



Şeyl Gazı (Kaya Gazı) ve Çevresel Etkileri

Nazan YALÇIN ERİK

Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Böl., 58140, SİVAS

Received: 11.10.2016; Accepted: 11.11.2016

Özet. Son yıllarda şeyl formasyonlarından doğal gaz üretimi (şeyl gazı) karadaki hidrokarbon (petrol ve gaz) arama ve üretimlerindeki en hızlı gelişen eğilimdir. Şeyl gaz operasyonlarında teknolojik gelişmeler özellikle Amerika'da son birkaç yılda daha da hızlanmış ve bu süreç küresel olarak ilerlemeye devam etmektedir. Petrol ve gaz sektöründeki yeni gelişmeler çevre ve sosyo-ekonomik alanda, özellikle de doğal gaz gelişiminin yeni olduğu alanlarda birçok değişimi de beraberinde getirmiştir. Şeyl gaz ile ilgili çevresel etkiler küresel ve yerel düzeylerde etkili olmaktadır. Bunlar iklim değişikliği, sera gazı (GHG) emisyonları, yerel hava kalitesi, su temini, su kalitesi, sismik aktivite, yerleşim yeri ve toplumsal etkilerdir. Yoğun kuyu aralıkları, operasyonlardan dolayı oluşan gürültü, artan kamyon trafiği halk ve çevre için düşünülmesi gereken diğer konuları oluşturmaktadır. Bazı çevresel etkiler ise yeni teknolojik gelişmeleri kullanarak azaltılmıştır. Örneğin, şeyl gazı üretimi sırasındaki sera gazları azaltılmaya başlanmış ve tatlı su ihtiyacı ise operasyonda kullanılan suyun artırılması ve yeniden kullanılmasının yaygınlaşması sonucunda azalmaya başlamıştır. Sismik aktivitenin önlenmesi gibi diğer konular ise hala detaylı inceleme ve araştırmaya ihtiyaç duymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Şeyl gazı, hidrokarbon, çevre kirliliği, sera gazı, doğal gaz, su kirliliği

Shale Gas and Environmental Effects

Abstract. In recent years, natural gas production from shale formations (shale gas) is one of the most rapidly expanding trends in onshore hydrocarbon (oil and gas) exploration and production. Especially in the United States the development of technology within shale gas operations has been rapid within the last few years and is still ongoing globally. New developments about oil and gas sector create change to the environmental and socio-economic view, particularly in those areas where gas development is a new activity. Effective environmental impacts related with shale gas development occur at the global and territorial levels. These include impacts to climate change, greenhouse gas (GHG) emissions, local air quality, water availability, water quality, seismicity, and local communities. Dense well-spacings, noise from operations and increased truck traffic are further concerns for the environment and the public. Some environmental effects have already been effectively reduced using these new technological progress. For example, the reduction of greenhouse gas emissions during shale gas production and the reduction of freshwater demands by increased recycling and re-use of wastewater. Other issues still need more attention from research and development, e.g. the prevention of induced seismicity.

Keywords: Shale gas, hydrocarbons, environmental pollution, greenhouse gas, natural gas, water pollution

1. GİRİŞ

Dünyada endüstriyel gelişim hızı ile bu süreç nedeniyle oluşan çevre hasarları ve etkilerine ilişkin düzenlemelerin aynı hızda gerçekleşmemesi nedeniyle petrol ve kömür gibi fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre felaketleri uzun ve kısa dönemlerde etkisini göstermeye başlamıştır. Bu sayede, Dünya için yalnızca endüstriyel gelişimin önemli olmadığı, bununla birlikte geleceğe dair planlamaların sağlıklı bir çevre ve insanlık için yapılması gerektiği net bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Gerek küresel ısınmayla mücadele kapsamında sera gazı emisyonlarının azaltılmasının önem kazanması, gerekse enerji güvenliği ve maliyetleri ile ilgili hususların devletlerin stratejileri içindeki ağırlığının giderek artması, enerji alanındaki gelişmelerin insanlar ve siyasetçiler tarafından daha

* Corresponding author. Email address: nyalcin@gmail.com

yakından takip edilmesine neden olmuştur. Temiz ve güvenli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilen doğalgaz kullanımı da, dünya genelinde arz talep dengesi bakımından ülkelerin enerji politikalarının önemli bir bileşeni durumundadır [1].

Bu çerçevede, alternatif doğalgaz üretim yöntemleri (geleneksel olmayan) veya var olan kaynakların daha etkin kullanım olanaklarının geliştirilmesine yönelik araştırmalar da büyük önem arz etmektedir. Bu kaynaklardan birisi de yıllardır ekonomik olmadığı için üretilmeyen ancak gelişen teknoloji ve bilim sayesinde üretilebilir düzeye gelen şeyl gazıdır. Derin ve geçirimsiz sedimanter kayalarda birikmiş ancak geleneksel doğalgaz çıkartma yöntemlerinden farklı teknolojilerle çıkartılabilen bu doğalgaz ülkemizdeki yaygın kullanımı ile “**kaya gazı**” veya daha doğru bir tanımlama olan “**şeyl gazı**” olarak adlandırılmaktadır [2].

