





ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMİYLE KAYA TUZU ÜRETİMİ

¹Niyazi BİLİM , ²Emre KARAKAYA 

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya,
TÜRKİYE

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya,
TÜRKİYE

¹nbilim@ktun.edu.tr, ²ekarakayamr@gmail.com

(Geliş/Received: 23.01.2020; Kabul/Accepted in Revised Form: 16.08.2020)

ÖZ: Tuz, tüm canlılar için önemli bir maden kaynağı olmasının yanında tıp, kimya, ilaç, deri, tarım vb. birçok endüstride kullanılmaktadır. Tuz üretiminde kullanılan madencilik metotları; buharlaştırma, yeraltı madenciliği ve çözelti madenciliği olarak üç çeşittir. Çözelti madenciliği ile tuz üretim teknolojisinin kullanımı dünyada son yıllarda teknolojinin gelişimine bağlı olarak artmıştır. Madencilik sektöründe son derece güvenli, teknolojik ve çevre dostu bir yöntem olan çözelti madenciliği yöntemi ile çözücüsü genelde su olan tuz, soda vb. minerallerin işlenmesi oldukça ekonomik olmaktadır. Genellikle jeolojik ve epirojenik hareketlerle belli bir yönden bağlantısı kesilen bir iç deniz çukurunun dolmasıyla yüzlerce metre aşağıda oluşan halit domundan tuz üretimi, boru hattından pompalar yardımıyla tatlı su gönderip tuzun çözdürülmesini sağlayarak tuzlu su eriyiği elde edilmesiyle sağlanmaktadır. Bu çalışmada, tuz madeninde uygulanan çözelti madenciliği ile ilgili bilgilere ilaveten yeraltında oluşan tuz domlarından çözelti madenciliği yöntemiyle tuzun nasıl kazanılacağına dair açıklamalar, şekiller ve kaynaklara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çözelti madenciliği, kaya tuzu, kaverna, sondaj

Rock Salt Production by Solution Mining Method

ABSTRACT: Besides being an important mineral resource for all living things, salt is used in many industries such as; medicine, chemistry, medicine, leather, agriculture. There are three types of mining methods used in the salt production: evaporation, underground mining and solution mining. The use of solution mining and salt production technology have increased in recent years in accordance with technological development. The solution mining method, which is highly safe, technological and environmentally friendly method in the mining industry, is used for production operations of salt, soda etc., very economically that their solvent is generally water. The production of salt from halite dome, which is formed hundreds of meters below by filling an inland sea pit, which is generally disconnected from a certain direction by geological and epirogenic movements, is provided by sending fresh water with the help of pumps from the pipeline, and by dissolving the salt by obtaining salt water solution. In this study, information about solution mining applied to salt mine is given and there are explanations, figures and sources about how to gain salt from underground salt domes by solution mining method.

Key Words: Solution mining, rock salt, Cavern, drilling

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tuz, eski çağlardan beri insan hayatı için hayati bir öneme sahip olup, ilk başlarda yemeklerde, yiyeceklerin korunmasında ve derilerin tabaklanmasında kullanılmıştır. Günümüzde birçok kullanım alanında önemli bir yere sahip olarak, önemi halen devam etmektedir. Kimya sanayisinin gelişmesiyle birlikte tuz çok çeşitli alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Gıda endüstrisindeki kullanımlarının yanı sıra boya sanayisinde, kâğıt üretiminde, buz çözme işleminde, soda külü üretiminde ve sondaj işlemlerinde kullanılmaktadır. Tuzun elektrolizi sonucunda ortaya çıkan klor ve sodyum hidroksit, kimya endüstrisi için temel kaynaktır. Klor plastik, böcek ilacı bazı bileşiklerin üretilmesinde gereklidir. Tuz ya doğrudan ya da dolaylı yoldan 14 000'den fazla uygulamada kullanılmaktadır. Tuzun kullanıldığı alanları üç ana başlıkta toplayabiliriz: kimyasal kullanımlar, otoyol buz çözme ve gıda sanayi. Endüstri ülkeleri, tuz tüketiminin %50'sini kimya sanayisinde, %30'unu otoyol buz çözmede ve geriye kalan dilimi ise gıda sanayisinde kullanmaktadır (Geertman, 2000).

