



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

SONDAJ AKIŞKANI ATIK YÖNETİMİ VE BERTARAFI

**GÜRŞAT ALTUN
HAKMYRAT ATAYEV
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

SONDAJ AKIŞKANI ATIK YÖNETİMİ VE BERTARAFI

Management of Waste Drilling Fluid and Disposal

Gürşat ALTUN
Hakmyrat ATAYEV

ÖZET

Çoğu sondaj operasyonlarında sondaj çamurunun ve sondaj kırıntılarının bertarafı/uzaklaştırılması zor bir problemdir. Çevresel konular dünya genelinde toplumun daha fazla dikkatini çekmektedir. Çok sayıda yönetmelik ve regülasyon takip edilerek insan ve çevre sağlığı korunmaktadır. Çamurun toksiklik değeri regülasyonlarda ifade edilen değerlerin altında olmadıkça sondaj atıklarının bertaraf edilmesini regülasyonlar yasaklamaktadır. Bu nedenle, ıslah (reclamation) ve bertaraf (disposal) işlemi oldukça maliyetlidir. Regülasyonlara uymadan atık sondaj çamurunun yeraltı formasyonlarına enjeksiyonu yeraltı sularının kirletilmesi ve birçok yaşayan organizmanın ölümü gibi çevresel felakete yol açabilir. Atık çamur yönetimi ve bertarafına uygulanan regülasyonlar bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir.

Atık sondaj akışkanlarının bertaraf yönetim planı sondaj operasyonu başlamadan önce ilgili çevre gruplarıyla iletişim ve regülasyonlar dikkate alınarak hazırlanmalıdır. Sondaj akışkanının toksikliği (zehirliliği) günümüzde artık var olmayan AMOCO Üretim Şirketi tarafından geliştirilen "Sondaj Akışkanı Toksiklik Testi" kullanılarak ölçülebilmektedir. Bertaraf işleminden önce belirlenmesi gereken diğer bir parametre, sondaj akışkanının yoğunluğunu artırmak için kullanılan ağır metallerin miktarıdır. Belirlenmesi gereken üçüncü parametre çamurun akmazlığını artırmak için kullanılan ve bitkiler için toksik bir madde olan tuz içeriğidir. Sondaj akışkanlarının bertarafı ve ıslahı için bir kaç yöntem vardır: Arazi iyileştirme (landfarming), enjeksiyon, biyolojik bozunum, yakma ve katılaştırma kararlarda kullanılmaktadır. Türkiye'deki jeotermal sondajlarda ortaya çıkan sondaj atıklarının küçük bir kısmı yerel yönetimlerin izni ile kamyon ile taşınmakta ve belirlenen alana boşaltılmasıyla bertaraf edilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı jeotermal kuyu sondajında oluşan atık sondaj sıvısının ıslahı ve bertarafında kullanılan teknoloji ve yöntemleri gözden geçirmektir. Aynı zamanda bu çalışma, atık sondaj akışkanlarının yönetimi metotları ve temel konularını tartışmakta ve özellikle jeotermal sahalarda kullanılabilecek olan susuzlaştırma atık iyileştirme yaklaşımını vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal sondaj akışkanı ıslahı ve bertarafı, Arazi ıslahı iyileştirmesi, Sondaj akışkanı enjeksiyonu, Biyolojik bozunma, Atık yakılması, Susuzlaştırma.

ABSTRACT

In many drilling operations, the disposal of the drilling mud and drilled cuttings has become a difficult problem. The environmental aspects have gained more attention of the society all around the world. Many regulations and legislations have been adopted to protect the health of people and environment. The regulations prohibit the disposal of drilling wastes, unless the toxicity of mud is below the stated value in regulations. Thus, reclamation and disposal are costly. The injection of the waste drilling mud to the underground formation without obeying the regulations may result in environmental catastrophes such as pollution of underground fresh waters and death of many living organisms. The regulations applied for the waste mud management and disposal vary from place to place.

The management plan for disposal of waste drilling fluid should be prepared before starting drilling operations by considering the regulations and communicating with environmental groups. *The toxicity* of the drilling fluid can be measured by using “Drilling Fluids Toxicity Testing” developed by AMOCO Production Company (no longer exists). Another parameter to be determined before disposal is amount of heavy metals used to increase *the density* in the drilling fluids. The third parameter to be determined is *salt content* of the mud which is mostly used to increase the viscosity because salts are toxic to the plants. There are several methods for reclamation and disposal of drilling fluids: Landfarming, Injection, Biodegradation, Incineration and Solidification used in onshore. A limited portion of the disposal of drilling waste generated from geothermal well drilling in Turkey is done by carrying the waste with a truck and dumped it to the area permitted by Municipality.

The main purpose of this study is to make an overview of methods and technology used in the waste drilling fluid reclamation and disposal applicable to geothermal well drilling. In addition, this paper discusses the basic concepts and methods to manage the waste drilling fluids and provides dewatering method approach to handle the waste treatment that is applicable in geothermal fields particularly.

Key Words: Remediation and disposal of geothermal drilling fluids, Landfarming, Injection of drilling fluids, Biodegradation, Waste incineration, Dewatering.

1. GİRİŞ

Bir kuyunun sondajı sırasında sondaj akışkanı ile yüzeye gelen katılar birincil ıslah yöntemi olan ve katı kontrol sistemi olarak adlandırılan mekanik sistemlerin kullanılmasıyla ıslah edilmektedir. Bu mekanik sistemlerde gaz ayırıcı (degasser), sarsıntılı elek (shale shaker), hidrosiklonlar (desander ve desilter) ve santrifüjler yer almaktadır. Birincil ıslah sırasında katı kontrolünü sağlamak için kimyasallar da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer taraftan, sondaj akışkanındaki katı konsantrasyonunu azaltmak için yaygın olarak kullanılan su ile seyreltme kulede atık oluşumu miktarını büyük oranda artırarak, sondajın toplam maliyetinin artmasına neden olacaktır. Bununla birlikte, birincil ıslah yöntemleri çamur atıklarının bertaraf edilmesi için yeterli değildir. Bu nedenle, atık ıslahıyla birlikte atık bertarafına da olanak sağlayan yöntemlere gereksinim vardır. Bu yöntemler ikincil ıslah yöntemleri olarak adlandırılmaktadır ve bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Pahalı katkı maddeleri içeren polimer sondaj akışkanları, sentetik petrol-bazlı sondaj akışkanları ve diğer akışkanlar iyi bir katı kontrol sistemi kullanımına büyük bir teşvik kaynağı sağlamaktadır. Ancak, bu pahalı sistemlerden atık ürünlerinin minimize edilmesinin sondaj maliyetleri üzerinde büyük bir etkisi de olacaktır. Daha az miktarlarda atık üretimi bir kuyunun maliyetini önemli miktarda azaltabilecektir.