2000’li yılların başından itibaren ABD’de şeyl gazı üretimi çok hızlı bir artış kaydetmiş, şeyl gazı üretimine ilişkin teknolojiler de kayda değer bir gelişme göstermiştir [3]. Şeyl gaz üretim operasyonlarının ABD’deki başarısı, dünyanın geleneksel doğalgaz rezervleri yönünden herhangi bir zenginliğe sahip olmayan ancak şeyl gazı rezervlerinin bulunduğu bölgelerde de üretim yapılabileceği ümidini vermiştir [3,4].

Dünya enerji piyasası için “son yüzyılın enerji devrimi” olarak nitelendirilen şeyl gazı (kaya gazı) aynı zamanda çevrecilerin de yoğun protestolarına konu oluşturmaktadır [5]. Özellikle şeyl gazının üretilebilmesi amacıyla geliştirilen “Hidrolik çatlatma (suyla çatlatma veya sadece çatlatma)” tekniği bu itiraz ve endişelerin esas kaynağıdır [6,7]. Çevre kirliliği, su kaynaklarının tükenmesi ve kirlenmesi, zararlı kimyasal atıklar, gürültü, toprak ve tarımsal alan kayıpları, radyoaktif bileşenlerin etkisi gibi ölçülebilir ve belki de büyük oranda kontrol edilebilir unsurlar veya şeyl gazının enerji piyasalarında yaratacağı küresel etkiler (OPEC ve şeyl gazı üreticileri arasındaki rekabet veya küresel petrol ve gaz arzındaki değişimler), siyasal denge değişiklikleri (ticaret yollarının, ithalat ihracat arz-talep dengesinin değişmesi) ve petrol ve gaz gibi geleneksel enerji kaynaklarına olan ilgi ve talebin azalması sonucunda ekonomik anlamda zarar görecektir. Ülkelerin durumu gibi birçok değişkeni içinde bulunduran kaotik bir hal oluşturmuştur [8, 9]. Dolayısıyla şeyl gazı sadece bir enerji kaynağı olarak petrolün yerini alma veya gelecekte enerji açısından refahı devam ettirebilecek bir umut kaynağından çok, ekonomik endişeler, siyaset veya çevre sarmalının içinde kalan bir özelliğe bürünmüştür. Bu çalışma ile de son 10 yıldır devam eden şeyl gazı üretiminin yarattığı çevresel etkiler ve gelecekte canlı hayat için potansiyel risk alanlarına kısaca değinilmeye çalışılacaktır.

2. ŞEYL GAZI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Şeyl gazı üretimi doğrudan veya dolaylı olarak birçok ülkede politik- ekonomik ve sosyal alanda değişimlere neden olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Özellikle yüzlerce yıldır devam eden geleneksel fosil yakıt egemenliğinin yarattığı belli bir düzen ve kendi içindeki istikrar veya rutinler bir anda şeyl gazı üretiminin Amerika’da başlaması ve ardından da hızla dünyaya yayılmasıyla aniden çok boyutlu değişim ve dönüşümleri de beraberinde getirmiştir [2]. Ancak dünyada şeyl gazı araştırma ve üretiminin çevresel etkileri, tüm bu etkilerden belki de daha çok ilgi çeken bölümü oluşturmuştur [5,9,10].

Şeyl gazı gibi geleneksel olmayan kaynaklardan gaz üretimine yapılan itirazların büyük kısmının konusu su ve su kaynakları ile ilgilidir [11,12,13]. Gelecek nesiller ve yaşamın devamı için en büyük sorunlardan biri olacağı öngörülen temiz su temininin, var olan su kaynaklarını daha etkin bir şekilde kullanmaya zorlaması, ardından bu tip üretim süreçlerinde oldukça fazla suyun kullanıldığının fark edilmesi itiraz ve protestoların başlangıç noktasını oluşturmuştur.

Şeyl Gazı (Kaya Gazı) ve Çevresel Etkileri

Temiz su kaynakları olarak adlandırılan yeraltı ve yüzey sularının milli varlıklar olması ve bunların bazı şirketler tarafından kontrolsüz kullanılması şeyl gazı üretimi için operasyon yapan şirketlere civarda yaşayan halk tarafından tepki duyulmasına neden olmuştur [14]. Özellikle suyun sağlanabilirliği ve kullanımı, potansiyel yeraltı suyu kirliliği, yüzeye sızan çatlatma sıvıları, hava kirliliği, sismik aktivite (depremler) nedeniyle yollarda ve binalarda gelişen çatlaklar ve deformasyonlar da kamuoyu tarafından tüm dünyada çeşitli boyutları ile tartışılan, çözüm yolları bulunması için uğraşılın diğer konulardır (Şekil 1).

