

DEPONİ ALANLARI YER SEÇİMİ, BÜTÜNSEL ATIK YÖNETİMİ VE ÜLKEMİZDE YAŞANAN SORUNLAR

Ali YILMAZ, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, ANKARA

ÖZET

Atıkların uzaklaştırılmasına ilişkin deponi alanları yer seçiminde ve atıklarla ilgili seçilmiş yerlerin değerlendirilmesinde önemli rol oynayan faktörler, ağırlıklı olarak jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik faktörlerdir. Bu faktörler, kayaların fiziksel özelliklerinin yanı sıra, stratigrafik ve yapısal özellikleri ile geçirgenlik, dayanımlılık, kullanılabilirlik gibi mühendislik özelliklerini içerirler. Herhangi bir kullanım için uygun olan yerlerin seçiminde bu faktörleri değerlendirmek önemlidir. Bu çerçevede, atık yönetiminde kullanılan yöntemler ve yer seçimine ilişkin jeolojik modellemeyi içeren başlıca jeolojik ilkeler irdelenecektir.

Halkın zarar gördüğü çevresel sorunlarla birlikte, bu sorunların çözüm yöntemlerindeki artış, atıkların uzaklaştırılmasında yeni atık yönetim planlarının gelişmesi ile sonuçlanmıştır. Günümüzde ortaya konulan kavram **Bütünsel (ya da Bütüncül) Atık Yönetimi (BAY)** olarak bilinmektedir.

BAY, atıkların tanımlanması ve türleri, toplanması ve taşınması, sınıflandırılması, yer seçimi ve düzenli depolama başta olmak üzere, atıkları kaynağında azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım, kompostlaştırma, yakma ve izleme-denetim gibi yöntemleri de içeren birbiri ile entegre bir dizi süreci tanımlamaktadır.

Yer seçiminde yüzeyden sağlanan jeolojik bilginin derinliği, jeofizik çalışmalarla ve sondajlarla geliştirilebilir. Ayrıca, öngörülen yerin mevcut kullanım biçimi, yerleşim birimlerine uzaklık, ulaşım, tehlikeli atıkların türleri ve miktarı gibi hususlar da son derece önemlidir.

Anahtar sözcükler: *Deponi alanı, yer seçimi, Bütünsel Atık Yönetimi*

GİRİŞ

Önceleri atık yönetiminde **seyretmek** ve **yaymak** kavramları kullanılırken, artık daha yeni kavramlar olan **içerik** ve **derişim** olarak tanımlanan yeni kavramlar bütünsel atık yönetiminde yol gösterici olmaktadır (Yılmaz, 2008).

Eğer toplumda sürekli bir faaliyet söz konusu ise atık oluşumu ve atık uzaklaştırma alanlarının gerekliliği de kaçınılmaz olacaktır. Bununla birlikte, hiç kimse bir atık uzaklaştırma alanı yakınında yaşamayı istemez. Kentsel atıklar için sağlıklı bir deponi alanı, kentsel atıkları yakan bir yakma tesisi ya da tehlikeli atıklar için bir tehlikeli atık uzaklaştırma tesisi gereklidir.

Bu bölümde atıkların tanımlanması ve atık türleri genel olarak irdelendikten sonra, sıra ile deponi alanları yer seçimi, bütünsel atık yönetimi, ülkemizde yaşanan sorunlar, düzenli deponi alanlarının denetimi ve izleme ölçütleri ile Ankara özelinde atık durumu ele alınacaktır.

ATIKLARIN TANIMLANMASI VE TÜRLERİNE GENEL BAKIŞ

Atık insanın bir tür icadıdır. Yani insan kararı ile bir nesne atık olmaktadır. Sahibi olduğumuz nesnenin varlığına son verme gereksinimi doğmuşsa, bu nesneye genel olarak çöp diyoruz. Hurda sözcüğünü madeni nesnelere ve arabalara için kullanırız.

Sonuç olarak atık, çöpün yeni adıdır. Bu tanıma göre atık yararsız ve kurtulmak istediğimiz bir nesne konumundadır. Bir nesne kişiye, yaşadığımız çağa, kültüre ve kullanılan süreye bağlı olarak atık konumuna gelmektedir. Dolayısıyla atık göreceli bir kavramdır. Kimi araştırmacılar için çöp sahası da büyük bir servettir. Çünkü çöpe atılan birçok nesne de bazen değerlendirilebilir. Geri kazanım ya da yeniden değerlendirme yolu ile çöpe atılan gereçlerin bir bölümü yeniden hammadde olarak bir değere sahip olabilir.

Yeni kimyasal bileşiklerin son yıllarda oldukça büyük miktarlarda arttığı görülmektedir. Sadece ABD’de, şu an toplam 50.000 kimyasal maddeye ulaşılmakla birlikte, her yıl ortalama 1000 yeni kimyasal madde piyasaya eklenmektedir. Atıklar, katı, sıvı ve gaz hallerine göre sınıflandırılabilir. Ancak, kimyasalların bir bölümü insanların yararına sunulmuşsa da, ABD’de kullanılan yaklaşık 35.000 kimyasalın kısmen ya da tümünün halkın sağlığına zarar verdiği görülmektedir. Çizelge 1’de genel çerçevede tehlike oluşturan bazı kimyasal atık grupları ve bu gruplara ait atık türleri görülmektedir (EPA, 1993).

Çizelge 1. Genel olarak tehlikeli kimyasal atık grupları ve bu gruplara ait tehlike oluşturan atık türleri (EPA, 1993).

Tehlikeli kimyasal atık grupları:	Tehlike oluşturan atık türleri:
Deri endüstrisi atıkları	Ağır metaller, organik kimyasal çözücüler
Tıbbi atıklar	Organik kimyasal çözücüler ve kimyasal olarak çözülmemeyen maddeler, ağır metaller (civa, çinko vb.)
Metal endüstrisi atıkları	Ağır metaller, florürler, siyanürler, asit ve alkali temizleyiciler, kimyasal çözücüler, boyar maddeler, aşındırıcılar, madeni tuzlar, yağ fenoller,
Yağ, gaz ve diğer petrol ürünleri:	Yağ, fenoller ve diğer organik bileşikler, ağır metaller, amonyak tuzları, asit, karstik yakıcılar,
Boyalar	Ağır metaller, boyar maddeler, organik kimyasal çözünemeyen maddeler,
Pestisitler	Organik klor bileşikleri, organik fosfat bileşikleri
Plastikler	Organik klor bileşikleri
Tekstil endüstrisi atıkları	Ağır metaller, boyalar, organik klor bileşikleri, kimyasal çözücüler

Tehlikeli atıkların bir türü de radyoaktif atıklardır. Bunlar iyonize radyasyon yaymaktadır. Radyasyon, ağır izotopların bozunması sonucunda oluşan bir enerji türüdür. Bu radyasyon insan sağlığı için büyük ve tehlikeli boyutlara varmaktadır.

DEPONİ ALANLARI YER SEÇİMİ, GENEL ÇERÇEVE

Deponi alanları yer seçimi çok disiplinli bir yapıya sahiptir. Öncelikle, deponi alanları yer seçiminde jeolojik model ve öğeleri özenle irdelenmelidir. Ayrıca yeraltı suyunu koruma ölçütlerinin ve konuya dair diğer tasarım değişkenlerinin de gözetilmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2008; 2009).

Jeolojik model ve öğeleri

Jeoteknik çalışmalar arasında sıkça söylenen bir söz vardır: **Her yer seçimi kendine özgüdür ve birbirine benzer iki yer yoktur.** Dolayısıyla herhangi bir faaliyete özgü yer seçimi süreçlerinde izlenmesi gereken tek bir yöntem de yoktur. Çünkü doğada izlenen jeolojik birimlerin özellikleri değişkendir. Bir jeolojik model oluşturulurken öncelikle o bölgeye ilişkin çalışmalar derlenir. Derlenen bu çalışmalar gözden geçirildikten sonra, gerekirse yeni saha çalışmaları ya da laboratuvar testleri yapılır. Bir jeolojik model, projenin doğasına ve yerel jeolojiye dayalı olarak hazırlanmalıdır. Bunun için projenin doğası ve yerel jeolojinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Projenin doğası

Yer araştırması proje özelinde tasarlanmalıdır. Projenin türü önemlidir. Belirlenen bir yerin kendine özgü yasal ve teknik sınırlamaları ve buna göre uygunluk halleri olabilir. Ancak, bu uygunluk bir yere özgü proje için yeterli, başka bir proje ya da yer için yeterli olmayabilir. Dolayısıyla, modelleme çalışmaları ve yer araştırmaları yapılırken, projeye özgü temel özelliklerin gözetilmesi için özel çaba harcanmalıdır. Yani, projenin türü ve doğasına dair gereksinim duyulan bilgi yer seçiminde son derece belirleyici bir husustur.

Yerel jeoloji

Bir mühendislik yapısına ilişkin jeolojik modelin geliştirilmesinde bölgesel jeoloji yeterli bilgi sağlamayabilir. Yani küçük ölçekli haritalardan sağlanan bilgiler yeterli olmayabilir. Böyle bir durumda yerel jeoloji ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir. Yerel jeoloji de en azından aşağıdaki unsurları içermelidir:

- Yüzeyle ve yeraltında izlenen jeolojik birimler, özellikle genç çökeller (toprak türleri) ve kayatürleri (bunların çökme ortamları ve yaşı), stratigrafik ve tektonik yapılar belirlenmelidir.
- Yerel ve bölgesel ölçekte yerin günümüze yakın jeolojik tarihi, özellikle Kuvaterner döneminde (son 2 milyon yılda) etkin olan jeomorfolojik yer şekilleri ve meydana gelen değişim ile genç çökeller özenle incelenmelidir. Ayrıca, iklim koşullarının jeolojik birimlerin üzerindeki etkileri (günlenme ve erozyon) ve günümüzdeki yapılar (karstik yapıları) ayrıntılı incelenmelidir. Bu da aynı zamanda yerel genç tektonik dönemin ayrıntılı bir biçimde incelenmesini gerektirmektedir.
- Yer seçiminin yapıldığı yerlerde ya da yakın dolayındaki bölgeleri de içine alan yerlerde oluşan depremler, diri faylar, çökmeler, taşkınlar ve heyelanlar, erozyon ve volkanik faaliyetler gibi tehlikeli süreçler irdelenmelidir. Bu tehlikelerin tümü her yerde gelişmeyebilir. Ancak, öngörülen sahada etkili olan süreçler özellikle irdelenmelidir. Örneğin, ABD'nin doğusunda daha çok taşkınlar, heyelanlar, kasırgalar meydana gelirken, batısında ise depremler, diri faylar ve volkanik faaliyetler egemendir. Sonuç olarak yere özgü doğal yer süreçlerini içeren risk haritaları yapılmalıdır.
- Öngörülen projeden ileri gelen potansiyel etkiler ve bu etkilerin bölgenin diğer fiziksel çevre koşullarına yansımaları gözetilmelidir. Bu özellikler, daha çok çevresel etki değerlendirme raporlarının hazırlanmasına katkıda bulunur.

Deponi alanları ile ilgili araştırmalar, bir ölçüde baraj yeri araştırmalarına benzer. Çünkü bunların her ikisi başından sonuna kadar tüm evrelerde son derece önemli çevresel etkilere sahiptir. Ayrıca bu mühendislik yapılarının 30 ya da 100 yıl gibi bir sürede kullanılacağı ön görülmelidir. Örneğin deponi alanlarının çevreyi yüzlerce yıl etkileyebileceği gözetilmelidir. Dolayısıyla deponi alanları özelinde, aşağıdaki konular mutlaka değerlendirilmelidir:

- Deponi alanının yerleşim birimine uzaklığı,
- Tesisin büyüklüğü ve deponi alanı olarak seçilen yerin genişliği,
- Deponi alanı ve yakın dolayının çevre jeolojisi, hidrojeolojisi ve çevre jeotekniğine ilişkin temel bilgiler,
- Yasal açıdan uygunluk,
- Yerin proje özelinde zonlara ayrılması.

Bu konular, genellikle tesisin sorumlusu ile birlikte değerlendirilir. Bu konuların bilinmesi, daha sonra potansiyel sorunlarla karşılaşmamızı sağlar. Deponi alanları için en azından bazı sınırlamaların yapılması zorunludur. Örneğin, tesis için seçilen yerin en azından doğal yer süreçlerinden etkilenmeyen bir konumda olması gerekir. Örneğin, **tehlikeli atık tesisleri diri fayların olduğu yerlerden en az 60 m (200 ft) uzakta olmalıdır.** Diri faylar, Holosen'de yani son 10.000 yıl içerisinde devinmiş yapılarıdır.

Deponi yerleri genellikle **100 yılda bir olan taşkınların** sınırları dışında planlanmaktadır. Böylece atıklar, herhangi bir şekilde taşkınlardan etkilenmeyecek ya da taşkınların olumsuz çevre etkilerinden zarar görmeyecek biçimde güvence altına alınmalıdır. Bu çerçevede yere özgü diğer doğal risklerin de değerlendirilmesinde yarar vardır. Ayrıca tehlikeli atıkların maden ocaklarına ya da tuz mağaralarına gelişi güzel atılmaması gerekmektedir.

Yeraltı suyunu koruma ölçütleri

Deponi alanı ve yakın dolayına yeraltı suyunun kalitesini denetlemek üzere gözlem kuyuları açılmalıdır. Bu kuyuların, tesisin hem alt tarafında hem de üst tarafında yerleştirilmiş olması gerekir. Akiferin üst kesimindeki yeraltı suyunun akışı tesisin yetkilileri tarafından yıllık olarak ölçülmelidir. Çizelge 2'de sunulan sınırlar aşıldığında yeraltı suyunun kirlendiği düşünülür. Eğer yeraltı suyunu etkileyen tehlikeli atık bileşimlerinde önemli bir artış olursa yeni gözlemlere gereksinim olacaktır. Yani tüm gözlem kuyularında, tüm atık bileşenleri gözetilerek ölçümler yapılmalıdır. Genel olarak su kalitesi denetimi yönetmeliklerinde, bileşenlerin en yüksek değerleri ile bunların analiz yöntemlerine ilişkin bilgiler sunulmaktadır.

Çizelge 2. Yeraltı suyu kalite ölçütleri (CFR, 1990'dan uyarlanmıştır).