Sondaj akışkanları ile çalışmak tehlikeli olabilir. Bazı sondaj akışkanı ürünleri kısa ve uzun dönem için önerilen azami maruz kalma seviyelerini aşabilen zehirleyici ve zararlı buharlar yayabilir. Özellikle kuledeki sıcak bir alanda, bazı şeyler ve korozyon inhibitörleri ve bazı petrol bazlı çamur emülsiyerler amonyak veya diğer uçucu aminler oluşturma eğilimindedirler. Diğer ürünler tutuşabilir veya yanabilir (parlama noktası < 60° C), bu yüzden büyük bir dikkat ile kullanılmalı, gerekli havalandırma sağlanarak depolanmalıdır [1].

Sondaj nedeniyle oluşan atıklar ıslah (iyileştirme veya arıtma olarak adlandırılabilir) edilmeden önce içerisindeki maddelere bağlı olarak sınıflara ayrılması gerekmektedir ve hangi kategoriye ait çamur çeşidi kullanılmışsa ona uygun ıslah yöntemleri kullanılmalıdır. Bir ABD kurumu olan Çevre Koruma Dairesi (Environment Protection Agency, EPA) tarafından yapılan ilgili atık sınıflaması Tablo 1’de verilmektedir. EPA bu sınıflandırmayı yaparken atıkları üç ana kategoriye ayırmıştır: (a) zararlı, (b) zararsız ve (c) ne zararlı ne de zararsız. Tabloda belirtilen sınıflandırmaya göre atık yönetim şeklinin tercih edilmesi faydalı olacaktır. Petrol bazlı çamurlar için ısı ve doğal yeri dışında ıslah (Ex-situ remediation) yöntemleri tercih edilmektedir. Tatlı su sondaj çamurlarını ıslah etmek için fiziksel ya da kimyasal ıslah yöntemlerinden birisi veya ikisi birden tercih edilebilir. Mekanik katı kurutma yöntemi sentetik çamurlar için tercih edilmektedir. İçinde zararlı madde olan sondaj çamuru atıkları için fiziksel

ve kimyasal yöntemler kullanılarak susuzlaştırma (dewatering), tesirsizleştirme (inerting) ya da biyolojik ıslah (biological treatment) yöntemlerinden birisi tercih edilebilir.

Tablo 1. Sondaj atıklarının sınıflandırılması, (EPA 2015) [2].

Kodlama	Tanım
01 05	Sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları
01 05 04	Tatlı su sondaj çamuru ve atıkları
01 05 05	İçinde petrol olan sondaj çamuru ve atıkları
01 05 06*	İçinde zararlı madde olan sondaj çamuru ve atıkları
01 05 07*	İçinde barit olan sondaj çamuru ve atıkları (01 05 05 ve 01 05 06 dışında kalanlar)
01 05 08	İçinde klorür olan sondaj çamuru ve atıkları (01 05 05 ve 01 05 06 dışında kalanlar)
01 05 99	Bunların dışında kalanlar

İçerdiği maddelere göre atıkların tanımı yapılmaktadır ve genel olarak tehlikeli katı atıklar EPA tarafından sınıf 1, sınıf 2 ve sınıf 3 olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamada aşağıda verilen dört koşuldan herhangi birisinin sağlanması yeterli görülmektedir [1]:

1. Tutuşabilirlik, koroziflik, reaktiflik ve zehirlilik gösteren atıklar.
2. 40 CFR 261 kodlu ABD Regülasyonundaki (Code of Federal Regulations) dört tablodan birisinde özellikle zararlı olarak listelenen atıklar;
 - a. Sfesifik olmayan kaynaklardan tehlikeli atıklar (40 CFR 261.31)
 - b. Sfesifik kaynaklardan tehlikeli atıklar (40 CFR 261.32)
 - c. Aşırı tehlikeli atıklar (40 CFR 261.33e)
 - d. Toksik tehlikeli atıklar (40 CFR 261.33f)
3. Listede tehlikeli olarak tanımlanan bir atığın tehlikeli olmayan bir atık ile karışımı,
4. Üreticiler tarafından tehlikeli olarak açıklanan atıklar.

Sınıf 1 atık kendi konsantrasyonundan veya fizikokimyasal özelliğinden kaynaklı olup toksik, korrozif, kolay tutuşur, güçlü bir hassaslaştırıcı veya tahriş edici, bozunma, ısı veya benzer etkiyle birlikte ani basınç oluşturan, uygun bir şekilde işlenmediğinde, depolanmadığında, nakliye edilmediğinde, boşaltılmadığında insan sağlığı veya çevreye potansiyel bir tehlikeye yol açan, herhangi bir madde olarak düşünülmektedir.

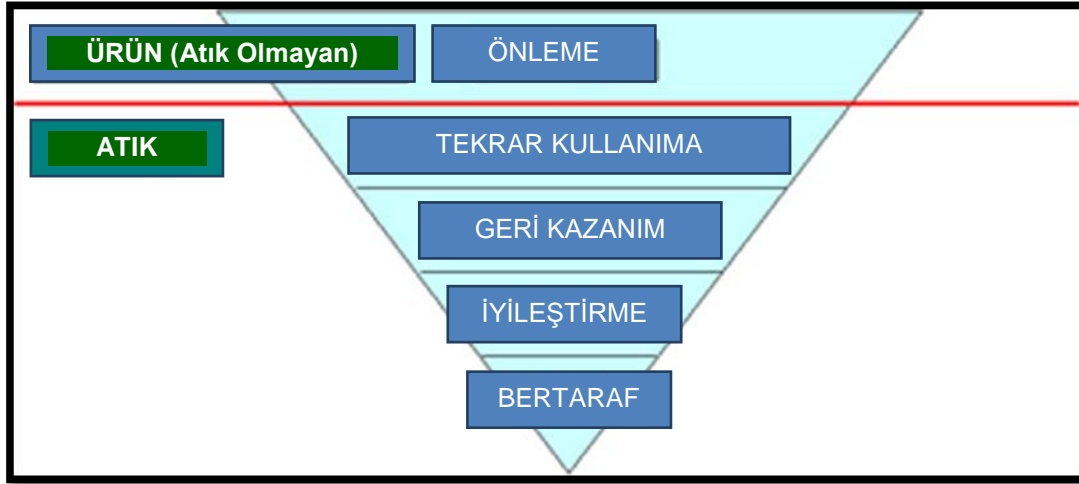
Sınıf 2 atık sınıf 1 veya sınıf 3 olarak tanımlanmamış zararlı olmayan herhangi bir atık maddedir.

Sınıf 3 atıklar tesirsiz (inert) ve esasında çözünebilir olmayan, genellikle kayaç, tuğla, cam, toprak ve kendiliğinden bozunmayan belirli plastikler ve kauçuklar vb. maddeleri içermekle birlikte onlarla sınırlı olmayan maddelerdir.