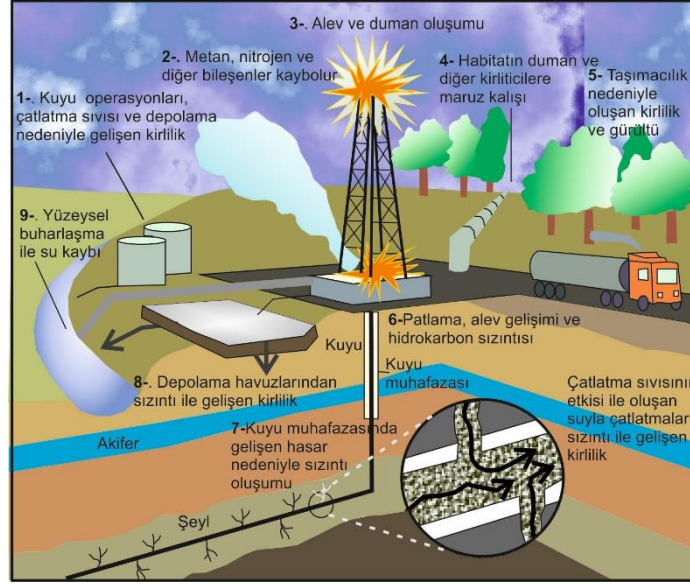


Şekil 1. Şeyl gazı üretimi ile insan-çevre etkileşim alanları (umaine.edu'dan değiştirilerek)

Çevre ve insanlar açısından şeyl gazı endüstrisine yöneltilen başlıca eleştirileri şu şekilde özetlemek mümkündür [6,9,15] (Şekil 2);

- ✓ **Aşırı su kullanımı;** Kuyu operasyonlarında kullanılan aşırı miktarda su, gelecekte tükenme potansiyeli yüksek olan temiz su kaynaklarını azaltmakta veya bitirmektedir.
- ✓ **Kum ve diğer katkı malzemeleri;** Hidrolik çatlatma için kullanılan sıvı, yeraltı su kaynaklarını kirletebilecek birçok tehlikeli kimyasal maddeden oluşmaktadır.
- ✓ **Toksik Kimyasallar;** Hidrolik çatlatma sonrasında yüzeye dönen atık sular, tuz ve radyoaktif maddelerce zenginleşmiş, başka bir ifade ile kirlenmiştir. Yer üstü su kaynakları, toprak ve doğal yaşam için zararlı olmaktadır.
- ✓ **Gaz Karışımı;** Şeyl gaz operasyonlarında açılan kuyuların çelik ve beton kaplamalarının düzgün yapılmaması, yeraltı suyuna gaz (metan) karışmasına neden olmaktadır.
- ✓ **Hava Kirliliği;** Gazın yeryüzüne çıkartılması esnasında yaşanabilecek doğalgaz kaçakları, karbondioksitten çok daha fazla sera gazı etkisi içeren metanın atmosfere salınmasına, dolayısıyla hava kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca kuyu operasyonları sırasında kullanılan kimyasalların kamyonlar gibi büyük motorlu araçlarla taşınması o alanda yoğun trafik karmaşası ve hava kirliliğinin başlıca sebebidir.

- ✓ **Hastalık etkenleri;** Dolaylı ve dolaysız olarak çatlatma sırasında veya sonrasındaki pek çok etken insan sağlığına etki etmektedir. Kullanılan kimyasalların (özellikle silika) çatlatma sıvısı hazırlanması sırasında işçiler tarafından solunması veya atık suların kontrolsüz terki bunların başlıca sebebidir.
- ✓ **Atık maddeler;** Gerek çatlatma sıvısı ve diğer eklentilerin depolanması ve çevreye en az zarar verecek şekilde yok edilmemesi durumunda binlerce ton kimyasal madde hava, toprak ve suda yaşayan, insanlar dahil olmak üzere tüm organizmaları zehirleyici etkiye sahip olacaktır.



Şekil 2. Şeyl gaz üretimi ve sonrasında çevresel etkilerin nedenleri ve sonuçları (www.princeton.edu).

2.1. Doğal olarak oluşan radyoaktif mineraller ve iz elementler

Marcellus şeylleri (ABD) gibi siyah şeyllerde eser miktarlarda ^{238}U , ^{235}U , ^{40}K , ile daha yüksek oranlarda da ^{232}Th bulunmaktadır. Genel olarak şeyllerde uranyum ve toryum miktarı kumtaşlarına göre 1,5 kat daha fazladır ve bu da doğal olarak sondaj sırasında çatlatma sıvısına geçmektedir [16]. Üretim çalışmalarında doğal olarak oluşan radyoaktif minerallerin (NORMs) hareketliliği rezervuarlar, sondaj kesintileri ve çatlatma sonucunda geri alınan suya ve bunların birim sahalarına dikkatleri çekmiştir [17,18] (Şekil 3). Bunlardan özellikle krom ve vanadyumun yeraltı sularına karışması önemli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir [19]. 2014 yılında Duke Üniversitesi araştırmacıları tarafından Pensilvanya'daki bazı üretim sahalarında Marcellus şeyline ait üretim seviyeleri incelenmiş ve üretim sıvılarında büyük oranda (normalden 200 kat fazla) doğal radyoaktivite izlerine rastlanmıştır [16]. Son zamanlarda ise özellikle NORM'lar arasında daha da önemli olduğu düşünülen Radium (Ra) izotoplarının atık sularındaki zenginleşmeleri ve bunların tehlikeleri üzerinde durulmaktadır [20]. Bu radyoaktif bileşenler sadece çevre (toprak, su, hava ve canlılar) için değil aynı zamanda o alanda çalışan insanlar için de zararlıdır.

