



SMARTENVI PROJESİ

**VAHŞİ KATI ATIK DEPOLAMA SAHALARINI İYİLEŞTİREREK ÇEVRE VE
SU KAYNAKLARIMIZA YÖNELİK TEHLİKELERİ AZALTMAK İÇİN AKILLI
KARAR SİSTEMLERİ**

FÇ 1

**Vahşi katı atık depolama sahaları rehabilitasyonu
karar destek aracı**

El kitabı



**Silesian University
of Technology**



**Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union**



Bu proje Erasmus+ Programı kapsamında Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmektedir. Ancak burada yer alan görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

Baş ortak:

Silesian University of Technology, Gliwice, Polonya

Katkıda bulunan ortaklar:

Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye

Petroleum-Gas University of Ploiești, Ploiești, Romanya

Training 2000 psc, Mondavio, İtalya

Denizli Büyükşehir Belediyesi, Denizli, Türkiye

Fano Belediyesi, Fano, İtalya

Sofia University "St. Kliment Ohridski", Bulgaristan

R&D Center "Biotech" Ltd., Bulgaristan

Biyogaz kısmı ve akıllı karar aracı entegrasyonu, Silesian University of Technology tarafından geliştirildi,
Stabilite kısmı Gebze Teknik Üniversitesi tarafından geliştirildi,
Sızıntı suyu kısmı Pamukkale Üniversitesi tarafından geliştirildi





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

İçindekiler

Giriş.....	4
Değerlendirme süreci	6
Depo gazı emisyonu	7
Sızıntı suyu emisyonu	10
Stabilite ile ilgili tehlikeler	11
Girdi ve çıktı verilerinin tanımı	14
Vahşi katı atık depolama sahası tanımlaması kısmı	14
Rehabilitasyon tanımlaması	16
Sonuçlar - Özet	17
Sonuçlar – Depo gazı	18
Sonuçlar – Sızıntı suyu	20
Sonuçlar – Stabilite	20



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



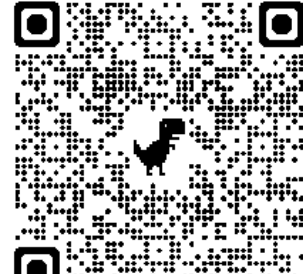
2020-1-TR01-KA226-VET-098150

Giriş

Akıllı Karar Aracı, vahşi katı atık depolama sahasının doğal çevre üzerindeki etkisini değerlendirmeyi mümkün kılan bir araçtır. Bu araç, vahşi katı atık depolama sahalarının rehabilitasyonu ile ilgili potansiyel faydaların değerlendirilmesinde yardımcı olabilir. Değerlendirme, bu tür depolama sahalarının varoluşunun başlangıcından sonuna kadar olan tüm yaşam döngüsünü içerir. Ayrıca, bu araç vahşi katı atık depolama sahası rehabilitasyonunun gerçekleştirilmesinin veya gerçekleştirilmemesinin çevresel sonuçlarını değerlendirmeyi mümkün kılar. Bu nedenle, karar vericilere değerli bilgi verebilmesinin yanında rehabilitasyona karşı veya rehabilitasyon lehinde argümanlar sunabilen bir araçtır.

Araç masaüstü bilgisayarlar ve mobil cihazlar üzerinden çevrimiçi olarak kullanılabilir. Kullanımı herkese açıktır ve herhangi bir kullanıcı grubu konumuyla sınırlı değildir.

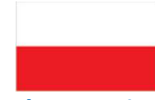
Araç 6 farklı dil versiyonunda hazırlanmıştır: İngilizce, Türkçe, Lehçe, İtalyanca, Rumence ve Bulgarca.



İngilizce versiyon



Türkçe versiyon



Lehçe versiyon



İtalyanca versiyon



Rumence versiyon



Bulgarca versiyon

Araç çevrimiçidir ve kullanıcı dostu olacak şekilde tasarlanmıştır. Hesaplamalar, her veri girildiği anda gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilir. Sistem, karmaşık matematiksel işlemleri ve çok sayıda hesaplamayı gerçekleştirir. Bu nedenle sistemin çalışmasında ufak tefek gecikmeler olabilir.

Vahşi katı atık depolama sahalarının rehabilitasyonu, çevrenin ve halk sağlığının korunması açısından kritik bir görevdir. Bu sahalar, zararlı kimyasalların ve kirleticilerin toprağa ve yeraltı sularına



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

salınmasına yol açabilir, hava kirliliğine ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunabilir ve hastalık bulaşma riskini artıracak sağlıklı koşullar yaratabilir.

Bu nedenle, vahşi katı atık depolama sahaları rehabilitasyon çabalarının, bu riskleri azaltmada etkili olduğundan ve rehabilitasyona ayrılan kaynakların verimli bir şekilde kullanıldığından emin olmak için değerlendirilmesi önemlidir.

Vahşi katı atık depolama sahalarının rehabilitesini değerlendirmek için çevrimiçi bir sistem kullanmak, bu kritik çevresel ve halk sağlığı için gösterilen çabalarda şeffaflığı, hesap verebilirliği ve etkinliği artırmaya yardımcı olabilir.

Vahşi katı atık depolama sahalarının rehabilitasyonunu çevrimiçi olarak değerlendirmek için tasarlanan aracın öncelikle eğitim amaçlı olduğunu belirtmek önemlidir. Araç, kullanıcılara bu tür atık sahalarının rehabilite edilmesinin önemi hakkında bilgi sağlar. Ayrıca, araç, kullanıcıların bu sahalarla ilgili çevresel ve halk sağlığı risklerini ve bunların uygun bir şekilde rehabilite edilmesinin potansiyel faydalarını daha iyi anlamalarına yardımcı olabilir.

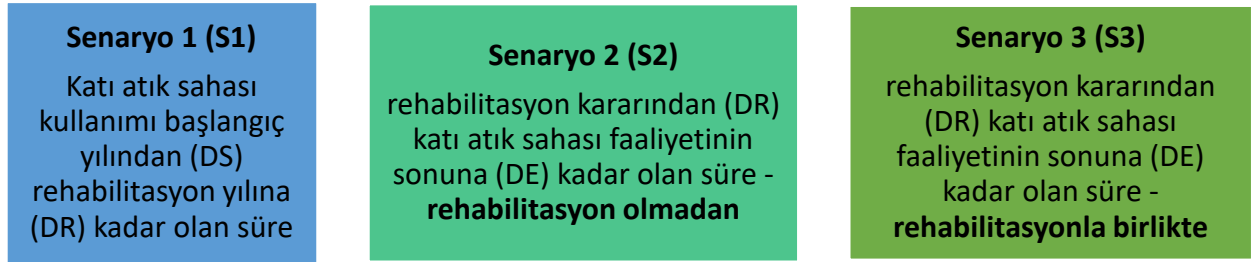
Bu aracı kullanarak, topluluk üyeleri, politika yapıcılar ve çevre örgütleri gibi paydaşlar, rehabilitasyon süreci hakkında daha derin bir anlayış kazanarak, rehabilitasyon çabalarına destek oluşturabilir ve daha sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarını teşvik edebilirler.

Araç, vahşi katı atık depolama sahalarının rehabilitasyonunun değerlendirilmesinde önemli faydalar sağlayabilir, ancak bazı basitleştirmeler veya varsayımlar içerir ve bu nedenle sonuçları daha az kesin olabilir. Bu nedenle, sistemin çıktılarına dikkatle yaklaşmak ve bunları karar verme sürecinde birkaç girdiden biri olarak kullanmak önemlidir. Karar verme sürecinde tek dayanak olmamalıdır. Rehabilitasyon çalışmalarının çevrenin korunmasında başarılı olabilmesi için kapsamlı ve detaylı bir analiz yapılması gerekmektedir.

Değerlendirme süreci

Araç, bir katı atık depolama sahasının yaşam döngüsünün üç dönemini değerlendirir. Birincisi, depolama sahasının varlığının başlangıcından (DS), yani atığın ilk kısmının kabul edildiği zamandan, depolama sahası rehabilitasyonu (DR) hakkında karar vermeyi düşündüğümüz zamana kadar olan süredir. Bu dönemin analizi senaryo 1'i oluşturur.

İkincisi, rehabilitasyon kararından katı atık depolama faaliyetinin sonuna kadar geçen süreyi (DE) kapsar. Bu süre zarfında, iki alternatif senaryo analiz edilir. Senaryo 2, rehabilitasyonun uygulanmadığı durumu gösterirken, Senaryo 3 rehabilitasyonun uygulandığı durumu gösterir.



Şekil 1. Vahşi katı atık depolama sahası analiz senaryoları.