Atık yönetimi dünyada tercih edilen stratejiler kullanılarak yapılmalıdır. Uluslararası Petrol ve Doğal Gaz Üreticileri (International Association of Oil and Gas Producers, IOGP) atık yönetimi için "5R" stratejisini uygulamayı tavsiye etmektedir. Şekil 1'de "5R" stratejisinde sürecin nasıl işlediği gösterilmiştir, [3]. Buna ek olarak, Şekil 2'de gösterilen Avrupa Birliği atık işletme hiyerarşisi, atık yönetimi ve atık yönteminin seçilmesinde referans alınan temel kaynaklardan birisidir, [4]. Her iki yaklaşımda da öncelikle atıkların tanımlanması, sınıflandırılması ve miktarının belirlenmesi önceliklidir. Ayrıca, atıkların içeriklerine göre ıslahı ve sonrasında bertarafının yapılması vurgulanmaktadır. Bertarafından önceki adımın, atıkların geri kazanımı ve tekrar kullanımının olduğu görülmektedir. Diğer önemli olgu ise atık-olmayan maddelerin atıklardan ayrılması ve geri dönüşüm olarak kullanılmalarının sağlanmasıdır.



Şekil 1. IOGP'nin 5R atık yönetimi stratejisi [3].



Şekil 2. Avrupa Birliği atık işletme hiyerarşisi [4].

2. İKİNCİL İSLAH YÖNTEMLERİ (SECONDARY TREATMENT METHODS)

Sondaj atığı içeriğinde atık sondaj akışkanı, kullanılan sondaj akışkanı bulaşımli sondaj kırıntıları ve bunlar kadar olmasada çimento harcı, tampon akışkanlar (spacers) ve değişik akışkanlardan muhtelif akışkanlar bulunur. Sondaj akışkanı atık miktarı birkaç faktöre bağlıdır. Bunlar, kuyu çapı ve derinliği, katı kontrol sistemi verimliliği, sondaj akışkanının sondaj kırıntılarını dispersiyonunu veya bozunmasını önleyebilme (inhibisyon) yeteneği ve sondaj kırıntılarında korunan sondaj akışkanının miktarıdır. Sondaj akışkanının birincil ıslahı işleminden sonra oluşan sondaj akışkanı atığındaki katı fraksiyonu miktarı azami %50 ile %25-30 arasında bir değer göstermektedir [1]. Bunun anlamı, sondaj kırıntılarının tamamının sirkülasyon sisteminden atılmadığı ve sirkülasyon sistemindeki akışkan içerisinde zamanla birikerek artış gösterdiğidir. Bu nedenle, sondaj akışkanının katı madde miktarını bünyesinde taşıma toleransı veya yeteneği atık oluşumu miktarını doğrudan etkileyen önemli bir özelliktir. Bu toleransın en düşük olduğu sondaj akışkanı türü su bazlı çamurlar olup, en fazla sondaj akışkanı atığına bu çamurlar yol açmaktadır. Bununla birlikte, katı kontrol sistemi verimliliğindeki küçük bir iyileştirme, bertarafı gereken atık hacminde çok önemli azalmaya neden olmaktadır [1].

Genel olarak su bazlı sondaj akışkanı kullanıldığında oluşan atık hacmi miktarı sondaj yapılan kuyu hacminin sekiz katı veya daha fazlasıdır. Bazı sondaj uygulamalarında sondaj atığı hacminin kırk kat

veya daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Bu değer, petrol bazlı veya sentetik çamur (non-aquaeus fluid, NAF) kullanıldığı durumda kuyu hacminin üç veya dört katı olarak ölçülmektedir ve bu sondaj çamurlarının katı toleransının çok daha fazla olduğunu göstermektedir [1]. Modern su bazlı çamurların özelliklerini ayarlamak için su kaybı önleyiciler, yağlayıcılar, akmazlık sağlayıcılar vb. çoğunlukla organik kökenli olan inhibitiv katkıları kullanılmaktadır. Büyük miktarda sondaj akışkanı atıldığında, organik malzemelerden kaynaklı kimyasal yüklemelerde yüksek olabilmektedir. Sentetik akışkanların birim hacminde su bazlılara göre daha fazla organik kökenli katkı maddeleri bulunmakla birlikte, çok daha az miktarda atık hacmi oluştuğu için çevreye olan organik madde emisyonu da daha azdır.

Sondaj çamuru atığının ıslahı ve bertarafında sorun oluşturan üç temel madde sırasıyla; (i) ağır metaller, (ii) tuzlar ve (iii) petrol kökenli yağlar ve grestir [1]. Bu durum, sondaj akışkanının etkin bir şekilde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Sondaj çamuru kaynaklı atıkların yönetilmesinde veya ıslahında kullanılan ve bu çalışmada bir kısmı göz önüne alınan temel yöntemler aşağıda sıralanmakta ve her bir yöntem genel hatlarıyla açıklanmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yöntemin uygulandığı ve susuzlaştırma (dewatering) olarak adlandırılan yöntem bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır ve 3. Bölüm altında ayrıntılı tanıtılmaktadır.

1. Mekanik kırıntı kurutma (Mechanical cutting dryer)
2. Atık yakımı (Incineration)
3. Biyolojik bozunma ıslahı (Biodegradation treatment)
4. Tesirsizleştirme (Inerting)
5. Doğal yeri dışında iyileştirme (Ex-situ remediation)
 - a. Arazi iyileştirme (Land farming)
 - b. Biyoreaktör (Bioreactor)
6. Yerinde ıslah (In-situ treatment)
 - a. Enjeksiyon (Injection)
 - b. Atık gömme (Landfill)
7. Fiziksel ve kimyasal işlemlerle susuzlaştırma (dewatering)

Literatürde yaygın olarak karşılaşılan durum, sondaj çamurlarının ıslahı ve bertaraf yöntemlerinin çoğunun petrol bazlı çamurlar için geliştirilmiş olmasıdır. Tesirsizleştirme (Inerting), Yakma (Incineration), Biyolojik bozunma (Biodegradation) ve Arazi iyileştirme (Landfarming) yöntemleri petrol bazlı çamurlar için tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bununla birlikte, petrol bazlı çamurlar için geliştirilmiş olan bu yöntemler diğer çamur türlerinde de kullanılmaktadır. Genel olarak, bu yöntemler çamur içerisindeki organik bileşenleri yok etme ya da ayırma üzerine geliştirilmiştir. Yeraltına enjeksiyon yöntemi doğaya zararı olmayan herhangi bir çamur çeşidi için kullanılabilir.

2.1. Mekanik kırıntı kurutma (Mechanical cutting dryer)

IOGP'nin 2016 yılındaki atık yönetim raporuna göre, çoğunlukla kırıntı/katı/kesinti santrifüj kurutucusu (centrifugal cuttings dryer) yöntemi, sentetik bazlı susuz (non-aqueous) sondaj çamurlarında kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde, sondaj çamuru kırıntılarında korunan temel akışkan (Base fluid retained on cuttings, BFROC) konsantrasyon değeri azaltılarak daha iyi ıslah işlemi gerçekleştirilmektedir. Katı kurutucu sisteminin hem yatay hem de dikey versiyonları mevcuttur. Sıvıyı katıdan ayırma işlemi iki sistemde de içinde telli basket elekli ve hızlı dönen koni ile yapılmaktadır [5].