Bileşenler	En yüksek sınır (mg/L)
Arsenik	0.05
Baryum	1.0
Kadmiyum	0.01
Krom	0.05
Kurşun	0.05
Civa	0.002
Selenyum	0.01
Gümüş	0.05
Endrin	0.0002
Lindane	0.004
Methoxychlor	0.1
Toxaphane	0.005
2,4-D	0.1
2,4,5-TP-Silvex	0.01

Diğer tasarım gereksinimleri

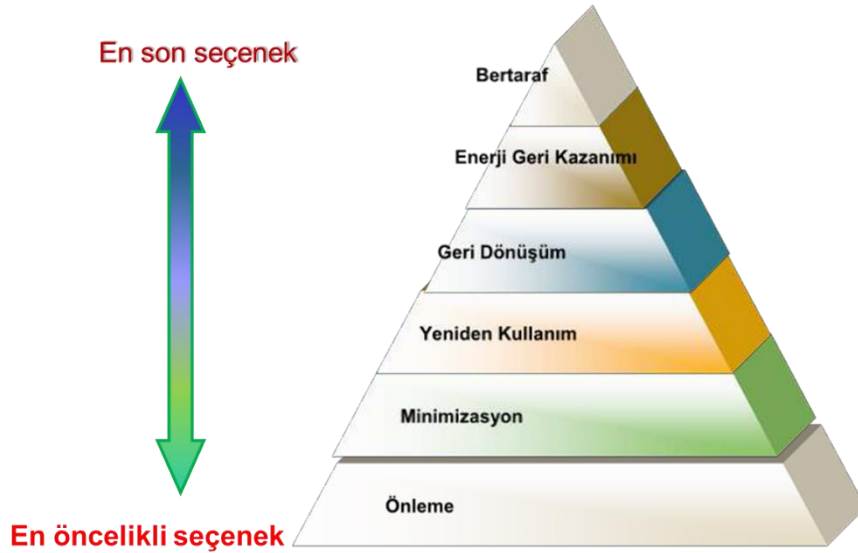
Güvenli bir deponi alanı aşağıda sunulan tasarımla ilgili gereksinimleri karşılamalıdır (CFR, 1990):

- Güvenli bir deponi alanına iki ya da daha çok sayıda örtü serilmelidir. En altta yer alan örtü en azından **90 cm kalınlıkta olmalı** ve böyle bir yerdeki **geçirimsizlik ise en azından $\geq 1 \times 10^{-7}$ cm/s olmalıdır.**
- Sızıntı toplama sisteminin yer aldığı zeminin **geçirimsizliği en azından $\geq 1 \times 10^{-2}$ cm/s** olmalıdır.
- Üst örtünün kalınlığı **en azından 30 cm olmalıdır.**
- En üstteki örtünün geçirgenliği, altta yer alan örtünün geçirgenliğine eşit ya da ondan daha az bir geçirgenliğe sahip olmalıdır.
- Diri (Aktif) faylardan **en az 60 m uzakta** olmalıdır
- Tesis, en az **25 yılda bir** oluşan en yüksek düzeydeki yağıştan ve böyle bir yağıştan meydana gelecek taşkınlardan etkilenmeyecek bir düzeyde olmalıdır.
- **Yamaç duyarlılığına** ya da çeşitli oturmalara yol açan kırık sistemlerine karşı önlemler alınmalıdır. Yere özgü diğer yer süreçleri de değerlendirmeye alınmalıdır.

BÜTÜNSEL ATIK YÖNETİMİ

Atıkların oluşumundan uzaklaştırılmasına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetilmesine de atık yönetimi denir. **2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi'nde** verilen atık yönetim piramidinde düzenli depolama sahalarında güvenli şekilde bertaraf edilmesi atık yönetimi hiyerarşisinde en son seçeneği oluşturmaktadır (Şekil 1).

Atık Yönetim Piramidi: Atık Yönetim Piramidi'nde, üst basamaktan alt basamaklara doğru değerlendirme öngörülür. Yani ilk aşama atığın oluşmasının önlenmesi, eğer bu sağlanıyorsa atığın minimizasyonu, diğer bir deyişle atığın en aza indirilmesi amaçlanır. Daha sonra atığın Yeniden kullanımı, eğer bu da mümkün olmuyorsa önce geri dönüşüm ve daha sonra enerji geri kazanımı amaçlanır. Bu uygulanan yöntemlerden sonra elimizde kalan atığa ya da bu yöntemleri uygulayamadığımız atığa yapılacak en son işlem, düzenli depolama ya da yakmadır.



Şekil 1. Atık yönetim piramidi (Şimsek ve diğerleri, 2014).

Artan nüfus, enerji tasarrufu, ekonomik gerekçeler ve azalan arazi bulma sorunları nedeniyle, geleneksel atık hiyerarşisi yerine, 2020'li yıllarda büyük oranda geri kazanım ve önleme tedbirlerinin öngörüldüğü bir hiyerarşi hedeflenmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Günümüz ve hedeflenen atık stratejisi (Şimsek ve diğerleri, 2014).

Atık uzaklaştırma alanları önemli çevre kirliliği sorunlarına da yol açar. Merkezi ve yerel yönetim yardımı alan kentsel atık su arıtma tesislerinin bazılarında kanserojen olan hava kirleticileri ortaya çıkmaktadır. Halkın, atık yönetiminden uzun bir sürede endişe duyacağı açıktır. Atık yönetiminde, halk sağlığını tehlikeye atmayacak, başka bir soruna ya da çevre için adeta saatli bir bombaya yol açmayacak yeni modeller geliştirilebilecektir.

Halkın zarar gördüğü çevresel sorunlarla birlikte, bu sorunların çözüm yöntemlerindeki artış, atıkların uzaklaştırılmasında yeni atık yönetim planlarının gelişmesi ile sonuçlanmıştır. Günümüzde ortaya konulan kavram **Bütünsel (ya da Bütüncül) Atık Yönetimi (BAY)** olarak bilinmektedir.

BAY, atıkların tanımlanması ve türleri, toplanması ve taşınması, sınıflandırılması, yer seçimi ve düzenli depolama başta olmak üzere, atıkları kaynağında azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım, kompostlaştırma, yakma ve izleme-denetim gibi yöntemleri de içeren birbiri ile entegre bir dizi süreci tanımlamaktadır. BAY, hiçbir atığın ortaya çıkmadığı kapalı döngü modelini hedeflemektedir. Doğada gelişen temel döngülerden yararlanarak BAY geliştirilmektedir. BAY'ın temel süreçlerini oluşturan hususlar aşağıda sıra ile tanımlanmıştır:

Atıkların tanımlanması ve türleri

Yani, atık bir ürünü, günümüz dünyasında yeniden tanımlamak durumundayız. **Atık, üretilmiş bir gerecin tüketilmesi, yıpranması, eskimesi ya da kullanımdan düşmesi sonucu değerini kaybetmiş, insan ve çevre sağlığına zarar vermeden kimi diğer kullanımlar için hammadde/girdi (ikincil hammadde) oluşturmak amacıyla farklı ve yeniden değer kazanan gereçlerin genel adıdır.** Atık ürünün değeri ilk değerine eşit olamaz.

Atık türleri, yukarıda da belirtildiği gibi atık ürünlerin değişik açılardan sınıflandırılmasına dayanır. Örneğin, evsel/sanayi atıkları, ambalaj atıkları, tehlikeli/tehlikesiz atıklar; geri kazanılan/kazanılamayan atıklar (Kâğıt/radyoaktif atıklar); katı/sıvı/gaz atıklar; organik/organik olmayan atıklar; geri kazanılabilir atıklar/nihai atıklar. Nihai atıklar, günümüz koşullarında işlenemeyen-geri kazanılamayan atık türü olup çöplüklerde bertaraf edilen atıklardır. Ayrıca kentsel katı atıklar, evlerden ve ticari kuruluşlardan kaynaklanır. Evsel atık, çöp kutusuna atılan tüm gereçlerdir. Yani kişisel açıdan bakıldığında atık türleri için pek çok terim üretilebilir.

Atık yönetimine dair çalışmalarda atıklar beş temel gruba ayrılmaktadır. Bunlar da sıra ile 1- Evsel atıklar, 2- Ambalaj atıkları, 3- Tehlikeli atıklar, 4- Tıbbi atıklar, 5- Özel atıklar (radyoaktif atıklar gibi...) biçiminde sıralanabilir. Evsel atıklar, idari ve teknik birimlerin büro, oturma odaları, atölyeler, mutfak ve bahçe gibi bölümlerinden kaynaklanan kirlenmemiş atıklardır. Her türlü yiyecek, çimen yaprak ve bitki döküntüleri bu sınıfta yer alır. Ambalaj atıkları ise ürünlerin tüketiciye sunumu için kullanılan ve ürünün kullanılmasından sonra ortaya çıkan kullanım ömrü dolmuş tüm atıkları içermektedir.

Katı atıkların toplanması ve taşınması

Katı atıklar belediyeler tarafından toplanmaktadır. Atıkların toplanması genellikle toplama araçlarıyla ve belediye personeli tarafından yapılmaktadır. En azından aracın bir sürücüsü ve bir yüklenici gerekmektedir. Bu çalışanlar, atığı çöp kutularından alır, atık toplama aracına boşaltır ve geçici ya da nihai depolama alanına götürüp boşaltırlar. Tüm işlemlerin verimli ve güvenli bir şekilde yapılması gerekir. Özellikle, çevrenin ve katı atık toplama personelinin güvenliği son derece önemlidir.

Katı atıkların taşınmasının iyi bir şekilde planlanması gerekir. Örneğin uygun bir güzergâh seçimi bile taşıyıcıya önemli oranda bir kazanç sağlar. Bunun için gerekli olan, aracın güzergâh boyunca her caddeden bir kez geçişini sağlayacak şekilde bir planlamanın yapılmasıdır. Atıkları toplama aracının donanımı eksiksiz olmalıdır. Günümüzde toplama araçları, konteynerleri araca boşaltmak için hidrolik bir kaldıraç ya da mekanik bir kol ile donatılmıştır. Sonuç olarak BAY, atıkların tanımlanıp, toplanmasından taşınmasına değin tüm evrelerde etkin bir biçimde gerçekleştirilmelidir.

Atıkların sınıflandırılması

ABD'nin yasal çevre örgütü EPA (2015) tarafından atıkların listesi yayınlanmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre, atıklar 20 sınıfa ayrılmış, her sınıf alt sınıflara ayrılmış, alt sınıflar da atık türleri özelinde tanımlanmıştır. Atıkların ana sınıfları aşağıda görülmektedir:

01. Arama, madencilik, taş ocaklığı, minerallerin fiziksel ve kimyasal artılmasından kaynaklanan atıklar,
02. Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda ürünlerinin hazırlık ve işlemeden kaynaklanan atıklar,
03. Ağaç işlenmesinden elde edilen atıklar ve panel ve mobilya üretimi, kâğıt hamuru, kâğıt ve karton atıkları,
04. Deri, kürk ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar,
05. Petrol üretimi, doğal gaz arıtımı ve pirolitik işlemlerin yanı sıra kömürden kaynaklanan atıklar,
06. İnorganik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
07. Organik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
08. Kaplamaların üretimi, düzenlenmesi, temini ve kullanımı (MFSU) atıkları (boyalar, vernikler ve camı emayeler), yapıştırıcılar, sızdırmazlık malzemeleri ve baskı mürekkepleri,
09. Fotoğraf sanayi atıkları,
10. Termal kaynaklardan ve süreçlerden ortaya çıkan atıklar,
11. Metallerin ve diğer gereçlerin yanı sıra metalürjiden kaynaklanan atıklar,
12. Metallerin ve plastiklerin kullanımından ileri gelen atıklar,
13. Petrol ve sıvı yakıtların atıkları (yenilenebilir yakıtlar hariç; 05 ve 12 dışında),
14. Organik çözücü atıklar, soğutucu akışkanlar ve iticiler (07 ve 08 dışında),
15. Atık ambalajı; aksisi belirtilmedikçe emiciler, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler
16. Listede aksisi belirtilmeyen atıklar,
17. İnşaat ve yıkım atıkları (kirlenmiş alanlardan kazılan topraklar dâhil),
18. İnsan veya hayvan sağlığı hizmetlerinden ya da ilgili araştırmalardan elde edilen atıklar (mutfak ve acil sağlık hizmetlerinden kaynaklanmayan restoran atıkları),
19. Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden ve endüstriyel kullanım için insan tüketimi ve su için amaçlanan suyun hazırlanmasından kaynaklanan atıklar,
20. Belediye atıkları (evsel atık ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar, ayrı toplanan fraksiyonlar dahildir).

Atıkları doğru olarak sınıflandırılması, toplama, taşıma ve depolama için bir temel oluşturur. Ayrıca, böyle bir çaba, atıkların işlenmesi ve çevre için koruma sağlayan bir şekilde bertarafı için gerekli olup, insan sağlığı ve yasal gerekliliklere uygundur. Bu atık sınıflandırma sistemi Avrupa Birliği (AB) genelinde geçerli olup, tüm ulusal ve uluslararası atık raporlama yükümlülüklerini içerir. Yani EPA'nın (2015) yönetmeliği atıkların nasıl takip edileceğine dair bir rehberlik sağlamaktadır. Ayrıca, bu belge, 2002 Avrupa Atık Kataloğu ve Tehlikeli Atık Listesinin ve Tehlikeli Atık Sınıflandırma çerçevelerinin yerini almaktadır. Bu çerçevede, öncelikle tehlikeli olmayan, tehlikeli (yıldız işareti ile işaretlenmiş) ve tehlikeli ya da tehlikesiz atıkların ayırt edilmesi gerekmektedir.

Yönetmelik, Avrupa ülkelerinde daha kapsamlı değişikliklerin öngörülmesi halinde, güncellenecektir. Genel sistemin akış şeması ve tehlikeli olup olmadıklarına dair gerekli adımlar tanımlanmıştır. Gerekli adımlara dair akış şeması da özetlenmiştir (EPA, 2015).

Yer seçimi

Deponi alanları yer seçiminde gözetilmesi gereken faktörler tanımlanmıştır (Şimşek ve diğerleri, 2017). Bu çerçevede, katı atık yönetimi bazı temel aşamalardan oluşmaktadır: (I) Atık envanterine dair çalışmanın yapılması, (II) Alternatif depolama yerlerinin seçimi, (III) En uygun yer seçiminin belirlenmesi, (IV) Depolama yeri ayrıntılı jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi, (V) Depolama tekniği ve projelendirilmesinin yapılması, (VI) Uygulama sırasında denetim ve danışmanlık, (VII) İşletme sırasında denetim ve danışmanlık. Bu temel aşamalarda izlenecek ayrıntılar ise aşağıda sunulmuştur:

I. Atık envanteri

- a) Atıkların geri kazanımının teşvik edilmesi
- b) Depolanacak atıkların özelliklerinin belirlenmesi (evsel, endüstriyel)
- c) Atık miktarının belirlenmesi
- d) Bertaraf yöntemleri (yakma, düzenli depolama vb.)

