarak, depolama alanı örtüleri düşük geçirgenlikli katmanların (örneğin sıkıştırılmış kil örtüler ve geosentetik astarlar) kullanımıyla su girişini en aza indirmek için tasarlanmıştır. Ancak, bu durum yağış ve sıcaklıkta meydana gelen mevsimsel değişiklikler sonucu ıslanma nedeniyle ve çöplüklerin yaşlanmasıyla çatlakların oluşması durumunda iyi sonuç vermeyebilir. Bu nedenle, bariyerin açığa çıkmasını ve bozulmasını önlemek ve toprakta su depolanmasını sağlamak için inşa edilen kapaklar bitkilendirilir (Bolan ve ark., 2013). Hakkari Merkez ve Yüksekova alanlarının rehabilite edilmeden ve edildikten sonraki görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Hakkari Merkez (a) ve Yüksekova (b) alanlarının rehabilite edilmeden ve edildikten sonraki görüntüleri.

3.1.2. Sızıntı suyu yönetimi

Sızıntı suyu, atıkların çürümesi ve ayrışması sırasında oluşan sıvıdır. Bu sıvı, çözülmüş organik ve inorganik maddeler, ağır metaller ve patojenler içerebilir (Kadılar & Dursun, 2025). Sızıntı suyu, kontrol edilmediğinde çevresel kirliliğe ve sağlık sorunlarına yol açabilir. Vahşi atık depolama alanlarına düşen yağışın %20-30'u sızıntı suyuna dönüşmektedir. Rehabilitasyon alanına üst örtüden önce uygulanan geosentetik membran tabakası sızıntıyı önlemek için yapılmıştır (Şen & Dursun, 2021). Katı atık vahşi depolama alanlarında sızıntı suyu yönetimi, bu riskleri minimize etmek için kritik bir öneme sahiptir.

Katı atık vahşi depolama alanları, zamanla çevreye zarar verebilecek duruma gelecektir. Rehabilitasyon süreci, bu alanların çevresel etkilerini azaltmayı ve güvenli bir hale getirmeyi

hedeflemektedir. Sızıntı suyu toplama sistemi, sızıntı suyunun toplanmasını ve kontrollü bir şekilde bertarafını sağlar. Bu durum yeraltı su kaynaklarını ve yerüstü su kaynaklarını kirlenmekten korur, böylece çevresel etkiler azaltılır. Sızıntı suyu toplama sisteminin kurulması, sızıntı suyunun insan sağlığına zarar vermeden izole edilmesini ve uygun şekilde bertaraf edilmesini sağlamaktadır. Özellikle sızıntı suyu yönetimi, bölgedeki su kaynaklarının korunması açısından büyük bir kazanım olmuştur. Sızıntı suyu toplama bacaları Şekil 7’de rehabilitasyon alanlarında sızıntı suyu toplama sistemi ise Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Hakkari ve Yüksekova sızıntı suyu toplama bacası.



Şekil 8. Rehabilitasyon alanında sızıntı suyu toplama sistemi.

Hakkari Merkez ve Yüksekova rehabilitasyon alanı etrafına sızıntı suyu toplamak için delikli borular yerleştirilmiştir. Delikli borulardan toplanan sızıntı suları menholde biriktirilerek Hakkari entegre katı atık tesisinde bulunan sızıntı suyu arıtma tesisine boşaltılıp atılacaktır (Sızıntı suyu toplama borusu çevresine çakıl ve altına 20 cm kum serilerek yapılmıştır). Aynı zamanda rehabilitasyon alanlarında bulunan yeraltı suyunu denetlemek için sahanın etrafına Hakkari Merkez ve Yüksekova için 4 adet 50 m derinliğinde yeraltı suyu gözlem kuyuları açılmıştır. Ayrıca, [EPA \(2020\)](#) tarafından ABD’de yürütülen bir çalışma sızıntı suyu yönetiminin rehabilitasyon sürecinin en kritik unsurlarından biri olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmamızda da benzer şekilde, su kirliliğinin azaltılması en önemli kazanımlardan biri olmuştur.

3.1.3. Gaz gözlem ve tahliye sistemleri

Yüksek düzeyde organik atık içeren katı atık depolama alanları, ilk yıllarda önemli miktarda gaz emisyonu üretir. Üretilen gaz miktarı, atık hacmine ve çöp sahasının yaşına bağlıdır. Bu alanlardan gelen depolama gazının akış hızını ve bileşimini ölçmek, potansiyel çevresel etkisini anlamak ve enerji geri kazanım potansiyelini değerlendirmek için önemli bir adımdır ([Zhang ve ark., 2019](#)). Yüksek metan

konsantrasyonları depolama sahası yangınlarına yol açabilirken, 50 ppm'i aşan hidrojen sülfür (H_2S) seviyeleri sağlık riskleri oluşturmaktadır (Allaire ve ark., 2008). Vahşi depolama sahalarında organik atıkların ayrışması sonucu oluşan kükürt ve amonyak gazları kötü kokuların salınımına neden olmaktadır. Ayrışma sonucu oluşan gazlar zehirli ve patlayıcı özelliktedir. Metan gazı çevre sağlığını olumsuz düzeyde etkileyen en önemli gazlardan biridir. Vahşi depolama sahalarında 3 aylık depolama süresine ulaşan atıklarda metan oluşumu gerçekleşmektedir. Örneğin, Mejjad ve ark. (2021) tarafından Fas'ta yapılan bir çalışmada, rehabilitasyon sonrası metan emisyonlarında %80 azalma gözlemlenmiştir.

