

Tuz Tabakalarında Çözelti Madenciliği ve Oluşan Boşlukta Doğalgaz Depolama İmkanlarının Araştırılması

Mesut ANIL*¹, Burak Gökhan BASTACIOĞLU²

¹*Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

²*Soda Sanayi A.Ş., Mersin*

Özet

Bu çalışmada yeraltı maden işletmeciliği yöntemlerinden biri olan çözelti madenciliği yöntemi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Yaygın kullanılan bir yöntem olmaması nedeni ile, çözelti madenciliği yönteminin dünyadaki uygulamaları araştırılarak yöntem hakkında temel mühendislik çerçevesinde literatür bilgileri de sunulmuştur. Yöntem, Adana'nın Zeytinli Köyü'nde bulunan Soda Sanayi A.Ş. Arabali Tuz İşletmesi'nde de uygulanmakta olduğundan, işletmeden elde edilen gerekli bilgilerle çalışma desteklenerek bölgemizdeki tipik tuz yataklarının işletilmesine ve bu yöntemle yeraltında doğalgaz depolama imkanlarının sağlanması hususuna ışık tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çözelti madenciliği, Tuz, Adana

Solution Mining in the Salt Layer and Investigation of Natural Gas Storage Possibilities in the Occured Cavern

Abstract

In this study, solution mining method, one of the subsurface mining methods, has been studied. Due to the fact that solution mining is a rarely applied method, engineering know-how about this method has been presented by researching its applications globally. Since the method is also applied at Soda Industry Incorporated Company Arabali Salt Mine located in the Zeytinli Village of Adana, it has also been supported by necessary data from Arabali Salt Mine to shedlight on the operation of typical salt deposits in our region and underground natural gas storage potential.

Keywords: Solution mining, Salt, Adana

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Mesut ANIL, Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana. manil@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Tuz minerali içeren maden yataklarının işletilmesinde uygulanan yöntem, temelleri yüzlerce yıl öncesine dayanan geleneksel bir madencilik yöntemidir. Son yıllarda bu teknolojinin uygulama alanına tuz üretimi yanında ham petrol, doğal gaz, diğer yakıtlar ve atıkların yeraltında depolanması da eklenmiştir.

Bu gelişmeler sonucunda tuz yataklarının eritme teknolojisi ile işletilmesi, bilgisayar simülasyonları ve sonar taramalar gibi gelişmiş tekniklerle uygun ve güvenli şekillerde, uzun süre depolanma alanı olarak kullanılacak yeraltı boşluklarının oluşturulması doğrultusunda değişim göstermeye başlamıştır.

Yeraltı çözelti madenciliği, diğer hammaddelerin (ham petrol, doğal gaz vs.) sondaj temelli üretim tekniklerinden oldukça farklı ve sınırlı bir uzmanlaşma alanıdır. Bu nedenledir ki dünya üzerinde tuz eritme teknolojisi üzerinde çalışan uzman sayısı oldukça sınırlıdır. Bu konuda uzmanlaşmış üretici ya da danışman şirketler ise kendi elemanlarını eski uzman kadrolarından doğrudan bilgi aktarımı ile eğitmektedir. Eğitim verebilecek bir uzmanın eksikliğinde ise sıklıkla kişisel çabalar ile öğrenim söz konusu olmaktadır. Yeni çözelti madenciliği uzman adayları ise, daha öncesinde madencilik alanında deneyimli maden mühendisleri ya da jeologlar arasından seçilmektedir. Ancak bilgisayar uzmanları, fizikçiler ve otomasyon uzmanlarını da bu alanda çalışırken görmek mümkündür. Bu kişilerin kariyerlerinin başlangıcında karşılaştıkları ilk sorun ise başvurabilecekleri yazılı kaynakların azlığı, hatta bazı durumlarda yokluğudur.

Sözü geçen konu ile ilgili bilgiler, genellikle uzmanlara hitap eden ve çeşitli bilimsel dergilerde yayımlanmış ya da konferanslarda sunulmuş yüzlerce makaleye dağılmış bulunmaktadır. Öte yandan bu makaleler temel problemlere dair çözümler sunmak yerine, kendine özgü teknolojilerin uygulanmasının detaylı sonuçlarını anlatmaktadır. Bu da konuya yeni giriş yapanlar için durumu zorlaştırmakta ve şimdilik

çözümlemesi güç detaylarla dar boğaza sokmaktadır.

Bu çalışma ile çözelti madenciliği ve bu yöntemle tuz yataklarının işletilmesi konularındaki literatür boşluğunun doldurulması, çözelti madenciliğinin açık bir dille ve temelleriyle ortaya konulması ve proses sonucu ortaya çıkan depolama imkanları hakkında genel bilgilerin verilmesi amaç edinilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tuz Yataklarının Oluşumu

Kaya tuzu yatakları, doğal tuz çözeltisi havzalarının buharlaşarak çökelmeleri (evaporasyonu) sonucu oluşmaktadır. Çökeltme olayında meydana gelen tortullar evaporit olarak adlandırılmaktadır. Evaporitler de denizel ve karasal kökenli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Denizel evaporitler yaygındır ve sedimanter kayalar arasında çok büyük miktarlarda meydana gelmektedirler. Karasal evaporitler ise oldukça seyrek görülmektedirler. Denizel evaporitlerin en sık karşılaşılan türleri, (karbonatlar hariç) sülfatlar ve ardından başlıca sodyum klorür (kaya tuzu) olmak üzere klorürlerdir.

Sedimanter kayaç formasyonları içerisinde bulunan evaporitler, eski jeolojik zamanlarda oluşmuşlardır. Günümüzde de daha küçük hacimlerde olmasına rağmen, özel doğal koşullar altında oluşmaktadır.

En geniş doğal tuz çözeltisi havzaları okyanuslar ve denizlerdir. Deniz suyu ağırlıkça yaklaşık %3,5 oranında tuz konsantrasyonuna sahiptir. Bu da, 1 kg deniz suyunun evaporasyonu sonucu 35 gram civarı farklı tuz kimyasalları kütlesi ortaya çıktığı anlamına gelmektedir, ancak başlıca tuz sodyum klorürdür [1]. Deniz suyu evaporasyonu üzerindeki ilk araştırmalar 19. yüzyılın ortalarında yapılmıştır. Tuz çökmesinin genel dizilimi şu şekilde tespit edilmiştir [1]:

- Kalsiyum karbonat
- Kalsiyum sülfat

- Sodyum klorür
- Genellikle sodyum klorürle birlikte potasyum ve magnezyum tuzları

Konu ile ilgili araştırmalara sonraki yıllarda devam ettirilmiştir. Sonuç olarak, oluşumun kimyasal ve fiziksel şartlarıyla ilgili, deniz suyu tuz kristalleşmesi üzerinde çalışılmış ve miktarla ilgili bağlantılar tespit edilmiştir [2].