2.2. Yakma (Incineration)

Mascarenhas (2003) yaptığı atık gazların yakılması çalışmasında yakma (incineration) metodunun sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli olduğunu ve metan gazının küresel ısınma potansiyelinin, CO₂ gazına göre 21 kat daha fazla olduğunu belirtmektedir. Çalışmasındaki örnek olay incelemelerinin birisinde yakma metodunun başarılı şekilde sonuçlar verdiğini ve maliyetinin 3800 ABD dolarından daha az olduğunu belirtmiştir. Örnek olay incelemesinde, Dominion Exploration şirketi Roundhill, ABD kasabasının yakınındaki bir kuyuyu test etmek istemiş, ancak kuyunun şehre çok yakın olması çevre halkının rahatsızlığına yol açmıştır. Sonuç olarak şirket 5 günlük test işlemi için yakma yöntemini tercih etmiş ve %99.99 yakma verimliliğiyle işlemi gerçekleştirmiştir [6].

2.3. Biyolojik bozunum (Biodegradation)

Ivembore vd., (2000) Nijerya'da yaptıkları laboratuvar deneyleriyle sentetik bazlı çamurun biyolojik bozunumunu incelemişlerdir. Ölçümlerde kullanılan katı faz biyolojik bozunumu testini değiştirerek Nijerya'daki çevreye göre uyarlamışlardır. İçerisinde ester, olefin ve bu ikisinin karışımı olan sentetik bazlı çamurun katı faz biyolojik bozunumunu test (Solid phase Biodegradation test) metoduyla hem tatlı su hem de tuzlu su ortamındaki biyolojik bozunumu yüzdesini gözlemlemişlerdir. Günlük olarak suyun çözülmüş oksijen, tuzluluk, pH, iletkenlik ve maksimum-minimum sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, COD (kimyasal oksijen talebi, chemical oxygen demand) ölçümü haftalık olarak yapılmıştır. Sonuç olarak, esterin oksijensiz ortamda olefine göre daha hızlı biyolojik bozunuma uğradığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, sentetik bazlı çamurların tuzlu su ortamında tatlı suya göre daha hızlı biyolojik bozunuma uğramıştır [7].

2.4. Tesirsizleştirme (Inerting) yöntemi:

Morillon vd., (2002) yaptıkları çalışmada tesirsizleştirme metodunu iki sürece ayırır: duraylaştırma (stabilisation) ve katılaştırma (solidification). Bu metodun amacı çevreyi kirleten petrolün kaplanması ve doğaya zararının engellenmesi üzerinedir. Duraylaştırma ve katılaştırma sürecinde atık çamurun kireç ve çimento gibi maddelerle karıştırıldıktan sonra çimentonun katı matriksinde çökeltme işlemi gerçekleştirilmektedir. Duraylaştırma yöntemi Venezuela'da Jusepin petrol sahasında kullanılmıştır. Endonezyanın Handil bölgesinde çamuru katılaştırdıktan sonra oluşan katı madde yol yapımında kullanılmıştır ve örnek teşkil etmektedir [3].

2.5. Arazi iyileştirme (Land farming)

Ladousse vd., (1996) Fransada yaptıkları çalışmada petrol bazlı çamurlar için *arazi iyileştirme* yöntemini kullanarak, bu yöntemin alternatif bir çözüm olabileceğini ortaya koymuşlardır. Deneyler için Fransa'da Total şirketinin sondaj işlemini gerçekleştirdiği kuyudan petrol bazlı çamur örneği kullanılmıştır. Ancak, petrol bazlı çamurun araziye dökülmeden önce ısı ya da kimyasal yöntemlerle ıslahı gerekmektedir. Toplamda iki yıl boyunca süren çalışmada senede bir kere yapılan hasattan sonra bitki, bitki kökleri ve tohumlarda değerlendirme işlemi yapılmıştır. Bu yöntemde en etkili parametrelerden birisi de atmosfer sıcaklığıdır ve Fransa'da yıllık ortalama sıcaklık değeri 11°C'dir. Ancak, biyolojik bozunumun (biological degradation) gerçekleşmesi için en uygun sıcaklık aralığı 20-35°C'dir. Çamurdaki hidrokarbon bileşenlerinin yerin 8 inç (yaklaşık 20 cm) derinliği altına geçmemiş olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, mısır ve buğday hasatında %10 üzerinde azalma olmasına rağmen, çamur atığının bu bitkilerin filizlenmesine herhangi bir engelinin olmadığı rapor edilmiştir [8].

Diğer ekilen bitki çeşidi olan bezelye yemi (fodder pea) üzerinde herhangi bir olumsuz etkinin olmadığı gözlemlenmiştir. Tüm testlerde hidrokarbonların %90'dan daha fazlasının toprağın mineral matriksinde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Hidrokarbonların %75'ini aşkın kısmı biyolojik olarak parçalanmış ve başarılı şekilde elde edilen mahsullerde herhangi bir petrojenik hidrokarbon izine rastlanmamıştır, [8].

2.6. Arazi iyileştirme (Land farming) ve Biyoreaktör (Bioreactor)

Hejazi ve Husain (2004) Suudi Arabistan'ının Juaymah sahasında yaptıkları kapsamlı saha deneyleri çalışmasında *arazi iyileştirme* yönteminde hangi faktörlerin daha önemli olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Yapılan saha deneyleri toplamda 12 ay devam etmiş ve mevsimsel etkiler de ortaya çıkarılmış ayrıca, her ay devamlı ölçümler alınmıştır. Bu yöntemin daha çekici (avantajlı) olmasının nedenlerinden birisi de, iklimin kurak ve sıcak olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada kullanılan petrol atıklarını arıtmak için arazi iyileştirme (landfarming) ve biyoreaktör (bioreactor) teknolojileri kullanılmıştır. Toplamda 6 tane arazi iyileştirme ve 3 tane de biyoreaktör ünitesi kullanılmıştır [9].

LF1 (Herhangi bir işlem yok) ünitesinde doğal zayıflama (natural attenuation) sürecini gözlemlemek için herhangi bir işlem yapılmamıştır ve baz noktası olarak düşünülmüştür.



LF2 (Yerin sürülmesi) ünitesinde ise, haftada bir kere yerin altındaki mikro organizmaları havalandırmak için 8 inç kalınlığında yerin sürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

LF3 (Yerin sürülmesi+Sulama) ünitesinin, LF2 ünitesinden tek farkı sulama işleminin yapılmasıdır. Bu ünite yer sürülmesi ve nemliliğin bu süreçteki etkilerini gözlemek için kullanılmıştır.