II. Alternatif depolama yerlerinin seçimi

- a) Jeoloji
- b) Hidrojeoloji
- c) Koruma alanları
- d) Yerleşim alanlarına uzaklık
- e) Morfoloji
- f) Taşkın, heyelan ve çığ alanları

Sonuç: Uygun bölgelerde alternatif alanların belirlenmesi

III. En uygun yer seçiminin belirlenmesi

- a) Kayatürü özellikleri
- b) Tektonik özellikler
- c) Hidrojeolojik özellikler
- d) Jeoteknik özellikler
- e) Tesis suyu
- f) Ulaşım
- g) Toprak sınıfı ve sahanın mevcut kullanımı
- h) Görünüm ve toplumsal kabul

Sonuç: En uygun depolama yerinin seçilmesi

IV. Depolama yeri ayrıntılı jeoteknik özellikleri

Arazi çalışmaları

Mühendislik jeolojisi harita ve kesitleri (1:500-1:000)

- a) Sondaj
- b) Jeofizik
- c) Geçirimsizlik (Permeabilite) deneyleri
- d) Taşıma gücü hesabı

Laboratuvar Çalışmaları

- a) Tane boyu dağılımı
- b) Geçirimsizlik deneyleri
- c) Sıkışma (Kompaksiyon) deneyleri

Denetim Sistemlerinin Yerleştirilmesi

- a) Yeraltı suyu akım yönü yönünde gözlem kuyuları
- b) Suların kimyasal analizleri
- c) Su bilançosu

Sonuç:

- a) Doğal geçirimsizlik yeterli
- b) Yapay geçirimsizlik elementleri gerekli

V. Depolama tekniği ve projelendirilmesi

- a) Depolama tekniği (yeraltı, yerüstü)
- b) Deponi suyu (sızıntı suyu)
- c) Deponi gazı
- d) Kontrol sistemi

VI. Uygulama sırasında denetim ve danışmanlık

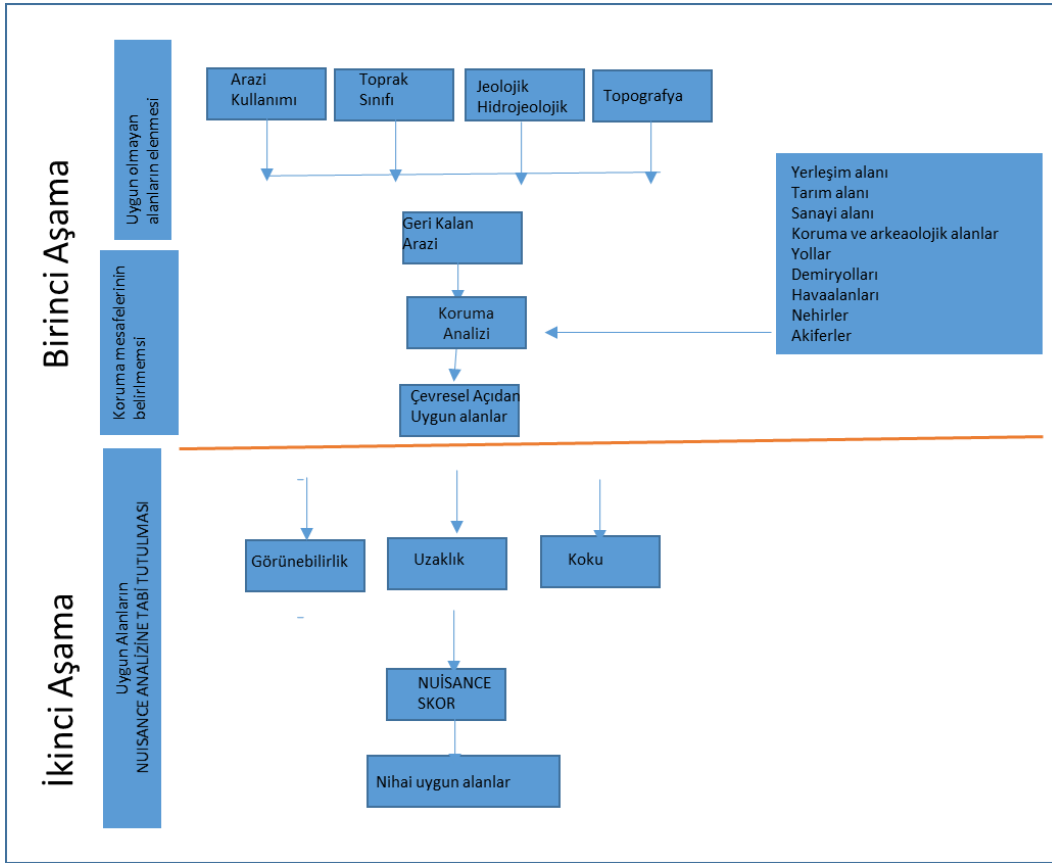
VII. İşletme sırasında denetim ve danışmanlık

Yukarıda da görüldüğü gibi alternatif alanların depolama tesisi inşasına uygunluğunu belirlemek için gözetilmesi gereken pek çok faktörler vardır (Karagüzel vd, 2003; Karagüzel ve Mutlutürk, 2005; Sener ve diğerleri, 2006; 2009). Bu faktörlerin bazılarının tekrar vurgulanmasında yarar vardır:

- Arazi kotu, en yakın yerleşim yerine uzaklık, kent merkezine uzaklık, kullanılacak yolun kamyon taşımacılığına uygunluğu,
- Şehir imar planı ile ilişkisi, sahanın çevreden görünümü, trafik durumu, sahanın mevcut kullanım şekli ve sahibi, toprak sınıfı depolama kapasitesi,
- Taşkın tehlikesi, heyelan riski, çığ riski, işletme ve kamyon temizliği için gereken su gereksinimi, yüzey sularının (kaynak, dere) kirlenme riski,
- Jeolojik yapı, hidrojeolojik durum, yüzey ve yeraltı suyu hareket yönü, sahanın çevre koruma alanları ile ilgisi,
- Temel kaya/zemin doğal geçirimsizliğin yeterliliği, doğal geçirimsizliğin yetersiz olması durumunda, geçirimsiz kil malzemenin nereden temin edileceği, kilin rezervi ve uzaklığı,
- Sızıntı suyu drenajı, arazi eğimi, sızıntı suyu berterafı, arıtma yöntemi, gaz drenajı ve bertaraf yöntemi, deponi örtü malzemesi temini (kil, bitkisel toprak), denetim sistemleri, toprak, hava kirliliği gözlemleri.

Yukarıda sunulan faktörler doğrultusunda yer seçimi yapılan aday sahalara NIMBY sendromu denilen **'halk tepki analizi'** nin de yapılması gerekmektedir. Bu konuda Şimsek ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada, yukarıda belirtilen ölçütlere göre seçilen aday sahalara NIMBY sendromu analizine tabi tutulmuştur. Burada, insan tepkisini çeken ve çevreye atık sahasından koku, görünebilirlik ve uzaklık ölçütleri kullanılarak insan tepkisinin az olacağı nihai yer seçimi süreci uygulanmıştır.

Şekil 3'de yer seçimi süreci akım şeması görülmektedir. Ülkemiz genelinde yer seçim ölçütlerine göre aday sahalardan insan tepkisi nedeni ile uygulamaya geçilememesi durumunu ortadan kaldırmak için, aday sahalara insan tepki analizinin de uygulanmasıyla zaman kazanmak ve uygulama süresinin kısılması mümkündür.



Şekil 3. Yer seçimi süreci akım şeması (Şimşek ve diğerleri, 2014).

Yer seçimi ölçütleri, bir deponi alanının yerinin belirlenmesinde çok önemlidir. Deponi alanının yerinin belirlenmesinde en önemli unsurlar, jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer fiziksel unsurlardır. Bu unsurlar değerlendirilirken özellikle *topoğrafik yapı, kayatürü, stratigrafik ve tektonik özellikler, yeraltı suyu düzeyi, yüzey ve yeraltı suyu akış sisteminin konumu, yağış miktarı ile jeoteknik değişkenlerin* gözetilmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi, atıkların ve atıklardan kaynaklanan sızıntı suyunun denetimiyle ilgili çalışmalara da katkı sağlar.

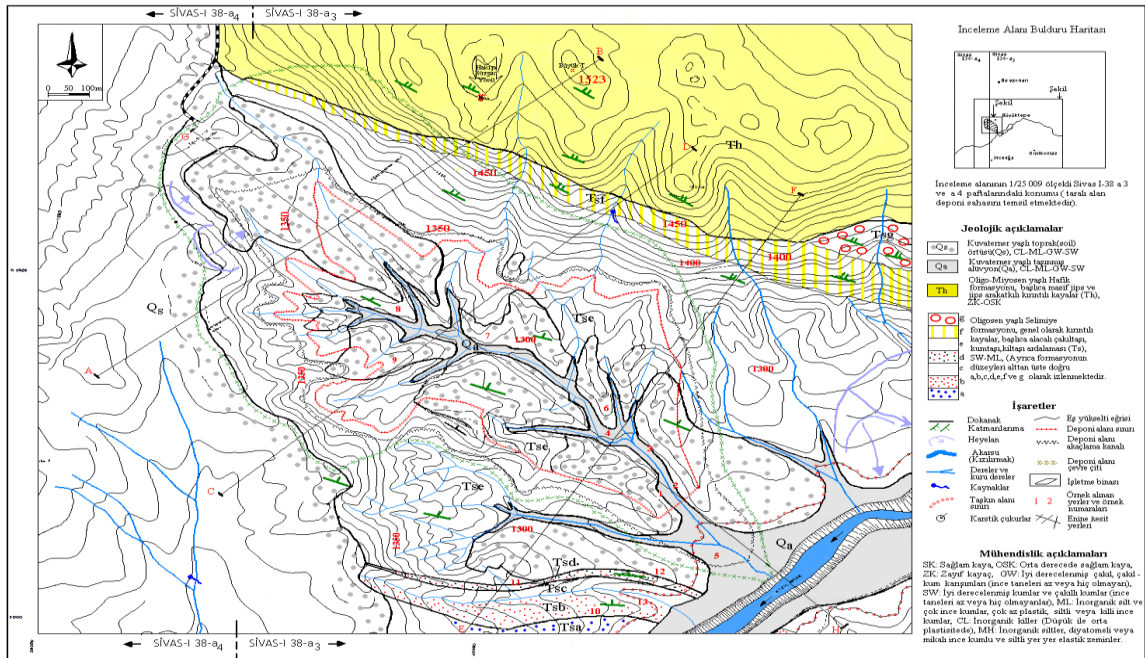
En iyi deponi alanları, az miktarda sızıntı suyunun olduğu, uzaklaştırma koşullarını kısmen güvenli olduğu kuru bölgelerdir. Nemli bir ortamda her zaman biraz sızıntı suyu oluşur. Bu nedenle uygun bir sızıntı suyu oluşumu için uygun bölgelere deponi alanları kurulur. Yerel su kullanımı, yerel koşullar ile birlikte kabul edilebilir değişikliklerin ne olduğu ve doğal hidrolojik sistemlerin sızıntı sularını zararsız hale getiren bileşenlere ayırır.

Geçirimsiz olan killi ve siltli topraklar, yeraltı suyu düzeyinin üst kısmında örtü olarak kullanılır. Deponi alanındaki sızıntılar, kil ile sızıntı suyu arasındaki doğal süzülme (filtrasyon) ve kimyasal reaksiyonlar yoluyla azaltılır. Bu da genellikle nemli bölgelerde yüksek su düzeyi koşulları için geçirimsiz gereçlerle sağlanır.

Özetle, düzenli deponi alanlarının yer seçiminde aşağıdaki temel unsurların da dikkate alınmasında yarar vardır:

- Kireçtaşları ya da son derece kırıklı ve eklemlili kayaların yer aldığı taş ocakları, kumtaşı ve çakıltaşının yaygın olduğu maden ocakları, deponi alanları için uygun değildir. Çünkü bu kayatürleri suyun iyi süzülebildiği akiferlerdir.
- Bataklık bölgeler de suyun akaçlaması iyi yapılmazsa, deponi alanları için uygun yerler haline getirilemez.
- Kuru kalması sağlanabilirse kil ocakları uygun alanlardır.
- Düz ve yüksek arazilerde, deponi alanının altına yada herhangi bir akiferin üzerine serilen kil gibi geçirimsiz bir örtü malzemesi ile uygun deponi alanları haline getirilebilir.
- Yüzey sularıyla belirli aralıklarla taşkına uğrayan taşkın ovaları atıkları uzaklaştırmak için uygun alanlar değildir.
- Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu ve geçirimli bir zemin, deponi alanı için uygun bir yer değildir.
- Engebeli topoğrafyada en uygun alanlar, yüzey sularının en az olduğu çukurların üst kesimleridir.

Bir deponi alanı seçildikten sonra, olası sorunları gözeterek, örneğin üzeri örtülmüş çöpten sızıntı suyunun hareketini öngörerek ve örnekleme amacıyla acil bir eylem planı hazırlanmalıdır. Böyle bir eylem planının sağlıklı bir jeolojik bilgiye dayanması zorunludur. Aksi halde, ortaya çıkması olası bir sorunun denetiminde jeolojik bilgiden yararlanamaz. Şekil 4'de Sivas ili deponi alanının yerel ve projeye özgü jeoloji haritası görülmektedir. Bu haritada yüzey sularının dağılımı, jeolojik birimlerin hidrojeolojik ve mühendislik özellikleri genel olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, kuyu verilerinden yararlanarak yeraltı sularının konumu da belirlenmiştir. Daha sonra jeofizik yöntemlerden de (Özel ve diğerler, 2017) yararlanarak deponi alanının sızıntı suları ile yer altı suları ve yüzey suları ile ilişkileri izlenmiştir.



Şekil 4. Sivas ili deponi alanı dolayının ayrıntılı mühendislik jeolojisi haritası (Yılmaz ve Atmaca, 2004; 2006).

Düzenli depolama

Düzenli depolama, katı atıkların nihai bertarafında en önemli seçenektir. Dolayısıyla bu seçeneğin geliştirilmesi zorunludur. Düzenli depolama genel olarak katı atıkları karada bir araziye boşaltarak ya da okyanusa dökerek yapılmaktadır. Her iki durumda da yer seçimi belirleyicidir. Dolayısıyla bir düzenli deponi alanının, ekolojik çevre ile birlikte halk sağlığı ve güvenliği açısından bir soruna veya tehlikeye yol açamayacak biçimde atıkları uzaklaştırmak üzere yer seçimi, tasarımı ve planlanması yapılmalıdır (Yılmaz, 2008).

Düzenli depolama sahaları, ÇED yönetmeliği çerçevesinde yer seçimi ile tasarımı yapılan ve işletilen mühendislik yapılarıdır. Yeraltı suyunun kirlenmesini önlemek için tabanında geçirimsiz katmanların olduğu bir yer seçilmelidir. Bu tür yerleri bulmak kimi zaman güçtür. Dolayısıyla çoğu zaman seçilen yerin ÇED koşullarını karşılayacak şekilde tasarımı yapma gereksinimi vardır. Atığı tasarımı yapılmış olan topraklara (hücrelere) dökmek ve günlük olarak ağır iş makineleri ile sıkıştırıp üstünü örtü toprağı ile örtmek gerekir.

Deponi sahalarına döküm için alınan ücretler çöpün ağırlığına ya da kimi durumlarda hacmine göre belirlenir. Yeraltına gömülen organik gereçler önce aerobik, daha sonra da anaerobik olarak ayrışır. Anaerobik ayrışma sırasında metan, CO₂ gibi gazlar ve sızıntı suları ortaya çıkar. Bu gazların da sera etkisi oluşturan gazlar olduğu unutulmamalıdır.

Düzenli deponi alanlarının tasarımı

Deponi alanlarına uygun yerler bulmak bazen mümkün değildir. Bu gibi durumlarda yer düzenli depolamaya uygun hale getirmek gerekir.