Günümüzde kaya tuzu çökelleri sıcak ve kuru iklime sahip bölgelerde ve denizel kıyı alanları üzerinde meydana gelmektedir. Bu tip alanlar yeryüzünde birkaç bölgede bilinmektedir. Akdeniz, Basra Körfezi kıyısı ve Lut Gölü kıyı alanları bunlara örnek gösterilebilirler. Ancak, evaporit formasyonların oluşumunda etkin rol oynayan mevcut jeolojik ve iklimsel koşullar, eski jeolojik dönemlerde dünyanın farklı bölgelerinde çok büyük tuz yataklarının oluştuğu zamanlarda olduğu kadar avantajlı değildir.

Mevcut doğal tuzlu tabakalardan elde edilen jeolojik veri, binlerce kilometrekarelik alanlara yayılan ve birkaç yüz metre ve daha fazlası kalınlığa sahip eski tuz yataklarının orijini açıklamaya yeterli değildir. Bu yatakların oluşum koşulları onlarca yıldır araştırılmaktadır ve birçok teori formüle edilmiştir. Ayrıca günümüzde jeologlar azalmayan bir ilgiyle oluşum mekanizmasını araştırmakta ve müzakere etmektedirler [3].

2.2. Tuz Yataklarında Mineraller ve Kayaçlar

Kaya tuzları, doğal tuz minerallerinin bileşimidir. Tek tip mineralden oluşan kaya tuzları mono mineral olarak bilinirler. İki, üç veya daha fazla mineralden oluşan kaya tuzları ise polimineral olarak bilinirler. Kaya tuzları mineral içeriği hem sedimantasyon havzasındaki çökeltme (kristalleşme) süresince hakim olan fizikokimyasal şartlara hem de primer mineralleri dönüştüren sonraki alterasyon olaylarına dayanır. Bu tip alterasyon olayları, sedimantasyon süresince sedimanlar arasında ve tuz yatağının tüm jeolojik geçmişinde olduğu gibi diyajenezin ilk aşamalarında yer alabilirler. Dolayısıyla, tuz yataklarındaki bazı mineraller primer olarak

bilinirler, bazıları da sekonder olarak tanımlanırlar. Başta, Baar [1] olmak üzere evaporitler üzerine çalışan mineralog ve maden yataççılar bir dizi tuz minerali belirleyerek bunların göreceli çözünürlüklerini de saptamıştır. Araştırma sonuçlarına göre en yaygın mono mineral tuz kaya tuzudur, yalnızca “Halit” isimli kayaç yapıcı minerali içerir. Silvinit ise polimineral tuza örnektir, “Silvit” ve “Halit” kayaç yapıcı minerallerini içerir.

2.3. Tuz Yataklarının Litostratigrafisi

Tuz formasyonlarının litostratigrafik profillerinde genellikle kayaçların bir karakteristik dizilim gösterdiği gözlenir. Çökeltme havzasındaki çözelti konsantrasyonlarındaki değişimden dolayı, sediman çökeltme sıralamasına benzer şekildedir. Genel olarak tuzlu suyun konsantrasyon artışına paralel şekilde meydana gelen sıralama şu şekildedir: karbonat kayaçları (kireçtaşı, dolomit), sülfat kayaçları (anhidrit, jips), kaya tuzu ve potasyum-magnezyum tuzları. Bazı tuz formasyonları ve tuz yataklarının stratigrafik profillerinde, bu tip veya benzer dizilimler birkaç defa ardalanabilir. Tek bir sedimantasyon/çökeltme periyodu süresince meydana gelen tuz yatakları genellikle evaporitik olmayan sedimanlarca (kil, çamur, kum gibi) kesintiye uğrar. Sonuç olarak litostratigrafik profiller kaya tuzu, potasyum ve magnezyum tuzları, anhidritler, dolomitler ve kireçtaşı gibi evaporitik katmanları da, yatakta kesinti yapan evaporitik olmayan kayaçları da içerebilirler [4].

2.4. Tuz Yataklarının Şekilleri

Tuz yataklarının yapısal formları oldukça değişkendir. Kaya tuzu, tektonik süreçlerde spesifik karakteristiğini ortaya koyar, diğer bir deyişle uzun dönem yüke bağımlı plastik (visko plastik) deformasyona uğrar. Bu da tuz formasyonlarının şekilsel farklılıklarının başlıca nedenidir [4]. Tuz yataklarının uzaysal formları ve çevre formasyonlarla tektonik ilişkileri sonucu aşağıdaki genel ayrımlar ortaya konmuştur [4]:

- Komşu formasyonlarla uyumlu yatak oluşumları: Bu oluşumlar tuz damarları ve

lensleri, biçimli ya da biçimsiz, yatay ya da düşük eğimli açılarla antiklinal veya senklinal şekiller oluşturacak şekilde meydana gelmiştir.

- Komşu formasyonlarla uyumsuz yatak oluşumları: Güçlü tektonik hareketler sırasında oluşan bükümler ve diapirik yapılar olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Tuz domları da bu oluşumun içerisinde yer almaktadır.

2.5. Dünyadaki Tuz Yataklarının Dağılımı

Tuz yatakları sedimanter kayalar içinde sıklıkla gözlenmektedir. Bunların büyük çoğunluğu kaya tuzu olarak tanımlanmakta fakat az miktarda potasyum yatakları da bulunmaktadır. Bu yatakların hepsi birbirinden farklı şekle, büyüklüğe ve oluşuma sahiptir. Bunlar içinde bazıları yüzlerce kilometrekarelik alanlara yayılmış ve birkaç yüz metre kalınlığa ulaşabilmektedir. Bazıları yüzeyde mostra vermiş olarak, bazıları sığ derinliklerde, bazıları ise yerin binlerce metre altında bulunabilmektedir. Bu birimlerin bağlı olduğu tuz formasyonları ise hem kalınlık hem de yayılım olarak çok daha büyük olabilmektedir.

Tuz çökelleri ile bunların bağlayıcı matrikslerini oluşturan formasyonlar jeolojik olarak farklı yaşlara sahiptir. Bazı tuz formasyonlarının aşırı yüksek yayılım genişliği ve kalınlıkları özellikle Silüryen, Devoniyen, Karbonifer ve Permian dönemlerinde tuz sedimantasyonu için çok uygun şartların var olduğunu göstermektedir.

Dünyada bilinen tuz yataklarının sayısı oldukça fazladır. Aşağıda, Kambriyenden Tersiyere kadar yaş aralığında olan (Kuaterner çökellerini hariç tutarak) önemli ve büyük tuz çökellerinin kısa bir özeti verilmiştir [5].