Analiz süreci birkaç adımda gerçekleşir (Şekil 2). Başlangıçta, kullanıcı vahşi katı atık depolama sahasının temel parametrelerini tanımlar. Daha sonra rehabilitasyon kapsamında uygulanacak unsurlar belirlenir. İlgili verileri girdikten sonra, sistem, karar vericiler için faydalı olacak göstergeleri hesaplar ve katı atık depolama sahasının doğal çevre üzerindeki etkisinin en önemli yönlerini vurgular.



Şekil 2. Analizin adımları.

Analizlerde 3 ana etki türü dikkate alınır. Bunlar aşağıdakilerle ilgilidir:

- Depo gazı emisyonu,
- Sızıntı suyu emisyonu,
- Stabilité.

Üç ana etki türü, önemli çevresel etkileri olduğu için en önemli olarak kabul edilir.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

Depo Gazı Emisyonları: Depo gazı emisyonları, vahşi katı atık depolama sahalarının en önemli çevresel etkilerinden biridir. Bu atık sahaları, hava kirliliğine ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunabilecek metan, karbondioksit ve uçucu organik bileşikler gibi gazlar üretirler. Özellikle metan, iklim değişikliği üzerinde önemli etkisi olan güçlü bir sera gazıdır. Doğru tasarlanmış ve bakımı yapılan depo gazı yönetim sistemleri, bu emisyonların hafifletilmesine ve çevre ve halk sağlığı üzerindeki etkilerinin azaltılmasına yardımcı olabilir.

Sızıntı Suyu Emisyonları: Sızıntı suyu, suyun katı atık depolama sahasındaki atıklardan süzülerek yol boyunca kirleticileri topladığında oluşan bir sıvıdır. Sızıntı suyu, yeraltı suyunu ve yüzey suyunu kirleterek çevresel bozulmaya ve halk sağlığı risklerine neden olabilir. Doğru tasarlanmış ve bakımı yapılan sızıntı suyu yönetim sistemleri, sızıntı suyu emisyonlarının çevre ve halk sağlığı üzerindeki etkisini azaltmaya yardımcı olabilir.

Stabilite: Bir vahşi katı atık depolama sahasının stabilitesi, yapısal olarak sağlam kalma ve çökmeme veya önemli bir oturma yaşamama kabiliyetini ifade eder. Stabilite önemlidir, çünkü çökmeler ve oturmalar toprak erozyonuna, yakındaki altyapının hasar görmesine ve işçiler ile halkın potansiyel zarar görmesine neden olabilir. Doğru tasarlanmış ve bakımı yapılan katı atık depolama sahasındaki mühendislik önlemleri, atık sahasının stabilitesini sağlamaya ve bu riskleri azaltmaya yardımcı olabilir.

Bu üç faktörün araca dahil edilme motivasyonu, uygun rehabilitasyon yoluyla bu etkilerin hafifletilmesiyle çevre ve halk sağlığına yönelik risklerin en aza indirilebileceği ve sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının teşvik edilebileceği gerçeğidir.

Depo gazı emisyonu

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik koşullarda mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucu doğal olarak oluşan bir gazdır. Katı atık depolama sahaları, zamanla ayrılan büyük miktarlarda organik atık içerdikleri için biyogaz üretiminin önemli kaynaklarından biridir.

Katı atık depolama sahalarında biyogaz üretim süreci, organik atık maddelerin depolama alanlarında biriktirilmesiyle başlar. Atık ayrışırken, metan (CH₄), karbondioksit (CO₂) ve diğer eser gazlar dahil olmak üzere bir gaz karışımı üretir. Bu gaz karışımı depo gazı (LFG) olarak bilinir.

Katı atık depolama sahası rehabilitasyonu, eski veya terk edilmiş bir depolama sahasının işlevsel ve güvenli bir duruma getirilmesi sürecini ifade eder. Depo gazı kullanımı bağlamında bu süreç, depo gazının (LFG) çıkarılmasını ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmasını içerirken, aynı zamanda katı atık depolama sahalarıyla ilgili çevresel kaygıları da ele alır.

Bir katı atık depolama sahasının rehabilitasyonu genellikle, kalan atık malzemelerin uzaklaştırılması, bir gaz toplama sisteminin kurulması ve daha fazla çevresel kirliliği önlemek için önlemler alınması gibi birkaç adımı içerir. Gaz toplama sistemi depo gazı kullanımı için kritik bir bileşendir, çünkü daha sonra elektrik veya ısı üretmek için kullanılabilen LFG'nin yakalanmasına ve işlenmesine izin verir.

LFG, bir boru ve pompa sistemi kullanılarak katı atık depolama sahasından çıkarılabilir. Çıkarılan gaz daha sonra işlenebilir ve bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Metan, elektrik üretimi, ısınma veya ulaşım yakıtı olarak kullanılabileceği için LFG'nin en değerli bileşenidir.

Gaz çıkarıldıktan sonra nem, hidrojen sülfid ve diğer kirleticiler gibi kirlilikleri gidermek için işlemden geçirilebilir. Arıtılan gaz daha sonra elektrik üretmek için veya diğer uygulamalar için yakıt olarak kullanılabilir.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

Depo gazının ana bileşeni CH₄ (metan), güçlü bir sera gazıdır. CH₄, atmosferdeki ısıyı tutmada CO₂'den daha etkilidir ve 100 yıllık bir zaman dilimi boyunca CO₂'den 28 kat daha yüksek olduğu tahmin edilen küresel ısınma potansiyeli vardır.

CO₂ (karbon dioksit), organik atıkların bir katı atık depolama sahasında ayrışması sonucunda üretilen depo gazının (LFG) bir bileşenidir. CO₂, iklim değişikliğine katkıda bulunan bir sera gazı olsa da, organik atıkların ayrışması sonucu oluşan CO₂, birkaç nedenden dolayı "iklimsel olarak nötr" olarak kabul edilir.

İlk olarak, katı atık sahasında ayrışan organik atıklarda bulunan karbon, fotosentez süreciyle zaten atmosferden gelmektedir. Bu nedenle, ayrışma sırasında üretilen CO₂, karbon döngüsünde zaten mevcut olan karbonu geri döndürür. Bu, milyonlarca yıldır yer altında depolanan karbonun atmosfere salındığı ve atmosferdeki CO₂ seviyelerinde net bir artışa katkıda bulunduğu fosil yakıtların kullanımının tersidir.

İkincisi, LFG yakalanıp bir enerji kaynağı olarak kullanıldığında, yanma sırasında üretilen CO₂, fosil yakıtların kullanımından kaynaklanacak olan CO₂ emisyonlarındaki azalma ile dengelenir. Başka bir deyişle, LFG kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonları, diğer enerji kaynaklarından kaynaklanan emisyonlardaki azalma ile dengelenir.

Son olarak, LFG yakalanıp kullanılmadığında, gazda bulunan metan (CH₄) atmosfere karışabilir ve burada CO₂'den çok daha güçlü bir sera gazıdır. LFG'nin yakalanıp kullanılmasıyla, katı atık depolama sahalarından kaynaklanan metan emisyonları önemli ölçüde azaltılabilir ve bu da sera gazı emisyonları açısından net bir fayda sağlar.

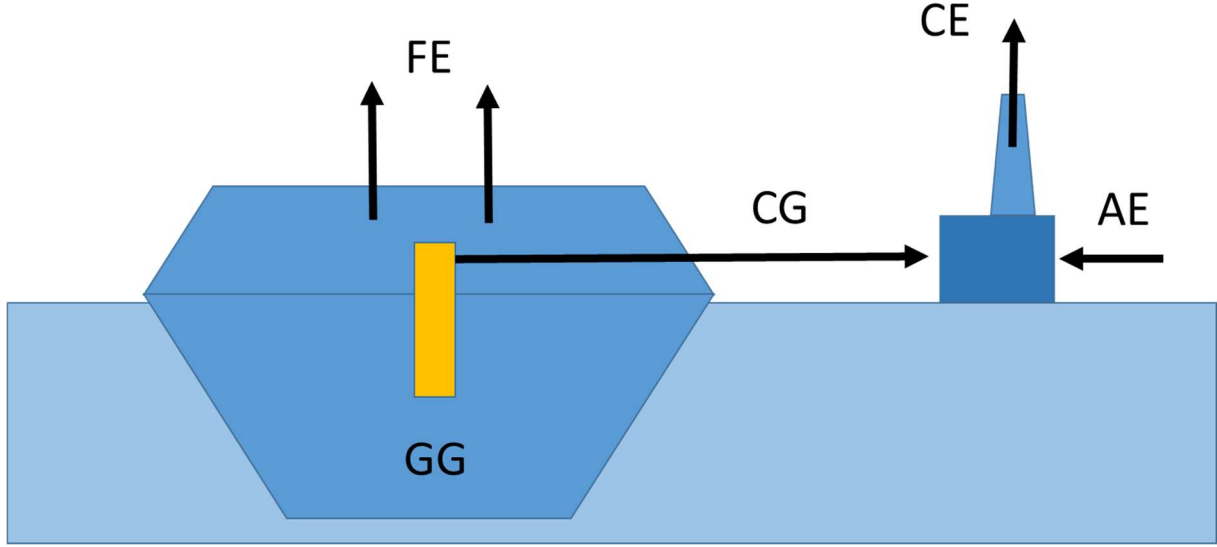
Genel olarak, katı atık depolama sahalarındaki organik atıkların ayrışmasından kaynaklanan CO₂ iklim değişikliğine katkıda bulunsa da, LFG'nin yakalanıp yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılması durumunda "iklim açısından nötr" olarak kabul edilir. Bunun nedeni, atıktaki karbonun zaten karbon döngüsünün bir parçası olması, fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonların dengelenmesi ve katı atık depolama sahalarından kaynaklanan metan emisyonlarının azaltılmasıdır.