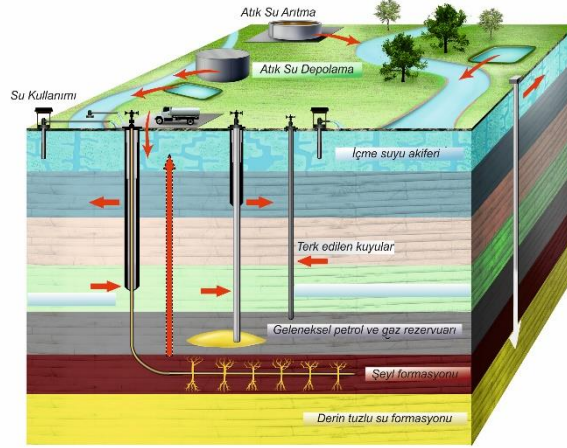
Şeyl Gazı (Kaya Gazı) ve Çevresel Etkileri



Şekil 3. Geri alınan çatlatma sıvılarının biriktirildiği havuzlar ve bu atıkların çöp depo alanına nakliyesi için paketlenmesi (www.frackcheckwv.net).

2.2. Yüze ve yeraltı sularına etkileri

Yeraltı suyu kirliliği genellikle “sondaj” veya “çatlatma” işlemleri sırasında ve/veya sonrasında gelişir [14]. İçme sularına karışan metan ve çatlatmada kullanılan kimyasallar bu kirliliğin en önemli nedenleridir. Hidrolik çatlatma için büyük miktarda su ve kimyasal maddenin yeraltına enjekte edilmesi gerekir ki, suyun miktarı her bir çatlatma için 50 000-100 000 galon (190-380 m³) olup, yatay bir şeyl kuyusu için 1-8 milyon galon (3 800-30 000 m³) su ve binlerce tondan daha fazla kimyasal maddeye ihtiyaç vardır. Bu kadar suyu hayal edebilmek için ExxonMobil tipik bir yatay şeyl kuyusunda sondaj ve çatlatma için 3-6 olimpik havuz dolusu suya ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir (Olimpik havuz hacmi 2500 m³ veya 660 000 US galon) [21]. Şeyl gaz operasyon sürecinde su kaynakları için potansiyel risk alanları ile ilgili olanlar Şekil 4’ de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



Şekil 4. Şeyl gazı üretimi ve araştırmaları sırasında yeraltı ve yerüstü sularının potansiyel risk alanları (sites.nicholas.duke.edu)

Şeyl gazı üretimi yapılan alanlarda öncelikle yeraltı ve yerüstü su kaynaklarından faydalanılır. Eğer alanda su kaynakları kısıtlı ise tankerler ile su taşınması gerekir. Hidrolik çatlatma amacıyla kuyulara pompalanan suyun yaklaşık üçte biri yeryüzüne geri dönmektedir. Bu suyun sızmalara karşı güçlendirilmiş havuzlarda toplanması ve operasyon stratejisine göre ya atık olarak yok edilmesi veya arıtma sonrasında tekrar kullanılabilmesi için işlem görmesi gerekir (Şekil 5).



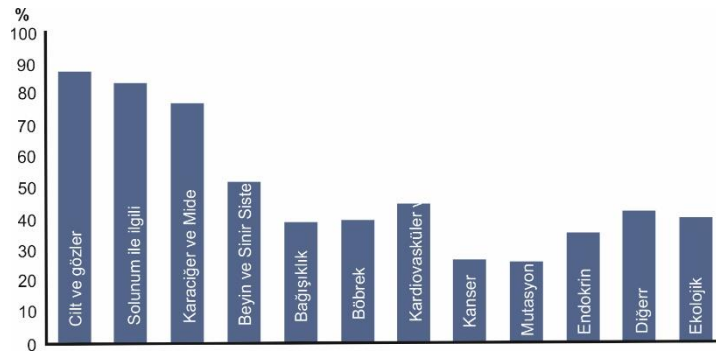
Şekil 5. Şeyl gaz üretimi yapılan bir sahada geri alınan suyun biriktirildiği açık bir havuz (globalresearch.ca)

ABD Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından 2011 yılında yayınlanan raporda son 10 yılda hidrolik çatlatma uygulanan 20.000 kuyudan sadece 43'ünde ciddi su kirliliği olayına rastlandığı belirtilmiştir [22]. Bu 43 vakanın yirmibirinde yeraltı suyunun gaz ve hidrolik çatlatma sıvısı ile kirlendiği, onbeşinde şantiye çevresinde yüzeyde kirlilik oluştuğu, dördünde su çekimi ve hava kirliliği sorunlarının ortaya çıktığı, diğer üçünde ise atık toplama sorunlarının bulunduğu belirlenmiştir [23,24,25,26] (Şekil 6).



Şekil 6. Şeyl gazı üretimi yapılan bir sahada geri alınan suyun depo alanına atılması ve alınan su örneği (shalegas-europe.eu).