Dünyadaki en önemli tuz yatakları Afrika kıtasındaki Triyas yaşlı formasyonlar içinde yer alan Fas, Tunus, Cezayir ve Libya tuz yatakları oldukça önemlidir. Kıtanın yüzey kısımlarında da tuz diyapirleri ve tuz dağları olarak yüzlerce mostra varlığı görülür. Bu kıtadaki tuz baseni güneyde Kongo, Gabon ve Ekvatorial Gine boyunca uzanarak Atlantik kıyası boyunca devam etmektedir. Tersiyer yaşlı tuz çökelleri ise Akdeniz sahillerinde, Süveyş Kanalı ve Kızıl Deniz

boyunca yayılmaktadır [5]. Kuzey Amerika'da da çok sayıda tuz yatağı bilinmekte olup bunlardan bazıları dünyadaki en büyük tuz rezervlerini içermektedir. Üst Silüryen yaşlı "Salina" formasyonu Kanada'nın Great Lakes bölgesinde bulunmaktadır ve uzun süredir işletilmektedir. Kaya tuzları ayrıca Amerikan eyaletlerinde; New York, Pennsylvania, Batı Virginia, Ohio, Michigan ve sınır boyunca Kanada'nın güneydoğu eyaleti olan Ontario'da da bulunmaktadır. Kanada'nın Atlantik kıyısındaki eyaletleri de; New Brunswick, Nova Scotia ve Newfoundland zengin potasyum ve tuz rezervleri içermektedir (Karbonifer-Misisipiyen yaşlı). Orta Devoniyen yaşlı "Priarie Evaporitleri" adlı tuz formasyonu ise Kuzey Dakota ve Doğu Montana'da başlayıp iç ve batı Kanada eyaletleri boyunca (Mantınoba, Saskatchewan, Alberta) yayılıp kuzeybatı yönünde devam etmektedir. Diğer bir önemli Karbonifer (Pensilvaniyen) kaya tuzu ve potasyum rezervi de ABD'nin Utah ve Colorado eyaletlerinde bulunmaktadır. Bu rezervler Paradox basenindeki "Hermosa" formasyonu dahilinde bulunmaktadır. Permian yaşlı potasyum ve kaya tuzu içeren evaporit formasyonları ise dünya üzerindeki en büyüklerden birisini oluşturmaktadır. ABD içlerinden başlayıp, Kansas, Doğu Colorado, Batı Teksas ve New Mexico boyunca yayılımı bulunmaktadır. New Mexico eyaletinin güneyinde ise zengin potasyum içeren "Salado" formasyonu bulunmaktadır. Jurasik yaşlı "Luann" formasyonuna ait kaya tuzları ise Meksika Körfezi'ndeki büyük tuz baseninde başlayarak Texas, Luisiana, Arkansas, Missisipi, Alabama ve kısmen Meksika toprakları boyunca yayılım göstermektedir. Bu alandaki çoğu tuz çökeli diapir ve tuz domları şeklinde oluşmuştur [5].

Güney Amerika da önemli tuz yatakları içermektedir. Brezilya sınırları içinde bulunan ve önemli kaya tuzu ve potasyum rezervlerine sahip olan Kratese yaşlı Sergipe-Alagoa baseni bunlara bir örnektir. Bunun haricinde yine zengin rezervleri olan Karbonifer yaşlı "Olinda" formasyonu da kaydedilmeye değerdir. Bunların dışında değişik yaş aralıklarında oluşmuş değişik formasyonlar Peru, Şili, Kolombiya ve Arjantin'de gözlenmektedir [5]. Asya kıtası tuz yatakları

bakımından öteki kıtalardan daha fakir olup birbirinden farklı jeolojik yaşlarda oluşmuş formasyonlara dağılmış durumdadır ve çoğu zaman petrol ve gaz alanları ile beraber anılmaktadır. Ortadoğu’da tuz çökelleri sıklıkla gözlenmektedir. Bunlardan en yaşlısı Neoproterozoikyen-Kambriyen yaşlı “Hormoz” formasyonu dahilinde bulunmaktadır. Bu yataklar İran sınırları içinde Zagros dağları ve İran Körfezi’ne doğru yayılan Foreland havzalarında tuz domları ve diapirleri oluşmaktadır. Üst Jura yaşlı tuz diapirleri ise Yemen’in Marib-Shabwa petrol sahasında gözlenmektedir. Tersiyer yaşlı kaya tuzu ve potasyum içeren tuz formasyonları ise İran, Irak, Suriye ve Türkiye dahilinde sıklıkla gözlenmektedir. Benzer yaşlı formasyonları İsrail, Ölü Deniz, Suudi Arabistan ve Kızıl Deniz altında da görmek mümkündür. Orta Asya’da ise oldukça geniş yayımlı ve birbirinden farklı jeolojik yaşlara sahip bir çok formasyon gözlemlenmiştir, bunlardan bazıları:

- Başkurdistan ve Batı Kazakistan (Permien yaşlı tuz yatakları)
- Özbekistan, Tacikistan ve Türkmenistan’ın güney bölgeleri (bölgesel potasyum oluşumlu Jura yaşlı tuz yatakları)
- Trans-Kafkasya, Tien-Shan Dağları ve Özbekistan (Tersiyer tuz yatakları).

Ortadoğu ve Güney Asya dahilindeki en yaşlı tuz içeren formasyonlar ise Pakistan ve Hindistan sınırları içinde bulunmaktadır. Hindistan’ın Himachal-Pradesh eyaletinde Prekambriyen yaşlı tuz oluşumları mevcuttur. Batı Rajashtan’dan başlayarak Pakistan’ın Penjab eyaletine kadar devam eden Eocambriyen yaşlı tuzlar ise Nagaur-Ganganagar baseninin kuzey bölümünde gözlenmektedir. Pakistan-Afganistan sınır bölgesinde ise Tersiyer yaşlı çökeller bulunmaktadır. Güney-doğu Asya (Tayland) kısmında ise zengin potasyum rezervleri olan Kretase yaşlı Mara-Sarakham formasyonu bulunmaktadır. Çin’de ise Sichuan eyaleti ve çevre bölgelerde büyük tuz rezervleri mevcuttur. Son olarak Doğu Sibirya bölgesinde dünyanın en büyük kaya tuzu ve potasyum rezervlerinden birisini barındıran Kambriyen yaşlı formasyon bulunmaktadır [5]. Avrupa kıtası boyunca birçok