Araçta, tüm CO₂ emisyonları - yani serbest depo gazı emisyonları ve depo gazı işleme tesisinden kaynaklanan emisyonlar - iklimsel olarak nötr olarak ele alınır. CH₄ emisyonları ise iklim değişikliği için bir tehdit olarak ele alınır. Pratik nedenlerle, farklı emisyonların çevre üzerindeki gerçek etkisini kolaylaştırmak için CH₄, CO₂ eşdeğerine göre yeniden hesaplanır.

Katı atık depolama sahalarında biyogaz üretimi önemli çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabilir. LFG'nin çıkarılması ve kullanılmasıyla, katı atık depolama sahaları sera gazı emisyonlarını azaltabilir ve yenilenebilir enerji üretimine katkıda bulunabilir. Ayrıca biyogazın bir yakıt kaynağı olarak kullanılması fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlayabilir.

Şekil 3, online araçta dikkate alınan katı atık depolama sahası emisyonlarının görsellerini göstermektedir.

2020-1-TR01-KA226-VET-098150



Şekil 3. Araçta değerlendirilen emisyonlar.

Araçta aşağıdaki gaz parametreleri değerlendirilir:

- **Depo gazı üretimi (GG)** – Hesaplama kütleyle, fraksiyonel bileşime ve çevreye (ıslak, kuru, orta) göre yapılmaktadır.
- **Serbest emisyon (FE)** – gaz toplama sistemi tarafından toplanmayan depo gazı emisyonu (verimlilik %100'den düşük)
- **Toplanan depo sahası gazı (CG)**– oluşan depo gazının depo gazı toplama sistemi tarafından toplanan ve kullanım tesisine yönlendirilen kısmı.
- **Önlenen emisyon (AE)** – enerji kaynaklarının değiştirilmesi nedeniyle gerçekleşmeyecek emisyon (bu parametre, kurulumun konumundan ve yerel enerji şebekesi parametrelerinden etkilenir);
- **Yanma emisyonu (CE)** – depo gazı kullanım tesisinin emisyonu (gaz yakma bacası veya enerji geri kazanımı). Tesis içerisinde yanma işlemi gerçekleşir ve CH_4 CO_2 'ye dönüştürülür. Bu CO_2 iklim açısından nötrdür, yani CE her zaman 0'dır.
- **Etkili emisyon (EE)** – CO_2 eşdeğerinde üretilen FE, CE, AE ve gaz toplama ve enerji üretiminin verimliliğini içeren tüm sera gazlarının nihai emisyonları. **Bu, iklim değişikliği etki kategorisinde katı atık depolama sahasının gerçek çevresel etkisinin bir ölçüsü olarak ele alınabilir.**

Eğer X kg CO_2 emisyonu yayınlayan bir elektrik şebekesinden alınan 1 kWh enerji, Y kg CO_2 emisyonu yayınlayan başka bir kaynaktan alınan enerji ile değiştirilirse, bu eylemin çevresel etkide bir değişikliğe neden olduğunu söyleyebiliriz. Bir enerji kaynağını diğeriyle değiştirerek emisyonların bir kısmından kaçındık. Bu kaçınılan emisyon, her iki enerji kaynağının kullanımıyla ilişkili CO_2 emisyonları arasındaki farktır: $AE=X-Y$.

Kaçınılan emisyonlar, belirli bir faaliyetin gerçekleştirilmemiş olması durumunda ortaya çıkacak olan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını ifade eder. Enerji üretimi için depo gazı (LFG) kullanımı söz konusu olduğunda, kaçınılan emisyonlar birkaç yöntemle elde edilebilir.

Kaçınılan emisyonlar dikkate alındığında, etkili sera gazı emisyonları (EE) bu nedenle negatif olabilir ve aşağıdaki denkleme göre çevresel rahatlamaya neden olabilir:



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

EE=FE+CE-AE

LFG'nin kullanımı yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak ele alınabilir, yakıldıklarında büyük miktarlarda CO₂ ve diğer sera gazları yayan kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımının yerini alabilir. Fosil yakıtlar yerine LFG kullanılarak, CO₂ ve diğer sera gazlarının emisyonları önlenir ve bu da enerji üretiminin genel karbon ayak izinde bir azalmaya yol açar.

Depo gazı emisyonunun tahmini ve değerlendirmesi, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı modeli LandGEM temel alınarak yapılır.

Sızıntı suyu emisyonu

Katı atık depolama sahası sızıntı suyu, yüksek kirletici ve toksik içeriğe sahip, güçlü bir atık su olarak tanımlanır. Sızıntı suyu çevre için son derece zararlıdır. Atık sahası sızıntı sularının en önemli etkilerinden biri, göller ve akarsular gibi su ekosistemlerine karışarak alg ve plankton artışına neden olmasıdır. Su kütlesindeki oksijen miktarı azalır ve su ekosisteminin yaşamı zamanla tehlikeye girer. Yüksek toksisitesi nedeniyle, çöp sızıntı suyu yer altı ve yüzey suları için büyük bir tehdit oluşturur. Atık sahası sızıntı suyunun içeriği, atığın bileşimine, iklim koşullarına ve katı atığın yaşına ve bozunma hızına bağlıdır.

Atık sahası sızıntı suyunun nitel ve nicel özellikleri, hava koşulları, hidrolojik özellikler, atık bileşimi ve yaşı gibi kontrol edilmesi zor olan çeşitli faktöre bağlıdır. Tüm bu unsurlar hem Avrupa düzeyinde hem de ulusal düzeyde farklı sistemik yaklaşımlara yol açan kritik yönetim konularını işaret etmektedir.

Nicel bakış açısından, sızıntı suyu üretimi büyük ölçüde dış girdilere (yağmur suyu sızıntısı, hem yüzey hem de yeraltı suları) ve atığın nem içeriği seviyesi ile atık bertarafının biyokimyasal reaksiyonlarıyla ilgili su dengeleri gibi iç girdilere bağlanmaktadır.

Özellikle, dış girdiler aşağıdakilerle ilgilidir:

- Sahadaki meteorolojik ve hidrojeolojik özellikler, özellikle yağışlar, sıcaklıklar, güneş veya rüzgar maruziyeti, hem yüzeysel hem de yer altı suyu sızması.
- Katı atık depolama sahası yönetim modeli: drenajın varlığı, birincil veya ikincil örtü sistemi, atık tankının günlük olarak genişletilmesi ve kapatılması, olası sızıntı suyu devridaimi.
- Atık özellikleri: atığın bileşimi, nem içeriği seviyesi, olası ön işlemler, boyut, sıkıştırma düzeyi.

Sızıntı suyu bileşimi ve mukavemeti, depolama sahasından depolama sahasına hatta belirli bir depolama sahasında bile düzenli büyük ölçüde değişir. Dış girdilerin yokluğunda bile (örneğin, bir katı atık depolama sahası örtü sistemi), atığın anaerobik ayrışmasının ve sızıntı suyu üretiminin, depolama sahası yaşam döngüsünün bitiminden sonra bile devam ettiğine dikkat edilmelidir. Bu, katı atık sahası yöneticilerinin, ulusal yasalara uygun olarak çevredeki ortamın kirlenmeden korunmasını sağlarken drenaj ve arıtma tesislerini çalışır durumda tutması gerektiği anlamına gelir.

Niteliksel bir bakış açısından, tipik bir depolama sahası sızıntı suyu bileşimini tarif etmek imkansızdır. Bunun nedeni, atığın, biyolojik bozunma sürecini özel olarak etkileyen farklı faktörlerin bulunması ve böylece farklı kirleticilerin sızmasına katkıda bulunmasıdır.

Biyobozunma sürecini etkileyen ana faktörler şunlardır:



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- Bertaraf edilen atıkların nem içeriği seviyesi
- Organik bileşenlerin miktarı ve yapısı (özellikle arıtma çamuru, spesifikasyon dışı kompost ise)
- Piller, ilaçlar, çözücüler vb.'den kaynaklanan metal ve/veya zehirli madde seviyeleri.
- Katı atık depolama tesisini çevreleyen ve atık bertaraf türünü değiştirebilen ayrı atık toplama seviyeleri.