Tuzlar, denizlerden, göllerden ve yeraltındaki kaya tuzlarından elde edilmektedir. Tuz üretimi temelde üç ana yöntemle üretilmektedir: Buharlaştırma (evaporasyon), yeraltı madencilik (oda-topuk yöntemi ile ve delme-patlatma veya mekanize kazı sistemi uygulanarak) ve çözelti madencilik. Yeraltı madencilik oldukça pahalı bir yöntem olduğu için çözelti madencilik yöntemi yeraltı madencilik yöntemine alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Bu yöntemin teknolojisi sürekli olarak gelişmekle birlikte yöntemin madencilikte kullanılmasına karşı ilgi gün geçtikçe artmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere birçok madencilik işletmelerinde bu yöntem kullanılmaktadır (Amerika Birleşik Devletleri'nde Wyoming Bölgesi, Türkiye Beypazarı (Ankara) trona işletmesi, Soda Sanayi A.Ş. (Seyhan-Adana) kaya tuzu işletmesi, Seltaş A.Ş. (Cihanbeyli-Konya) kaya tuzu işletmesi gibi kurumlar madencilikte çözelti madencilik yöntemini kullanan firma ve bölgelere örnektir).

Yeraltında yer alan hammadde yatağına sondaj kuyuları açılmasıyla çözelti madencilik süreci başlatılmaktadır. Bu kuyularda bir muhafaza borusu yer almakta ve muhafaza borusunun içinde ayrı bir iç boru yerleştirilmektedir. Muhafaza boruları ile iç boru arasından (annülüsten) hammaddeye tatlı su verilir ve hammaddenin çözülmesi gerçekleştirilir. Çözünen hammadde-tatlı su çözeltisi iç borudan pompalarla yeryüzüne aktarılır. Daha fazla sondaj kuyusu açılarak bu kuyular direkt ve indirekt (ters) şekilde bağlanarak yeraltındaki hammadde kazanılabilmektedir (Ersoy ve Yünsel, 2001).

Çözelti madencilik yönteminde, çözücü olarak genelde su kullanılmakta olup, genellikle tuz, kükürt ve trona gibi minerallerin işletilmesinde kullanılmaktadır. (Pike, 1945; Pike ve Seaton, 1953; Jessen, 1973; Shock ve Conley, 1974; Lefond ve Jackoby, 1983; Folle, 1985; Frint ve ark., 1993; Frint ve Copenhafer, 1993; Copenhafer ve ark., 1994; Nasün-Saygılı ve Okutan, 1996; Haynes, 1997; Haynes ve Ukidwe, 1998). Yöntemin en büyük avantajı, diğer madencilik yöntemlerinde görülen büyük hafriyatlara gerek olmaması, atık ve pasanın madenin olduğu yerde bırakılması ve bunlardan kaynaklanan düşük üretim maliyetidir.

Tuz, trona vb. gibi mineraller yeraltında belli bir en, boy ve kalınlığa sahip olarak birikmiş veya çökelmiştir. Bu birikim ve çökme dom olarak ifade edilmektedir. Çözelti madencilik yönteminde sondaj boruları aracılığıyla tuz domuna gönderilen çözücü tuzu çözmekte ve çözülen alanda zamanla bir boşluk oluşmaktadır. Tuz domunun bulunduğu bu alan bir anlamda mağara şekli oluşturur. Mağara kelimesi İngilizce'de "cavern" olarak adlandırılır ve Türkçeye "kaverna" olarak geçmiştir. Günümüzde tuz domunda oluşan kaverna içerisine çözücü aktarma yönteminin en pratik yöntemi çözücü kaverna içine basacak pompalardır. Pompalar çözücü belli bir basınçla sondaj kuyusu içerisinden tuz domunda oluşan kavernaya basmakta ve aynı basıncı kullanarak tamamen tavana kadar çözelti ile dolu olan kavernadan tuzlu suyun geri kazanılmasını gerçekleştirmektedir. Kavernanın tavanındaki erime hızı, kaverna duvarlarındaki erime hızına kıyasla daha fazladır. En uygun kaverna şeklini yakalamak ve kaverna tavanını istenilen seviyede tutmak için öz kütlesi çözücünden düşük olan sıvı ya da gaz fazındaki bir izolasyon maddesi kaverna içine enjekte edilerek kaverna tavanı izole edilmektedir. İzolasyon maddesi muhafaza borusu ve dış üretim borusu arasındaki boşluktan enjekte edilerek kaverna tavanının hemen altında konumlanır. Bu eritme yöntemi tavan izolasyonunun kontrolü ile eritme olarak tanımlanmaktadır. Pratikte uygulanan izolasyon maddeleri aşağıda yer almaktadır (Kunstman ve ark., 2007).