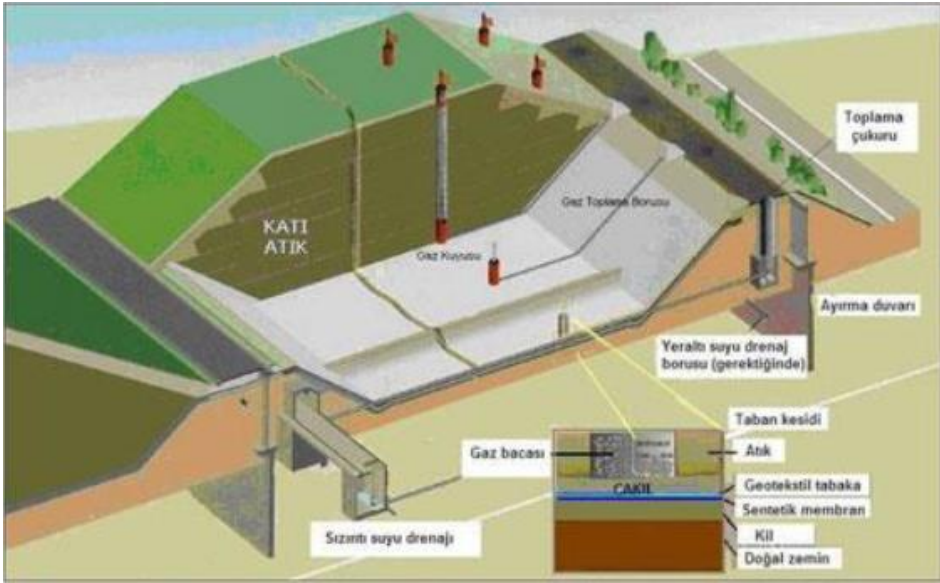
Düzenli deponi alanı, sadece zemin geçirimsizlik sisteminin yapılmasından da ibaret değil, ek üniteler ile desteklenmesi gereken bir yapıdır. Ayrıca deponi alanı, değişen teknoloji ile uyumlu olmalıdır. O halde düzenli depolama alanında verimli bir işletme yapılabilmesi için öngörülen bazı hazırlıkları önceden yapmalı ve ilgili üniteler (Çizelge 3 ve Şekil 5 ve 6) yapım aşamasında kurulmalı, işletme ve sonraki aşamalarda da düzenli denetlenmelidir (TBB, 2014).

Çizelge 3. Düzenli depolama alanında olması gereken üniteler (TBB, 2014).

1. Sahaya giriş çıkışların kontrol edildiği bekçi kontrol noktası	12. Otopark
2. Sahaya gelen tüm atıkların tartılması amacıyla kantar ve personeli için kantar binası	13. Tüm sahayı çevreleyen tel çit
3. Sahada çalışacak personelin yemek, temizlik ve barınma ihtiyacı için sosyal tesis	14. Tüm sahayı çevreleyen yüzey suyu toplama kanalları
4. İdari bina	15. Yer altı suyu kirliliğini kontrol etmek amacıyla en az üç adet gözlem kuyusu
5. Sahaya girip çıkan araçların temizlenmesi için tekerlek yıkama ünitesi	16. Depolama alanı
5. Araç tamir ve bakım atölyesi	17. Sızıntı suyu toplama drenaj sistemi
7. Jeneratör binası	18. Sızıntı suyunun toplandığı lagünler
8. Yangın ve kullanma suyu deposu	19. Sızıntı suyu arıtma tesisi
9. Ambalaj atıkları toplama ve ayırma tesisi	20. Gaz toplama sistemi bacalar, menholler, manifoldlar,
10. Sahaya giren çıkan araçların kullanacağı Yollar	21. Enerji üretim veya gaz yakma sistemi
11. Atıkların sıkıştırılmasında kullanacak araçların kullanacağı yollar	



Şekil 5. Deponi alanının hazırlanması ile ilgili yapılan hazırlıktan bir görünüm (TBB, 2014).



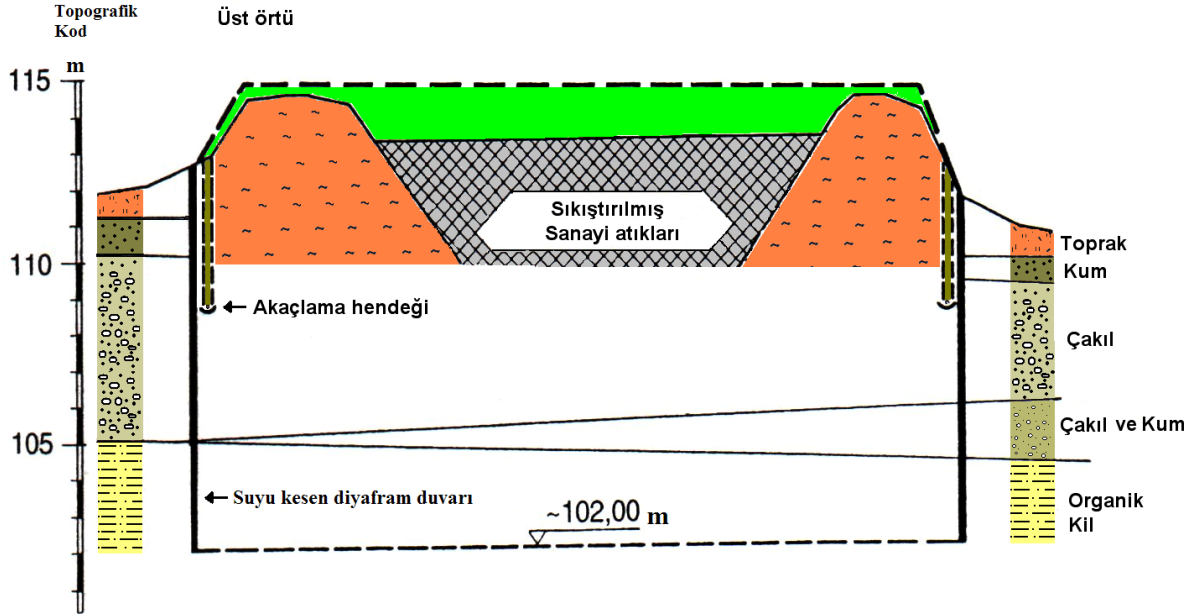
Şekil 6. Bir deponi alanının yapay tasarımına dair bir görünüm (TBB, 2014).

Yukarıda sunulan ünitelerden bazıları işletme başladıktan sonra da yapılabilir olmasına rağmen diğer bertaraf yöntemleri ile kıyaslama yapıldığında tüm üniteler yapılacakmış gibi düşünmek maliyeti doğru değerlendirmek açısından yararlı olacaktır.

Deponi alanının tabanını oluşturmak üzere kullanılan yapay malzemelerin en azından doğal killerin özelliklerini karşılanmalıdır. Yani yapay malzemelerin **geçirimsizlik katsayısı $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s** ve **en az 5 m kile eşdeğer kalınlıkta** olmalıdır. Nihai **geçirimsizlik katsayısı $k = 1 \times 10^{-4}$ m/s olmalıdır.**

Aynı zamanda deponi alanının tabanında dren boruları, ana toplayıcılar ve bacalardan oluşan bir sistem inşa edilmelidir. Böylelikle oluşan sızıntı suları, geçirimsiz katmanın üzerine döşenen akaçlama (drenaj) sistemi ile uzaklaştırılabilir.

Deponi alanlarının tasarımına dair gelişmeler son yıllarda çeşitli önerilerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Kayda değer önerilerden biri de **Kuru Gömme (Drydep) Tekniği**'dir. Bu teknikte jeolojik bilginin olanca ayrıntılarından yararlanmak gerekmektedir. Kuru gömme tekniği ile ilgili uygulamalar son zamanlarda benimsenmektedir (Greschick ve Gâlos, 1998; Yılmaz, 2009). Bu yöntemin ana ilkesi toplanmış olan atığın çözünmesine meydan vermeden, jeolojik bilgiden de yararlanarak kuru olarak uzaklaştırılmasıdır (Şekil 7).

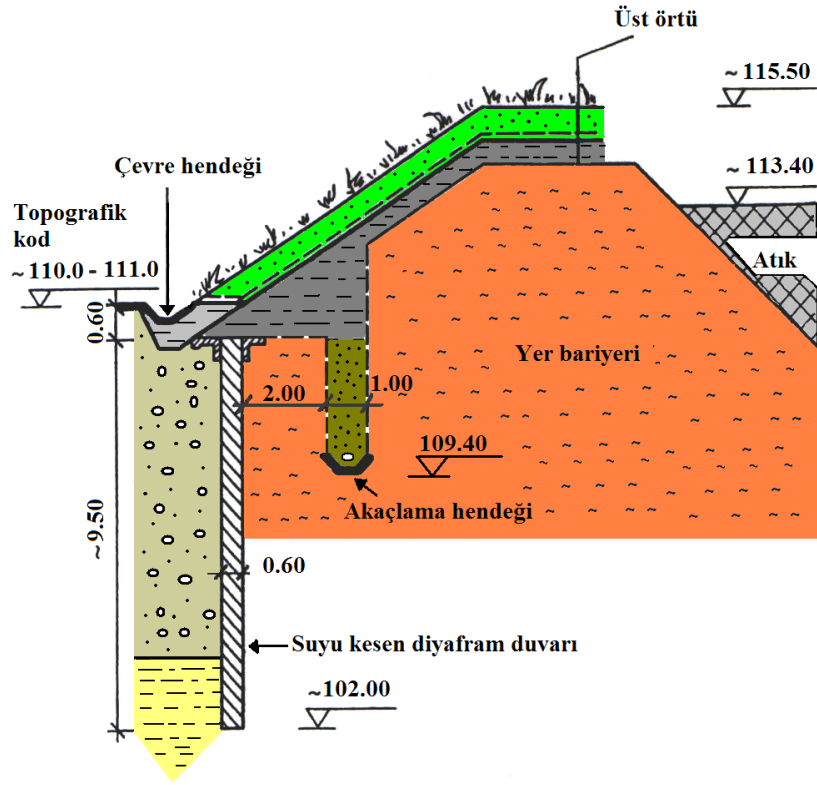


Şekil 7. Sanayi atığının yer aldığı bir deponi alanının enine kesiti. Kuru gömme (Drydep) tekniğinin temel yapıları görülmektedir (Greschick ve Gâlos, 1998).

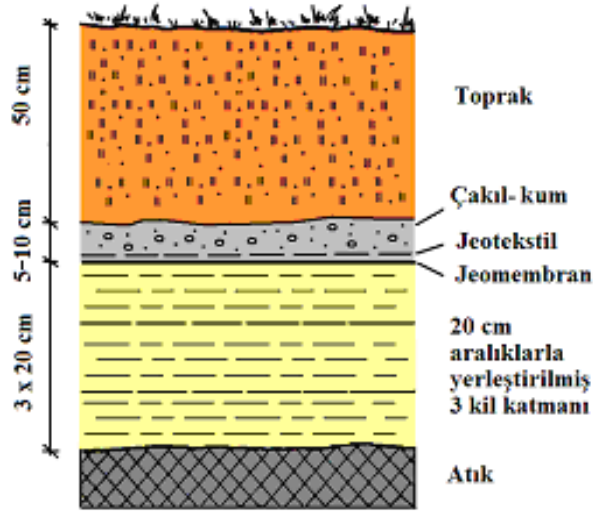
Ayrıca bu yöntemde deponi yerlerinin kenarları, suyu geçirmeyen ya da suyu kesen diyafram duvarları çevrilmekte (Şekil 7) ve uygun bir örtü ile örtülmektedir (Şekil 8). Örtü de alttan üste doğru başlıca sıkıştırılmış kil katmanlarından, HDPE jeomembran, jeotekstil, çakıl-kum ve en üste topraktan oluşur (Şekil 9). Örtüden süzülen sular çevre akaçlama hendeğine ulaşır.

Çevre hendeğinin yanında ve deponi alanı tarafında, su geçirmeyen bir diyafram yer alır (Şekil 7 ve 8). Bu diyafram, atıkların ve atıklara ait sızıntı sularının yan kayalarla ve daha alttaki katmanlarla olan ilişkisini kesmektedir.

Ortalama 9,5 m derinliğindeki diyafram en alta kil katmanı ile sınırlıdır. Diyafram duvarının iç tarafındaki akaçlama hendeğinin kullanılmasını da öngören bu tasarım, yeraltı su düzeyini atıklardan süzülen sulardan korur. Akaçlama sistemini tabanındaki ya da bunun dış tarafındaki yeraltı su düzeyleri yılın birkaç haftasında yükselebilir. Ancak, akaçlama hendeğinde biriken su, artma tesisine pompalanır ve orada da artılır. Böyle bir yapı için deponi alanında yeraltı su düzeyini ve deponi alanı sızıntı sularının kimyasal bileşimi izlemek ve denetlemek üzere bir bilgisayarlı monitör sistemini tasarlamak ve yerleştirmek gerekmektedir.



Şekil 8. Bir deponi alanında çevre hendegi, akaçlama hendegi ve suyu kesen diyafram duvarını kesen enine kesiti. Şekil 4'ün sol üst kenarının daha ayrıntılı görünümü (Greschick ve Gâlos, 1998).



Şekil 9. Örtü gerecinin katmanlarını gösteren kesit (Greschick ve Gâlos, 1998).

Düzenli depolama alanlarının zemin geçirimsizlik sisteminin yapılması son derece önemlidir. Bu sistem, atıkların kabulünden başlamak üzere, lotun ömrü boyunca pek çok veriyi içermektedir. Bu nedenle kaynak testleri başta olmak üzere hemen her aşamada geçirimsizlik denetlenmeli, raporlanmalı, yazılı ve elektronik olarak mutlaka kayıt altına alınmalıdır. Geçirimsizlik sisteminin nasıl yapılması gerektiği, mekânın kendine özgü yapısıyla ilişkilidir.

Deponi alanlarının işletilmesi

Düzenli depolama alanının işletilmesinin sağlıklı yürütülmesi, atık yönetiminin etkinliğinde ve verimliliğinde çok önemlidir. Dolayısıyla, işletme aşamasının hazırlık evresinde, iyi bir planlama göz ardı edilmemelidir. Öncelikle, işletmenin belediyenin kendi imkânlarıyla mı yapılacağına ya da hizmet alımı şeklinde mi yapılacağına karar verilmelidir.

Genel kabul, işletmenin taşeron eliyle yürütülüp belediyelerin denetim ve izleme sürecini yürütmesi şeklindedir. Böylelikle depolama alanı başta Belediye denetim ekibi, İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü ve belirli dönemlerde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı taraflarınca denetlenerek daha sağlıklı bir yönetim sağlanmalıdır. Hizmet kalitesi artırılarak projelendirilme aşamasında varsayılan geri kazanımların sağlanması ve kaynakların etkin yönetimi gerçekleştirilmelidir.

Genel olarak atıklar ara depolama alanlarında çok bekletilmeden nihai depolama alanlarına yönlendirilir. Deponi alanı nihayet bir işletmedir. İşletme söz konusu ise öncelikle bir işletme planının oluşturulması gerekir. İşletme planında aşağıdaki hususlara açıklık getirilmelidir:

1. İşletme planında tesiste sorumlu personelin adı, unvanı ve görevleri,
2. Tesiste kabul edilecek atıkların türü ve bertaraf kapasitesi,
3. Atıklara uygulanacak bertaraf yöntemleri,
4. Atıkları taşıyan araçların park edileceği, atıkların yükleneceği ve boşaltacağı sahalarla ilgili bilgiler,
5. Acil eylem planları ve ilgili sorumlu personel,
6. Tesisin çalışma saatleri,
7. Deponi alanına giren araçların tekerleklerinin yıkama banyosundan geçirilmesi.

Nihai depolama alanlarında çalışanların dikkat etmesi gereken hususlar da aşağıda sunulmuştur:

Atıkların ve tehlikeli atıkların denetimi yönetmeliklerinde öngörülen sınır değerlerini aşmayacak şekilde atıkların depolanması, Atıkların %65'den fazla su içermemesi, Gaz çıkışları için gerekli önlemlerin alınması, Dolgu işlemi tamamlandıktan sonra yüzeysel su geçirmeyecek şekilde sızdırmazlığın sağlanması (Şekil 3B' de görüldüğü gibi), Tarım amaçlı toprak örtünün en azından 1m, ya da daha kalın olmasına dikkat edilmesi, Sızıntı suyu analizleri yapılmalı ve SKKY' ne göre değerlendirme yapılması ve sonuçların uygulanması, Özellikle inşaat dönemi için emisyon denetimlerinin yapılması, Bir lotun kullanımı tamamlamak üzere iken diğer lotun hazırlanması.