Atıkların ayrışması sırasında metan gazı (CH_4) oluşur. Metan, %4-9 değerleri arasında hem patlayıcı hem de sera gazı etkisi oluşturan bir gazdır. Gaz gözlem bacaları, bu gazın seviyelerini izleyerek, birikimlerini kontrol altında tutmaya ve tehlikeli durumların önüne geçmeye yardımcı olur. Hakkari Merkez rehabilitasyon alanına 2 adet gaz gözlem bacası konulmuştur. Gaz bacalarının dış çapı 80 cm dir. Gaz toplama bacalarının ortasına yerleştirilen DN 110 HDPE perfore boruların etrafı çakıl ile donatılmıştır. Her bacada 8 adet gaz tahliye borusu olup toplam 16 adet gaz tahliye borusu yerleştirilmiştir. Yüksekova rehabilitasyon alanında bulunan çöp miktarı fazla olduğu için 3 adet gaz gözlem bacası yapılmıştır. Şekil 9'da gaz tahliye boruları göstermiştir.



Şekil 9. Gaz tahliye boruları.

3.1.4. Çimlendirme ve bitkilendirme

Hakkari'nin iklimi koşullarını göz önünde bulundurularak bu alanlarda nasıl bir çim serimi yapılacağına karar verilmesi gerekmektedir. Bu bölge, soğuk kışlar ve kısa yazlar ile karakterize edilen sert karasal bir iklime sahiptir. Dolayısıyla, soğuk hava koşullarına dayanıklı çim türleri tercih edilmelidir. Çim ekiminde hızlı büyüyen, az su isteyen, hava şartlarına ve toprak yapısına uygun bitkilerin seçilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu tür alanlar için zorluklara dayanabilen, kuraklığa dayanıklı odunsu ve otsu türlerin seçilmesi tercih edilmelidir. Bu nedenle bu alanlara *Festuca Rubra* (Kırmızı Yumak) çim türü ekilmiştir. Hakkari Merkez ve Yüksekova katı atık vahşi depolama alanları rehabilitasyonunun son aşaması olarak bitkisel toprak (humuslu toprak) serildikten sonra 0.3 m kısa çimli üst toprak (erozyona dayanıklı bitki örtüsü) serilmiştir. Bitkisel toprak, alanlar için en az 6 farklı türde erozyon kontrol tohumu ile karıştırılmış humus içeren üst topraktır. Tohum miktarı en az 6.0 kg/1000 m² olacaktır. Tabaka sıkıştırılmamalı ve tohum gelişimi için en uygun mevsimde uygulanmalıdır. Hakkari ve Yüksekova rehabilitasyon alanında yapılan çim serimi Şekil 10'da verilmiştir. Kapatılan vahşi depolama alanlarının alt katmanının da çöp olduğu için burada biriken sızıntı suyunu uzun köklü bitkilerin sızdırma olasılığı bulunduğundan kısa köklü bitkilerin kullanılması daha uygundur (Gökçe & Hasanoğlu, 2015). Ancak, bu bitkilerin bloklar halinde dikilmesi ve restorasyon sürecini kolaylaştırabilecek türlerin belirlenmesi, konu hakkında gelecekte çalışmalar yapılmasını gerektirmektedir.



Şekil 10. Hakkari ve Yüksekova rehabilitasyon alanına çim serimi.

Vahşi çöp alanlarının rehabilitasyon çalışmalarının son aşaması olan toprağın çimlendirilmesi için bazı çalışmalar yapılmıştır. Ordu İli Altınordu Belediyesine ait vahşi depolama alanının yeşillendirilmesi için *Lavandula officinalis* (lavanta) bitkisi ile çimlendirme çalışması yapılmıştır. Böylece vahşi depolama alanı halk için lavanta bahçesi olarak değerlendirilecek ve aynı zamanda estetik görünümü ve güzel kokusu ile dikkat çekecektir (Gökçe & Hasanoğlu, 2015). Bir başka çalışmada, kılcal kökleri 40 metreye kadar uzanan *Melilotus officinalis* bitkisi toprağın alt katmanındaki çöp tabakasını ayrıştırmak ve alandaki fazla suyu buharlaştırmak için kullanılmıştır (Erdoğan & Uzun, 2007).