- Fuel oil
- Mazot, ham petrol, petrol veya sıvı propan-bütan(kavernanın bu maddeleri için depo olarak kullanılacağı durumlarda)
- Sıkıştırılmış hava
- Sıkıştırılmış azot

En yaygın kullanılan izolasyon sıvısı fuel oildir. Fuel oil maliyetinin düşük olması, sıkıştırılabilirliğinin düşük olması, kavernadan neredeyse tamamının geri alınabilir olması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Bir kısmının kaverna duvarlarında kalması gibi dezavantajından dolayı fuel oil yerine gaz kullanımı da mevcuttur (Kunstman ve ark., 2007).

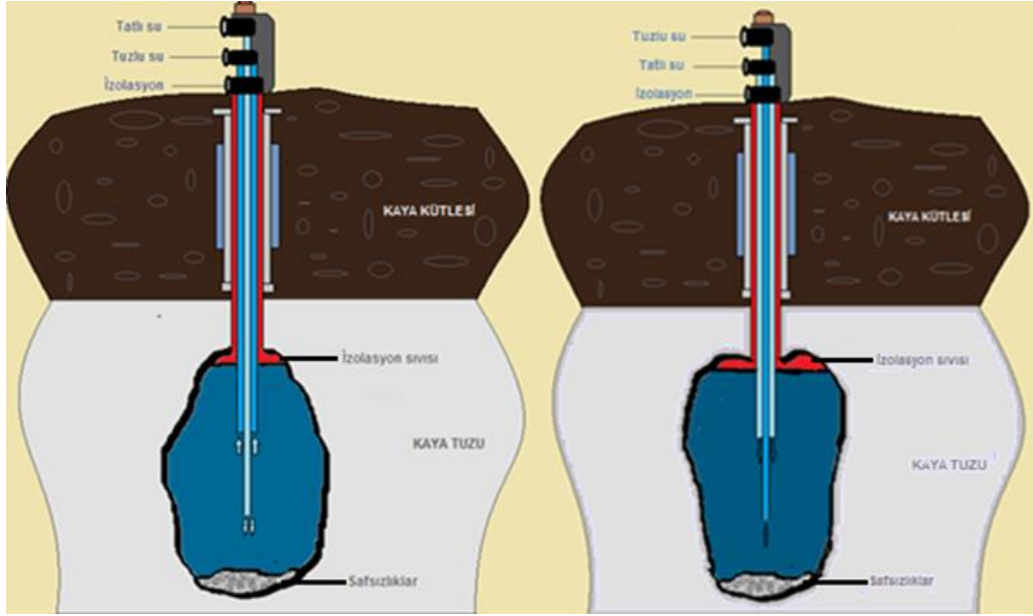
Tavan izole edilerek eritme işleminin uygulanmasında çözücü ve çözelti, sabitlenmiş dikey tek eksenli iki çift üretim borusu dizisi (iç ve dış üretim boruları) içerisinden tuz domunda oluşan kavernaya giriş çıkış yapmaktadır. Çözücü iç üretim borusundan kavernaya gönderilirken, çözelti iç ve dış üretim borusu arasındaki boşluktan geri kazanılmaktadır. Bu işlem direkt sirkülasyon olarak tanımlanmaktadır. Direkt sirkülasyon uygulamasında üretim borusunun en alt seviyesinden yani kaverna tabanından kaverna tavanına doğru bir erime gerçekleşerek düzenli bir şekilde sahip kaverna oluşmaktadır (Bastacioğlu, 2010).

Çözücünün iç ve dış üretim borusu arasındaki boşluktan gönderilmesi ve elde edilen çözeltinin iç üretim borusundan geri kazanılması ise indirekt sirkülasyon olarak tanımlanmaktadır. Bu uygulamada düzenli gelişen kısım kavernanın dış üretim borusu üstünde kalan bölümüdür. İç ve dış üretim borusunun en alt seviyeleri arasında kalan bölüm ise ters koni geometrisini almakta olup, alınan çözeltinin konsantrasyonu yüksektir ve istenilen konsantrasyon verimini elde etmek olasıdır.