Atık ön işlemleri ve katı atık depolama sahasına yerleştirme, atık kütlesinin su emme kapasitesini etkileyen ve sonuçta sızıntı suyundaki kirleticilerin göçüne neden olan diğer iki önemli faktördür.

Konsolide çalışmalar, sızıntı suyu içindeki kirletici konsantrasyonunun katı atık depolama sahasının ilk işletme yılında daha yüksek olduğunu ve yıllar içinde giderek azaldığını göstermektedir. Bu eğilim organik parametreler olan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve ana inorganik tuzlar (ağır metaller, sülfatlar, vb.) üzerinde etkilidir.

Sızıntı suyundan KOİ, BOİ ve amonyum bazlı organik malzemenin uzaklaştırılması, sızıntı sularının doğal sulara deşarj edilmesinden önceki tipik bir ön koşuldur.

Mikrobiyolojik açıdan, mantarların ve bakterilerin çoğalması, biyobozunma işlemi sırasında yaygın çevre koşulları (yüksek sıcaklıklar ve pH) tarafından engellenir.

Araçta aşağıdaki sızıntı suyu parametreleri değerlendirilir:

- **Sızıntı suyu oluşumu** yağıştan kaynaklanan toplam atık su ve katı atıkların su içeriğini ifade eder.
- **Sıkıştırmadan sonra sızıntı suyu miktarı (W)** vahşi katı atık depolama sahasında kompaktör kullanılması durumunda atık su miktarı.
- **Katı atık su içeriği (U)** katı atığın bileşimine göre nemidir.
- **Yağış kaynaklı sızıntı suyu (PA)** yüzey alanı üzerindeki yağmur ve kar yağışıdır.
- **Ron (Toplam)** yağışların yüzey alanına sızmasını gösterir.
- **Roff (Toplam)** yüzey alanındaki yağış akışını gösterir.
- **Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)** atık bileşimine göre hesaplanır.
- **COD Load Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yükü** KOİ konsantrasyonu ve sızıntı suyu hacmine göre hesaplanır.

Stabilite ile ilgili tehlikeler

Katı atık depolama sahasının şevindeki duraysızlık, insanların yaralanmasına, çevredeki ortamın kirlenmesine ve mülklerin zarar görmesine neden olabilir. Ayrıca, bir katı atık depolama sahasında şev kayması meydana geldiğinde, (varsa) atıktaki gaz çevreye salınabilir ve bu da çevreyi olumsuz etkiler. Sonuç olarak, katı atık depolama alanlarının güvenli işleyişini ve stabilitesini sürdürmek, hükümetler ve çevre uzmanları için temel bir görevdir (Toprak vd., 2021). Ayrıca, katı atık depolama alanlarına kısa bir mesafede yaşayan insanlar için de bunlar önemlidir.

Bir şevin stabilitesi genellikle güvenlik faktörü (FS) cinsinden ölçülür. Bir şevin güvenlik faktörü, zeminin kayma dayanımının şevin potansiyel kayma yüzeyinin kayma gerilmesine oranıdır. Genellikle, güvenlik faktörünün tanımı şu şekildedir:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

2020-1-TR01-KA226-VET-098150

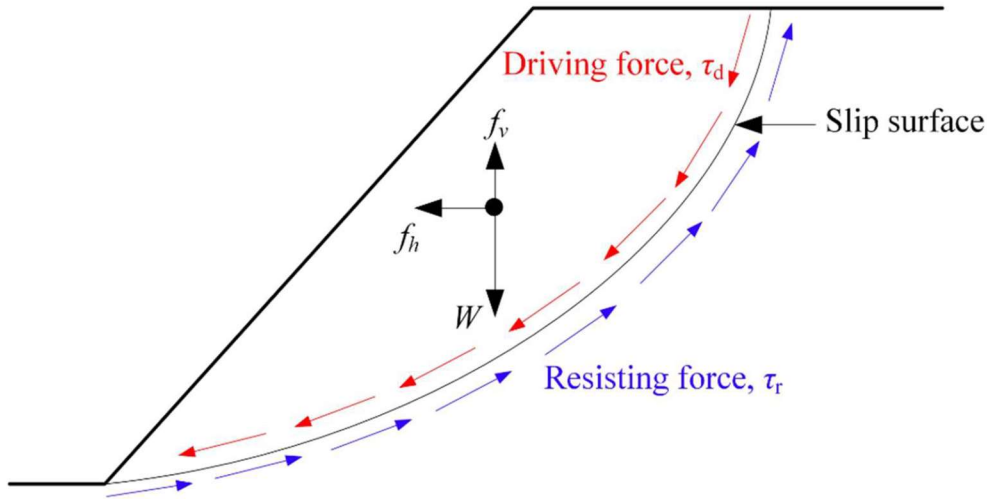
Bu denklemde, τ_f , zeminin ortalama kayma dayanımı ve τ_d , potansiyel bir kayma yüzeyi üzerindeki ortalama kayma gerilmesidir.

Katı atık depolama sahaları deprem bölgelerinde inşa edildiğinde, bu depolama sahasını tasarlarken ve yönetirken deprem etkisine dikkat etmek gerekir. Deprem durumu için psödostatik yöntem en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem aynı zamanda depreme maruz kalan şevi idealleştirmenin en basit yollarından biridir. Bir depremin kuvveti dinamik olmasına rağmen, duraysızlığın ana sebebinin atalet kuvveti olduğu düşünülebilir. Bir depremin sarsıntısının neden olduğu ivme, psödostatik yaklaşımda atalet kuvvetleri oluşturduğu şekilde görülür. Deprem kuvvetleri hem yatay hem de düşey yönlerde çalışır. Bu kuvvetlerin tanımı şu şekildedir:

$$f_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W$$

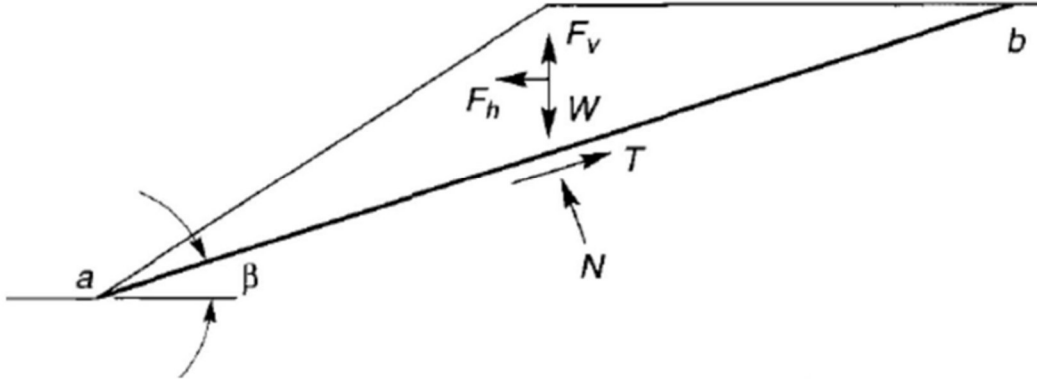
$$f_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W$$

Burada k_v ve k_h boyutsuz dikey ve yatay psödostatik katsayılarıdır ve W kayan kütle ağırlığıdır. Dairesel kayma yüzeyi ve lineer kayma yüzeyi için bir şeve etkiyen kuvvetler Şekil 4 ve Şekil 5'te görülebilir.



Şekil 4. Dairesel kayma yüzeyi için psödostatik şev stabilite analizinde şev üzerine etkiyen kuvvetler.

2020-1-TR01-KA226-VET-098150



Şekil 5. Lineer göçme yüzeyi için psödostatik şev stabilite analizinde şev üzerine etkiyen kuvvetler.

Şekil 5'teki şevin güvenlik katsayısı (FS) aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$FS = \frac{\text{direnen kuvvet}}{\text{kaydırıcı kuvvet}} = \frac{c l_{ab} + [(W - F_v) \cos \beta - F_h \sin \beta] \tan \phi}{(W - F_v) \sin \beta + F_h \cos \beta}$$

Denklemden görüldüğü gibi kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kayan kütle için birim hacim ağırlığı, k_h ve k_v sismik katsayıları, şevin güvenlik katsayısı hesabında formülün sonuçlarını etkileyebilmektedir. Sızıntı suyu seviyesi, atıkların birim hacim ağırlığını ve katı atık depolama sahasındaki su basıncını etkilediği için diğer önemli bir parametredir.



Girdi ve çıktı verilerinin tanımı

Aracı kullanmak için kullanıcının gerekli verileri sağlaması gerekir.