3.2. Kül yönetimi

Türkiye’de yapılan bazı çalışmalarda, evsel atıklarla karıştırılan küllerin (ısınma atığı) ayrı toplanması ve ayrı bir şekilde katı atık depolama alanına getirilmesi hâlinde, geri kazanımı mümkün olan diğer atıklardan daha kolay ayrıştırıldığı bildirilmiştir (Akıncı ve ark., 2010; Öztürk & Özgüven, 2022). Kış aylarında bölgede kömürlerin yakılması sonucu oluşan küller evsel atıklarla birlikte depolama sahasına taşınmaktadır. Külün uygunsuz yönetimi insan ve çevre sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. Küldeki ağır metal ve dioksin konsantrasyonları yeterince yüksekse, yutulması halinde insan sağlığını ve ekolojik dengeyi etkileyebilir. Odun külü, potasyum, magnezyum ve fosfor gibi bir takım besin maddelerini içeren, yakıtın yanmamış artıklarını da içerir ve çevre açısından sorunlu diğer maddelerin içeriği yeterince yüksek değilse, gübre olarak kullanılabilir.

Yanan temiz odun, kömür kaynaklı külden daha temiz bir kül çıkarmasına karşın, odun külünün insan sağlığı ve çevre açısından endişe kaynağı olabileceği Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından resmi olarak kanıtlanmıştır. Kömür külündeki toksik maddeler erozyon, su akışı ve hava yoluyla ince parçacıklar veya toz halinde çevreye yayılabilir. EPA, kömür külünün içme suyu, göller, akarsular ve nehirleri kirleterek çevreye olumsuz etki yaptığı 70 durum vakası belirleyerek raporlamıştır (EPA, 2009). Kül depolama alanları belirlenirken yeraltı suyuna zarar vermeden sulak alanlara uzak bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu alanlar, kullanılmayan maden sahaları ve kum çakıl ocakları kül depolama alanı olarak değerlendirilebilir.

Kül atıkları doğaya kazandırılmak amacıyla parke ve kilitli taşı yapımında ve yol altyapı malzemesi olarak da kullanılabilir. Kilitli parke taşı yapımı için agrega, çimento, uçucu kül ve su belirli oranlarda kullanılarak yapılabilir. Ayrıca kül atıklarının zemin stabilizasyonunda ve yol dolgularında kullanılması ülke ekonomisine katkıda bulunabilir.

Hakkari Merkez, Yüksekova ve Şemdinli ilçelerinden kül numuneleri alınarak Ankara’da bulunan İzanlab Laboratuvar A.Ş. gönderilmiş ve analiz sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Hakkari, Yüksekova ve Şemdinli’ye ait kül analizleri sonuçlarına göre farklı elementlerin ve bileşiklerin miktarlarını ve standartlara uyup uymadığını kontrol etmek için kömür külü standart değerleri ile karşılaştırılması gereklidir.

Çizelge 3. Hakkari, Yüksekova ve Şemdinli'ye ait kül analizi

Parametre	Birim	Hakkari	Yüksekova	Şemdinli	Standart Değer (WHO, 2011)
pH	-	11.57	11.32	11.80	7-12
Klor(Cl)	ppm	285.2368	244.5492	318.6866	10-100
Flor (F)	ppm	237.6540	141.9046	141.6423	5-50
Kurşun(Pb)	ppm	0.0328	0.0075	0.0441	0.1-0.5
Bakır(Cu)	ppm	1.8033	1.6830	2.0092	0.5-5
Arsenik(As)	ppm	0.3847	0.1088	0.4940	0.01-0.1
Kadmiyum(Cd)	ppm	0.3726	0.1463	0.2549	0.01-0.1
Selenyum(Se)	ppm	0.2428	0.1317	0.1814	0.01-0.2
Civa(Hg)	ppm	0.0011	0.0010	0.0009	0.001-0.01

pH

Çevresel açıdan külün pH değerinin, genellikle 7-12 arasında olması önerilmektedir. Çalışmada elde ettiğimiz pH değeri 11.57, bazik bir ortamı göstermektedir. Bu değer, asit-baz dengesi açısından yüksek bir alkalinite içeriğini göstermektedir. pH seviyesi, külün içerdiği minerallerin asidik veya bazik özelliklerine bağlıdır. Kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve kalsiyum oksit (CaO) gibi minerallerin bulunması pH'ı yükseltmektedir ve kömürün bazik özellikler taşıdığını göstermektedir (Li ve ark., 2007).