Direkt sirkülasyon uygulaması kavernada düzenli bir geometrinin oluşmasını sağlarken, ters sirkülasyon uygulaması, yüksek konsantrasyon oluşumunu sağlamaktadır (Şekil 1). Bu avantajların her ikisini birden kullanabilmek için ters sirkülasyon yöntemini ve üretim borusu alt seviyeleri birbirine yakın versiyonu uygulamak gerekmektedir (Bastacioğlu, 2010).

Ters sirkülasyon metodunda çözücünün kaverna tavanının altına gönderilmesi nedeniyle kavernanın üst kısmında bırakılan toprakların erimesine ve bu nedenle kavernanın eritme bölgesinin tabanında üretilmesi istenmeyen bir ters koni şeklini meydana getirmektedir. Bu yöntemin uzun süreli uygulanması ancak iki başlangıç kavernasını birleştirmek amaçlı kullanılabilir.

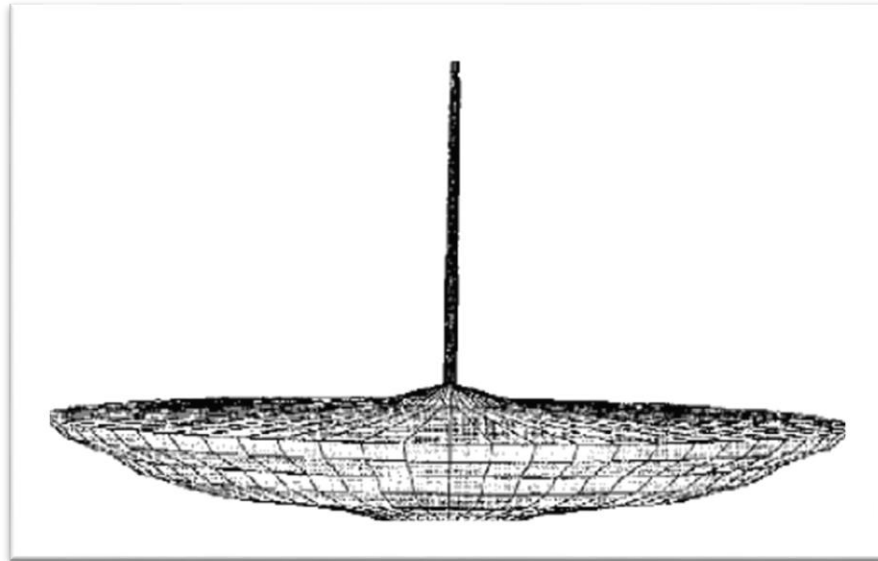
Eritme işlemi yatay ve dikey doğrultuda olmak üzere iki farklı şekilde olabilmektedir (diğer tüm yönlerde de eritme yapılabilir). Kaverna tavanından kaverna tabanına doğru eritme dizaynı uygulanmamaktadır. Genellikle eritme şekli kavernanın alt seviyelerinden başlanarak, kaverna tavanına doğru eritme şeklindedir. Standart eritme dizaynında kaverna taban bölgesi eritme işleminin başlangıç noktası olup, kaverna tavanına kadar olan işletim şeklindedir. Yatay eritme yöntemi kavernanın işletilmeye başlandığı ilk aşamada uygulanmaktadır. Bu nedenle ilk aşamaya aşama "başlangıç kavernası" olarak tanımlanır (Thoms ve Gehle, 1993).