LF4 (Yerin sürülmesi+Besleyici madde) ünitesinde ise yer sürülme işleminin yanında besleyici maddeler eklenmiştir.

LF5 (Yerin sürülmesi+Besleyici madde +Sulama) ünitesinde ise besleyici madde eklenmiş, ayrıca periyodik olarak havalandırma ve sulama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

LF6 (Yerin sürülmesi+Besleyici madde +Sulama) ünitesinde işlemler LF5 ünitesinin aynısıdır, sadece petrol miktarı iki katına çıkarılmıştır. Petrol yükleme işleminin bozunma (degradasyon) hızı üzerindeki etkisini incelemek için petrol miktarı artırılmıştır.

BR2 (Hava+ Besleyici madde+Sulama) kapalı ünitesinde, besinler atık maddeyle beraber işleme konulmuştur. Havalandırma ve sulama işlemleri haftalık yapılmıştır. Toprağın üst kısmı kil yardımıyla kaplanmıştır.

BR3 (Hava+ Besleyici madde+Sulama) ünitesi BR2 ile farklı olduğu tek nokta üst kısmının kapalı olmamasıdır. LF5 ünitesi ile karşılaştırma yapılabilmesi için havalandırma ve sulama işlemi elle yapılmıştır.

BR4 (Herhangi bir işlem yok) kapalı ünitesinde doğal zayıflama (natural attenuation) sürecini gözlemek için herhangi bir işlem yapılmamıştır.

Sonuç olarak, havalandırma (buharlaştırma) işlemi yaklaşık olarak petrol ve gaz değerinin %76'sını 12 aylık periyotta bozunuma uğradığını göstermektedir. Ayrıca, yerin sürülmesi, sulama ve besleyici katkıların eklenmesi işlemlerinin arasında en önemli etkenin yerin sürülmesi olduğu saptanmıştır. Su ve besleyici madde eklenmesi bozunma hızını düşürmüştür ve havalandırmanın azalmasına neden olmuştur. *Biyoreaktör* ve *arazi iyileştirme* yöntemleri karşılaştırıldığında ise, arazi iyileştirme yönteminin daha etkili olduğu saptanmıştır. Ayrıca, her ay ölçüm alındığından mevsimsel etkileri de incelemek mümkündür. İki biyoreaktör (BR2 ve BR3) karşılaştırıldığında ise herhangi bir farkın olmadığı sonucuna ulaşılmıştır [9].

2.8 Yerinde ıslah - reenjeksiyon (In-situ treatment - reinjection)

Deniz kuyularında sondaj akışkanının bertaraf edilmesi için kullanılan yöntemlerden birisi de reenjeksiyon (Reinjection) yöntemidir. Yerinde bertaraf yönteminin bir çeşidi olan enjeksiyon yöntemi onshore sondaj işleminde de kullanılmaktadır. Bu yöntemin avantajı, atık maddelerin taşınma maliyetini ortadan kaldırmasıdır. Minton ve Secoy (1993) yaptıkları çalışmada Kuzey Denizinde reenjeksiyon yönteminin ilk denemesinin başarılı bir şekilde olduğunu ve uygun mühendislik analizleri ve planlamayla diğer Kuzey Denizi kuyularında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Bu projeyi Drilling Engineering Association in Europe'un (DEAE) 12 üyesi başlatmıştır. İlk deneme enjeksiyon işlemi U.K Continental Shelf Clyde platformunda yapılmış ve enjeksiyon sırasında yüzey basınç değerleri ölçülmüştür. Operasyon sonrasında çatlak geometrisinin analizi için 3B sayısal çatlak simülatörü TERRAFRAC kullanılmıştır. Basınç profilleri ve çatlak analizlerinin korelasyon sonucuna göre her enjeksiyon sonucunda tek çatlak oluştuğu saptanmıştır [10].

2.9 Yerinde ıslah - atık gömme (In-situ treatment - landfill)

Atık gömme (Landfill) yerinde ıslah yönteminin diğer bir çeşididir ve maliyetinin düşük olmasından dolayı çoğunlukla tercih edilmektedir. Maliyetlerin düşük olması ıslah işlemi için nakliye ücretinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Swarbrick ve Valsky [xx] yaptıkları çalışmada Avustralya'daki atık gömülen yerlerde atık kütlelerinin taşınma hızını incelemişler. Ayrıca, çoğu resmi yetkililer (regulatory authority) atık gömmenin kirliliğe neden olduğunu söylemesine rağmen, eğer atıkların kütle akışı ve konsantrasyon değeri çevreye göre daha az ise çevresel etkisinin önemli ölçüde azalacağını

belirtmiştir. Gazların ve kirletici sızıntı (leachate) emisyonlarında elementlerin kütle akışını modellemek için C,Cl,S,Fl,Pb,Fe,Zn,Cu,Hg ve Cd elementlerini materyal akış analizinde kullanmışlardır. Sonuç olarak, gaz ve kirletici (leachate) kütle akışının, yakma yöntemine (incineration) göre oldukça az olduğu sonucuna ulaşmışlardır [11].

3. FİZİKSEL VE KİMYASAL İŞLEMLERLE SUSUZLAŞTIRMA (DEWATERING)

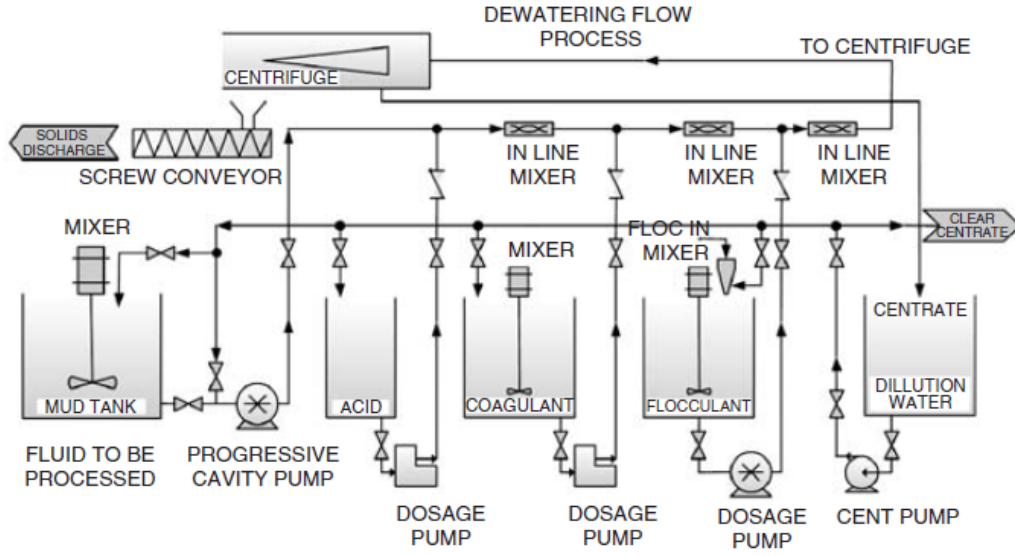
Susuzlaştırma kimyasal olarak geliştirilmiş santrifüj seperasyonunun sanat ve bilimidir. Susuzlaştırma yöntemi elekler, hidrosiklonlar ve santrifüjlerden sonra ayırma işleminin yapıldığı ve kapalı devre sistemin en son adımudur. Yüksek hızlı santrifüjler 2-3 mikron veya daha büyük boyutlu parçacıkları sistemden uzaklaştırırken, susuzlaştırma bütün koloidal parçacıkları (mikron ve mikron altı boyutlu) akışkandan uzaklaştırabilmekte ve temiz su oluşumunu sağlamaktadır. Özellikle teknolojinin gelişmesiyle daha kompakt (küçültülmüş) ünitelerin daha az maliyetle elde edilmesi sonucu, susuzlaştırma yöntemi çoğu durumlarda yaygın bir uygulama olmaya başlamıştır. Yöntemin ekonomik avantaj sağladığı durumlar tatlı su kaynağı eldesinin zor ve kısıtlı olması veya standart dışı değerlere sahip atık sıvısının bertarafının yapıldığı uzak yerlere nakliyesinin pahalı olduğu koşullardır [1].