Vahşi katı atık depolama sahası tanımlaması kısmı

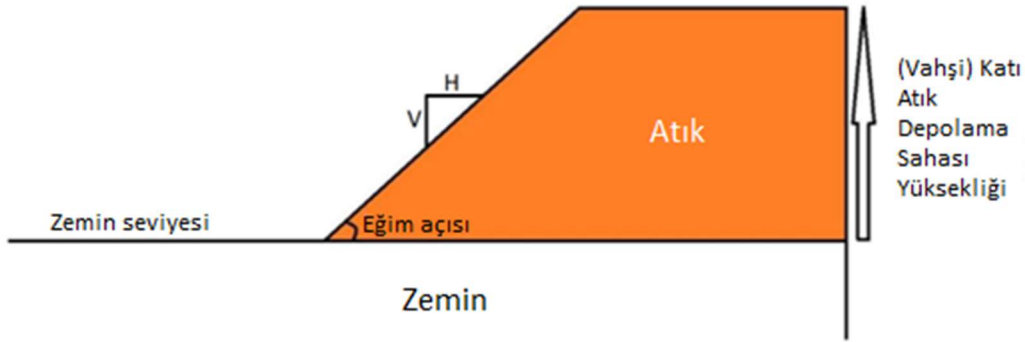
Bu bölümde kullanıcı, aşağıdaki bilgileri sağlayarak atık sahasını tanımlamalıdır:

- **Faaliyet başlangıç yılı (DS)** – ilk atığın atık sahasında depolandığı yıl.
- **Faaliyet bitiş yılı (DE)** – bu, depolama sahasının ilk kez çalıştırılmasından, depolama sahasının atıkları kabul etmek için durdurulduğu zamana kadar geçen süreyi tanımlayacaktır.
- **Depolanmış atık miktarı (Mg)** – Atık sahasının kapatıldığı an itibarıyla (DE), depolanmış atık toplam kütlesi (ton) olarak.
- **Çevre** – Atık sahasının bulunduğu çevrenin basit bir tanımı. Kullanıcı *ıslak, kuru veya normal* seçebilir. Bu, depolama gazının hacmini ve bileşimini etkileyecektir;
- **Ülke** – Şebeke elektriğinin depo gazından üretilen elektrikle takviye edilmesinden kaynaklanan potansiyel sera gazı emisyonu tasarrufunu hesaplamak için gerekli olan atık sahasının yeri (eğer rehabilitasyon bunu içeriyorsa). Sağ tarafta, belirtilen konumdaki şebeke elektriğinin MWh'sine ilişkin CO2 emisyon faktörü gösterilmektedir. Otomatik olarak hesaplanır.
- **Yağış (mm/yıl)** – Yağış, atmosferden düşen ve Dünya yüzeyine ulaşan herhangi bir su biçimini ifade eder. Bu, yağmur, kar, sulu kar, dolu ve diğer yağış biçimlerini içerebilir. Yağış, bulutlardaki su damlacıkları veya buz kristalleri yerçekiminin etkisi altında yere düşecek kadar büyüdüğünde meydana gelir. Yağış, sızıntı suyu oluşumunu etkileyecektir.
- **Depolama alanı (m²)**– Toplam depolama alanı, sızıntı suyu oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sızıntı suyu, genel olarak bir depolama sahasında veya başka bir atık bertaraf sahasında suyun atık maddelerden süzülmesinden kaynaklanan sıvıdır. Üretilen sızıntı suyu miktarı, mevcut atık miktarı, atık türü, nem içeriği ve depolama alanı dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olabilir. Daha büyük bir depolama alanı, daha fazla miktarda atığın depolanmasına yol açabilir, bu da daha yüksek seviyelerde sızıntı suyu oluşumuna neden olabilir. Ek olarak, daha geniş bir depolama alanı, atıkta daha fazla nem birikmesine izin vererek sızıntı suyu üretiminin artmasına neden olabilir.
- **Atık sahasında sıkıştırma** – kullanıcı, sıkıştırma kullanılıyorsa Evet'i, kullanılmıyorsa Hayır'ı seçebilir. Depolama sahasında sıkıştırma, depolama sahası tasarımı ve işletmesinin önemli bir yönüdür.
- **Sıkıştırma oranı (%)** – Sıkıştırma, atık malzemelerin hacimlerini azaltmak ve ek atıklar için daha fazla alan yaratmak üzere bir katı atık depolama sahasında atık malzemelerin sıkıştırılması sürecini ifade eder. Etkili sıkıştırma, atıklara nüfuz edebilen hava ve su miktarını azaltarak sızıntı suyu üretimini en aza indirmeye de yardımcı olabilir. Bu, yeraltı suyunun kirlenmesini önlemeye ve çevresel zarar riskini azaltmaya yardımcı olabilir.
- **Vahşi katı atık depolama sahasında kapalı alan var mı?** – Katı atık depolama sahaları birkaç parçadan (lot) oluşabilir. Atıkla doldurulan alan kapatılır ve üzeri toprakla örtülür. Vahşi katı atık depolama sahalarında diğer bölümlere çöp dökümü devam eder.
- **Kapalı alan yüzdesi (%)** – vahşi katı atık depolama sahasında, atık dökümünün tamamlandığı ve toprakla kaplandığı alanın (lot) yüzdesi.
- **Atık bileşimi** – kullanıcı kağıt, tekstil, gıda, bahçe atığı, arıtma çamuru, tek kullanımlık bebek bezi, ahşap ve samanın toplam depolanmış atık kütleindeki payına ilişkin veri sağlamalıdır. Girdi verileri % olarak belirtilmelidir. İnternet fraksiyonu otomatik olarak hesaplanır. Tüm

2020-1-TR01-KA226-VET-098150

fraksiyonların toplamı %100 olmalıdır. İnert fraksiyonun değeri 0'dan düşükse, girilen verilerin doğru olmadığı ve kontrol edilmesi gerektiği anlamına gelir. Atık fraksiyonu bileşimi, farklı tür ve miktarlarda atık malzemeyi ifade eder. Atığın bileşimi, sızıntı suyunun pH'ı, kimyasal bileşimi ve çevreye zarar verme potansiyeli gibi sızıntı suyu özelliklerini etkileyebilir. Örneğin organik atık, yüksek nem içeriği ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle yüksek düzeyde sızıntı suyu üretebilir. Benzer şekilde, depo gazı, atık malzemelerin bir katı atık depolama sahasında ayrışmasının bir yan ürünü olarak üretilir. Atığın bileşimi, üretilen gazların türlerini ve miktarlarını etkileyebilir. Örneğin, organik atık, önemli miktarlarda, iklim değişikliğine katkıda bulunan ve güçlü bir sera gazı olan metan gazı üretebilir.

- **Mevcut vahşi katı atık depolama sahası yüksekliği (m)**– bu, (vahşi) katı atık depolama sahasının zemin seviyesinden mevcut yüksekliğini temsil eder. Kullanıcı 10 m ile 60 m arasında bir tamsayı değeri seçebilir. (Şekil 6).
- **Eğim açısı** – bu, (vahşi) katı atık depolama sahasının eğim açısıdır. 1V/3H (1 dikey: 3 yatay, 18,43°), 1V/2H (1 dikey: 2 yatay, 26,57°) ve 1V/1H (1 dikey: 1 yatay, 45°) seçilebilir (Şekil 6).



Şekil 6. Katı atık depolama sahası yüksekliği ve eğim açısı

- **Yerden mevcut su (sızıntı suyu) seviyesi yüksekliği / vahşi katı atık depolama sahası yüksekliği** – bu, sızıntı suyu yüksekliğinin (vahşi) katı atık depolama sahası yüksekliğine oranını ölçer. Seçenekler 0 (atıkta sızıntı suyu seviyesi yok), 0,25 ve 0,75'tir (Şekil 7).



Şekil 7. Sızıntı su seviyesi ve sızıntı suyu yüksekliği

- **Atık birim hacim ağırlığı (γ) (kN/m³)** – bu, atığın birim hacim başına ağırlığını ölçer. Kullanıcı 6 ile 14 kN/m³ arasında bir tamsayı değeri seçebilir.
- **Atığın kohezyonu (c) (0-80 kPa)** – bu, atık parçacıklarının birbirine yapışma eğilimini temsil eder. Kayma mukavemeti parametrelerinden biridir. Kayma mukavemeti, atığın bozulma



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

olmadan dayanabileceği maksimum kayma gerilimi olarak tanımlanır. Kullanıcı 0 ile 80 kPa arasında bir tamsayı değeri girebilir.