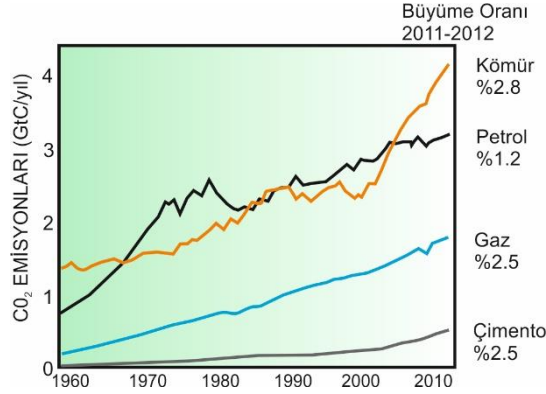
Şeyl gazı araştırmalarında kullanılan kimyasalların insan sağlığına olan etkileri de detaylı olarak incelendiğinde birçok hastalık için potansiyellerinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Çatlatma için kullanılan kimyasalların insan sağlığına olan etkileri [27].

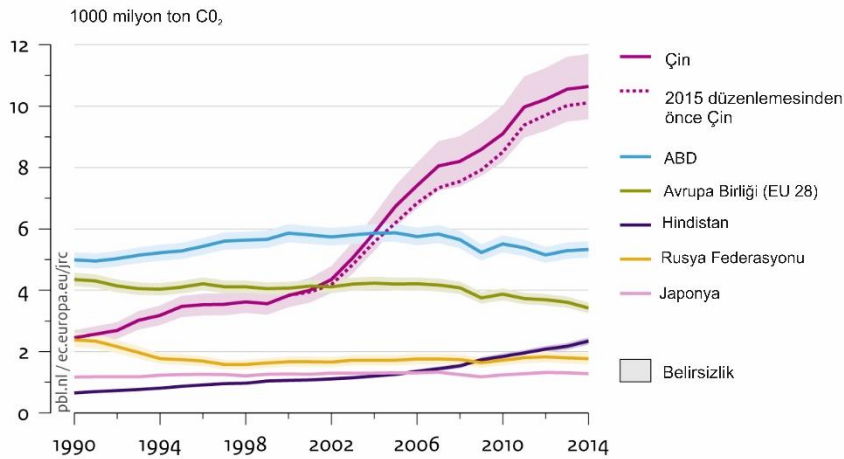
2.3. Hidrokarbon çıkışlarının atmosfere etkisi

Doğal gaz, dünyada özellikle kömür kullanılan termik santrallerin atmosfere verdiği partikül ve gazlar düşünüldüğünde oldukça temiz sayılabilecek (%44 daha az) bir enerji kaynağıdır [28]. Amerika’da 1960’ lı yıllardan itibaren termik santrallerin yoğun olarak kullanımı ile oluşan CO₂ emisyonları doğal gaz kullanımının yaygınlaşması sonucunda oldukça azalmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Dünya’da CO₂ emisyonlarını sağlayan başlıca fosil yakıtlar (kömür; %43, petrol; %33, doğal gaz; %18) ve büyüme oranları (cdiac.ornl.gov)

Küresel ısınma ve sera gazı etkilerinin Dünya’nın farklı bölgelerinde yaşanan büyük doğal felaketler ile öneminin daha iyi anlaşılması sonucunda pek çok ülke CO₂ salınımını azaltmak üzere tedbirler almaya başlamıştır ve bu yöndeki çalışmalar devam etmektedir. Ülkeler bazında CO₂ salınım miktarına bakıldığında durumun vahameti daha net görülmektedir (Şekil 9). Özellikle endüstrileşmenin canlı hayat ve doğadaki denge gözetilmeden yapılması sonucunda emisyon gazlarının ciddi artışı birçok araştırmannın bu konuya yönelmesine ve ülkeleri ciddi tedbirler almaya zorlamıştır [29].



Şekil 9. Ülkelere ve yıllara göre emisyon üretim miktarları (www.pbl.org).

Petrol gibi geleneksel kaynaklarda var olan kaza ve patlama riski, ardında getireceği sayısız sorun, şeyl gaz gibi geleneksel olmayan kaynaklar için de geçerlidir. Özellikle arama veya üretilen gazın taşınması sırasında gerçekleşebilecek bir kaza ile binlerce m³ zehirli gaz atmosfere salınmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Kanada Lac-Mégantic'de şeyl gaz taşıyan bir tren kazası ve sonucunda oluşan zehirli gaz salınımı (commonsensecanadian.ca)

2.4. Yeraltı sularına gaz karışması

Şeyl gazı üretimi sırasında ise kuyulardan yeraltı sularına doğalgaz karıştığı belirtilmektedir. Örneğin, Pensilvanya kuzeydoğusu ve New York'da yer alan Marcellus ve Utica şeyl gazı formasyonlarındaki akiferlerde yapılan araştırmalarda içme suyunda şeyl gazı üretimi ile ilgili metan varlığı belirlenmiştir (Şekil 11). Bu bölgelerdeki 316 000 şeyl gaz kuyusunun detaylı incelemesi sonucunda kuyuların %4,5'üğünde sızıntı saptanmış ve yeraltısuyunu kirleten karışımın yüzeydeki ekipmanlardan kazayla yayılan sıvı (çatlatma sıvısı) ve katı malzemeler (çoğunlukla kimyasallar ve katı atıklar) olduğu belirlenmiştir [23].