Yağların veya yağlayıcıların bulunması su bazlı akışkanların susuzlaştırılmasını etkilememektedir. Koloidal katılar uzaklaştırıldığı zaman, yağlar, yağlayıcılar veya organik maddeler sıvıdan ayrılarak suyun üzerinde yüzme eğilimi gösterirler. Bazıları diğerlerine göre daha kolay olmakla birlikte, bütün su bazlı akışkanlar susuzlaştırılabilir. Petrol bazlı çamurların susuzlaştırılmaları daha zordur ve emülsiyon kırıcılarla (demulsifier) petrol ve suyun ayrışması için ön işlem yapılmasını gerektirir. Ancak, günümüzde, hatta çimento ile kirletilmiş akışkanların bertaraf maliyetlerinin sadece katı kısmının sahadan uzaklaştırılarak azaltılabilmesi için lokasyonda susuzlaştırma yapılabilir.

Tipik bir susuzlaştırma ünitesinde bulunan temel aksamlar ve görevleri aşağıda listelenmekte ve sistem Şekil 3'te gösterilmektedir [1];

1. İşlem yapılacak atık akışkanın homojen bir şekilde oluşmasını sağlamak için bir *kariştiricili depolama tankı*.
2. Kimyasal katkılar için pompa ile besleme kontrollü *küçük depolama tankları* – asit ve topaklaştırıcı (coagulant) için birer tank ve floküle edici için iki tank. Floküstasyon ile çökertme için daha fazla zamana gereksinim olduğu için iki tank kullanılmaktadır.
3. Santrifüje sabit debide akış sağlamak ve işlenmiş akışkanı sabit basınç altında beslemek için *pompa*.
4. Akışkan santrifüje ulaşmadan önce kimyasal katkıların akışkanla yeterince reaksiyona girmesine izin veren *kariştiricileri hat üzerinde (in line) olan manifold*.
5. Topaklanmış katıları uzaklaştırmak/ayırmak ve temiz suyu boşaltmak için istenen yerçekimi kuvvetini (g force) sağlayan *yüksek hızlı bir santrifüj*.
6. Santrifüjden çıkan temiz akışkanı geri dönüşüm kullanımından önce aktif sisteme vererek veya bertaraf edilmesi için *bir depolama tankı*.
7. Sıvı fazda bulunan yağ veya yağlayıcıları uzaklaştırmak için *süpürücüler (skimmers)*.

Susuzlaştırma üniteleri kulede yerleştirilebilecek küçük boyutta veya treyler üzerine monte edilmiş taşınabilir bir sistem olabilir. Lokasyondaki bir susuzlaştırma ünitesi standart dışı değerlere sahip akışkanın depolama tankına alınmasına izin veren ve katıları sıvıdan ayıran bir işlemdir. Susuzlaştırma işlemine ve uygulanan kimyasal iyileştirmeye bağlı olarak, akışkanın geri dönüşüm olarak kullanılması veya daha ileri iyileştirme sonrasında geri dönüşümde kullanılması sağlanabilir. Bunlardan ilk adımda elde edilen su yeterince temiz eğilimi göstermekle birlikte geri dönüşümden önce pH ayarı yapılmasını gerektirir. Ancak, daha ileri iyileştirme ise suyun lokal standartları sağlayarak bertaraf edilmesi için gerekli olabilir [1]. Arktik, ormanlık ve yağmur ormanları gibi yerlerde yapılan operasyonlarda susuzlaştırma ünitesinin lokasyonda kullanılması bir zorunluluktur. Yönetmelik ve regülasyonlarla koruma altında olan tatlı su kaynaklarına yakın sondajlarda, hassas balıkçılık alanları yakınlarında ve deniz canlılarını korumanın önemli olduğu yerlerde de susuzlaştırma ünitesinin lokasyonda kullanılması bir zorunluluk olabilir.



Şekil 3. Susuzlaştırma akış prosesi ve temel ekipmanlar [1].

3.1 Susuzlaştırma uygulama örneği

Wally vd., (1985) yaptıkları çalışmada atık sondaj çamurunu mekanik (fiziksel) ve kimyasal yöntemlerle temel bileşenlerine (sıvı ve katı fazlarına) ayırmışlar. Yöntem literatürde susuzlaştırma (dewatering) terimi ile ifade edilmektedir. Bileşenlere ayırma işleminde mekanik ekipmanlar kullanmışlardır. Bunlar, (a) Kıvamlaştırıcı birim (thickener unit), (b) Santrifüj, ve (c) Elektro flotasyon birimidir [12].

Atık çamur ilk olarak kıvamlaştırıcı birime pompalandıktan sonra pH değeri düşürülerek, maksimum flokülasyon elde edilmesi sağlanmaktadır. Flokülasyondan sonra katılar akışkan içinde daha çabuk çökmektedir. Çökme hızı oranını artırmak amacıyla kıvamlaştırıcının bölme/kompartiman/divar bölmeleri (sides of bays) eğimli olarak yapılır. İşlem sonucunda, çamurun sıvı kısmı katıdan ayrılarak savağın/bentin üst kısmından ikinci bölmeye yönlendirilmekte ve burada tekrar çökme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlemden sonra sıvı faz en son işlem için kıvamlaştırıcı tankta toplanılmaktadır. Bu tanktan da elektro-flotasyon birimine gönderilerek, bu işlem sırasında sıvıda hacimce %2 veya daha az katı madde kalması sağlanmaktadır.