tuz ve potasyum içeren formasyon gözlenmektedir. Ukrayna’nın Dinyeper-Donetsk bölgesi ile Belarus güneydoğu bölgesini (Soligorsk) kapsayan alanda dünyanın en zengin potasyum rezervlerinden birisini içeren basen bulunmaktadır. Permien yaşlı formasyonlar ise orta ve doğu Avrupa boyunca yayılım göstermektedirler. Rusya sınırları içinde başlayıp Ural batı sınırına kadar devam eden ve Hazar Denizi kıyılarında sonlanan oldukça büyük bir Permien yaşlı formasyon bulunmaktadır. Bu bölgenin üstünde ise Solikamsk bölgesindeki Üst Kama baseni dünya üzerindeki en zengin potasyum yataklarından birisini barındırmaktadır. Kıta ortasında ve kuzey-batı yönüne doğru başka bir Üst Permien (Zechstein) yaşlı tuz içeren formasyon bulunmaktadır. Yayılımı Büyük Britanya, Hollanda, Danimarka, Almanya ve Polonya boyunca olan bu formasyon dünyadaki en bilinen ve en yoğun biçimde işletilen formasyonlardan birisidir. Bu formasyondaki rezervler genellikle tuz domları şeklinde meydana gelmiş olup kaya tuzu ve potasyum içermektedir. Triyas yaşlı tuz içeren formasyonlar ise Avrupa’nın batı, güney ve kısmen de orta kısımlarında bulunmaktadır. Benzer formasyonlar Avusturya, İsviçre, Almanya, Hollanda, Fransa, İspanya, Portekiz ve Büyük Britanya’da da mevcuttur. Tersiyer yaşlı formasyonlara ise Avrupa kıtasında sıklıkla rastlanmaktadır. Karpatlar, Polonya, Ukrayna ve Romanya’daki Miyosen yaşlı kaya tuzu ve potasyum içeren tuz formasyonları bunlara örnek verilebilir. Bunun haricinde İspanya, Fransa, İtalya, Almanya, Slovakya ve Bosna gibi ülkelerde de Tersiyer yaşlı tuz içeren formasyonlar bulmak mümkündür [5].

2.6. Türkiye Tuz Yatakları

Türkiye tuz yatakları bakımından oldukça zengindir. Genel olarak tuz üretilen kaynaklara tuzla denilmekle beraber bu tanımlama deniz ve göl için daha yaygındır. Kaya tuzu ise tıpkı bir maden yatağı gibi oluşmuş olup eski jeolojik devirlerdeki evaporitik ortamlarda çökeller. Ülkemiz, jeolojik yapısı nedeniyle büyük tuz yataklarına sahiptir. Özellikle III. zamanın Eosen, Oligosen ve Miyosen devirlerinde iç denizlerde kuraklık nedeniyle geniş çökelmeler meydana gelmiştir. İç Anadolu’da Çankırı’dan başlayarak

Çorum, Yozgat, Sivas, Erzincan, Erzurum ve Kars üzerinden İran'a bağlanan tuz yataklarında 30'u aşkın kaya ve kaynak tuzları yer almaktadır. Ayrıca, bu çalışmada konu edilen Adana havzası ve Siirt yöresinde de geniş yeraltı tuz oluşumları mevcuttur.

Türkiye'de tuz üretimi deniz tuzları, göl tuzları, kaya tuzları ve kaynak tuzlarından yapılmaktadır. Deniz tuzu rezervi sonsuz olmasına rağmen üretim, havuzlama tesislerinin kapasitesine ve iklim koşullarına bağlıdır. Ülkemizde deniz tuzları olarak Ayvalık ve Çamaltı tuzları işletilmekte olup bölge iklimi uygun ve tuz oluşumu için avantaja sahiptir. Son yıllarda sağlanan kapasite artışı ile üretim miktarı 600.000 ton/yıl'a yükselmiştir. Yurdumuzun üç tarafının denizlerle çevrili olması deniz tuzları olarak yararlanabilecek bir çok yerin bulunabileceğini ortaya çıkarmaktadır. Bu durum deniz tuzları işletmeciliği açısından oldukça şanslı olduğumuzu göstermektedir. Göl tuzları Tuz Gölü çevresinde bulunan Yavşan, Kaldırım ve Kayacık tuzlarıdır. Kesin rezervi ortaya koyacak veriler olmamasına rağmen, eldeki jeolojik veriler Tuz Gölü'nün çok büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Göldeki yüzey rezervi şu şekilde bir yaklaşımla hesaplanabilir. Gölün tüm alanı 1 662 km²'dir. Gölün sürekli su altında kalan doğu kesimi ile önemsiz derecede tuz çökelen yerler çıkarılacak olursa yaklaşık 1 200 km²'lik bir alan tuz bölgesidir. Gölde oluşan tuz tabakasının kalınlığı 3-20 cm arasında değişmekte olup ortalama 8 cm'dir.

Göldeki yüzey rezervi =

$$0.08 \text{ m (kalınlık)} \times 1200 \times 106 \text{ m}^2 \text{ (alan)} \times 2,2 \text{ t/m}^3 \text{ (yoğunluk)} = 211.200.000 \text{ ton NaCl}$$

Buna göre, Tuz Gölü büyük bir potansiyel olup gerçek rezerv belirtilenin çok üstündedir. Ülkemizde üretilen tuz miktarı menşei olarak ayrıldığında Çizelge 1'deki gibi bir dağılım görülmektedir.

Öte yandan çeşitli zamanlarda farklı amaçlarla yapılan sondaj bulguları ve aramaları sonunda tespit edilen Türkiye kaya tuzu potansiyeli sürekli

artmakta olup 2 milyar ton görünür ve 500.000 ton da mümkün kaya tuzu rezervimiz bulunmaktadır.

Çizelge 1. Türkiye'de üretilen yıllık tuzun menşelerine göre dağılımı

Tuz Kaynağı Cinsi	Yıllık Üretim Miktarı (Ton)
Göl Tuzu	1.268.696
Deniz Tuzu	504.160
Kaya Tuzu	76.340
Kaynak Tuzu	39.766
Toplam	1.888.962

3. MATERYEL VE METOT

3.1. Materyal

Soda Sanayii A.Ş. ise hammaddelerinden olan tuzlu su ihtiyacını, Adana'nın Zeytinli Köyü'ne bağlı Arabali mevkiinde faaliyetini sürdürmekte olan Arabali Tuz İşletmesi'nden tedarik etmektedir. Tez konusu çalışma alanı olarak Arabali Tuz İşletmesi seçilmiş olup, tezin amacı olan, çözelti madenciliği konusunda literatür hazırlanması konusuna ülkemizdeki ilk uygulama alanı olarak ışık tutulmaya çalışılmıştır. Arabali Tuz İşletmesi'nde TSE ürün standartlarına uygun üretim, ISO 9001 2000, ISO 14001 ve OHSAS 18001 standartlığına uygunluğu belgelendirilmiş, kalite yönetim sistemlerine göre gerçekleştirilmektedir [6].