Sonuç olarak deponi alanlarının yer seçimi, tasarımı ve işletilmesi birbirini tamamlayan ve atıkların yönetiminde katkı sağlayan süreçlerdir.

Sızıntı suyu sorunu

Bir düzenli deponi alanından kaynaklanan en önemli tehlike, yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenmesidir. Eğer bir düzenli deponi alanında üzeri toprakla örtülmüş atık, yüzeyden aşağı süzülen su ya da çöpün içinden geçen yeraltı suyu ile temas ederse tehlikeli ve mineralce zengin olan sızıntı suyu bakteriyel kirliliğe neden olur. Bir deponi alanında, ortaya çıkan sızıntı suyunun etkileri, atığın bileşimine, süzülen ya da atık içinde hareket eden suyun miktarına ve süzülen suyun çöple temas süresine bağlı olarak değişmektedir. Sızıntı sularının yayılımı konusunda jeofizik yöntemlerin katkısı son

derece önemlidir (Özel ve diğerleri, 2017). Jeofizik yöntemlerle varılan sonuçlar sondaj verileri ile test edilebilir.

Meksika'nın Yucatan Eyaleti'ndeki bir **Tehlikeli Atık (TA)** arıtma tesisi ile deponi alanının yer seçimi, **Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)** sistemi ve **Çok Değişkenli Analizler (ÇDA)** gözetilerek gerçekleştirilmiştir. Tehlikeli atık tesisinin yer seçimi jeneratör ve arıtma tesisi arasındaki mesafeye ek olarak, bitki örtüsü, zeminin türü, ulaşılabilirlik, yerleşim birimlerine olan uzaklık, tarım yapılan çiftliklerin sınırlarıyla ilgili tüm bilgiler CBS ve çok değişkenli analizler ışığında değerlendirilmiştir. Deponi alanı ise kaçınılmaz biçimde ortaya çıkan ve arıtılmayan TA'ların uzaklaştırılması için düşünülmüştür. En uygun yerleri belirlemek üzere Meksika'nın Resmi Norm NOM-055-SEMERNAT-2003 ölçütleri gözetilmiştir. Sonuç olarak, TA arıtma tesisi için Eyaletin merkezi yerinin, TA deponi alanı için ise Eyaletin güneyinin en uygun seçenekler olabileceği öngörülmüştür (Sauri-Riancho ve diğerleri, 2011).

Bir deponi alanında, ortaya çıkan sızıntı suyunun etkileri, atığın bileşimine, süzülen ya da atık içinde hareket eden suyun miktarına ve süzülen suyun çöple temas süresine bağlı olarak değişmektedir.

Deponi alanı performansının hidrolojik değerlendirilmesi

Sızıntı suyunun değerlendirilmesi ve hesaplanması amacıyla su dengesine dair eşitliklere başvurulabilir. İşletilen alanlarda su sızıntısının olası yıllık miktarını kestirmek amacıyla aşağıdaki denklik kullanılabilir (Depountis ve diğerleri, 2009):

$$L_o = I - E - \alpha * W$$

L_o : Alanın düzenlenmesinden sonra alanda tutulan sızıntı suyu miktarı $m^3/yıl$ olarak

I : Alana toplam su girişi, $m^3/yıl$

E : Buharlaşma miktarı, $m^3/yıl$

α : Katı atık emme kapasitesi, m^3/ton

W : Alanda depolanan atığın yıllık miktarı, $ton/yıl$

Deponi alanı performansının hidrolojik değerlendirmesi için daha iyi ve daha kesin bir tahmin HELP modeli kullanımıyla gerçekleştirilmektedir. EPA tarafından geliştirilen HELP modeli (ver.3,07) çeşitli alanlarda kullanılmıştır (Depountis ve diğerleri, 2009).

Ayrıca, deponi alanlarında biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de kullanılabilir. Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Deponi alanlarında bertaraf edilen evsel atıklardan ortaya çıkan metan gazı da elektrik üretiminde kullanılabilir. Biyogaz tesisleri, çeşitli türde organik atıkların bertaraf edilebileceği bir yapıda tasarlanmalıdır. Yerel yönetimler, el birliği ile bu konuda yapılacak tesisler için çeşitli teşvikler sunmalıdır.

Kirliliğin çevreye yayılması ve izlenmesi

Düzenli bir deponi alanı için yer belirlendiğinde işletmeye başlamadan önce, yeraltı suyunun hareketi izlenmeye alınmalıdır. Bu izleme, özel olarak tasarlanmış kuyulardan belirli aralıklarla alınan su ve gaz örneklerinin incelenmesi ile yapılmaktadır. Sızıntı suyu ve gaz hareketinin izlenmesi, herhangi bir kirlilik kalmayana kadar sürdürülür. Bu denetim, özellikle saha tümüyle dolduktan sonra da önemlidir. Deponi alanları dolduktan sonra da izlemenin devam etmesi gereklidir. Küçük çöküntülerde yüzey suyu toplanabilir, süzülebilir ve sızıntı suyu oluşabilir. Terk edilmiş bir deponi alanının özel olarak bakımı ve izlenmesi onun kirlilik oranını azaltır.

Bir katı atık uzaklaştırma alanından tehlikeli atıklar çevreye altı yolla yayılmaktadır.

1. Metan, amonyak, hidrojen sülfür ve azot oksit gibi çeşitli gazlar topraktan ve atıktan ortaya çıkabilir ve atmosfere yayılabilir.
2. Kurşun, kadmiyum ve demir gibi ağır metaller toprakta birikebilir.
3. Klorür, nitrat ve sülfat gibi su da çözünebilen gereçler atığın ve toprağın içinden kolayca yeraltı suyu sistemine geçebilir.
4. Sızıntı suyu yüzeyden akıp gidebilir, derelere ve nehirlere taşınabilir.
5. Atık uzaklaştırma alanında yetişen bazı bitkiler, insan ve hayvanların onları yiyecek olarak kullanması sonucu besin zinciri yoluyla geçebilen ağır metalleri ve diğer zehirli maddeleri seçimli olarak bünyelerine alabilirler.
6. Tarlada ekinlerden artan bitkiler, zehirli maddeler içeriyorsa, bu gereçler toprağa geri dönebilir.

Çağdaş ve sağlıklı deponi alanları sızıntı suyunun hareketini sınırlayacak kil ve yapay bariyerler, sızıntı suyunu toplayacak yüzey ve yeraltı suyu drenaj sistemlerini, atık ayrıştırma alanının yakınında ve altında sızıntı suyu akışını denetleyecek yer altı suyu sistemlerini içerecek biçimde projelendirilmelidir. Şekil 10'da başka bir tasarıma dair örnek yapılar görülmektedir (Botkin ve Keller, 1995).

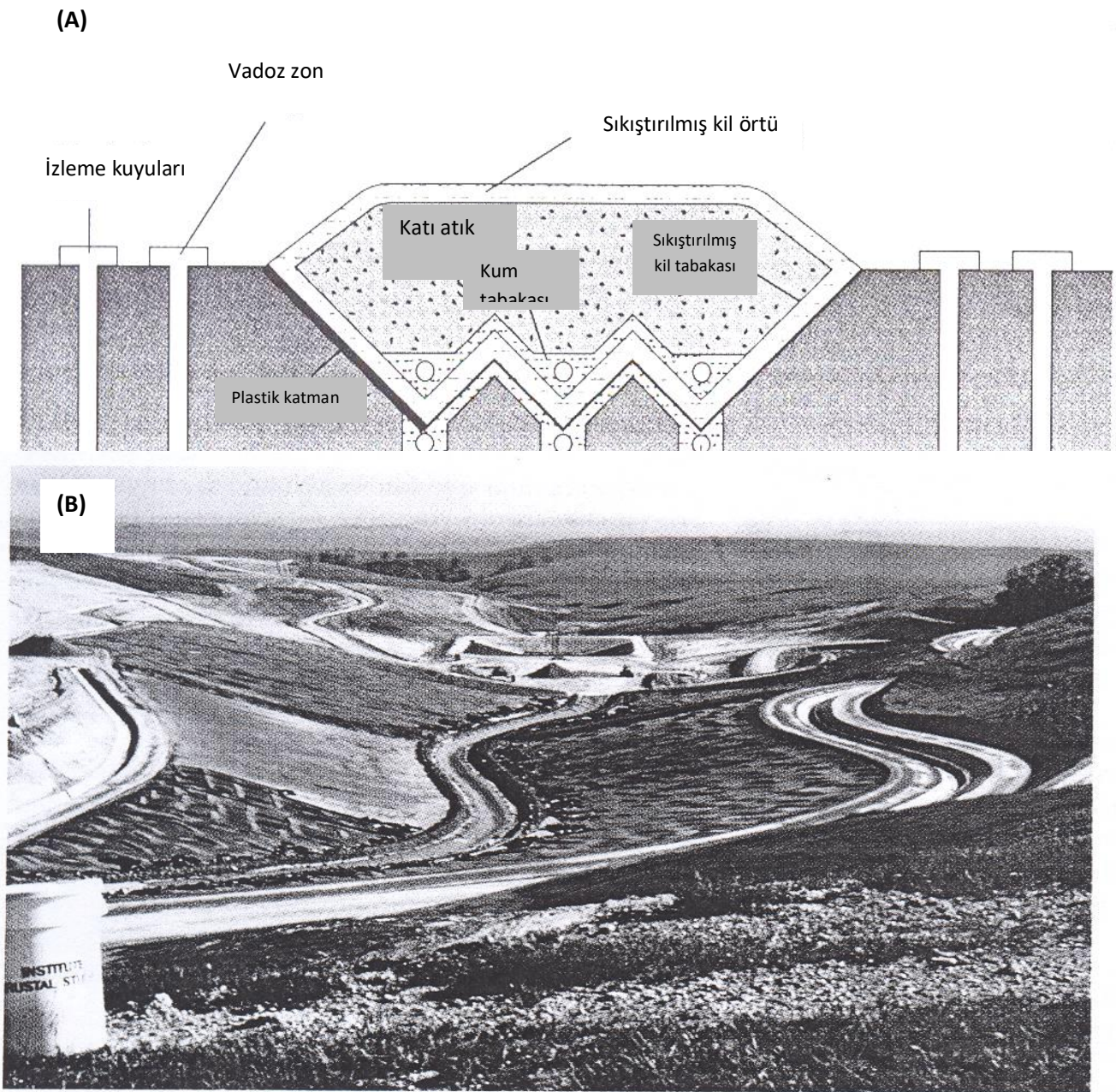
Şekil 10(A)'da düzenli bir deponi tesisinin enine kesiti ve çeşitli katmanların (çoklu bariyerlerin) tasarımına ve izleme sistemi ile sızıntı suyu toplama sistemine dair yapılar görülmektedir.

Şekil 10(B)'de ise California, Calaveras Conty, Rock Grek deponi alanının inşaat döneminden bir görünüm sunulmuştur. Bu dönemde, yani çağdaş bir deponi alanının inşaat aşamasında çeşitli çoklu bariyerler (engeller) hazırlanmalıdır. Bu kentsel katı atık deponi alanının tabanı, sıkıştırılmış bir kil tabakası ile örtülmüştür (Fotoğrafın sol üst kısmında gösterilen ortadaki açık renkli eğimli alan).

Açık renkli eğimli kısımlar, sıkıştırılmış kil tabakasının üzerine serilen çakıllı malzemelerdir. Burada kildeki nemi tutmak üzere tasarlanmış çeşitli bariyerler de vardır. Bu bariyerler, kil tabakasında çatlaklar oluşmasını önlemeye katkı sağlar. Kıvrımlı kül rengi olan bölüm, yapay malzemeleri temsil etmektedir.

Deponi alanları için perdeler sızıntı suyu toplama sisteminin bir parçasıdır. Kazılmış havuzlar (fotoğrafın üst kısmı) inşaat aşamasında sızıntı suyunu buharlaştıran havuzdur. Deponi alanı, sızıntı suyu toplama sisteminin alt kısmındaki vadoz zonu izleyen bir sistemle donatılır (Botkin ve Keller, 1995).

Kirlenmelerin çevreye yayılmasında etkin olan süreçleri izleme programı, başından sonuna kadar yapılandırılmalıdır. Uygulamada tüm yöntemlerin denetlenmesi mümkün değildir. Özellikle potansiyel kirlilik sorunlarının yeraltı suyuna ulaşması ve temas etmesinden önce belirlenmesi ve vadoz zonda bulunan suyun izlenmesi önemlidir. Çünkü vadoz zonda oluşan kirliliğin giderilmesinin maliyeti çok yüksektir.



Şekil 10. (A) Düzenli bir deponi tesisinde çeşitli katmanların (çoklu bariyerlerin) tasarımına dair görünüm, (B) California, Calaveras Conty, Rock Grek deponi alanının inşaat dönemi (Botkin ve Keller, 1995).

Atıkların kaynağında azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım

Bütünsel atık yönetiminin önemli terimleri, kaynağında azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanımdır (Yılmaz, 2008). Bu kavramların temel hedefi, deponi alanlarında, yakma tesislerinde ve diğer atık yönetim tesislerinde zararsız hale getirilmesi gereken kentsel ve diğer atıkların miktarını olabildiğine azaltmaktır.

Kaynağında azaltma ya da kaynağında uzaklaştırmada, kullandığımız ve sonunda atmak zorunda kalacağımız şeyleri dikkatlice seçmek öncelikli bir adımdır. Örneğin alışveriş merkezlerinde zorunluluk olmadıkça poşet istememek de iyi bir alışkanlıktır. İlk bakışta böyle bir etkinliğin kişisel bir yararı yoktur. Ancak böyle bir alışkanlık tekrarlanırsa ve toplumsal bir etkinliğe dönüşürse yararı tartışılmaz. Posta ile ve zarfla aldığımız birçok bilgiyi e-posta ile almak günümüzde mümkündür. Bu işlemlerin de büyük oranda kâğıt tüketimini azalttığına kuşku yoktur. Keza uzun ömürlü araç lastiğini almanın da tüketimi azaltacağını söyleyebiliriz.

Kentsel bölgelerde yaygın bir uzaklaştırma yöntemi, mutfak yiyeceği atıklarının mekanik öğütücülerde öğütülmesidir. Çöp yok etme makineleri, mutfak lavabolarının atık su kanal sistemlerine yerleştirilir ve çöp kanalizasyon sisteminde öğütülerek basınçlı su ile temizlenir. Bu yöntem, elle işlenen atığı etkin bir şekilde azaltır ve atık yiyecekler kısmen de olsa ortadan kaldırılır. Nihai uzaklaştırma, kalan katıların evsel arıtma sistemlerine taşınmasıyla gerçekleştirilir. Kaynakta yok etmede başka bir yöntem de küçük ölçekte yakmadır. Bu yöntem, özel işletmelerde ve hastane gibi kuruluşlarda kullanılabilir. Bunun dışında zehirli olabilen kül ve diğer kalıntılar periyodik olarak ortadan kaldırılmalı ve nihai uzaklaştırma bölgesine gönderilmelidir.

Tekrar kullanım, katı atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmaksızın, ekonomik ömrü tamamlanincaya kadar defalarca kullanılmasını ifade eder. Örneğin, plastik bir bidonun değişik amaçlarla kullanılması böyle bir işlemdir.