Kıvamlaştırıcıdan çıkan katı maddeler daha fazla katı-sıvı ayrıştırma işlemi için santrifüje gönderilmektedir. Bu sırada yüksek yerçekim ivmeli (high G) santrifüj vasıtasıyla katı içerisinde kalmış olan su alınmaktadır (dewatering). Santrifüj çamur katılarının suyunu almak için özel olarak tasarlanmıştır. Bu artırılmış yerçekim ivmeli ortam katıların çökme oranını hızlandırmaktadır. İşlem sırasında filtre ile veya süzme yöntemiyle ayrılamayan katı maddelerin daha kolay sıvı fazdan ayrılmasının sağlanması amacıyla polimer katkısı kullanılarak sıvı faz içerisinde kalan çok küçük boyutlu katıların (kolloidal parçacıklar) sarılması/kapsülasyonu (encapsulation) gerçekleştirilmektedir. Santrifüjden elde edilen sıvı faz daha fazla katı seperasyonu için tekrar kıvamlaştırıcı birime akıtılabilir. Bu işlemler sonucunda elde edilen katı maddeler bir taşıyıcı (conveyor) yardımıyla sistemden uzaklaştırılmakta ve katı fazın bertarafı/uzaklaştırılması sağlanmaktadır.

Katkıların toksitlik değerlerini ölçmek için EP Toxicity Leachate atlı test uygulanarak, ağır metaller, yağlar ve gres, ve klorür sınırlarının aşılmadığından emin olunur. Testten elde edilen sonuçlar Louisiana Eyaleti Doğal Kaynaklar Kurumunun (Louisiana State Department of Natural Resources) koyduğu limit değerlerin altında olup olmadığı belirlenmektedir.

Elektro flotasyon birimi sıvı faza çok sayıda mikron boyutlu hava kabarcığı üreterek ultra küçük boyutlu katılara yapışmasını sağlamaktadır. Polimer eklenerek katıların ve ağır metallerin sarılması/kapsülasyonu gerçekleştirilmektedir. Kapsüllenen katılar bouyant kuvvetiyle yüzeye kaldırılarak uzaklaştırılmaktadır. Akan akışkan bulamacı (slurry) altındaki temiz su nihai tanka alınır ve

buradan ortama boşaltılır. Bu işlem ile ortama boşaltılan suyun yönetmelik ile izin verilen içerik değerlerine (pH, kimyasal oksijen talebi “chemical oxygen demand, COD”, ağır metaller “çinko ve krom”, yağ ve gres) sahip olduğu temin edilmektedir.

İşlem sonrası ortama suyun boşaltılabilmesi için Louisiana Eyaleti Doğal Kaynaklar Kurumunun uyguladığı sınır değerleri içeren tablo aşağıda verilmektedir.

Tablo 2. Ortama su boşaltımı için Louisiana Eyaleti Doğal Kaynaklar Kurumu sınır değerleri [12].

Atık su içeriği	Standart değer (azami)
pH	6-9
Klorür	500 mg/l
TSS	50 mg/l
COD	125 mg/l
Krom	0.5 mg/l
Çinko	5.0 mg/l
Yağ/gres	15 mg/l

Gogan vd., (2010) Kazakistan'ın Karachaganak doğal gaz sahasında petrol bazlı çamurun kullanılmasına başlandıktan ve sondaj kuyularının sayısının artmasından dolayı oluşan fazladan atıkları bertaraf etmek için Thermo-Mekanik katı temizleme tesisinin (Thermo-mechanic cuttings cleaner facility) inşa edildiğini çalışmada belirtmiştir. İnşaat maliyeti, sondaj kuyusunun çokluğundan dolayı yüksek maliyetli olmamıştır. Karachaganak doğal gaz sahasında ilk başta su bazlı çamur kullanılmış ve daha sonra petrol bazlı çamur ile birlikte hala kullanılmaya devam edilmiştir. Proje öncesinde su bazlı çamur atıkların işletimi kamyonetle özel alanlara taşınmakta olup, daha sonraki uygulamalarda santrifüj ve kimyasallar kullanılarak sıvı ve katıyı ayırıştırma yapılmıştır. 38 aylık proje süresinde, 10.000 m³ su %85 ayırıştırma verimiyle geri kazandırılmıştır ve sondaj işleminde tekrar tuzlu su yapımında kullanılmıştır [13].

3.2 Türkiye’de jeotermal sondaj kaynaklı atık bertarafı

Türkiye’de ağırlıklı olarak atık gömme (landfill) ya da atıkların ilgili belediyenin izin verdiği noktalara taşınarak doğaya bırakılması (landfarming) yöntemleri uygulanmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye’deki jeotermal kaynak arama/geliştirme amaçlı projelerde Çevre Etki Değerlendirme (ÇED) izinleri alınmadan herhangi bir inşaat veya kuyu sondajı faaliyetine başlanılamamaktadır ve olumlu bir durum olarak görülmektedir. ÇED izninin alınmasında çok sayıda kanun ve yönetmelik maddesi göz önüne alınmaktadır. Bu anlamda, regülasyonlarda bir kısım eksiklikler olmakla birlikte içerik olarak yönetmeliklerin yeterli olduğu değerlendirilmektedir. Her türlü faaliyet ve sonucun ilgili yönetmelikte belirtilen ölçütlere uygun olması bir zorunluluktur ve ÇED izni için yapılan başvurularda bu konulara atıfta bulunmaktadır. Ancak, diğer birçok alanda olduğu gibi Türkiye’de karşılaşılan temel sorun yeterli yönetmeliğin olmaması değil, uygulama sırasında yeterince kontrolün sağlanamaması ve ÇED raporu ile alınan izinlerde tanımlı operasyonlara ne ölçüde bağlı kalındığının belirlenememesi olduğu değerlendirilmektedir. Uygulama sırasında ortaya çıkan bu boşluğun giderilmesi için kamu denetiminde bir kontrolün sağlanmasıyla birlikte ilgili yerel yönetimlerin yetkilendirilmesi bir çözüm olabilecektir.

Benzer şekilde, sondaj operasyonu nedeniyle atık çamur miktarının veya hacminin ne kadar olabileceği hakkında yatırımcı şirketler tarafından planlama aşamasında bir tahminin yapılması zorunlu hale getirilmelidir. Bu tahminden yola çıkarak, nasıl bir ıslah ve bertaraf sisteminin veya yönteminin kullanılacağı planlama aşamasında ortaya koyulmalı ve bu işlem için nasıl bir atık yönetimi modelinin kullanılacağı ve bu işin maliyetinin ne olacağı da belirlenmeli ve gerekli bütçe kalemi oluşturulmalıdır.