Klor (Cl)

Genellikle klor oranı 10-100 ppm arasında kabul edilir, burada yüksek konsantrasyonda (285.24 ppm) Cl değeri tespit edilmiştir. Yanma sırasında kullanılan yakıtın (örneğin kömür veya biyokütle) yüksek klor konsantrasyonu, atık yakımı kaynaklı olabilir. Bu değerler dioksin ve furan gibi zehirli bileşiklerin oluşumuna neden olabilir. Çevreye yayılması durumunda toprak ve su sistemlerinde tuzlaşmaya ve bitki gelişiminin engellenmesine neden olur (WHO, 2011). Aşırı klor seviyesi, bitkilerin büyümesini engelleyebilir ve toprak kirliliğine yol açabilir. Bu seviyedeki klor genellikle zararlı etkiler yaratabilir, su ekosistemlerine zarar verebilir. Klor, kömürün içinde bulunan tuzlar ve özellikle deniz kökenli kömürlerde bolca bulunan NaCl (sodyum klorür) gibi bileşiklerden ileri gelmektedir (Taylor & Lichte, 1980). Ayrıca, kömürün yeraltı suyu ile etkileşimi ve bazı organik bileşikler de klor birikimine yol açabilir. Klor, kömür külüne kömürün organik bileşiklerinden ya da kömürün içeriğinde bulunan bazı kimyasal kirleticilerden gelir. Klor bileşenleri genellikle kömürün yakılması sırasında ortaya çıkar ve atmosferdeki su buharıyla birleşerek külde çözünür. Külün içeriğindeki klorun giderilmesi için külün yıkanması ve/veya bağlayıcılarla stabil hale getirilmesi önerilir. Kullanılan kömür/katı atığın kimyasal özellikleri önceden analiz edilmelidir ve ön işleme ile yüksek klor içeren fraksiyonlar ayrıştırılmalıdır. Ayrıca külün nihai bertarafında su ile yıkama (leaching) gibi çözümlerle klor içeriği azaltılabilir (Kabakcı & Çelikçi, 2019).

Flor (F)

Flor seviyesi 237.6540 ppm, çok yüksek bir değeri göstermektedir. Florun konsantrasyonu genellikle 5-50 ppm civarlarında tutulmalıdır. Bu değerin aşılması, toksik etkiler yaratabilir ve dışlarda florozis gibi sağlık sorunlarına yol açabilir (Demir Yetiş ve ark., 2024). Flor, çevresel sistemlere zarar verebilir özellikle toprakta fitotoksositeye neden olabilir. Flor, linyit kömürün içinde bulunan florit (CaF_2) gibi minerallerden veya kömürün organik flor bileşiklerinden kaynaklanabilir (Ando ve ark., 2001). Ayrıca, kömürün yeraltı mineralleri ve su ile etkileşimi, flor birikimine neden olabilir. Bölge jeolojisine bağlı olarak ham madde kaynaklı flor, kömürün mineral yapısında yer alabilir veya yakıldığında ortaya çıkan flor formunda külde bulunabilir. Flor giderimi için yıkama işlemi veya stabilizasyon teknikleri (örneğin Ca(OH)_2 ile nötralizasyon) kullanılabilir (Jeong ve ark., 2019). Flor içeriği yüksek olan bu tür külün tarımda veya açık alanda kullanımından kaçınılmalıdır.

Kurşun (Pb)

Kurşun seviyesi 0.0328 ppm oldukça düşük bir değerdir. Kurşun için önerilen sınır 0.1-0.5 ppm aralığındaki seviyelerdir. Bu değer, kabul edilebilir bir düzeyde olup, çevresel ve sağlık açısından tehlike oluşturmaz. Kurşun, kömürün içinde bulunan kurşun mineralleri (örneğin galen (PbS)) ve kömürün yeraltı mineralleri ile etkileşimlerinden kaynaklanır. Ayrıca, çevresel kirlenme sonucu

kömürün kurşun içeriği artabilir (Cui ve ark., 2019). Kurşun, endüstriyel kirletici olarak kömür içinde bulunan bazı metal mineralleri ve bileşenlerden gelmektedir. Ayrıca kömürün yanma sürecinde atmosfere salınan kurşun oksitleri, külde birikebilir.

Bakır (Cu)

Bakır seviyesi 1.8033 ppm olduğu için genellikle 0.5-5 ppm civarında kabul edilen seviyelere göre oldukça düşük bir değer olarak kabul edilebilir. Bu düzeyde bakır, bitkiler için besin maddesi olabilir. Ancak, çok yüksek bakır konsantrasyonları toksik olabilir, fakat bu değer bu riskten uzak bir seviyededir. Bakır, kömürün içinde bulunan bakır mineralleri (örneğin kalkopirit (CuFeS_2) ve diğer metal minerallerinden gelir (Covre ve ark., 2022). Kömürün yeraltı suyu ile etkileşimi bakır içeriğini artırabilir. Bakır, kömürün mineral yapısında bulunan bir başka metaldir.