Geri dönüşüm, katı atıkların fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulması işlemidir. Bu süreç atıkları toplama, taşıma, işleme ve söz konusu atığı kullanan bir sanayi koluna satışını kapsamaktadır. Örneğin, gazete kâğıtlarının toplanması, taşınması, işlenmesi ve yeniden değerlendirilebilir bir biçime getirilmesi bir geri dönüşüm uygulamasıdır. Ancak böyle bir uygulamanın, kâğıdı ağaçlardan elde etmekten daha maliyetli olmaması beklenir.

Geri kazanım ise, tekrar kullanım ve geri dönüşümü kapsayan katı atıklara ait bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle başka ürünlere ya da enerjiye dönüştürülerek birden fazla kullanılması işlemidir. Örneğin, hayvanlara ait organik atıkların (gübrelerin) biyogaza dönüştürülmesi ve ortaya çıkan katı atıkların da gübre olarak kullanılması tipik bir geri kazanım sürecidir.

Geri kazanım ürünleri için pazarlar: Geri dönüşümü başarıyla başlatan bazı toplumlarda yeniden kazanım ürünleri için pazarlar kuruldu. Yeniden kazanılan gereçler piyasaya sürüldü. Eğer geri dönüşüm başarılı olursa (pazarlardaki faaliyetlerin ve atıkları belirli bir işleme tabi tutan kuruluşların yardımıyla) BAY güvenilir bir girişim olan geri kazanım ile ilgili çabaları geliştirmek zorunda kalacaktır.

Bütünsel Atık Yönetimi sayesinde kentsel atıkların en az % 50, belki de % 70'e varan oranlarda azaltılabileceği öngörülmektedir. Kentsel atıkların azaltılması aşağıda belirtilen önlemlerle kolaylaştırılabilir.

- Kaynağında azaltmanın bir yolu, atığı azaltmak için daha iyi tasarlanmış bir paketleme modelinin geliştirilmesi (% 10 azaltma), yani atığı toplama sisteminin geliştirilmesi
- Geri kazanım tesislerini işler hale getirmek (% 30 azaltma)
- Büyük ölçekli kompostlaştırma programlarını devreye koymak (% 10 azaltma)

Bu liste, bize kentsel atık akışındaki azaltmada en temel etkenin geri kazanım olduğu izlenimini vermektedir.

Gerçekte, geri kazanım, atık akışında en azından % 30 azalmaya neden olabilir mi? Son günlerde yapılan bir çalışma, % 30 hedefinin uygun bir oran olduğunu ve ABD'nin yakın bir gelecekte, bu orana ulaşabileceği izlenimini uyandırmıştır. İlgili çekici olan, geri kazanım için yukarıda belirtilen oranda düşük olmasıdır. Yoğun geri kazanım olarak bilinen uygulama sayesinde, ABD atık akışının % 80-90 kadar yeniden değerlendirilebileceği tahmin edilmektedir. New York'un bir mahallesinde 100 aileyi kapsayan pilot bir çalışmada geri kazanım % 84 düzeyine ulaştı.

Birçok topluluk için daha gerçekçi olan hedef, cam, alüminyum, organik maddeler ve gazete, dergi gibi bir dizi gereci kısmen geri kazanmaktır. Kısmi geri kazanım ile % 30 azaltma sağlanabilir. Örneğin 1989'a kadar Seattle şehri, ülkedeki büyük şehirlerin hiç birinde ulaşamayan en üst düzeye (% 37 oranına) ulaşmıştır. Seattle kentinin başarı öyküsü, şehrin tek deponi alanının kapanması ile karşı karşıya kalındığı ve kent konseyinin büyük bir yakma tesisinin inşa edilmesini önerdiği 1988 yılında başladı.

Kent sakinlerinin şiddetli direnişi, kaynakta azaltma olarak da bilinen yaygın bir atık azaltmanın başlaması ve geri dönüşüm programları ile sonuçlandı. Yaygın hedef 1988 yılına kadar deponi alanı gereksinimi olan atık miktarını % 60'a kadar azaltmaktır. Berkeley, California gibi diğer kentlerde geri kazanım için hedef % 50 olarak belirlendi.

Kompostlaştırma

Kompostlaştırma çim gibi bahçe atıkları ve mutfak atıkları olan organik atıkları toprağa dönüştüren biyokimyasal bir yöntem olup, aerobik organizmalarca organik katı atıkların hızlı bir biçimde kısmen ayrıştırılmasını sağlar. Bununla birlikte, bir atık yönetimi olarak bahçelerdeki kompost yığınları akla gelir.

Seçilen büyük ölçekli kompostlaştırma işlemi, genellikle mekanik, ağız kapalı, özel ünitelerde denetimli bir çevrede gerçekleştirilir. Kompostlaştırma, Avrupa ve Asya'da son günlerde çok ilgi gören bir tekniktir. Kompostlaştırmanın en önemli dezavantajı, organik atıkları diğer atıklardan ayırmanın zorluğudur. Bu nedenle, belki de organik atıkların diğer atıklardan ayrı olarak toplandığı durumlarda ekonomik açıdan uygun olmaktadır. Buna karşın, bütünsel atık yönetime önemli bir katkı sağlamaktadır ve bu katkı ileride kuşkusuz artacaktır (Yılmaz, 2008).

Yakma

Bir yakma biriminde, yanabilir atıklar ve atık içerisindeki yanabilir gereçlerin tümünden kurtulmak için yeteri kadar yüksek sıcaklıkta (900- 1000 °C veya 1650-1830 °C) yakma gerçekleştirilir. Yakma sonucunda, kalan kül ve yanmayan maddeler bir deponi alanına gönderilir. Uygun koşullar altında yakma, atık hacmini % 75'den % 90'a kadar azaltabilir.

Bununla birlikte hacimdeki gerçek düşüş, yakma ile ilgili sorunların yanı sıra, bakım ve işletme sorunları nedeni ile % 50'ye kadar ancak sağlanabilir. Ayrıca, çok büyük hacimdeki yanabilir bir atığı çok daha küçük bir kül hacmine dönüştürür ve diğer yakıtlara ek olarak yakma sistemlerinde enerji üretiminde de kullanılabilir.

Kentsel atıkların yakılması elbette kesin bir çözüm değildir. Yakma hava kirliliği ve zehirli küllerin oluşmasına neden olur. Yakma tesislerinden duman, asit yağmurlarına yol açan azot oksitler ve kükürt oksitler, kurşun, kadmiyum ve cıva gibi ağır metallerin yanı sıra küresel ısınma ile ilişkilendirilen CO₂'ler çevreye yayılabilir. Atıkların geleneksel yakma tesislerinde bertaraf edilmesi yerine çimento fırınlarında yakılması CO₂ ve diğer gazların salınımını azaltmaktadır.

Çağdaş yakma tesislerinde ortaya çıkan emisyonlar, özel cihazlarla belki zararsız hale getirilebilir. Ancak bunun maliyeti oldukça yüksektir. Yakma tesislerinin maliyetleri çok yüksek olduğundan, hükümet desteğine de gereksinim duyulabilmektedir. Bununla birlikte bir değerlendirmeye göre kaynağında azaltma, geri dönüşüm ve kompostlaştırmada kentsel atık akışının % 75'inin deponi alanlarına yönlendirilmesi ile sonuçlandırılabilir.

Sonuç olarak, yakma tesislerinin ekonomik olarak uygulanabilirliği atıkların yakılması yoluyla üretilen enerjinin satışından elde edilen gelire bağlıdır. Geri kazanım ve kompostlaştırma arttırılırken, atık akışı içindeki kompostlaştırma ve geri dönüşüm oranı, yakma ile rekabet edecek, yakmadan ise kâr elde edilmeyecektir. Bütünsel atık yönetiminden çıkarılan asıl sonuç, geri dönüşüm, geri kazanım ve kompostlaştırmanın en az yakma yöntemi kadar bir deponi alanına gidecek atıkların hacmini azaltabilmesidir.

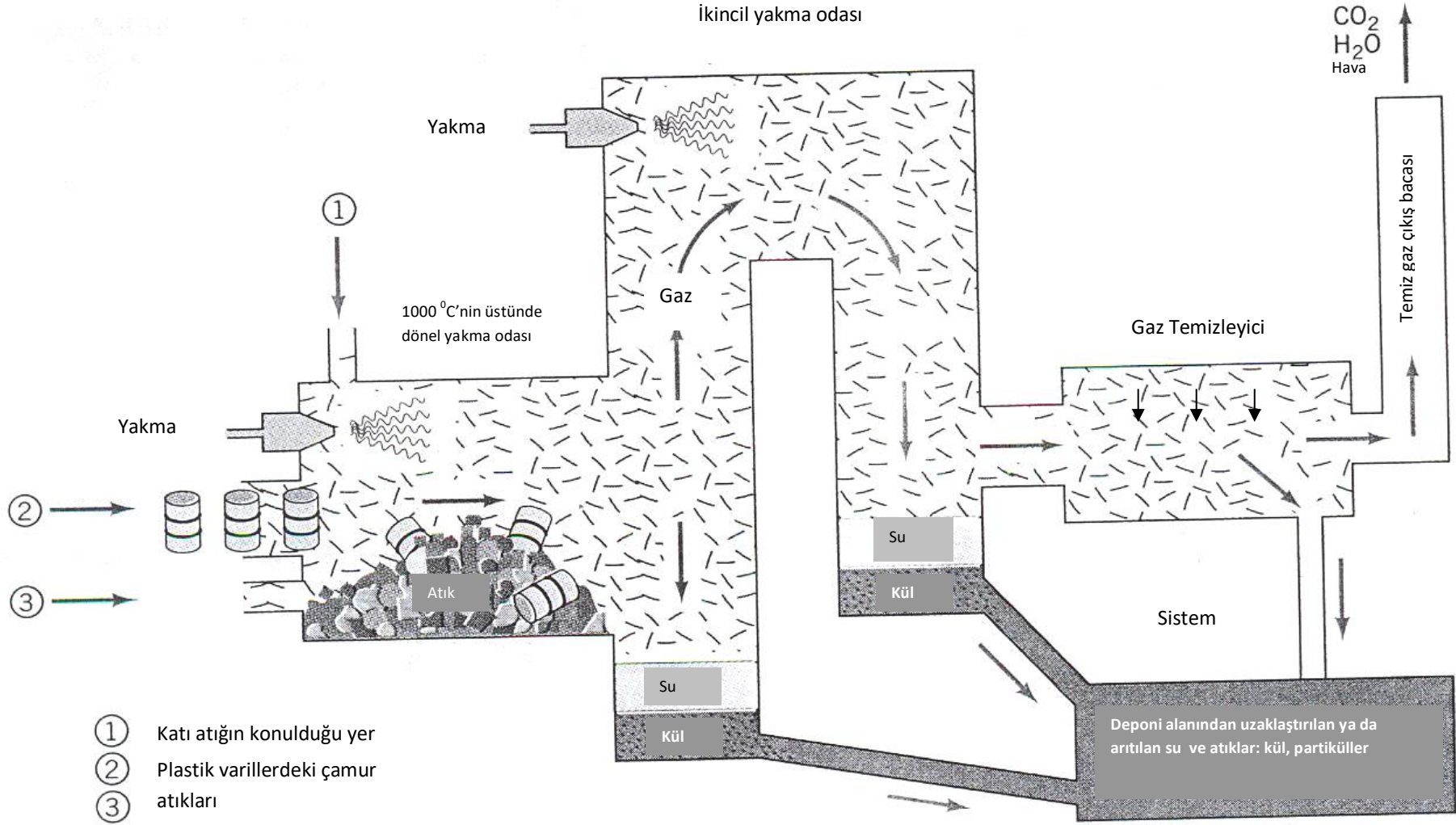
Bazı uzmanlar, atıkların yakılması sırasında dioksinin ortaya çıktığını ileri sürmektedir. Dioksinin tüm bileşiklerinin zehirli olduğu bilinmektedir. Atık enerji tesislerinin de dioksin yaydığı kanıtlanmıştır. Dolayısıyla yakma yöntemlerinin köklü bir şekilde gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Atıkların yakılmasından dolayı ortamda kül kalacağından, arıtım sistemine dikkat edilmesi gerekmektedir. Tehlikeli atıklar kıyıda uzakta, gemilerde de yakılmakla beraber yakma işlemi, deniz ve çevresinde potansiyel hava kirliliğine neden olurken, küllerin uzaklaştırılması da ayrı bir sorun oluşturmaktadır. Yakma işleminde kullanılan teknoloji, atığın yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla hızla değişerek bozulması ya da yok edilmesi esasına dayanmaktadır.

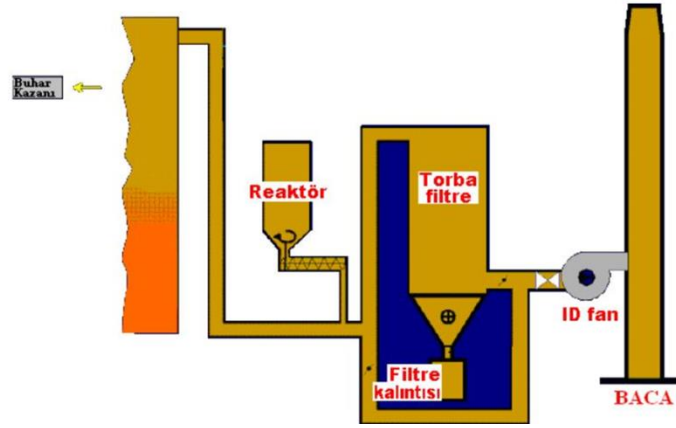
Şekil 11'de zehirli atıkların özellikle PCBs'leri yüksek sıcaklıkta yakma işlemine tabi tutulabileceği genel bir yakma sisteminin tasarımı sunulmuştur. Sıvı, katı veya sulu çamur içeren atıklar, özelliklerine uygun yanma odalarında yapılan yakma işlemi uygulanır. Devamlı olarak tekrarlanan yanma sürecinde küller su tankının tabanında toplanırken, gazlar ikincil yanma odalarında tutulmaktadır.

Sonuç olarak gazlar, **Gaz Temizleme Sistemi**'nde ayrıştırıcı kimyasallarla tepkimeye girerek, içinde yer aldığı atıklardan ayrışmakta ve sistemden de ayrılmaktadır. Sistemden gaz olarak karbondioksit, su ve hava ortaya çıkmaktadır. Düzenli deponi alanından yakma sürecinden arta kalan atık su, kül ve partiküller de denetlenmelidir (Botkin ve Keller, 1995). Bir baca gazı arıtma sistemi Şekil 12'de görülmektedir. Bu sistem **reaktör** ve **toz çöktürme** bölümlerinden oluşur. Yakma tesisini terk eden baca gazları, önce gaz arıtma tesisinin reaktörüne geçerler. Reaktörde baca gazları (absorbent olarak) kireçle ve aktif karbon karışımıyla tepkimeye girer. Reaktörden torba filtreye geçen gaz burada son işleminden geçerken partiküller çöker. Temizlenmiş baca gazı filtreden geçerek atmosfere verilir. Nihai kalıntılar ise filtrenin altında kalır. Bunlar da deponi alanlarında bertaraf edilebilir.

Atıkların yakma ve ısı yoluyla bozulmasına yönelik daha ileri teknikler geliştirilmiştir. Atığın içindeki organik maddeleri yok etmek amacıyla atığa eriyik tuzun eklenmesi yararlı olacaktır. Sonunda alanda yada denizde kurulan diğer bir yakma işlemi de akışkan yataklı sistemlerdir. Hangi yakma yönteminin kullanılacağı atığın özel durumuna bağlı olup, atığı yok etmede gerekli olan sıcaklığı seçmek için atığın bileşimi belirlenmelidir.