Son olarak, sondaj uygulamaları kaynaklı atık oluşumu miktarları, ıslahı ve bertarafını içeren veriler istatistiksel olarak sürekli bir şekilde takip edilebilmeye olanak veren bir veri tabanı oluşturulmalıdır. Zaman içerisinde teknolojik gelişmelere bağlı olarak ne tür iyileşmelerin yapıldığı veya bir takım iyi veya örnek uygulamaların yaygınlaşması için bu veri tabanı oldukça yararlı olacaktır. En önemli yönü ise sektördeki atık ıslahı ve bertarafı kaynaklı maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada, bir kuyunun sondajı nedeniyle oluşan sondaj akışkanı atığınının ıslah ve bertarafını içeren temel yöntemler tanıtılmıştır. Jeotermal sahalarda da uygulanabileceği düşünülen ve henüz Türkiye’de kullanıldığına dair herhangi bir rapor bulunmayan susuzlaştırma (dewatering) yöntemi çalışmada ayrıntılı olarak verilmiştir. Yöntemin uygulanması ile atık hacminde büyük oranlarda azalma olabileceği yurtdışı uygulama örnekleriyle verilmiş ve büyük miktarda bir maliyet azalımının sağlanabileceği tahmin edilmektedir.

Sondaj akışkanı atığında sorun oluşturan maddeler üç ana grup altında listelenmektedir, bunlar; (1) ağır metaller, (2) tuzlar ve (3) yağ veya yağlayıcı greslerdir.

Atık sondaj akışkanı ıslahında ve bertaraf edilemesinde kullanılan ana yöntemler (i) arazi ıslahı, (ii) yerinde gömme, (iii) enjeksiyon, (iv) biyolojik bozunma, (v) atıkların yakılması, (vi) katılaştırma, (vii) susuzlaştırma olarak bilinmektedir. Arazi ıslahı (landfarming) yönteminde tarımsal traktör ve ekipmanlar kullanarak toprağın üst kısmında atık çamurun toprak ile karıştırılarak iyileştirme yapılmaktadır. Bu yöntem benzerlik gösteren yerinde gömme (land filling) ise en yaygın kullanılan uygulamadır. Diğer kullanılan bir yöntem atık çamurun terkedilmiş kuyulara veya koruma borusu anülüsünden enjeksiyon (injection) edilmesidir. Biyolojik bozunma (biodegradation) biyolojik mikro organizmaların kullanılmasıyla atığın bozunumunun sağlanması işlemidir ve şehirlerde oluşan atık suyun iyileştirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem atık su işleme ünitesinin inşasına gereksinim duymaktadır, bu yüzden diğerlerine göre karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Yakma yöntemi (incineration) sondaj akışkanında organik maddelerin yakılmasıyla sağlanan bir atık iyileştirme prosesidir. Bu prosesin hava kirliliği yönetmeliğince kabul edilmesi gerekmektedir, çünkü yanmadan sonra dumanlar atmosfere yayılmaktadır. Katılaştırma (solidification) yönteminde katı atık fazındaki su miktarı azaltılarak elde edilen katılar çimento ile işlemden geçirilerek sert ve geçirimsiz bir yapı oluşturması sağlanmaktadır. Bu katılar yol yapımı veya yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Susuzlaştırma (dewatering) yönteminde birtakım kimyasallar ve yer çekimi etkisi kullanılarak sondaj akışkanındaki sıvı fazın çamurdaki katı fazdan santrifüj yardımıyla ayrılması sağlanmaktadır.

Sondaj kaynaklı operasyonlardan oluşan atık maddeler için ülkemizde yeterli kanun ve yönetmelik olduğu görülmekle birlikte, uygulama sırasında iyi bir takip sisteminin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu amaçla, iyi bir veri bankasının oluşturulması ve sürekliliğinin sağlanması önerilmektedir. Veri bankasının halka ve şirketlere açık olması sağlanarak, iyi uygulamaların yaygınlaştırılması ve atık maliyetlerinin azaltılması hedeflenmelidir. Şirketlerden planlama aşamasında atık yönetimi, ıslahı ve bertarafı planlarını oluşturmaları ve bunun için gerekli bütçe kaynağını sağlamalarını temin edecekleri regülasyonlar hayata geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Robinson, L., (2005). *Drilling fluid processing handbook*, published by Gulf Professional Publishing of Elsevier, Burlington, MA, USA. ISBN 0-7506-7775-9.
- [2] **url_01:** https://www.epa.ie/pubs/reports/waste/stats/wasteclassification/EPA_Waste_Classification_2015_Web.pdf, accessed in March 2017.
- [3] Morillon, A., Vidalie, J.F., Hamzah, U.S., Suripno, S. and Hadinoto, E.K., (2002). Drilling and waste management, SPE Paper No: 73931, SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Kuala Lumpur, Malaysia, March 20-22.
- [4] **url_02:** <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework>, accessed in March 2017.
- [5] International Association of Oil&Gas Producers (IAOGP), (2016). Drilling waste management technology review, Report no: 557, June 2016.
- [6] Mascarenhas, A., (2003). Incineration: efficient, economical, and environmental, *Journal of Canadian Petroleum Technology*.
- [7] Imevbore, V.O, Nwankwo, J.N, Ifeadi C.N, and Ladan, M.D., (2000). Laboratory assessment of biodegradation of non-soluble drilling mud base fluids under Nigerian environmental conditions,



- SPE Paper No: 61043, SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil& Gas Exploration and Production, Stavanger, Norway, June 26-28.
- [8] Ladousse, A, Tallec, C, Cheineau TVD. C. and Vidalie, J. F., (1996). Landfarming of drill cuttings, SPE Paper No: 35879, International Conference on Health, Safety and Environment, New Orleans, Louisiana, USA, June 9-12.
- [9] Hejazi, R.F. and Husain, T., (2004). Oil sludge degradation study under arid conditions using landfarm and bioreactor technologies, SPE Paper No: 86663, 7th SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil& Gas Exploration and Production, Calgary, Alberta, Canada, March 29-31.
- [10] Minton, R.C. and Secoy, B., (1992). Annular reinjection of drilling wastes, SPE Paper No: 25042, SPE European Petroleum Conference, Cannes, November 16-18.
- [11] Swarbrick , G. And Valsky, A., Mass transfer rates for Australian landfills. Available from the link of www.onepetro.org
- [12] Wally, B.F, Reisema R.A, and Nance, G.W., (1985). Treatment of drilling fluid wastes in an environmentally acceptable manner, SPE/IADC Paper No: 13456, SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, USA, March 6-8.
- [13] Gogan, R, Vencezo, M. and Ayapbergenov, Y., (2010). Waste management for drillers, SPE Paper No: 139627, SPE Caspian Carbonates Technology Conference, Atyrau, Kazakhstan, November 8-10.

ÖZGEÇMİŞ

Gürşat ALTUN

1988 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Mühendis ve Louisiana Eyalet Üniversitesinden (ABD) 1999 yılında Doktor unvanını almıştır. 2000 yılından itibaren İTÜ Maden Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Sondaj mühendisliği, Kuyu tamamlama ve Kuyu logları konularında çalışmaktadır.

Hakmyrat ATAYEV

1993 yılı Türkmenistan doğumludur. Orta öğretimi Türkmenistan'da almıştır. 2011-2016 yılları arasında İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini almıştır. 2016 yılında İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamış ve halen devam etmektedir.