Bununla birlikte tam tersi iddiaları ispatlayan çalışmalar da sunulmaktadır. Bu iddialar şimdiye kadar yeraltı sularına gaz karıştığı iddiasıyla incelenen birçok olayda, sularda bulunan gazın, su kaynaklarının içinden geçtiği kömür yataklarına bağlı biyojenik gaz olduğu ve şeyl gazı faaliyetleriyle ilgisi bulunmadığını, yalnızca Pennsylvania'da hatalı bir kuyuda meydana gelen bir kazadan dolayı içme sularına doğalgaz karıştığını belirtmektedir [15].



Source: Fare-Free Northwest, October 2011

Şekil 11. İçme suyunda şeyl gazı üretimi ile ilgili metan gelişi

2.5. Sismik aktivite ve depremsellik

Hidrolik çatlatma ile küçük sismik aktivitelerin ve hatta depremlerin tetiklendiği bilinmektedir [30]. Bunlar genellikle çatlatma operasyonlarının olduğu alanlarda hissedilen ufak sarsıntılar olup, insan veya çevreye zararı olmayan, ancak bazı alanlarda yollarda çatlatma izleri (Şekil 12) veya binalarda sarsıntı ile ufak hasarlar oluşturan hareketlerdir.

Sismik aktivite özellikle çatlatma yapılan havzalar faylı ve bunları tetikleyecek şekilde olduğunda depremler oluşmaktadır. Örneğin, İngiltere'de ilk şeyl kuyusu olan Preese Hall-1 de 2011 yılında yapılan çatlatma işlemi sonucunda enjeksiyon noktasına yakın alanlarda birkaç küçük deprem tesbit

edilmiştir. Bu depremlerin en büyüğü 2.3 magnitüdü ve 1.5 Rihter ölçeğindedir. Yüzeyde herhangi bir yıkım olmazken bazı yollarda çatlaklar geliştirmiştir.



Şekil 11. İngiltere’de yapılan çatlama operasyonu sonucunda yolda oluşan hasar (<http://www.shalegas.international/2015/04/27/>)

2.6. Gürültü ve kamyon trafiği

Bahsedilen tüm bu etkiler yanısıra gürültü de özellikle üretim alanı yakınında yerleşim alanı bulunduğu önemli bir sorun haline gelmektedir. Özellikle şeyl gaz üretim alanının hazırlanması aşamasında hergün yüzlerce kez ekipman ve malzeme taşıyan büyük iş kamyonları toz ve partiküller yanısıra gürültü ve trafik karmaşası da yaratmaktadır [30]. Üretim aşamasına geçildiğinde de benzer sorunlar kimyasal maddeler ve hatta suyun taşınması sırasında defalarca tekrarlanabilmektedir. Hidrolik çatlama yapılan bir kuyu için yaklaşık 200 kamyon her gün defalarca tekrar eden bir şekilde malzeme getirip, atık malzemeleri de depo alanına taşımaktadır. Ayrıca çatlama sonucunda geri alınan atık su ve kalıntıların atılması da aynı yolla gerçekleşmektedir. Tüm bu kamyon trafiği, bulunduğu yerleşim yeri veya ekosistem için gürültü, toz, kaza riski ayrıca CO₂ emisyonlarının artışı açısından önem taşır [31].

Üretim sırasında sondaj ve güç pompalarının yarattığı ses genellikle alanın çevresine ses duvarları kapatılarak azaltılabilmektedir. Ortalama olarak aktif bir sondaj işleminde 200 m den duyulan ses 86 Db i aşmaz. Bunun anlaşılabilmesi için normal bir şehirdeki trafikten oluşan gürültünün 80 dB olduğunu belirtmek yeterli olacaktır.

2.7. Tarımsal alan kayıpları ve toprak kirliliği

Şeyl gaz üretim çalışmaları için neredeyse her kilometrede bir kuyu açılmakta ve bu da bağlantı yolları veya lojistik destek amacıyla hazırlanan yeni yolların yapılmasını gerektirdiği için yeryüzünde önemli oranda alanı işgal etmektedir (Şekil 13). Tarımsal faaliyetin olduğu yerlerde bu oldukça önemli bir kayıptır. Bu konu şeyl gaz üretim sürecinin ilk yıllarında arazilerini petrol şirketlerine kiralaayan veya satan yerel halk tarafından önemli bir gelir kaynağı olarak düşünülmüş, ancak yıllar geçtikçe bu arazilerin artık eskisi gibi kullanılamayacağı (tarımsal verimin düşmesi veya kirliliği açısından) anlaşıldığında büyük tepkilere neden olmuştur.



Şekil 13. Şeyl gazı aramaları yapılan Jonah sahasının (Wyoming-ABD) görünümü (wyomingbusinessreport.com)

Bir şeyl gazı sahasında kuyu ömrünün 15-20 yıl olduğu düşünülürken bu sırada devamlı etki alanında kalan yerleşim yerlerinin tarımsal alanları ve yaşam kaliteleri de bundan olumsuz olarak oldukça fazla etkilenecektir.