Arabali mevkiinde kaya tuzu varlığı ilk kez 1961 yılında petrol arama amaçlı yapılan sondaj esnasında teyit edilmiş ve 1968 yılında Şişecam tarafından Solvay Metodu ile soda külü üretiminde kullanılmak üzere kaya tuzu varlığı ile ilgili ilk detay araştırmalar başlatılmıştır. Bu doğrultuda Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'ne 4 adet arama sondajı yaptırılmıştır. Bu sondajların sonuçlarına göre, hali hazır durumda Arabali Tuz İşletmesi'nin kuzeyinde yer alan ve "Kuzey Saha" olarak adlandırılan alan üretime uygun bulunmuştur.

1973 yılında çözeltili madencilikine başlanacak şekilde sondajlara başlanmıştır. İlk yatırım planına uygun olarak 20 kuyu tamamlanmış ve 1975 yılında üretime başlanmıştır [7]. Arabali Tuz İşletmesi'nde yıllık 1.920.000 ton katı tuz üretimi gerçekleştirilmekte olup, soda külü üretim prosesine girmek üzere ortalama 310 g/lit konsantrasyon ile 6.200.000 m³/yıl tuzlu su sevkiyatı gerçekleştirilmektedir. Bu üretimin karşılanmakta olduğu 57 adet tuzlu su üretim kuyusu mevcuttur. Hammadde olarak ise 17 adet ham su kuyusundan tatlı su elde edilmektedir.

İşletmede 5 adet 2000 m³ kapasiteli tank bulunmakta olup 2 adet ham su, 3'ü ise tuzlu su tankı olacak şekilde kullanıma ayrılmıştır.

Üretilen tuzlu su, çapı, 400 mm'lik 47 km uzunluğunda CTP hattı ve hat üzerinde kurulu 3 adet ara pompa istasyonu aracılığı ile Soda Fabrikasına sevk edilmektedir. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.

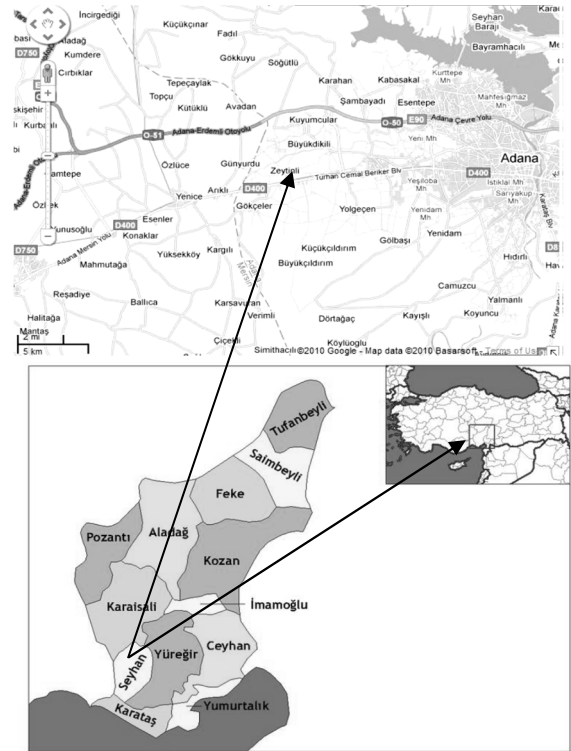
Çözeltili madencilikinin yapıldığı bu yatak Adana Besen'inin batı kesiminde bulunmaktadır. Bu basenin tabanını oldukça deforme olmuş Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel kayalar oluşturur [8]. Üst Paleozoyik istifinin önemli bir bölümü sığ denizel kireçtaşı ve klastiklerden oluşmuştur.

Bunların üzerine uyumsuz olarak gelen Tersiyer istifi marn, çamurtaşı ve az çakıllı olan kumtaşından oluşan Karsanti Formasyonu ile bu formasyonla düşey ve yanal geçişli Gildirli Formasyonu da çakıllı kumtaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşmuştur.

Gildirli ve Karsanti Formasyonlarının yaşlı Oligosen-Miyosen olup, çökelmelerin Miyosen sonuna kadar sürdüğü belirlenmiştir. Yine bu bölgede Paleozoyik ve Mesozoyik üzerine açılı diskordansla Burdigaliyen-Langiyen yaşlı Kaplankaya Formasyonu, Karaisalı ve Cingöz Formasyonlarıyla geçiş gösterir [9-12].

Bu istifin üstünde ise biyoklastik kireçtaşı ile dolomitli kireçtaşlarından oluşan Burdigaliyen-Langiyen yaşlı Karaisalı Formasyonu yer

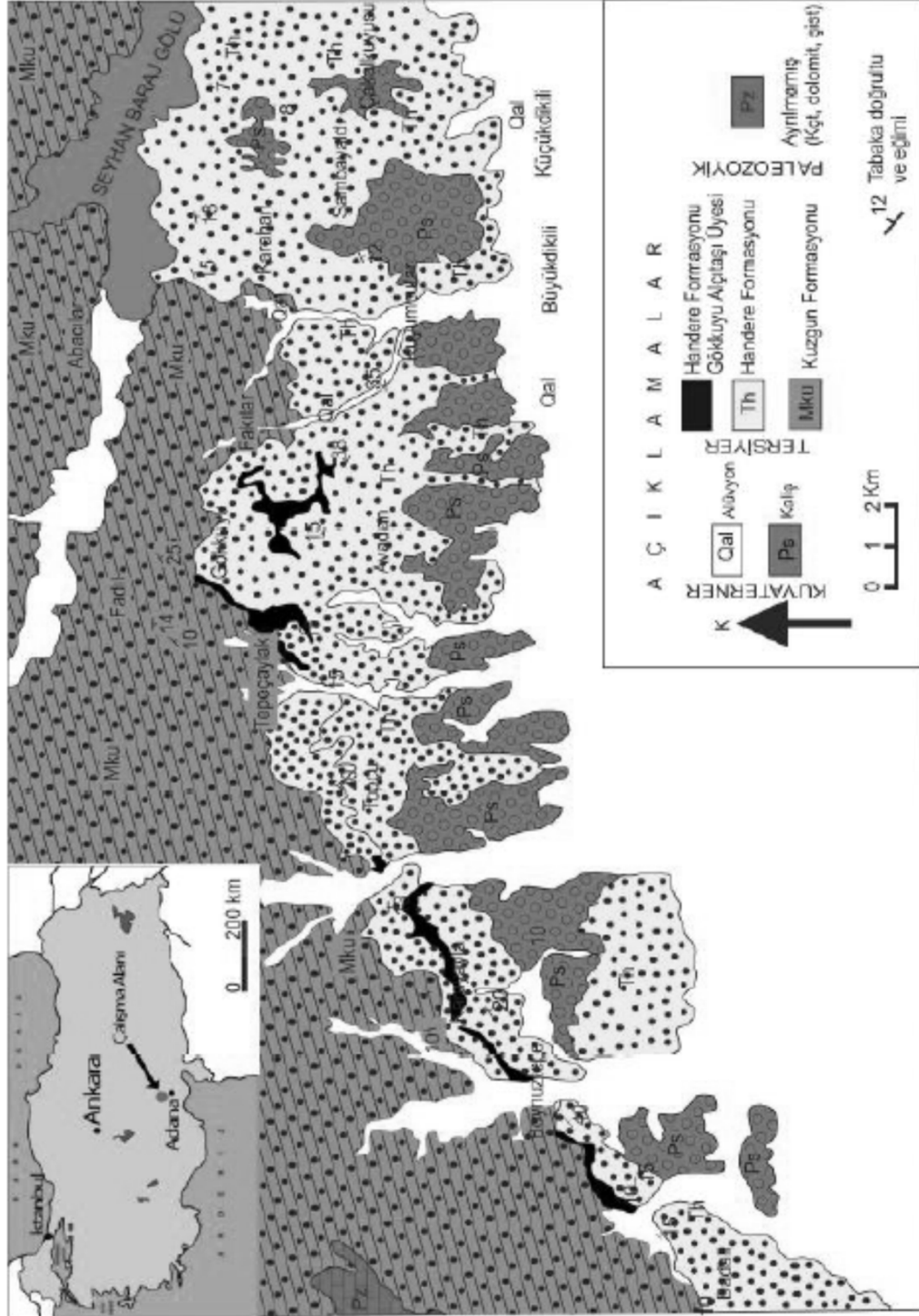
almaktadır. Gildirli, Kaplankaya ve Karaisalı Formasyonları geçişli olan Cingöz Formasyonu tarafından üzerlenir. Bunların üzerine şeyl ve az miktarda çakıllı kumtaşı ve kumtaşından oluşmuş olan Güvenç Formasyonu sedimanları gelir. Bunları sığ denizel karasal nitelikli Kuzgun üyesi, Salbaş tüfit üyesi, Memişli kumtaşı üyesinin bulunduğu Kuzgun Formasyonu takip eder. Kuzgun Formasyonu üzerine Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu gelmektedir [9-11]. Tuz yataklarının bulunduğu bölge ve yakın çevresinin jeoloji haritası Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. İncelenen Arabali tuz işletmesinin yer bulduru haritası