Şekil 11. Yüksek sıcaklıkta çalışan bir yakma sistemi (Botkin ve Keller, 1995).

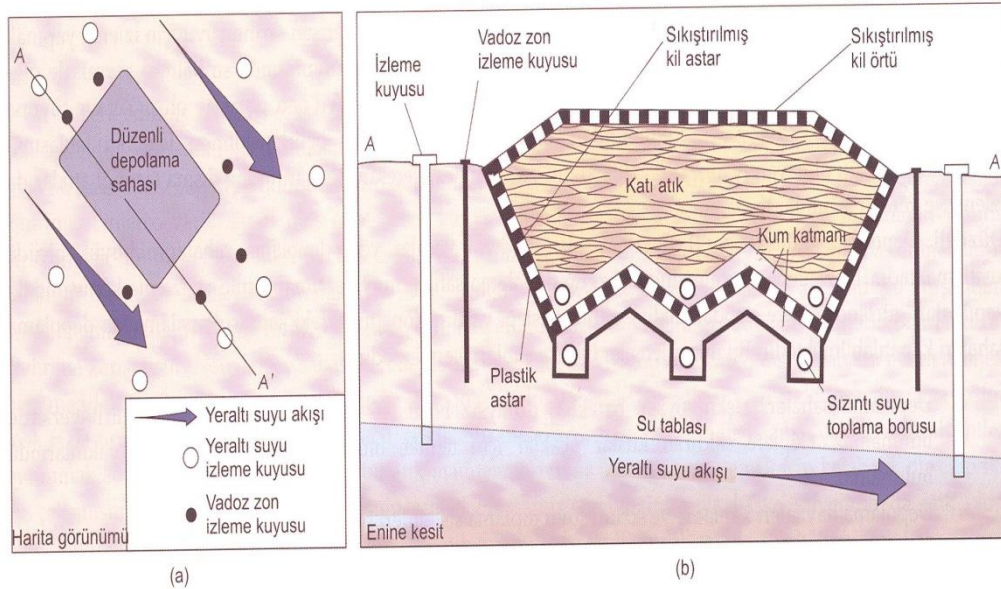


Şekil, 12. Baca gazı arıtma sistemi (Demo ve Akya, 2009).

Düzenli deponi alanlarının denetimi ve izleme ölçütleri

Şimşek ve diğerleri (2017) düzenli deponi alanlarının denetimine ve izlenmesine dair ölçütleri de sorgulamıştır. Buna göre, en azından, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" de öngörülen atık kabul ölçütlerine göre depolama yapılıp yapılmadığı denetlenmelidir. Kabul ölçütlerinde As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn, Cl, Fl, sülfat miktarı, toplam çözünen katı miktarı, fenol indeksi, toplam organik karbon ve çözünmüş organik karbon içeriği, benzen, tolüen, etilbenzen, ksilen, mineral yağlar, pH ve yanma kaybı gibi parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerin çoğu belli miktarlarda artırılabilir ancak çözünmüş organik karbon sabit kalmak zorundadır.

Sızıntı sularından ve yağış sularından dolayı tesiste olabilecek olumsuzlukları engellemek amacıyla gerekli önlemleri almak için meteorolojik verilerin yanı sıra yüzey ve özellikle yeraltı sularının sahada izlenmesinin programlanması gerekmektedir (Şekil 13).



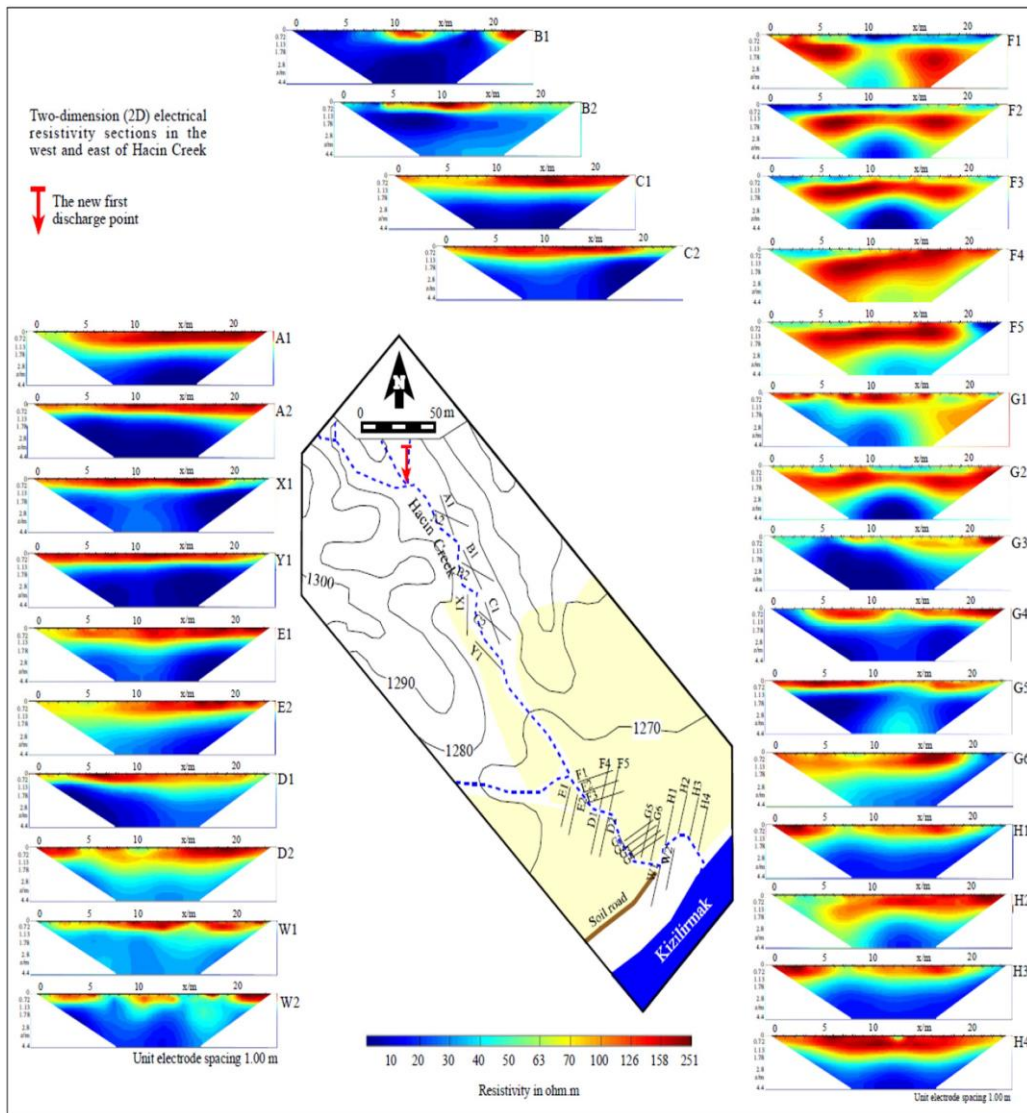
Şekil 13. Yeraltı suyunun hareketinin izlenmesinin planlanması (Botkin ve Keller, 1995).

Bu amaçla depolama sırasında günlük olarak yağış hacmi, en düşük-en yüksek ve yerel saatle saat 14:00 da sıcaklık, rüzgar yönü ve hızı, buharlaşma değerleri ve bağıl nem parametreleri de ölçülmektedir. Kapatma sonrası ise rüzgâr yönü ve hızı, bağıl nem dışındaki parametreler aylık ortalama sıklığı ile kontrol edilmektedir. Bu veriler sızıntı suyu oluşumuna ilişkin hesaplamalarda

kullanılmaktadır. İşletme aşamasında sızıntı suyu hacmi ve gaz emisyonları (CH₄, CO₂, H₂S, O₂, ve H₂) aylık olarak, sızıntı suyu kompozisyonu üç ayda bir olmak üzere izlenmelidir. Kapatma sonrasında bu parametreler her altı ayda bir kontrol edilmelidir.

Örneğin, Sivas deponi alanından çıkan sızıntı sularının yarattığı kirliliğin yayılımı jeofizik ve su kimyası yöntemleri ile incelenmiştir. Sızıntı suyunun akış yönü bölgede egemen olan jeolojik süreksizlikler ve jeomorfolojik yapılar tarafından denetlenmektedir. Buna göre, yüzeydeki sızıntı suyu da Haçın deresinden, yakınındaki Kızılırmak nehrine doğru akmaktadır. Bu çerçevede, Haçın deresinin iki tarafında yayılan sızıntı suyu kirliliğinin zemindeki yayılımı irdelenmiştir.

Kirliliğin varlığı ve yayılımı, elektromanyetik iletkenlik (EMC-Electromagnetic Conductivity) yöntemi ve alınan su örneklerinin su kimyası analizleri ile belirlenmiştir. EMC ölçümlerinden elde edilen görünür iletkenlik grafikleri, sızıntı suyunun yataydaki yayılım sınırlarını göstermiştir. Su kimyası analizleri ise sudaki kirliliğin sızıntı suyundan kaynaklandığını göstermiştir. Sonuç olarak yöredeki Kuvaterner yaştaki toprak örtünün yanı sıra yüzey ve yeraltı su kaynaklarının sızıntı suyundan ileri gelen kirliliğin tehdidi altında olduğu belirlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Jeofizik yöntemler kullanılarak Sivas deponi alanının sızıntı sularının ulaştığı alanlar irdelenmiştir. Topografik harita üzerinde, 2D rezistivite kesit yerleri ve profilleri görülmektedir (Özel ve diğerleri, 2017).

Oluşan kirliliğin ise katı atık deponi alanının daha uzun süre kullanılacağı gözetilerek, acilen ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) süreci çerçevesinde denetim altına alınması gerektiği ortaya konulmuştur (Özel ve diğerleri, 2017).

Depolanacak atığın yeraltı suyuna etkilerini belirlemek amacıyla ölçümler yeraltı suyunun membasında en az bir noktada ve mansabında en az iki noktada yapılması gerekmektedir. Yeraltı suyu seviyesi her altı ayda bir ölçülmektedir. Özel hidrojeolojik durumlarda ise daha sık ölçüm alınmasını gerektirebilir. Sızıntı suyundan ve mevcut olması halinde yüzeysel suların numune alma işlemleri temsil edici noktalarda yapılmalıdır. Yüzeysel suların izlenmesi biri membada diğeri mansapta olmak şartıyla ve akıntı yönünü de dikkate alınarak en az iki ayrı noktada yapılmalıdır. I. sınıf ve II. sınıf düzenli depolama tesislerinin bulunduğu alanlar, depo hizmet süresini doldurduktan sonra en az otuz yıl süre ile izlenmekte ve denetlenmektedir.

Kalite Değerlendirme ve İzleme Çalışmaları

- ÇED sürecinde verilen taahhütlerin ve tesis projesinin uygulama aşamasının bağımsız kuruluşların yanı sıra yatırımcının kendi kalite güvence birimi tarafından oluşturması ve denetlenmesi,
- Yapılan tesisin işletme aşamasında ve kapatılmasından sonra ilgili yönetmelikte verilen sürede periyodik olarak incelemesinin yapılması, ölçüm ve analizlerin değerlendirilmesi ve rapor edilmesi,
- Depolama tesislerinde acil yönetim planlarının belirlenmesi,
- İş sağlığı ve güvenliği önlem ve denetimlerinin yapılması,

Yeraltı su düzeyi ve akiferin derinliğine ilişkin veriler, sondajlarla sağlanabilir. Yeraltı su düzeyleri mevsime bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla yeraltı su düzeyleri su kimyası verileri mevsimsel değişimler dikkate alınarak planlanmalıdır. Hidrojeolojik amaçlı kuyular araştırma/gözlem kuyusu, Pompaj/üretim kuyusu ve izleme kuyusu olarak sınıflandırılabilir. Kuyunun türü, yeri ve derinliği planlanır; delgi, donatı ve testler uygun koşullarda yapıldıktan sonra tamamlanır. Uygulamalarda karşılaşılan sorunlar (Ekmekçi ve Yazıcıgil, 2016) aşağıda sunulmuştur:

- 1-Kuyu kütüklerinin kuyu delgisi sırasında tutulmaması ya da bu kayıtların yeterli eğitim almamış personel tarafından tutulması,
- 2-Kuyu inşası ve donatısı aşamasında kuyuda tecrit işlemlerinin uygun malzeme ve yöntemlerle yapılmaması,
- 3-Kuyu geliştirme ve tamamlama işlemlerinin doğru ve etkili bir şekilde yapılmaması; araştırma ve üretim kuyularında çakıl ve gözlem borusunun yerleştirilmemesi,
- 4-Kuyunun tamamlanmasından sonra kuyu verimi ve etkinliğinin yanı sıra akifer ve kuyu testlerinin özenle yapılmaması ya da bu işlemlerin standartlara uygun yapılmaması,
- 5-Hidrojeolojik karakterizasyon amaçlı akifer testleri için gereksinim duyulan tasarım ve ekipman eksikliği ya da uygunsuzluğu; doğru pompa debisinin kontrol altında tutulmaması, YASS'inin ölçümlerinin sağlıklı yapılmaması, deney sürelerinin gerekli verinin elde edilmesine olanak vermeyecek şekilde kısa tutulması.

Yeraltı suyunun korunması son derece önemli olduğundan yeraltı su tablasındaki dalgalanmalar uzun süre izlenmelidir. Tüm veriler toplandıktan sonra verilerin değerlendirilmesine geçilir. Jeoloji mühendisleri, maden, jeofizik ve sondaj mühendisleri ile konuyla ilgili diğer uzmanların toplanmış olan bilgiyi yorumlama aşamasında birlikte çalışması çok önemlidir. Ne var ki, hatalı ekipman kullanımı, eğitimsiz ve projeye özgü sınırlı bilgiye sahip sondaj ekibi, yetersiz ve hatalı veri toplanması gibi sorunlar proje tamamlandıktan sonraki tek doküman olan logu olumsuz olarak etkilemektedir.

Ayrıca, özellikle derin sondajlarda kuyu başı güvenliğini sağlamak önemlidir. Bu tür sondajlarda ortaya çıkan risklerden biri de patlama- ani geliş (blowout) olarak tanımlanan sorundur. Dolayısıyla derin sondaj çalışmalarının ekipman ve çalışan personel açısından güvenli bir şekilde gerçekleşmesi için **6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası**'nda öngörülen ölçütlere uyulmalıdır. Ülkemizde 'Ulusal Sondaj Veritabanı' oluşturma çabaları devam etmektedir. Veri tabanında yer alan sondajlar Türkiye jeoloji haritası üzerinde koordinatlı olarak gösterilmektedir. Ayrıca sondajlara dair temel referans bilgileri (İli, ilçesi, açıldığı tarih, derinlik, girilen formasyonlar ve kaynakça) yer almaktadır (Kiper ve Buldağ, 2016).