- **Atığın içsel sürtünme açısı (ϕ) (0-50 derece)** – başka bir kesme dayanımı parametresidir. Kullanıcı 0° ile 50° arasında bir tamsayı değeri girebilir.
- **kh (yatay psödo-statik katsayısı) - kv (düşey psödo-statik katsayısı)** – potansiyel bir depremin neden olduğu yatay ve düşey kuvvetleri hesaplamak için kullanılırlar. Boyutsuzdur. Seçenekler: 0 – 0, 0,05 – 0, 0,05 - kh/2, 0,05 – kh, 0,1 – 0, 0,1 - kh/2, 0,1 – kh, 0,2 – 0, 0,2 - kh/2, 0,2 – kh, 0,3 – 0, 0,3 - kh/2, 0,3 – kh, 0,4 – 0, 0,4 - kh/2, 0,4 – kh. Teorik olarak, sismik katsayıların değerleri, bir depremin dinamik kuvvetlerinin şevde neden olduğu atalet kuvvetinin büyüklüğünün bazı göstergelerine dayanmalıdır. Zemin eğimleri rijit olmadığından ve bir depremin maksimum ivmesi yalnızca kısa bir süre sürdüğünden, pratikte kullanılan ivme değerleri genellikle tahmin edilen maksimum ivmelerden çok daha düşüktür. Şev stabilitesi çalışmasında kullanılan katsayıların seçimi genellikle ülkede kullanılan tasarım koduna bağlıdır. Ayrıca, kesinlikle sismik haritaya göre (vahşi) katı atık depolama sahasının konumuna bağlıdır. Literatürde Marcuson ve Franklin (1983), Hynes-Griffin ve Franklin (1984) ve Melo ve Sharma (2004) gibi bazı genelleştirilmiş öneriler de mevcuttur.

Rehabilitasyon tanımlaması

Bu bölümde kullanıcı, rehabilitasyon sürecinde hangi önlemlerin alınacağını açıklayabilir. Aşağıdaki bilgiler sağlanmalıdır:

- **Depolama alanı rehabilitasyon yılı (DR)**– Rehabilitasyonun yapıldığı yıl.
- **Gaz kullanım şekilleri** – Kullanıcı, hangi depo gazı yönetimi uygulamasının kullanılacağını belirlemelidir. Enerji geri kazanımı veya gaz yakma seçilebilir. Katı atık depolama sahalarında atık malzemelerin ayrışması sonucu oluşan depo gazı, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Depo gazı genellikle yüksek miktarda metan içerir ve bu metan yakalanarak elektrik üretimi, bina ısıtması veya araç yakıtı olarak kullanılabilir. Depo gazının enerji kaynağı olarak kullanılmasının birçok faydası bulunmaktadır. Öncelikle, atmosfere salınacak olan metanı yakalayarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Metan, karbondioksitten 20 kat daha fazla ısı tutma kapasitesine sahip olan güçlü bir sera gazıdır, bu nedenle yakalanması ve kullanılması iklim değişikliği ile mücadelede etkili bir yoldur. İkinci olarak, depo gazı kullanımı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilen yenilenebilir bir enerji kaynağı sağlayabilir. Bu, enerji güvenliğine katkıda bulunabilir ve daha sürdürülebilir bir enerji sistemini teşvik edebilir.
- **Gaz toplama verimliliği (%)** – Kullanıcı, toplanacak olan depo gazı oranını belirleyebilir. %100, tüm depo gazının toplanıp kullanılacağı anlamına gelir. Depo gazı, kuyular, toplama boruları vb. gibi çeşitli yöntemlerle toplanabilir. Ne yazık ki, hiçbir gaz toplama sistemi %100 verimli değildir. Gaz toplama verimlilikleri %13 ile %86 arasında değişmektedir ve ortalama %50'dir. Bu değerler ülkeden ülkeye değişmektedir (örneğin İsveç'te %58, İngiltere'de %64 ve ABD'de %63) ve sığ gaz toplama boruları, tesisatlardan sızıntı (örneğin sızıntı suyu kuyuları, gaz motorları), minimal gaz üretimi nedeniyle düşük gaz geri kazanımı veya aktif atık hücrelerinde gaz toplama eksikliği gibi birçok faktöre bağlıdır. Kullanıcı, önerilen çözümün teknik analizine dayanarak ortalama verimliliği belirlemelidir (Duan Z. vd. 2022).
- **Enerji üretimi verimliliği (%)** – kullanıcı, gaz enerjisi potansiyelinin ne kadarının kullanılacağını tanımlayabilir. Diğer bir deyişle bu, depo gazından enerji üretimindeki verimliliğin bir ölçüsüdür. Enerji geri kazanımı seçilirse, bu oran sonucu etkileyecektir. Toplanan gaz, enerji kaynağı olarak kullanılmadan önce kirlilikleri gidermek için temizlenebilir ve işlenebilir. Depo



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

gazı kullanım projeleri, küçük ölçekli yerel projelerden büyük ölçekli ticari işletmelere kadar değişebilir. Farklı seçeneklerin enerji üretim verimlilikleri farklıdır. Örneğin, gaz türbinleri net verimlilikleri yaklaşık %30-40 arasında değişirken, gaz motorları %46'ya varan değerler gösterir. Isı geri kazanımı çözümleri uygulanarak gaz türbinlerinin net verimlilikleri neredeyse %60'a ve motorların da %50'ye kadar artırılabilir. Kullanıcı, önerilen çözümün teknik analizine dayanarak ortalama verimliliği belirlemelidir.

- **Kaplama malzemesi** – Kullanıcı, rehabilitasyon sürecinde katı atık depolama sahasının kaplama katmanı olarak kullanılacak malzemeyi belirleyebilir. Kumlu toprak - Eğim 0-7 %, Kumlu toprak - Eğim >7 %, Kil - Eğim 0-7 %, Kil - Eğim > 7 % seçenekleri mevcuttur. Malzeme seçiminden sonra yüzey akış katsayısı otomatik olarak hesaplanır. Bir katı atık depolama sahasında kullanılan kaplama (örtü) malzemesi, sızıntının oluşumunu ve göçünü kontrol etmede önemli bir rol oynar. Suyun katı atık depolama sahasına girişini önleyen kaplama malzemesi, oluşan sızıntı suyunun kalitesini de etkileyebilir. Kaplama malzemesi, su sızmasını engellemede etkili değilse, oluşan sızıntı suyu atık malzemelerdeki kirleticilerle kirlenebilir.
- **Yeni eğim açısı** – Eğim açısı azaltılabilir. Seçenekler: 1V/3H (1 dikey: 3 yatay, 18,43°), 1V/2H (1 dikey: 2 yatay, 26,57°) ve 1V/1H (1 dikey: 1 yatay, 45°).
- **Yeni vahşi katı atık depolama sahası yüksekliği (m)** – Katı atık depolama sahası yüksekliği azaltılabilir. Kullanıcı 10 m ile 60 m arasında bir tamsayı değeri girebilir.
- **Yerden yeni su (sızıntı suyu) seviyesi yüksekliği / vahşi katı atık depolama sahası yüksekliği** – kullanıcı, yer üstündeki su (sızıntı suyu) seviyesinin depolama sahası yüksekliğine oranını azaltabilir. Seçenekler 0 (atıkta sızıntı suyu seviyesi yok), 0,25 ve 0,75'tir.
- **Rehabilitasyon Yapılmadan Gelecekteki Depolama Sahası Yüksekliği (m)** –bu, (vahşi) katı atık depolama sahasının rehabilitasyon olmadan, zemin seviyesinden gelecekteki yüksekliğini temsil eder. Kullanıcı 10 m ile 60 m arasında bir tamsayı değeri seçebilir.
- **Gelecekte yerden su (sızıntı suyu) seviyesi yüksekliği / vahşi katı atık depolama sahası yüksekliği** – this quantifies the ratio of the future leachate height to open dump/landfill height without rehabilitation. The options are 0 (no leachate level in the waste), 0.25 and 0.75. bu, gelecekteki sızıntı suyu yüksekliğinin rehabilitasyon olmaksızın (vahşi) katı atık depolama yüksekliğine oranını ölçer. Seçenekler 0 (atıkta sızıntı suyu seviyesi yok), 0,25 ve 0,75'tir.

Sonuçlar - Özet

Bu bölümde genel olarak, hesaplamaların en önemli sonuçları sunulmaktadır. Net tabloda kullanıcı, 3 senaryonun tümü için değerleri karşılaştırabilir.

Senaryo 1 sonuçları, katı atık depolama sahasının varoluşundan rehabilite kararı alınana kadar olan dönemin çevre üzerindeki etkisini vermektedir. Bu sonuçlar geçmiş döneme ilişkindir. Senaryo 2 ve 3'ün karşılaştırılması ise, rehabilite kararının alındığı andan çöp sahasının faaliyet döneminin sonuna kadar olan gelecekteki çevre etkisine dair bir fikir vermektedir. Her iki senaryo için elde edilen sonuçlar arasındaki fark, rehabilite kararının değerlendirilmesi açısından dikkate alınabilir ve rehabilite işleminin gerçekleştirilmesi için bir motivasyon olmalıdır.