3.2. Yöntem

Çözeltili Madencilik yöntemiyle dünyada en fazla tuz, kükürt ve trona üretimi yapılmaktadır. Yöntemin en büyük avantajı, diğer madencilik yöntemlerinde görülen büyük hafriyatlara gerek olmaması, atık ve pasa malzemenin madenin



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası ([9-14]. den değiştirilerek alınmıştır)

olduğu yerde bırakılması ve bunlardan kaynaklanan düşük maliyetli bir faaliyet oluşudur.

Soda Sanayii A.Ş., kendi soda fabrikasına hammaddelerinden olan kaya tuzunu, Adana'nın Karakuyu Köyü, Arabali Mevkii'ndeki Halit tuzu sahasından Türkiye'deki ilk ve tek uygulama olan çözelti madenciliği yöntemi ile elde etmektedir. Kaya tuzu, Solvay Metodu ile gerçekleştirilmekte olan soda külü üretim prosesine tuzlu su olarak girmektedir. Yöntemin esası, üretilecek madeni bulunduğu yerde bir çözücüyle çözerek yeryüzüne çözelti olarak çıkarmaktır.

Cevherin yerinden sökülmesi, yabancı safsızlıklardan çok büyük oranda arındırılması ve zenginleştirilmesi yeraltında kapalı bir işletme şeklinde gerçekleştirilmektedir. Yeryüzündeki tesiste ise özel kuyu başlıkları, pompalar ve üretim hatları ile üretim yönlendirilmekte olup, bunlar da kapalı bir devre şeklinde çalışmaktadır. Böylelikle, tozuma, atık malzeme ve herhangi bir pasa açığa çıkmamaktadır. Genel tanımı verilen çözelti madenciliğine paralel bir şekilde Arabali Tuz İşletmesi'nde uygulanmakta olan prosesin özeti de şu şekildedir:

1997 yılından bu yana DSİ sulama kanalının güneyinde yer alan Güney Saha 'da çalışmanın devam ettiği Arabali Tuz İşletmesi'nde hammadde olarak kullanılan ham su, yeraltı su kuyularından derin kuyu pompalarıyla tedarik edilmektedir. Elde edilen yeterli miktarda ham su, tatlı su tanklarına aktarılmaktadır. Üretim basınç pompaları ile ham su tanklarından emilen ham su, üretim hatları aracılığı ile kuyulara enjekte edilmektedir. Enjeksiyon için kuyularda özel tip kuyu başlığı kullanılmakta ve ham su bağlantısı bu başlığa yapılmaktadır.

Kuyulardan elde edilen yeterli konsantrasyona sahip tuzlu su, tuzlu su geri dönüş hatları aracılığı ile tuzlu su tanklarına aktarılmaktadır. Tanklardan alınan tuzlu su ise isale hattı basınç pompaları aracılığı ile 47 km'lik isale hattı yoluyla Soda Fabrikası'na ulaştırılmaktadır. İsale hattı üzerinde Yenice, Tarsus ve Huzurkent'te kurulmuş olan ara pompa istasyonları ile basınç kayıpları geri kazanılmakta ve dengeleme tankı ve hidrofor

sistemleri ile enerji kesintilerinde hattın dengesi muhafaza edilmektedir. İsale hattında oluşabilecek hava koçlarını engellemek için hattın sağlıklı çalışmasını sağlamak üzere hat üzerinde bulunan vantuzlarla periyodik hava tahliyeleri yapılmaktadır.

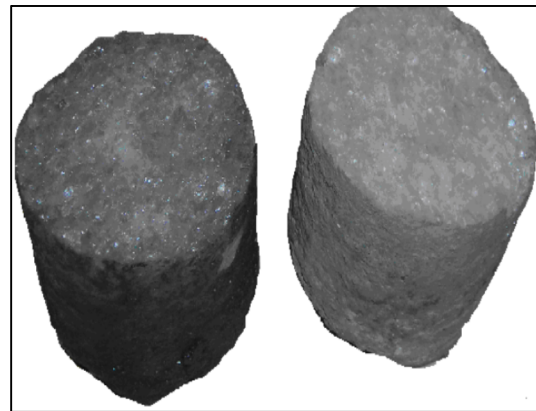
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çözelti madenciliği yönteminde uygulanan prosesin temelleri kadar, sondaj verileri, karotlar, numuneler üzerinde yapılan kimyasal analizler, yerinde testler, laboratuvar ortamında yapılan testler, alınan loglar ve ölçümler de büyük öneme sahiptir. Kuyunun tamamlanması, eritmenin kontrollü ilerlemesi, hedef boşluk şeklinin oluşturulabilmesi ve oluşacak nihai boşlukların başka amaçlar için de kullanılabilmesi çalışmaların titizlikle yapılmasına bağlıdır.