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Özellikle bahsedilen tüm bu çevresel etkilerinden dolayı Avrupa’da Fransa, Bulgaristan, Romanya, İspanya, Çek Cumhuriyeti gibi ülkeler hidrolik çatlatmayı dolayısıyla şeyl gaz üretimini yasaklamakla birlikte, bazı ülkeler de bahsedilen tüm bu kirlilik ve/veya etkilerin ortadan kaldırılması için önlem almaya çalışmaktadır (Şekil 14). Örneğin kuyulardan geri alınan suyu, açık havuzlarda biriktirmek yerine, kapalı birikim alanları geliştirilmekte veya çatlatma sıvısı kullanılmadan çatlatma yöntemleri bulmaya çalışılmaktadır. Ayrıca, su kaybını önlemek amacıyla Pensilvanya Marcellus şeyl sahasında (ABD) olduğu gibi geri alınan suların büyük kısmı da depo alanlarında gerekli arındırma veya temizleme aşamalarından geçtikten sonra yeniden kullanılmaktadır. Ancak, Pensilvanya’daki geri kazanılan suların işlendiği veya temizlendiği tesislerde yapılan araştırmalarda, bahsedilen suların aslında tamamen temizlenmesinin mümkün olmadığı görülmüştür [24]. Ayrıca, bu işlemler için oldukça büyük güç, zaman ve de para harcanması gerekmektedir.



Şekil 14. Çevre etkilerinin belirlenebilmesi için su kaynaklarının örnekleme ve analizi düzenli olarak yapılmaktadır (shalegas-europe.eu)

Sonuçta, şeyl gazı ve çevre kapsamlı bir genel değerlendirme yaptığımızda, şeyl gazı üretiminin Dünya'daki tüm ülkeler için yerel ve bölgesel anlamda ekonomik faydası olduğu, bununla birlikte çevre ve canlı hayata da sayısız zararı olduğunu belirtmek gerekir. Ancak, günümüz modern toplumsal hayatının, endüstriyel gelişimin devamlılığı için enerji de vazgeçilmezdir. Dolayısıyla çevre ve enerji kaynaklarının kullanımı arasında denge kurularak ülkelerin enerji politikalarını planlamaları birincil öncelik olarak görünmektedir. Gerek doğalgazın diğer fosil yakıtlara oranla daha temiz ve daha verimli bir enerji kaynağı olması, gerekse üretim maliyetlerinin görece düşüklüğü dikkate alındığında, çevre ile ilgili uygun mevzuatın düzenlenmesi ve sektörün titizlikle denetlenmesi durumunda şeyl gazı üretiminin kayda değer bir çevresel tahribat yaratmayacağı; aksine kömür ve nükleer gibi daha riskli ve/veya çevreye zararlı yakıt türlerine alternatif yaratarak çevresel açıdan uzun vadede olumlu sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.

4. KAYNAKLAR

1. US EIA (U.S. Energy Information Administration) The Annual Energy Outlook 2015, 2015; 154p.
2. Stevens, P., The shale gas revolution: Developments and Changes, Energy, Environment and Resources, 2012, 9.
3. Clark, C., Burnham, A., Harto, C. and Horner, R., Hydraulic Fracturing and Shale Gas, Environmental Practice, 2012, 14/4, 249-261.
4. US EIA, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, 2013b, 730 p.
5. King, G.E., "Hydraulic Fracturing 101: What Every Representative, Environmentalist, Regulator, Reporter, Investor, University Researcher, Neighbor and Engineer Should Know About Estimating Frac Risk and Improving Frac Performance in Unconventional Gas and Oil Wells," SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference, 6-8 February 2012, The Woodlands.
6. Schrag, D.P., Is shale gas good for climate change? *Dædalus, J. Am. Acad. Arts Sci.*, 2012, 141 (2), 72-80.
7. Spellman, F.R., Environmental Impacts of Hydraulic Fracturing. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL. 2013.
8. Arthur, J.D., Bohm, B., Cornue, D., Environmental considerations of modern shale developments. Paper No. SPE 122931. Proceedings of the SPE Annual Technical Meeting, October 4-7 2009, New Orleans, LA.
9. Shine, K.P., The global warming potential-the need for an interdisciplinary retrieval. *Clim.Change*, 2009, 96 (4), 467-472.
10. Broomfield, M.: "Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe" Report prepared for the European Commission, September 2012
11. Clark, C.E., Veil JA., Produced Water Volumes and Management Practices in the United States. ANL/EVS/R-09/1. 2009. Prepared by the Environmental Science Division, Argonne National Laboratory for the U.S. Department of Energy. Available: http://www.evs.anl.gov/publications/doc/ANL_EVSR09_produced_water_volume_report_2437.pdf
12. Lutz, B.D., Lewis, A.N., Doyle, M.W., Generation, transport, and disposal of wastewater associated with Marcellus Shale gas development. *Water Resour Res.*, 2013, 49:647-656.
13. Kondash, A.J, Warner, N.R, Lahav, O., Vengosh, A., Radium and barium removal through blending hydraulic fracturing fluids with acid mine drainage. *Environ Sci Technol.*, 2014, 48:1334-1342.
14. Vengosh, A., Jackson, R.B., Warner, N., Darrah, T.H., Kondash, A., A critical review of the risks to water resources from unconventional shale gas development and hydraulic fracturing in the United States. *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48(15): 8334-8348.