Arsenik (As)

Arsenik seviyesi 0.3847 ppm, oldukça yüksek bir değeri göstermektedir. Arsenik için önerilen limit 0.01-0.1 ppm civarındadır. Arsenik, kömürün içinde bulunan arsenopyrit (FeAsS) gibi minerallerden gelir (Yenial, 2012). Ayrıca, kömürün organik arsenik bileşenleri de arsenik içeriğini artırabilir. Arsenik, kömürün doğal olarak içerdiği bir elementtir. Kömürün yakılması sırasında arsenik bileşenleri buharlaşır ve külde birikir. Yüksek arsenik içeriği, toprak ve yer altı suyuna karışarak ciddi sağlık sorunlarına (kanser) neden olabilir. Bitkiler tarafından alınarak gıda zincirine girebilir (WHO, 2011). Arsenik açısından yüksek kül, tehlikeli atık sınıfında değerlendirilmelidir. Külün içeriğindeki arsenik giderimi için demir hidroksit katkısı ile solidifikasyon/stabilizasyon (S/S) yöntemi önerilebilir (Bayar & Talinli, 2010). Jeotekstil/geotüp sistemlerinde arsenik mobilitesini önleyici bağlayıcılar (ör. demir oksitler) kullanılabilir. Kimyasal bağlayıcılar (flokülanlar) seçilirken, metal immobilizasyonuna katkı sağlayan türler tercih edilmelidir. Geotüp uygulamaları yapılırken standart dışı ağır metal içeriğine sahip külün doğrudan çevreye maruz kalması önlenmelidir.

Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum seviyesi 0.3726 ppm, yüksek bir değeri göstermektedir. Kadmiyum için önerilen limit 0.01-0.1 ppm civarındadır. Kadmiyum çok toksik bir metal olup, böbrekler ve kemikler üzerinde zararlı etkilere yol açabilir. Yüksek Cd değeri, toksik etkilere ve yeraltı suyunun kirlenmesine yol açabilir. Kadmiyum içeren materyallerin çevreye salınımı, sağlık üzerinde ciddi tehditler oluşturabilir. Kadmiyum, böbrek toksisitesi ve kemik bozukluklarına neden olabilir (WHO, 2011). Kadmiyum, kömürün içinde bulunan sfalerit (ZnS) ve diğer minerallerden gelir (Çelebi, 2023). Ayrıca, kömürün yeraltı suyu ve mineralleriyle etkileşimi kadmiyum içeriğini artırabilir. Kadmiyum, genellikle kömürün içindeki doğal metalik minerallerden gelir. Kömürün yanma işlemi sırasında kadmiyum buharlaşarak külde çöker. Külün potansiyel yeniden kullanımı (örneğin yapı malzemesi olarak) planlanıyorsa, ön işlem şarttır. Bu kül, tarım alanlarında kullanılmamalı, özel depolama alanlarında izole edilmelidir. Geotüp içinde tutulacaksa, geçirimsiz örtülerle sızıntı riski minimize edilmelidir. Kadmiyum gideriminde geçirimsiz alanlarda depolama veya S/S işlemi uygulanmalıdır. S/S yöntemiyle çözünür iyonların ve ağır metallerin sızma potansiyelinin azaltılabileceği gösterilmiştir (Kocaer & Başkaya, 2003).

Selenyum (Se)

Selenyum seviyesi 0.2428 ppm, insan sağlığı açısından genellikle kabul edilebilir bir seviyededir ve yalnızca Hakkari külündeki Selenyum değeri sınırı aşmaktadır. Selenyum için önerilen limit 0.01-0.2 ppm civarındadır. Selenyum, vücutta antioksidan özelliklere sahip bir elementtir, ancak aşırı miktarda toksik olabilir. Selenyum, kömürün içinde bulunan selenit (Na_2SeO_4) gibi minerallerden ve organik selenyum bileşiklerinden gelebilir (Akbiyık, 2021). Bu seviyedeki selenyum, kömürün jeolojik yapısına ve mineral içeriğine bağlı olarak doğal olarak düşük seviyelerde bulunabilir. Selenyum, kömürün içinde az miktarda bulunan bir elementtir ve organik selenyum bileşenleri kömürün içinde doğal olarak yer alır. Yakma işlemi sırasında selenyum buharlaşır ve külde birikir. Külün depolanmadan önce yıkanması veya S/S uygulanması önerilebilir. Bu yöntem ile çözünebilir iyonlar bağlayıcı malzemelerle (çimento, kireç, bentonit v.b.) immobilize edilebilir (Yiğit ve ark., 2020).