Söz konusu çalışmalara örnek teşkil edecek analiz ve ölçüm sonuçları (Bu veriler Soda Sanayi A.Ş. arşiv bilgilerinden alınmıştır) aşağıda verilmiştir.

4.1. Uygulama Alanındaki Kuyularda Kimyasal Analiz

Arabali tuz işletmesinde açılmış ve ömrünü tamamlamış olan yüksek tuz içerikli 25 ve 27 nolu kuyulardan alınan numuneler (Şekil 3) üzerinde kimyasal analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 2 ve 3).



Şekil 3. Örnek tuz karotları (yüksek tenörlü)

Çizelge 2. Arabali tuz işletmesi 25 nolu kuyuda kimyasal analiz sonuçları

MADDELER (%)	Num. No.1 452m	Num. No.2 459m	Num. No.3 464m	Num. No.4 469m	Num. No.5 495m
Suda Çözünen					
NaCl	79,2	90,67	79,46	84,03	84,26
MgCl ₂	0,36	0,16	0,08	0,04	0,2
CaSO ₄	1,6	5,1	9,69	7,85	3,5
NaSO ₄	-	0,27	0,22	0,06	-
Suda Çözünmeyen					
SiO ₂	9,32	1,3	2,44	3	6,11
Fe ₂ O ₃	1,33	0,3	0,46	0,42	0,62
Al ₂ O ₃	1,28	0,05	0,47	0,33	0,85
CaSO ₄	-	-	3,05	-	0,61
MgSO ₄	0,36	0,19	0,8	1,29	0,06
CaCO ₃	5,63	0,73	1,8	2,25	3,5
MgCO ₃	1,98	0,51	-	0,16	-
Toplam çözünen yab. mad.	1,96	5,53	9,99	7,95	3,7
Toplam Çözünmeyen yab. mad.	19,9	3,08	9,02	7,45	11,75

Çizelge 3. Arabali tuz işletmesi 27 nolu kuyuda kimyasal analiz sonuçları

MADDELER (%)	Num. No.1 463m	Num. No.2 487m	Num. No.3 488m	Num. No.4 493m	Num. No.5 494m
Suda Çözünen					
NaCl	91,20	73,19	79,34	94,85	84,25
MgCl ₂	0,08	0,20	0,12	0,04	0,08
CaSO ₄	4,05	1,73	4,73	2,11	3,57
NaSO ₄	0,03	-	0,24	-	0,04
Suda Çözünmeyen					
SiO ₂	1,40	11,80	6,37	0,79	4,45
Fe ₂ O ₃	0,21	1,25	0,8	0,12	0,5
Al ₂ O ₃	0,34	3,15	1,71	0,25	0,73
CaSO ₄	-	-	0,5	-	-
MgSO ₄	0,44	0,08	-	0,1	0,34
CaCO ₃	1,4	5,95	4,4	0,65	3,4
MgCO ₃	0,11	0,6	-	0,14	1,09
Toplam çözünen yab. mad.	3,13	4,57	1,12	3,40	7,15
Toplam Çözünmeyen yab. mad.	4,16	1,93	5,09	2,15	3,69

4.2. Litolojik Profil

Çözelti madenciliği prosesinde hammadde elde edilmek üzere açılan kuyularda gerek sondaj esnasında alınan sedimanlarla gerekse sondaj tamamlandıktan sonra çıplak kuyudan alınan gamma ray neutronlog ölçümleri ile litolojik profil tayin edilmektedir. Arabali Tuz İşletmesi'nde yapılan sondaj (Şekil 4a), alınan karot numuneleri ve örnek bir kuyu litolojik kesiti aşağıda verilmiştir (Şekil 4b).

4.3. Echolog Ölçümleri

Çözelti madenciliği günümüz standartları arasında yer alan ve artık zorunluluk haline gelen sonar ölçümler ve elde edilen bilgilerin yorumlanarak görüntülenmesi, çalışma alanı Arabali Tuz İşletmesi'nde periyodik yapılan çalışmalar arasında yer almaktadır. Söz konusu Echolog ölçümleri sonucu elde edilen kaverna şekilleri aşağıda verilmiştir (Şekil 5a, 5b, 6a, 6b, 6c).

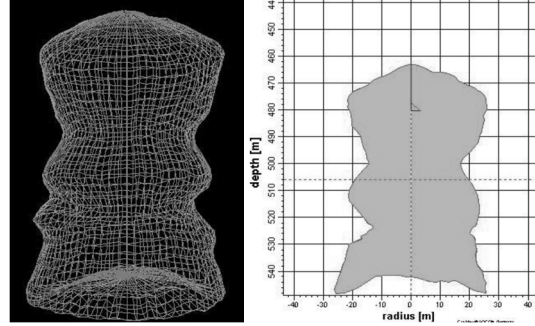
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada "Çözelti Madenciliği" literatüründeki eksikliğin bir ölçüde giderilerek Anabilim Dalımıza en yakın konumdaki uygulamadan örnekler verilmesiyle de bilinen bir yöntemin başka bir sahaya uygulanabilirliğinin gösterilmesi sağlanmıştır. Hedef, çözelti madenciliği prosesindeki aşamaların temel mühendislik bilgilerini bir araya toplayarak yöntem hakkında literatür bilgileri oluşturmak ve proses sonucunda, kavernalarda başta doğalgaz olmak üzere enerji kaynakları ve atık depolama imkanları oluştuğunu yüzeysel bilgilerle aktarmak olmuştur. Bu yeraltı boşluklarının depolama konusundaki uygunluğunun ayrıntılı araştırılması çalışmaları halen devam etmektedir.