Bu bölümde araç aşağıdaki hesaplama sonuçlarını gösterir:

- **Etkili emisyon (Mg CO2 eşdeğeri cinsinden toplam sera gazı salınımı)** – Bu, katı atık depolama sahasından kaynaklanan kendi emisyonları, biyogaz kullanımı tesisinden kaynaklanan emisyonlar ve biyogazdan üretilen enerji nedeniyle önlenen emisyonları içerir;
- **Biyogaz kullanımı nedeniyle yeşil enerji üretimi** – biyogaz kullanım tesisinde üretilen enerji;



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Sızıntı suyu emisyonu** (toplam atık sahası emisyonları)- Yağıştan ve katı atığın su içeriğinden kaynaklanan toplam atık su.
- **Kimyasal oksijen ihtiyacı** - Atık bileşimine göre sızıntı suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı.
- **Şev stabilitesi için Güvenlik Faktörü** - atığın kayma mukavemetinin şevin potansiyel kayma yüzeyindeki kayma gerilmesine oranı.
- **Güvenlik Durumu** - “Güvenlik Faktörü” çıkıtısına göre, şev kaymasına karşı katı atık depolama sahası güvenliğini ve gerekirse depolama sahası yöneticilerinin/çalışanlarının soruna nasıl tepki vermesi gerektiğini gösterir.

Sonuçlar – Depo gazı

Sonuçlar, senaryolarla ilgili bölümler halinde gruplandırılmıştır. Her senaryoda aşağıdaki sonuçlar hesaplanır:

Senaryo 1

- **Depo gazı üretimi (GG)** – bu, katı atık depolama sahası inşaatının başlangıcından (DS) rehabilitasyon kararının alınacağı zamana (DR) kadar üretilen toplam depo gazıdır. Bu gazın ezici çoğunluğu atmosfere salındı. Yeşil temiz enerji üretimi için kullanılabilirdi - ancak rehabilitasyon veya iyi bir çöp sahası inşası kararlarının geç alınması nedeniyle kullanılmadı. Başka bir deyişle, kaybedilen ve israf edilen fırsatların ölçüsüdür.
- **Toplanan depo sahası gazı (CG)** – katı atık depolama sahasında toplanan depo gazı miktarını temsil eder. Senaryo 1, rehabilitasyondan önceki vahşi katı atık depolama sahasına atıfta bulunduğundan, gaz toplama sisteminin kurulu olmadığı varsayılmaktadır. Bu senaryoda CG her zaman 0'dır.
- **Serbest emisyon (FE)** – Senaryo 1'de bu, atık boşaltma operasyonunun (DS) başlangıcından rehabilitasyon tarihine (DR) kadar geçen sürede salınan toplam depo gazını temsil eder. Bu zaten gerçekleşmiş olan emisyonudur. Salınan depo gazı birkaç gazdan oluşur. Bunların çoğu CH₄ ve CO₂'dir. Emisyon, salınan gazın iklim değişikliği üzerinde yaptığı toplam etkiyi temsil eden CO₂ eşdeğeri cinsinden hesaplanır ve ifade edilir. Depolama sahasına yönlendirilen atık akışının tüm işletme süresi boyunca sabit olduğu varsayılmaktadır. Bu, her yıl aynı miktarda atığın oraya depolandığı anlamına gelir. Bu varsayım, biyogaz ve sızıntı suyu emisyonlarının tahminini etkiler.
- **Önlenen emisyon (AE)** – Senaryo 1'de, depo gazı kullanım cihazları kurulmadığından, şebeke kaynaklı enerjinin yerini alabilecek bir enerji üretme şansı yoktur. Bu nedenle, AE her zaman 0'dır.
- **Etkili emisyon (EE)** – Senaryo 1'de hiçbir gaz toplama sistemi kurulmadığı için EE, FE ile aynıdır.
- **Yeşil enerji üretimi** – DR'den DE'ye kadar olan zaman periyodunda üretilecek olan enerji miktarını temsil eder. Bu senaryoda herhangi bir gaz kullanım cihazı kurulmadığından, enerji miktarı her zaman 0'dır.

Senaryo 2

- **Depo gazı üretimi (GG)** – bu, rehabilitasyon kararından (DR) faaliyetinin sonuna (DE) kadar geçen zaman diliminde katı atık depolama sahasında üretilen toplam depo gazıdır. Senaryo 1'de olduğu gibi, gaz toplama sistemi kurulmadığı için depo gazı atmosfere serbestçe salınır. Rehabilitasyon kararının alınması halinde, potansiyel bir yeşil enerji kaynağı olarak ele alınabilir. Başka bir deyişle, gelecekte potansiyel olarak kaybedilen faydaların ölçüsüdür.



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Toplanan depo sahası gazı (CG)** –DR'den DE'ye kadar olan sürede katı atık depolama sahasında toplanan depo gazı miktarını temsil eder. Senaryo 2, rehabilitasyonun uygulanmadığı duruma atıfta bulunduğundan, gaz toplama sisteminin kurulu olmadığı varsayılmaktadır. Bu senaryoda CG her zaman 0'dır.
- **Serbest emisyon (FE)** – bu, rehabilitasyon kararı alınmadığı takdirde oluşacak emisyonu temsil eder. Emisyon, rehabilitasyon kararından (DR) katı atık depolama sahası ömrünün sonuna (DE), sahanın artık depo gazı üretemeyeceği zamana kadar geçen süre için hesaplanır. Emisyon hesaplanır ve CO2 eşdeğeri cinsinden ifade edilir. Senaryo 1'e benzer şekilde, tüm depo gazı atmosfere serbestçe salınır. Bu, gelecekte oluşacak toplam sera gazlarının ölçüsüdür.
- **Önlenen emisyon (AE)** – senaryo 2'de olduğu gibi, hiçbir gaz kullanım cihazı kurulmamıştır, hiçbir emisyonun kaçınılması beklenemez. ve AE her zaman 0'dır.
- **Etkili emisyon (EE)** – senaryo 2'de herhangi bir gaz toplama sistemi kurulmadığı için EE, FE ile aynıdır.

Senaryo 3

- **Depo gazı üretimi (GG)** – bu, rehabilitasyon kararından (DR) faaliyetinin sonuna (DE) kadar geçen zaman diliminde katı atık depolama sahasında üretilen toplam depo gazıdır. Senaryo 3'te üretilen gazın hacmi Senaryo 2'deki ile aynıdır. Ancak gaz toplama sistemi kurulumu nedeniyle gaz yakma veya enerji geri kazanım tesisatında kullanılabilir.
- **Toplanan depo sahası gazı (CG)** – DR'den DE'ye kadar olan sürede katı atık depolama sahasında toplanan depo gazı miktarını temsil eder. Senaryo 3'te gaz toplama sistemi kurulmuştur. Ancak, %100 verimli değildir. Sonuç olarak, katı atık depolama sahasında üretilen gazın sadece bir kısmı toplanarak gaz kullanım tesisine taşınır.
- **Serbest emisyon (FE)** –Gaz toplama sistemi %100 verimli olmadığından gazın bir kısmı kullanılmadan atmosfere serbest olarak salınır. FE, depolama gazının bu bölümünü temsil eder. FE, rehabilitasyon kararı alınmadığı takdirde oluşacak emisyonu temsil eder. Emisyon, vahşi katı atık depolama sahasının ömrünün sona ermesine karar verilmesinden bu yana geçen süre (vahşi katı atık depolama sahasının artık depo gazı üretemeyeceği zaman) için hesaplanır. Emisyon hesaplanır ve CO2 eşdeğeri cinsinden ifade edilir. Benzer şekilde, senaryo 1'e göre tüm çöp gazı atmosfere serbestçe salınır. Bu, gelecekte oluşacak toplam sera gazlarının ölçüsüdür.
- **Önlenen emisyon (AE)** – senaryo 3'te gaz kullanım cihazları kurulur. Bu enerji geri kazanım sistemi ise, enerji formu şebekeden gelen enerjinin bir kısmını yerine koyabilir. Sonuç olarak, bazı önlenen emisyonlar meydana gelecektir. Gaz toplama sisteminin verimliliği ne kadar yüksek ve enerji üretim sistemi verimliliği ne kadar yüksek olursa, o kadar yüksek miktarda önlenen emisyon meydana gelir.
- **Etkili emisyon (EE)** - bu, rehabilitasyon kararı alınırsa gerçekleşecek emisyonu temsil eder. Emisyon, vahşi katı atık depolama sahası ömrünün sona ermesine karar verilmesinden bu yana geçen süre (vahşi katı atık depolama sahasının artık depo gazı üretemeyeceği zaman) için hesaplanır. Rehabilitasyon yapılmaması durumunda emisyonun belirtilen emisyonun düşük olması, depo gazının daha iyi yönetilmesi ve kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Emisyon negatif bile olabilir (değer olarak parantez içinde belirtilmiştir – örneğin (100) Mg CO2 eşdeğeri eksi 100 MgCO2 eşdeğeri anlamına gelir). Belirlenen yerde şebeke elektriğinin toplanan depo gazından üretilen elektrikle yer değiştirilmesi nedeniyle negatif emisyon ortaya çıkabilir. İkincisinden kaynaklanan çevresel etki, şebeke elektriğinden kaynaklanan etkiden daha



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

düşükse (enerji birimine göre) negatif emisyon görünebilir. Bu durumda çevresel rahatlama bahsedebiliriz.