Civa (Hg)

Civa seviyesi 0.0011 ppm çok düşük bir değeri işaret eder ve genellikle kabul edilebilir seviyelerdedir. Civa için önerilen limit 0.001-0.01 ppm civarındadır (WHO, 2011). Civa, çok toksik bir element olup, su ve gıda kaynaklarında çok düşük seviyelerde bulunmalıdır. Bu seviyede, sağlık açısından risk oluşturmaz. Civa, kömürün içinde doğal olarak bulunan bir elementtir ve cinabar (HgS) gibi minerallerde bulunabilir. Ayrıca, kömürün atmosferik civa ile etkileşimi de civa birikimine yol açabilir (Sullivan ve ark., 2006). Civa, kömürün içinde doğal olarak bulunan bir elementtir. Kömürün yakılması sırasında, özellikle civa buharlaşır ve külde iz miktarlarda bulunur.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Teknik ve finansal zorluklar

Hakkari ve Yüksekova, dağlık ve ulaşımı zor olan bir coğrafyada yer aldığı için teknik altyapı çalışmalarında ciddi zorluklarla karşılaşmıştır. Özellikle drenaj sistemlerinin inşası ve gaz toplama ünitelerinin kurulumu sırasında zemin stabilitesi ile ilgili sorunlar yaşanmıştır. Rehabilitasyon projeleri yüksek maliyetlidir ve Hakkari gibi bütçesi sınırlı olan bölgelerde bu projelerin finansmanı büyük bir yük oluşturmaktadır. Bu alandaki rehabilitasyon çalışmaları Avrupa Birliği fonlarıyla yapılmıştır.

4.2. Toplum katılımı ve bilgilendirme

Halkın projelere katılımı ve bilinçlendirilmesi, projenin başarısında kilit rol oynamıştır. Ancak, başlangıçta halkın bu çalışmalara karşı duyarlı olduğu ve çevre bilincinin yeterince gelişmediği görülmüştür. Belediyelerin düzenlediği bilgilendirme kampanyaları ve eğitimlerle bu sorun kısmen aşılmıştır.

4.3. Sürdürülebilirlik ve izleme

Rehabilitasyon sonrası alanlarda sürekli izleme ve bakım çalışmaları gerekmektedir. Ancak bu bölgelerdeki (belediyelerde çalışan) teknik ekipman ve insan kaynağı eksikliği, izleme süreçlerinin aksamasına neden olabilmektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre, rehabilite edilen katı atık vahşi depolama alanlarının park, yeşil alan, rekreasyon alanları veya yenilenebilir enerji tesislerine dönüştürülmesi mümkündür. Literatürde benzer çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Mersin Çavuşlu çöp depolama sahasının rehabilitasyonu sonrası üzerinde kurulan spor ve rekreasyon tesisleri sayesinde sahayı halkın sosyal amaçlı kullanımına hizmet eden bir alan haline dönüştürmüşlerdir (Ertürk & Görgün, 2011). Bu durum, sadece çevresel iyileşme sağlamakla kalmayıp, topluma sosyal ve ekonomik katkılar da sunmaktadır. Tunus'ta El Yahoudia çöp sahasının rehabilitasyonu ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada alanın yeşil bir parka dönüştürülmesi ve süs bitkileri fidanlığı uygulanması önerilmiştir (Zairi ve ark., 2004).

4.4. Bölgesel ve ulusal düzeyde etkiler

Hakkari ve Yüksekova'da yapılan rehabilitasyon projeleri, diğer bölgeler için örnek teşkil edebilecek niteliktedir. Ancak bu projelerin başarısının artırılması için ulusal ölçekte daha fazla destek sağlanmalıdır. Rehabilitasyon çalışmalarının iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında değerlendirildiği ve Türkiye'nin ulusal karbon emisyon hedeflerine katkı sağladığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada, Hakkari ve Yüksekova'daki katı atık vahşi depolama alanlarının çevreye olan olumsuz etkilerini en aza indirmek ve bu alanları yeniden değerlendirmek amacıyla yapılan rehabilitasyon çalışmalarının sonuçları ve önerileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Yapılan incelemeler, kontrolsüz katı atık vahşi depolama alanlarının sadece çevre kirliliğine yol açmadığını, aynı zamanda halk sağlığını ciddi biçimde tehdit ettiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, vahşi depolama alanlarının rehabilite edilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Rehabilite edilen alanların yeniden değerlendirilmesi ve çevreye kazandırılmaları toplum için yeni fırsatlara olanak tanımıştır.

Rehabilite edilen alanlar uzun vadeli sürdürülebilirlik için sürekli izlenmeli ve yönetilmelidir. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar doğru bakım ve denetim olmazsa bu alanların zamanla yeniden sorun oluşturabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir bir atık yönetimi politikası, gelecekte oluşabilecek çevresel risklerin önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Hakkari ve Yüksekova katı atık vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu, çevresel ve sosyal açılardan olumlu sonuçlar doğurmuştur. Ancak, bu tür çalışmaların sürdürülebilirliği için:

- Daha fazla mali kaynak ayrılmalı,
- Teknik altyapı güçlendirilmeli,
- Halk katılımı ve çevre bilinci artırılmalıdır.