15. Larter, S.R, Head, I.M., Oil sands and heavy oil: Origin and exploration. *Elements* 10, 2014, 277-283.
16. Nelson AW, Eitrheim ES, Knight AW, May D, Mehrhoff MA, Shannon R, Litman R, Burnett WC, Forbes TZ, Schultz MK. Understanding the radioactive ingrowth and decay of naturally occurring radioactive materials in the environment: an analysis of produced fluids from the Marcellus Shale. *Environ Health Perspect*, 2015, 123:689–696; <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1408855>
17. Yang, H., Flower, R.J., Thompson, J.R., Shale-gas plans threaten China’s water resources. *Science*, 2013, 340:1288; doi:10.1126/science.340.6138.1288-a. Z
18. Zhang, T., Gregory, K., Hammack, R.W., Vidic, R.D., Co-precipitation of radium with barium and strontium sulfate and its impact on the fate of radium during treatment of produced water from unconventional gas extraction. *Environ Sci Technol*, 2014, 48:4596–4603.
19. Smith, A.L., First correlation of NORM with a specific geologic hypothesis. SPE European Health, Safety and Environmental Conference in oil and gas production, SPE 13, 2011.
20. Warner, N.R., Christie, C.A., Jackson, R.B., Vengosh, A., Impacts of shale gas wastewater disposal on water quality in western Pennsylvania. *Environ Sci Technol.*, 2013, 47:11849–11857.
21. US EIA, Shale gas exploration and production Key issues and responsible business practices, Guidance note for financiers, 2013a,34 p.
22. Vidic, R.D., Brantley, S.L., Vandenbossche, JM, Yoxtheimer, D., Abad JD, Impact of shale gas development on regional water quality. *Science*, 2013, 340,
23. Nygaard, R., Well design and well integrity, Energy and Environmental Systems Group, Institute for Sustainable Energy, Environment and Economy, University of Calgary, Canada. 2010. <http://www.ucalgary.ca/wasp/Well%20Integrity%20Analysis.pdf>
24. Olmstead, S.M., Muehlenbachs, L.A., Shih, J.S., Chu, Z., Krupnick, A., A. Shale gas development impacts on surface water quality in Pennsylvania. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2013, 110 (13), 4962-4967.
25. Warner, N.R., Christie, C.A., Jackson, R.B., Vengosh, A., Impacts of shale gas wastewater disposal on water quality in Western Pennsylvania. *Environ. Sci. Technol*. 2013a, 47:11849-11857.
26. Warner, N.R., Timothy, M., Kresse, P.D., Hays, A.D., Karr, J.D., Geochemical and isotopic variations in shallow groundwater in areas of the Fayetteville Shale development, north-central Arkansas. *Appl. Geochem.* , 2013b, 35: 207-220.
27. Colborn, T., Kwiatkowski, C., Schultz, K., Bachran, M., Human and Ecological Risk Assessment: an International Journal 17(5), 2012, 1039-1056.
28. US EPA, Regulation of Hydraulic Fracturing Under the Safe Drinking Water Act. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2012.
29. Linn, J., Mastrangelo, E., Burtraw, D., Regulating Greenhouse Gases from Coal Power Plants under the Clean Air Act. *J. Assoc. Environ. Resource Econ.*, 2014, 1(1):97-134.
30. Speight, J.G., Shale gas production Process, Gulf Professional Publ. 2013, Elsevier, 162 p.
31. Williams, S., ‘Discovering shale gas: an investor guide to hydraulic fracturing’, IRRC Institute, 2012
32. <https://blogs.princeton.edu/research/2014/08/01/fracking-in-the-dark-biological-fallout-of-shale-gas-production-still-largely-unknown-frontiers-in-ecology-and-the-environment/> E.T. 14.11.2016
33. <http://www.shalegas.international/2016/07/18/the-future-of-english-shale/> E.T. 14.11.2016
34. <http://www.frackcheckwv.net/2016/10/23/the-ohio-river-needs-attention-for-the-future/E.T.> 14.11.2016
35. <https://beaseedforchange.org/tag/hydraulic-fracturing/> E.T. 14.11.2016
36. Maine University (umaine.edu/soe/files/2009/06/ECO-312-2014-syllabus.docx) E.T. 14.11.2016
37. <http://blogs.harvard.edu/environmentallawprogram/fracking/> E.T. 14.11.2016

Şeyl Gazı (Kaya Gazı) ve Çevresel Etkileri

38. <http://www.nofrackingway.us/2012/10/15/pennsylvania-department-of-gas-and-oil-protection-pa-dgop/> E.T. 14.11.2016
39. <http://frackland.blogspot.com.tr/2013/01/conventional-vs-shale-whats-difference.html> E.T. 14.11.2016
40. <http://o.canada.com/news/national/rail-transport-of-hazardous-materials-safe-minister-lisa-raitt-tells-canadians> E.T. 14.11.2016
41. <http://www.pbl.nl/en/news/newsitems/2015/global-growth-in-co2-emissions-almost-stalled-in-2014> E.T. 14.11.2016
42. <http://www.geoexpro.com/articles/2010/06/is-the-shale-gale-blowing-itself-out> (cdiac.ornl.gov) E.T. 14.11.2016
43. http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob_2013.html E.T. 14.11.2016
44. <http://shalegas-europe.eu/shale-gas-explained/shale-gas-and-environment/> E.T. 14.11.2016