ÜLKEMİZDE YAŞANAN SORUNLAR

Ülkemizde 2017 yılında yapılan '**Çevre Jeolojisi Çalıştayı**'nda 'Atık yönetiminde, deponi alanlarının yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri' çalışma grubu yaşanan sorunları ve önerileri ortaya koymuştur (Şimşek ve diğerleri, 2017). Bu sorunlar ve öneriler aşağıda sıra ile sunulmuştur:

Düzenli depolama alanlarının yer seçimine dair sorunlar

- Atıkların miktarlarının azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılmaması, büyük oranda atık miktarının depolama alanlarının kısa sürede dolması,
- Yer seçim ön çalışmalarının ulusal ve uluslararası ölçütlere uygun hazırlanmamış olması, bölge halkını tatmin edecek düzeyde olmaması,
- ÇED raporunda alternatif sahalara ortaya konulmaması sadece tek bir saha üzerinden gidilip kullanılabilir daha uygun sahalara yer almaması,
- Belirlenen alanların büyük bölümü halk tepkisi nedeni ile faaliyete geçirilememesi,
- Jeolojik, hidrojeolojik ve çevresel kriterlere uygun sahalara bulunamaması, bulunması halinde ise farklı arazi kullanımı nedeniyle deponi alanı olarak seçilmesinin kısıtlanması,
- Kamulaştırma sorunu nedeniyle yerel yönetimlerin kamu arazilerini tercih etmesi yoluna gidilmesi
- Yapılan deponi alanı yer seçimi uygulamaları sırasında istenilen tüm kriterlerin tek bir alanda bulunmasının mümkün olmaması
- Büyükşehirlerde büyük miktarda atık miktarları için deponi alanı bulunamaması
- Yer seçiminde Çevre ve Orman Bakanlığının 2010 yılında yayınladığı "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik"nde geçen "II. Sınıf depolama tesisi için yerleşim alanlarından uzaklık 250 m. olmalı" ifadesinin uygun olmaması ve halkın tepkisini çekmesi nedeniyle sahanın faaliyete geçirilememesi,
- Yer seçim sürecinde yerel halkın katılımının sağlanmaması,

Yukarıdaki nedenlerden dolayı ülkemizde düzenli depolama tesislerinin kurulması gecikmektedir. Bu durum vahşi depolama yönteminin halen sürdürülmesine neden olmaktadır.

Düzenli depolama alanlarının yer seçimine dair öneriler

- Bölge halkının projenin ön çalışması, ÇED, proje aşaması, uygulama aşaması ve denetleme aşamasında katılımının mutlaka sağlanması,
- ÇED raporlarının ve ÇED raporlarında verilen taahhütlerin bağımsız kuruluşlar tarafından yapılması, izleme raporlarının değerlendirilmesi,
- Yeni atık sahalara mutlaka yerel yönetimlerle birlikte çözüme ulaştırılması,
- Seçilecek veya alternatif alanların arasından halk tepkisini çekmeyecek alanların ortaya konulması,
- Düzenli depolama tesisi yapılacak bölgedeki halkın projenin tüm aşamasında bilgilendirilmesi varsa örneklerinin yöre halkına gezdirilmesi ve tanıtılması
- Belirlenen alanlara ve halen kullanılmakta olan alanlara yakın imar izinleri verilmemeli ve yerleşime açılmamalı (Şu an birçok atık sahası ve çevresi yerleşim alanları 1000 m koşulu aranmadan imara açılarak kuşatılmış durumdadır).
- Yer belirlendikten sonra bazı jeolojik kaynaklı problemler mühendislik önlemleri ile uygun hale getirilebilir.
- ÇED raporlarındaki yetersiz çalışmalardan dolayı sürecin uzaması nedeniyle, sahanın jeolojik özelliklerine göre yapılması gerekli olan ayrıntılı jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik çalışmaların boyutlandırılması

Bunun için jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik çalışma formatının oluşturulması. Uluslararası geçerliliği olan metod ve yaklaşımlar ile birlikte CBS, hidrolojik ve hidrojeolojik model çalışmaları mutlaka yapılmalıdır (Yapılacak kapsamlı çalışmalarda senaryo analizleri ve modelleme çalışmaları olmalıdır).

- II. Sınıf Atık sahalalarının yönetmelikte belirtildiği gibi yerleşim yerine 250m uzaklıkta yapılma koşulu atık sahalalarının koku, gürültü, haşere vb problemler nedeniyle yöre halkının tepkisine neden olmakta ve bu nedenle bu mesafenin 1000m nin altına düşürülmemesi önerilmektedir.

- Okullarda sosyal tanıtım projeleri ile atık yönetimi ve bertarafı konusunda bilgilendirilmelerin yapılması
- Kurumlarda çalışan mühendislerin dönemsel olarak hizmet içi eğitime alınması ve yeni yönetmelikler hakkında bilgi verilmesi
- Üniversite belediye işbirliği ile bu tür sahalar ortak projelerin üretilmesi
- Yerel belediyeler ile büyükşehir belediyeleri ve Ankara ile yeterli işbirliğinin sağlanması

ANKARA ÖZELİNDE DURUM

2872 sayılı Çevre Kanunu gereğince, her türlü atık ve artığın çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerde bulunulması yasaktır. Ankara'da üretilen başlıca belediye atıkları, hafriyat toprağı ve yıkıntı atıkları, ambalaj atıkları, tehlikeli atıklar, atık madeni yağlar, atık pil ve akümülatörler, boya atıkları, yağlı metal çamuru, yağlı metal talaşları, atık yağlar, tehlikesiz atıklar, tıbbi atıklar, maden atıkları gibi atık türleri tanımlanmıştır. Ayrıca atıkların miktarları düzenli olarak belirlenmekte ve bu atıkların bertarafı ile ilgili çaba gösterilmektedir.

Bu çerçevede, Ankara genelinde faaliyetleri sonucu tehlikeli atık ürettiği belirlenen sanayi kuruluşlarına Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın internet sitesinde açılan ve yılda bir kez, bir önceki yıla ait tehlikeli atık beyanı bilgilerinin yer aldığı **'Tehlikeli Atık Beyan Sistemi'**ne girişler için gerekli olan kullanıcı adı ve şifrelerin dağıtımı yapılmıştır. Her yıl sitenin açılması ile birlikte ilgili tesislere bilgi girişi yaptırılmaktadır. Ayrıca, Yönetmelik gereğince faaliyetleri sonucu oluşan tehlikeli atıklarını lisanslı bertaraf tesislerine veren tesislere **"Ulusal Atık Taşıma Formu"** verilmektedir. Sanayi kuruluşlarında oluşan tehlikeli atıkların geçici depolanması için gerekli olan atık depo alanlarının teşkili için, kuruluşlar gerek denetimler esnasında gerekse yazılı olarak bilgilendirilmiştir (ÇŞB, 2017).

Belediye atıklarının günlük miktarı, 2016 yılı verilerine göre, günlük olarak 4.525 ton olup, 5 transfer istasyonu aracılığı ile Mamak ve Sincan-Çadırtepe atık sahalarında bertaraf edilmektedir. Mutfak atıkları bu atıkların yaklaşık %53'ünü oluşturmaktadır. Hafriyat toprağı ve yıkıntı atıkları günlük 410 m³/yıl (50 m³/yıl geri kazanım yolu ile dönüştürülerek) bertaraf edilmektedir. Tehlikeli atıklar 19.555 ton/yıl, Tıbbi atıklar ise 9.153 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Kömürle çalışan termik santralde ise ne kadar kömür kullanıldığı bilinmemektedir. Uçucu kül 433.402 ton/yıl, cüruf 1.733.608 ton/yıl ortaya çıkmaktadır. Atık su arıtma tesisi çamurlarına dair bilgi ise yoktur. Çok büyük oranda toplanan park-bahçe atıkları ve jeotermalden ileri gelen atıklar ise herhangi bir şekilde değerlendirilmemiştir.

Oysa EPA (2015) tarafından sunulan atıkların listesi gözetilerek atıkların tasnifi ve kodlarına göre tüm atık türleri tanımlanmalı idi. EPA (2015) tarafından yapılan değerlendirmeye göre, atıklar 20 sınıfa ayrılmış, her sınıf alt sınıflara ayrılmış, alt sınıflar da atık türleri özelinde kodlarına göre tanımlanmıştır. Böyle bir sınıflama gözetilmediğinde, mutlaka önemli eksiklikler ortaya çıkacaktır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yukarıda genel çerçevesi çizilen bütünsel atık yönetimi (BAY) tüm atık türleri için geçerlidir. Hangi yöntemin seçileceği ise atığın nitelikleri ve kapasitesi belirler. Ancak tehlikeli atıklar için yukarıda sunulmayan derin enjeksiyon yöntemi de tercih edilebilir. Böyle bir durumda da yerin derin jeolojik yapısı jeofizik yöntemlerle desteklenerek irdelenmelidir. Hatta güvenilir sonuçlara ulaşmak için bazı kritik sondajların yapılması gerekebilir. Sonuç olarak yerin üç boyutlu yapısı belirlendikten sonra derin kuyu enjeksiyonuna karar verilmelidir. Aksi halde derin kuyu enjeksiyonu nedeniyle çok büyük sorunlarla karşılaşılabilir.

Kaynağında azaltma, geri kazanım, geri dönüşüm ve kompostlaştırma atıkların hacmini azaltma yönünde özendirilmelidir. Ancak gene de kaynağında azaltma, geri dönüşüm ve kompostlandırmada kentsel atık akışının önemli bir bölümü deponi alanlarına yönlendirilmesi ile sonuçlanabilir. Yakma tesislerinin ekonomik olarak uygulanabilirliği ise atıkların yakılması yoluyla üretilen enerjinin satışından elde edilen gelire bağlıdır. Atıkların tasnifi ve bertarafında mutlaka uluslararası ölçütler kullanılmalıdır.

BAY, tüm yöntemleri kullanarak bir deponi alanına gidecek atıkların hacmini azaltmayı hedeflemelidir. Çünkü deponi alanına uygun yerler de sınırlıdır. Bir alanın deponi amacıyla tasarlanıp düzenlenmesi ise bazen ekonomik olmayabilir.

KAYNAKLAR

- Botkin, D.B. ve Keller, E.A., 1995. Environmental Science, Earth As a Living Planet: Chapter 27, Waste Management, John Willey and Sons Inc., Newyork, s.550-571, 627s.
- Canter, L.W., 1977, Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.
- CFR, 1990, Code of Federal Regulations No-40, Appendix IX: Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, Part 264, s. 302-308.
- ÇED Yönetmeliği, 2014, Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği, 25 Kasım 2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete.
- ÇŞB, 2014. Ankara ili 2014 yılı Çevre Durum Raporu, Ankara, 245 s.
- ÇŞB, 2016. Ankara ili 2015 yılı Çevre Durum Raporu, Ankara, 255 s.
- ÇŞB, 2017. Ankara ili 2016 yılı Çevre Durum Raporu, Ankara, 160 s.
- ÇŞB, 2018. Türkiye Çevre Sorunları ve öncelikleri değerlendirme Raporu (2016 yılı itibarıyla), Ankara 139s.
- Demo ve Akya, 2009, Ankara ili Sincan ilçesi, Çadırtepe Mevkii, Sincan-Çadırtepe Katı Atık Depolama Alanı, Nihai ÇED Raporu, Demo Dünya Ekoloji Mühendislik Organizasyon Ltd. Şti. ve Akya Proje Etüt Mühendislik Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara, 1277s.
- Depountis, N., Koukis, G. ve Sabatakakis, N., 2009, Environmental problems associated with the development and operation of a lined and unlined landfill site: a case study demonstrating two landfill sites in Patra, Greece. Environmental Geology, 56, 1251-1258.
- Ekmekçi, M. ve Yazıcıgil, H., 2016, Türkiye' de hidrojeolojik amaçlı sondaj kuyularından sağlıklı veri elde etme sorunu. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016-ODTÜ KKM, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s. 41-42.
- EPA, 1983. Interim Report on Data and Methods for Assessment of 2, 3, 7, 8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin Risk to Aquatic Life and Associated Wildlife, Duluth, Minn.: US Environmental Protection Agency (EPA), Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development.
- EPA, 2015. Waste Classification, List of Waste and Determining if waste is Hazardous or Non-Hazardous, Valid from 1st June 2015, Environmental Protection Agency (EPA), USA, 55 s.
- Greschik, G. ve Galos, M., 1998, Environmental Geotechnics-An Overview : Environmental Geology, 35(1), 28-36.
- <https://atikyonetimi.ibb.istanbul/hizmetlerimiz/duzenli-depolama-alanlari/>(08 Aralık 2018, saat 12.05).
- Karagüzel, R., Mutlutürk, M., 2005, Katı Atık Depolamada Yer Seçimi: Isparta Örneği, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, s. 21 (19-33).
- Karagüzel, R., Özçelik, H., Mutlutürk, M., Güldal, V., Tokgözlü, A., Beyhan, M., vd., 2003. Investigation report on site selection and environmental impact for solid waste of Manavgat–Antalya Municipality, Suleyman Demirel University, Turkey, unpublished report (pp 134).
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 05.04.2005 tarih ve 25777 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Kiper, A. B. ve Buldağ, T. Ö., 2016, Ulusal Sondaj Veri Tabanı Projesi. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016-ODTÜ, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s. 49-50.
- Özel, S., Yılmaz, A. and Candansayar, M. E., 2017, The Examination of the Spreading of the Leachates Coming Out of a Solid Waste Disposal Area on the Ground with Geophysical and Geochemical Methods (Sivas, Turkey). Journal of Applied Geophysics. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.01.013>.
- Sauri-Riancho M. R. , Cabanas-Vargas D. D. , Echeverría-Victoria M., Gamboa-Marrufo M. , Centeno-Lara R. , Méndez-Novelo R. I. , 2011. Locating hazardous waste treatment facilities and disposal sites in the State of Yucatan, Mexico. Environ. Earth Sci. 63,351-362.
- Sener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. Environmental Geology, 49, 376–388.
- Sener, E., Sener, S., & Davraz, A. (2009). Assessment of Aquifer Vulnerability in the Lake Basin Based on GIS and DRASTIC Method: A case study of Senirkent– Uluborlu (Isparta-Turkey) Basin. Hydrogeology Journal, 17(8), 2023–2035.
- Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz, O., Taşkın, N., Akdağ, C. T. ve Elçi, H., 2012, İzmir metropol alanı için çoklu parametre tekniği kullanılarak CBS destekli katı atık depolama alanı yer seçimi.

65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s.148-149.
- Şimşek, C, Elci A, Gunduz O, Taskin N. (2014). An improved landfill site screening procedure under NIMBY syndrome constraints, *Landscape and Urban Planning* 132 (2014)
- Şimşek C, Gemici U., Filiz Ş 2008. An Assessment of Surficial Aquifer Vulnerability and Groundwater Pollution from a Hazardous Landfill Site, *Torbali/Turkey, Geosciences Journal*, 12; 69-82.
- Şimşek, C., Karagüzel, R., Çelenk, A., Şener, Ş. ve Taşkın, N., 2017. Çevre Jeolojisi Çalıştayı, '3. Konu: Atık yönetiminde, deponi alanlarının yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri' çalışma grubu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, s. 87-117.
- TBB, 2014. Düzenli Depolama Sahalarının Tasarımı, Yer Seçimi ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı. Türkiye Belediyeler Birliği Atık Komisyonu, Ankara, 12 s.
- TC Ankara Valiliği, 2013. Ankara ili 2012 yılı Çevre Durum Raporu, Ankara, 248 s.
- Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
- Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.
- Yılmaz, A.ve Atmaca, E., 2004, Sivas kenti katı atık deponi alanının çevre jeolojisi: CÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre 2004, 1. Ulusal Çevre Kongresi, Bildirileri, Sivas, 83-99.
- Yılmaz, A. ve Atmaca, E., 2006, Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: A case study in Sivas, Turkey, *Environmental Geology*, 50, 677-689.