Türkiye'de vahşi depolama alanlarının doğaya geri kazandırılması konusunda sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Hakkâri ilinde vahşi depolama alanlarının rehabilitasyonu ve peyzaj restorasyonu konusunda hiçbir çalışma yapılmamış veya önerilmemiştir. Bu çalışma bu açıdan önemlidir. Sonuç olarak, Hakkari ve Yüksekova'daki katı atık vahşi depolama alanlarının rehabilite edilmesi, bölgedeki çevresel ve toplumsal sorunları hafifletmiş ve bu alanların yeniden değerlendirilmesi için fırsatlar sunmuştur. Sürdürülebilir atık yönetimi ve çevre koruma politikalarının hayata geçirilmesi hem doğal kaynakların korunmasına hem de toplumun yaşam kalitesinin artmasına katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Araştırma sürecinde desteklerini esirgemeyen Proje Müşavirimiz Enviroplan Proje Uzmanı İbrahim Cumhur KALE'ye ve Yüklenicimiz Gündoğu Proje Müdürü Yalçın YAŞAR'a teşekkür ederim.

Kaynakça

- Akbıyık, A. O. (2021). *Karağdemir baraj gölü (Tekirdağ) çevresindeki kömürlü birimlerin ana-eser element zenginleşmeleri ve bunların çevre sağlığı açısından etkileri*. (Yüksek Lisans), Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye.
- Akıncı, G., Onargan, T., Danışman, M. A., Küçük, K., Güven, D., Gök, G., & Bilgin, M. (2010). Uşak Belediyesi katı atık yönetimi fizibilite raporuna esas sondajlı atık sahası karakterizasyonu belirlenmesi ve gaz varlığının araştırılmasına yönelik Ar-Ge projesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*.
- Allaire, S. E., Lafond, J. A., Cabral, A. R., & Lange, S. F. (2008). Measurement of gas diffusion through soils: comparison of laboratory methods. *Journal of Environmental Monitoring*, 10(11), 1326-1336. <https://doi.org/10.1039/B809461F>
- Ando, M., Tadano, M., Yamamoto, S., Tamura, K., Asanuma, S., Watanabe, T., & Cao, S. (2001). The health effects of fluoride contamination caused by coal combustion. *Total Environmental Science Journal*, 271(1-3), 107-116. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00836-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00836-6)
- Anonim. (2024). *Hakkari*. Erişim tarihi: 04.10.2024. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hakkari>
- Bayar, S., & Talinli, İ. (2010). Zararlı atıkların solidifikasyon/stabilizasyon teknolojisi ile yönetimi. *İtühdergisi/d*, 5(1), 281-289.
- Bolan, N. S., Thangarajan, R., Seshadri, B., Jena, U., Das, K. C., Wang, H., & Naidu, R. (2013). Landfills as a biorefinery to produce biomass and capture biogas. *Bioresource Technology*, 135, 578-587. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.135>
- Citaristi, I. (2022). United Nations Environment Programme-UNEP. In *The Europa Directory of International Organizations 2022* (pp. 193-199). Europa Publications.
- Covre, W. P., Ramos, S. J., da Silveira Pereira, W. V., de Souza, E. S., Martins, G. C., Teixeira, O. M. M., ... & Fernandes, A. R. (2022). Impact of copper mining wastes in the Amazon: Properties and risks to environment and human health. *Journal of Hazardous Materials*, 421, 126688. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126688>
- Cui, W., Meng, Q., Feng, Q., Zhou, L., Cui, Y., & Li, W. (2019). Occurrence and release of cadmium, chromium, and lead from stone coal combustion. *International Journal of Coal Science & Technology*, 6(4), 586-594. <https://doi.org/10.1007/s40789-019-00281-4>