Günümüz yaşam şartları ve ekonomik koşullarında çözelti madenciliği, gerek endüstride minimum maliyetler hedef alınarak ekonomik ve uzun vadeli üretim, gerekse dünyamızda giderek tükenmekte olan enerji kaynaklarına depolama imkanlarının sağlanması sonuçlarıyla, madencilik ve enerji



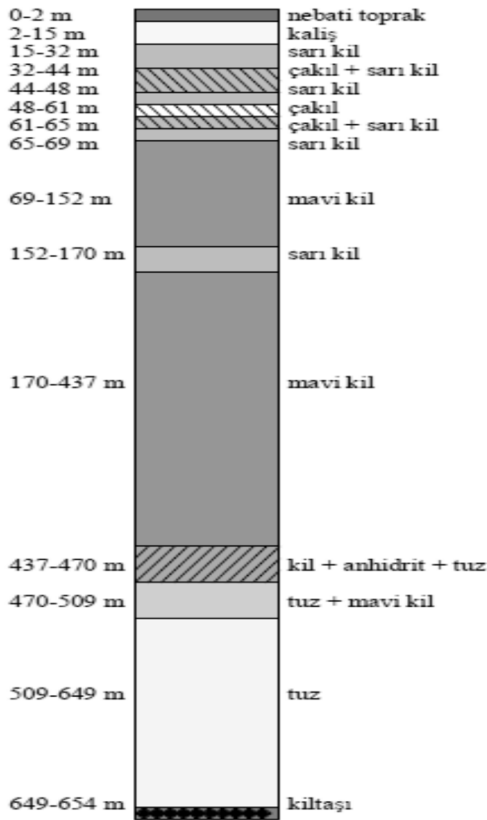
(a)



(a)

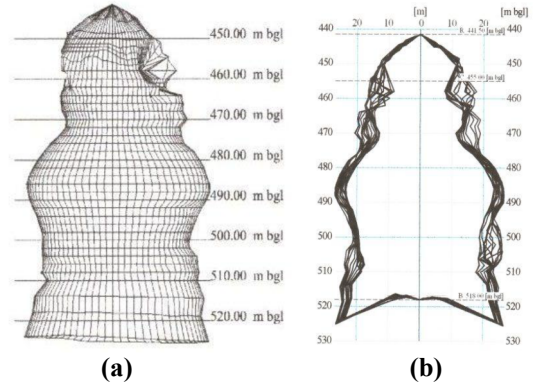
(b)

Şekil 5. Arabali Tuz İşletmesi'nde echolog ile alınan bir kaverna görünümü (a) ve tipik bir kaverna örneği (b).



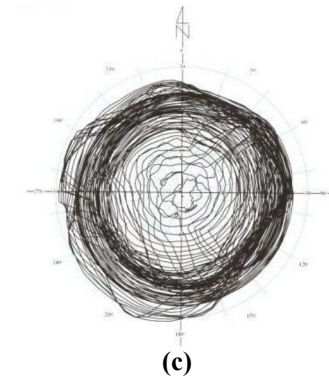
(b)

Şekil 4. Arabali Tuz İşletmesi'nde kullanılan sondaj makinesinden bir görünüm (a) ve Arabali Tuz İşletmesi'nde açılmış bir kuyunun örnek litolojik kesiti (b).



(a)

(b)



(c)

Şekil 6. Echolog ölçümü ile alınmış üç boyutlu kaverna kesit örneği (a), Echolog ölçümü ile alınmış örnek kaverna dikey (b) ve yatay (c) kesitleri (çakıştırılmış).

sektörünün yönelmesi gerektiği en önemli teknolojiler arasında yer almaktadır. Öte yandan beraberinde getirdiği çevre dostu işletme prensipleri ile, sanayi ve üretim alanlarında günbegün güçleşen çevresel engellerin kolayca aşılması, daha da önemlisi çevreye hiçbir yan etkisi olmaması çözelti madenciligi metodu ile madencilik faaliyetinde bulunmayı cazip kılmaktadır.

Yöntemin bu denli olumlu yönleri olmasına rağmen uygulama alanlarının kısıtlı olması ve spesifik bir prosese sahip olmasından dolayı, konuyla ilgili somut literatür ve uygulama çalışmalarına ulaşılmakta güçlükler vardır. Bu nedenle çalışma ele alınmıştır ve mümkün olan hammaddelerde uygulanması öncelikle ülke ve sonrasında dünya ekonomisi ve geleceği açısından hedef alınmalıdır.

Öte yandan enerji, toplumsal yaşamın başlangıcından itibaren insan ve toplum için vazgeçilmez olmuştur. Gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı ile birlikte geleneksel enerji kaynakları toplumun enerji ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmaya başlamıştır. Toplumsal yaşamın merkezinde yer alan ve kamusal bir hizmet olan enerjiye yönelik ihtiyacın belirlenmesi, karşılanması, iletilmesi, kısacası enerjide planlama yapılması kaçınılmaz bir zorunluluktur. Unutulmamalıdır ki enerjiye, ucuz, kesintisiz, sürekli ve güvenli bir biçimde erişmek temel bir insan hakkıdır. Dolayısıyla potansiyel enerji kaynaklarının en yaygın şekilde kullanılabilmesi ve gerek günlük yaşam, gerekse endüstriyel faaliyetlerin sektöre uğramaması, kesintisiz kullanımın sağlanması için “enerji kaynaklarının depolanması” konusu bilim ve sanayide odak nokta haline getirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

1. Baar, C.A., 1997. Applied Salt-Rock Mechanics. I. The In-Situ Behavior of Salt Rocks, Amsterdam – Oxford - New York, Elsevier Scientific Publishing Company.
2. Warren, J., 1999. Evaporites. Their Evolution and Economics. London, Blackwell Science, p.438.
3. Poborski, J., Slizowsky K., 1985. Geological Prediction of the Mining Feasibility within Salt Domes at Upper Permian Zechstein, Central Poland.
4. Poborski, J., 1964. Złoża ewaporacyjne. [in:] Krajewski R., Smulikowski K. (ed.), Zarys nauki o złożach Kopaliny Zecznych, Warszawa, Wyd. Geol.
5. Lefond, S.J., 1969. Handbook of World Salt Resources. New York, Plenum Press, p.384.
6. Soda Sanayii A.Ş., 2010. Şirket Tanıtım Sunumu.
7. Soda Sanayii A.Ş., 2006. Arabali Tuz İşletmesi Tanıtım Sunumu.
8. Ünlügenç, U., 1993. Controls on Cenozoic Sedimentation, Adana Basin Southern Turkey, PhD thesis, University of Kele, England.
9. Lagap, H., 1985. Kırılan-Karakılıç-Karaisalı (NW Adana) Alanının Litostratigrafik Kronostratigrafik İncelemesi, Ç.Ü. Fen Bil. Enst. Master tezi, Adana, 77.
10. Ünlügenç, U., 1986. Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının Jeoloji İncelemesi, Ç.Ü. Fen. Bil. Enst. Master tezi, Adana, 77.
11. Yetiş, C., Demirkol, C., 1986. Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Etüdü: M.T.A. Rap: 8037, 187s., Ankara (yayınlanmamış).
12. Yetiş, C., 1987. Adana Baseni Burdigaliyen-Tortoniyen İstifinin Sedimentolojik Gelişimi: Türkiye 7. Petrol Kongresi, Bildiriler, Ankara, 232-233.
13. İlker, S., 1975. Adana Baseni Kuzey Batısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları: TPAO Arşiv, No:973, 63 s., Ankara (yayınlanmamış).
14. Yılmaz, D., 2002. Adana Baseni Evaporitli Serilerinin (Neojen) Mineralojisi, Petrografisi.