- **Yeşil enerji üretimi** – bu, rehabilitasyon ve toplanan depo gazından enerji geri kazanımının uygulanması nedeniyle üretilecek toplam enerjiyi temsil eder.
- **Grafik - Emisyon projeksiyonu (rehabilitasyonlu/ rehabilitasyonsuz)** – bu grafik, rehabilitasyon kararı alınıp alınmaması durumunda iklim değişikliğine bağlı çevresel etkinin karşılaştırmasını görselleştirmektedir. Diğer bir deyişle vahşi katı atık depolama sahalarının rehabilitasyonu kararının değerinin görselleştirilmesidir.

Sonuçlar – Sızıntı suyu

- **Sızıntı suyu oluşumu** Bu, yağıştan kaynaklanan toplam atık suyu ve katı atığın su içeriğini temsil eder. Atığın anaerobik sindirimi sırasında oluşan su ihmal edilir.
- **Sıkıştırmadan sonra sızıntı suyu miktarı** Bu, vahşi katı atık depolama sahasında sıkıştırıcı kullanılması durumunda oluşan atık su miktarını temsil eder.
- **Katı atık su içeriği** Bu, katı atığın bileşimine göre nem miktarını temsil eder.
- **Yağış kaynaklı sızıntı suyu** Bu yüzey alanına yağmur ve kar yağışı sonucu oluşan sızıntı suyunu temsil eder.
- **Ron (Toplam)** Bu, yağışın yüzey alanına sızmasını temsil eder.
- **Roff (Toplam)** Bu, yüzey alanındaki yağış akışını temsil eder.
- **Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)** Bu, sızıntı suyunun kimyasal oksijen ihtiyacını temsil eder. Bu değer atık kompozisyonuna göre hesaplanır.
- **Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yükü** Bu terim KOİ konsantrasyonuna ve sızıntı suyu hacmine göre hesaplanır.
- **Rehabilitasyon zamanına kadar sızıntı suyu miktarı** Bu, başlangıçtan rehabilitasyona karar verme zamanına kadar geçen sürenin değerlendirilmesini temsil eder.
- **Rehabilitasyon zamanına kadar kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yükü** Bu, başlangıçtan rehabilitasyona karar verme zamanına kadar geçen sürenin değerlendirilmesini temsil eder.
- **Rehabilitasyonsuz gelecekteki sızıntı suyu miktarı** Bu, rehabilitasyona karar verilmesinden vahşi katı atık depolama sahasının rehabilitasyon olmadan aktif ömrünün sonuna kadar geçen sürenin değerlendirilmesini temsil eder.
- **Rehabilitasyonsuz gelecekteki kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yükü** Bu, rehabilitasyona karar verilmesinden vahşi katı atık depolama sahasının rehabilitasyon olmadan aktif ömrünün sonuna kadar geçen sürenin değerlendirilmesini temsil eder.
- **Rehabilitasyonlu gelecekteki sızıntı suyu miktarı** Bu, rehabilitasyona karar verme zamanından rehabilitasyonlu vahşi katı atık depolama sahasının aktif ömrünün sonuna kadar geçen sürenin değerlendirilmesini temsil eder. Bu değer "0" olacaktır. Rehabilitasyon sonrası üst yüzeyi kaplandığı için sızıntı suyu oluşumu artmaz.
- **Rehabilitasyonlu gelecekteki kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yükü** Bu, rehabilitasyona karar verme zamanından rehabilitasyonlu vahşi katı atık depolama sahasının aktif ömrünün sonuna kadar geçen sürenin değerlendirilmesini temsil eder. Bu değer "0" olacaktır. Rehabilitasyon sonrası üst yüzeyi kaplandığı için KOİ yükü artmaz.

Sonuçlar – Stabilité

Sonuçlar FS'ye göre belirlenir. Aşağıdaki sonuçlar hesaplanır:



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

- **Şev stabilitesi için Güvenlik Faktörü** – atığın kayma mukavemetinin şevin potansiyel kayma yüzeyindeki kayma gerilmesine oranı. “Stabilite için Güvenlik Faktörü” için olası çıktılar Tablo 1’de görülebilir.
- **Güvenlik Durumu** – “Güvenlik Faktörü” çıktısına göre, şev kaymasına karşı katı atık depolama sahası güvenliğini ve gerekirse depolama yöneticilerinin/çalışanlarının soruna nasıl tepki vermesi gerektiğini gösterir. “Güvenlik Durumu” için olası çıktılar Tablo 1’de görülebilir.

Bu çıktılar ayrıca, katı atık depolama sahasının stabilitesi üzerindeki her bir rehabilitasyon etkisini görmek için, her bir rehabilitasyon süreci ve birlikte tüm rehabilitasyon süreçleri için hesaplanır. Bu nedenle, bir ön değerlendirme olarak, bir (vahşi) katı atık depolama sahası için yetkili kişi, bu rehabilitasyon seçeneklerinin katı atık depolama sahası üzerindeki etkisini kolayca görebilir. Statik ve dinamik koşullar için stabiliteye karşı FS belirlenir ve sonuçlar için olası çıktılar Tablo 1’de görülebilir.

Table 1: Sonuçlar-Stabilite bölümündeki olası çıktılar.

Durum	Stabilite için Güvenlik Faktörü	Güvenlik Durumu
Statik (kh=0, kv=0)	>1.5	GÜVENLİ
	1.1-1.5	GÜVENLİ DEĞİL - Detaylı yeniden değerlendirme gereklidir
	<1.1	GÜVENLİ DEĞİL - Acil eylem gereklidir
Dinamik (kh≠0)	>1.2	GÜVENLİ
	<1.2	GÜVENLİ DEĞİL

Referanslar

1. Agdag, O.N., Yılmaz Cincin, R.G., Toprak, S., Kaplan, Y., Degirmenci, R., Agdag, F., Gebes, S., Cetin, B., De Angelis, E., Pikon, K., Kujumdzieva, A., Petrova, V., Panaitescu, C., Frulla, D., Dal, O., Balcik, C., De Angelis, K., Dinu, F., Nedeva, T., Bogacka, M. (2022). Rehabilitation Methods for Open Dumps and its Global Applications: SMARTEnvi Eu Project. 6th EurAsia Waste Management Symposium, 24-26 October 2022, İstanbul, Türkiye.
2. Dal O., (2023), “Static and Dynamic Slope Stability Of MSW Landfills”, MSc. Thesis, Gebze Technical University, Kocaeli, Türkiye.
3. Duan Z. et al. Efficiency of gas collection systems at Danish landfills and implications for regulations, Waste Management, Volume 139, 2022, Pages 269-278, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.023>.
4. Hynes-Griffin ME, Franklin AG. “Rationalizing the seismic coefficient method.” U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1984, Miscellaneous Paper GL-84-13, 21 pp.
5. Marcuson WF, Franklin AG. “Seismic Design, Analysis, and Remedial Measures to Improve the Stability of Existing Earth Dams - Corps of Engineers Approach”, in Seismic Design of Embankments and Caverns, T.R. Howard, Ed., New York, ASCE, 1983.
6. Melo, C., & Sharma, S. (2004, August). Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis. In 13th World conference on earthquake engineering (Vol. 369, p. 15).



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2020-1-TR01-KA226-VET-098150

7. Toprak S., Agdag O.N., Cetin B., De Angelis E., Pikon K., Kujumdziewa A., Petrova V., Panaitescu C., Degirmenci R., Frulla D., Dal O., Balcik C., Yilmaz Cincin R.G., De Angelis K., Dinu F., Nedeva T., Kaplan Y., Agdag F., Bogacka M., (2021a), "A Project on Reducing Risks Associated with MSW Open Dumps", 6th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 1316-1325, Kocaeli, Türkiye.
8. Toprak, S., Cetin, B., Agdag, O.N., De Angelis, E., Górski, M., Kujumdziewa, A., Petrova, V., Panaitescu, C., Degirmenci, R., Frulla, D., Yilmaz Cincin, R.G., Balcik, C., Pikon, K., Dinu, F., Nedeva, T., Kaplan, Y., Dal, O., De Angelis, K., Agdag, F. (2021b). A Joint Effort to Reduce Hazards to the Environment and Water Resources by Rehabilitating Open Dumps. 14th International Congress on Advances in Civil Engineering, 6-8 September 2021, Istanbul, Türkiye.
9. Toprak S., Dal O., (2022), "Factors Affecting Slope Stability In Landfills", 18th National Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Conference, Kayseri, Türkiye (in Turkish).