- Çelebi, E. E. (2023). Balya Pb/Zn flotasyon atığının BCR sıralı ekstraksiyon tekniği ile metal türleşmesinin belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1409-1416. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1314247>
- Demir Yetiş, A., İlhan, N., & Kara, H. (2024). Integrating deep learning and regression models for accurate prediction of groundwater fluoride contamination in old city in Bitlis province, Eastern Anatolia Region, Türkiye. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(34), 47201-47219. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34194-w>
- Dönmez, Y., & Aydınözü, D. (2012). Bitki özellikleri açısından Türkiye. *Coğrafya Dergisi*, 1(24), 1-17.
- Erdoğan, R., & Uzun, G. (2007). Katı atık depolama alanlarının bitkisel ıslahına bir örnek: Adana-Sofulu çöp depolama alanı. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 20(1), 71-82.
- Ertürk, M. C., & Görgün, E. (2011). An actual example for rehabilitation of open dump areas in Turkey: Rehabilitation of Mersin Çavuşlu open dump area. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3, 200-208.
- Gökçe, G. F., Aydemir, P. K., Hasanoğlu, P., & Özbay, M. (2015). Katı atık düzenli depolama sahalarının ve vahşi depolama alanlarının ıslahı ve bitkilendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 258-271.
- Gökçe, G., & Hasanoğlu, P. (2015). Katı atık düzenli depolama sahalarının ve vahşi depolama alanlarının ıslahı ve bitkilendirilmesi. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 3(1), 258-271.
- Jeong, S., Kim, D., & Yoon, H. O. (2019). Stabilization of fluorine in soil using calcium hydroxide and its potential human health risk. *Environmental Engineering Research*, 24(4), 654-661. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.347>
- Kabakcı, S. B., & Çelikçi, G. G. (2019). Atıktan türetilmiş yakıtın demineralizasyonu. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 604-616. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.485179>
- Kadılar, G., & Dursun, Ş. (2025). Ünye ilçesi vahşi depolama alanının ıslahı ve düzenli depolama alanının araştırılması. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 7(2), 103-116.
- Kocaer, F. O., & Başkaya, S. H. (2003). Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1).
- Li, X., Bertos, M. F., Hills, C. D., Carey, P. J., & Simon, S. (2007). Accelerated carbonation of municipal solid waste incineration fly ashes. *Waste Management*, 27(9), 1200-1206. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.06.011>
- Mejjad, N., Fekri, A., El Hammoui, O., El Aouidi, S., El Kharraz, J., Kaya, S., & Moumen, A. (2021). Application of DPSIR framework to analyze the groundwater pollution threats of municipal solid waste: case study Médiouna Landfill, Morocco. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 314, p. 06004). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131406004>
- Nas, S. S., & Bayram, A. (2008). Municipal solid waste characteristics and management in Gümüşhane, Turkey. *Waste Management*, 28(12), 2435-2442. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.039>
- Öztürk, D., & Özgüven, A. (2022). Katı atık depo alanlarında bulunan atıklardan biyogaz enerjisi üretme potansiyelinin değerlendirilmesi; Van ili örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 160-170. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1007624>
- Palabıyık, H., & Altunbaş D. (2004). Kentsel katı atıklar ve yönetimi. C. Marin, & U. Yıldırım (Eds.), *Çevre sorunlarına çağdaş yaklaşımlar: ekolojik, ekonomik, politik ve yönetsel perspektifler* (pp. 103- 124). Beta Yayınları.
- Sullivan, T. M., Adams, J., & Blake, R. (2006). Urban impacts of mercury emissions from coal-fired power plants. *Journal of Urban Technology*, 13(2), 53-70. <https://doi.org/10.1080/10630730600872047>
- Şen, L., & Dursun, S. (2021). Konya Aslim Wild Storage Field Rehabilitation and gains. *Advanced Engineering Days (AED)*, 1, 78-80.
- Tarakci-Eren, E., Duzenli, T., & Akyol, D. (2018). A study on plantation of Trabzon-Sürmene Kutlular solid waste landfill site. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 9463-9472.
- Taylor, H. E., & Lichte, F. E. (1980). Chemical composition of Mount St. Helens volcanic ash. *Geophysical Research Letters*, 7(11), 949-952. <https://doi.org/10.1029/GL007i011p00949>
- TÜİK. (2024). *Hakkâri il-ilçe nüfus verileri*. Erişim tarihi: 07.12.2024. <https://data.tuik.gov.tr>

- U.S. EPA. (2009). Characterization of Coal Combustion Residues from Electric Utilities Leaching and Characterization Data (EPA-600/R-09/151).
- U.S. EPA. (2020). *Greenhouse Gas Customized Search*. Erişim tarihi: 11.05.2021. <https://www.epa.gov/enviro/greenhouse-gas-customized-search>
- World Health Organization. (2011). *Lead in drinking water*. World Health Organization. Erişim tarihi: 15.12.2024. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/lead.pdf
- World Health Organization. (2019). *Health risks of uncontrolled waste sites*. World Health Organization. Erişim tarihi: 18 Aralık 2024. <https://www.who.int/publications>
- Yenial, U. (2012). *Sulardan arseniğin giderilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yiğit, B., Salihoğlu, G., Mardani-Aghabaglou, A., Salihoğlu, N. K., & Özen, S. (2020). Atıksu arıtma çamurlarının yakılmasıyla oluşan küllerin yapı malzemesi olarak geri kazanımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 1647-1664. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.544678>
- Zairi, M., Ferchichi, M., Ismael, A., Jenayeh, M., & Hammami, H. (2004). Rehabilitation of El Yahoudia dumping site, Tunisia. *Waste Management*, 24(10), 1023-1034. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.002>
- Zhang, C., Xu, T., Feng, H., & Chen, S. (2019). Greenhouse gas emissions from landfills: A review and bibliometric analysis. *Sustainability*, 11(8), 2282. <https://doi.org/10.3390/su11082282>