Şekil 1. Düz sirkülasyon (solda) ve ters sirkülasyon (sağda) yönteminin genel görünüşü

Figure 1. General view of straight circulation (left) and reverse circulation (right) method

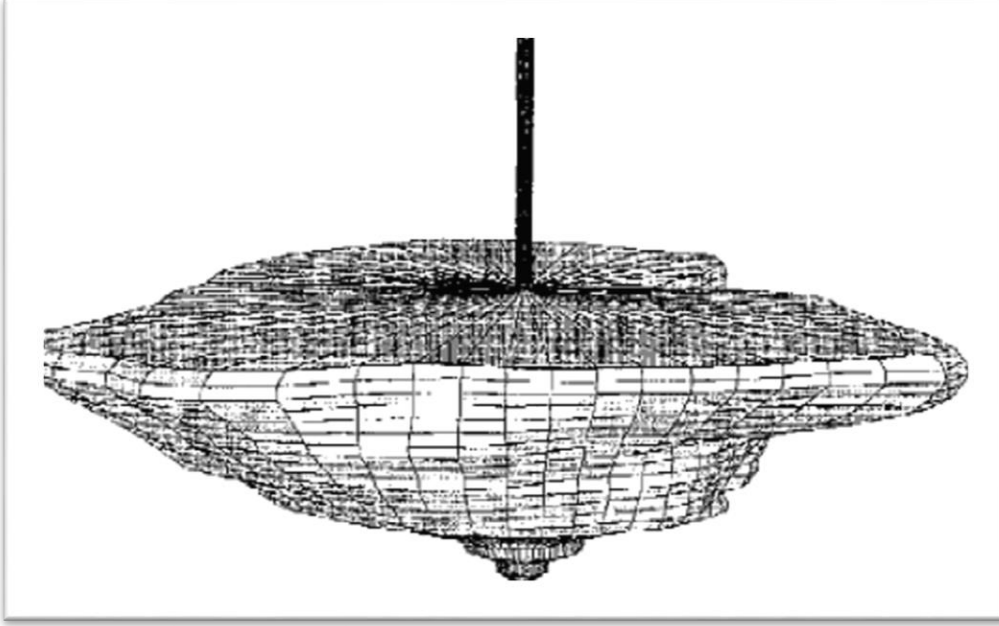
Daha alt seviyede bulunan iç boru, önceden eritilen seviyenin tavan kısmına çekilmekte ve eritme bölgesinin yeni tavanı aynı anda izole edilmektedir. Ancak yatay eritme yönteminin uygulanması işleminde yüksek tuz içeriğine sahip çözelti elde etmek çok zordur. Kuyular açılıp başlangıç kavernası oluştuktan birkaç ay sonra yılda en az bir sonar ölçüm yapılmalıdır. Yeraltının yüzlerce metre altında oluşturulan kavernanın geometrik şeklinin belirlenip tuz üretiminin optimum seviyede sağlanması ve harcamaların (elektrik, pompa ve motor değişim masrafları vs.) doğru ve yerinde kullanılması için eritmenin dizaynı kontrol altında tutulmalıdır. Şekil 2’de ideal başlangıç kaverna geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 2. İdeal şekle ulaşmış başlangıç kavernası (Kunstman ve ark., 2007).

Figure 2. Starting cavern that has reached the ideal shape (Kunstman et al., 2007).

Şekil 3'te ise belli bir yüksekliğe sahip ideal kaverna geometrisi görülmektedir. Bu ideal kaverna geometrisini sağlamak için eritme teknoloji elemanlarını sonar ölçüm sonuçlarına göre doğru bir şekilde kullanılmalıdır.



Şekil 3. Belli bir yüksekliğe ulaşmış ideal kaverna geometrisi (Kunstman ve ark., 2007).

Figure 3. Ideal cavern geometry that has reached a certain height (Kunstman et al., 2007).

Bir kavernanın işletilmesinde sadece dikey eritme yöntemi kullanılamaz. Kaverna tavanında izolasyon kullanmadan yapılan eritme yöntemi dikey eritmeye en yakın işletme şekli olmaktadır. Bu durumda ise kaverna tavanı tamamen düz gelişecek, zamanla aşağı yönde eğim kazanacaktır. Kavernanın dikey ve yatay gelişimini sağlayan eritme teknoloji elemanları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Üretim borusu dizisinin yer değiştirilmesi
- Tavan izolasyon seviyesinin değiştirilmesi
- Sirkülasyon yönünün değiştirilmesi (direkt-ters sirkülasyon)
- Çözücü sıvının debisinin değiştirilmesi

Kavernanın belli seviyelerinde eritme işlemi süresince istenilen kaverna çapına ulaşıldığında üretim boruları yukarı çekilerek eritme işlemi kavernanın bu seviyesinde durdurulur. Kaverna çapının fazlaca genişlemesi kavernanın çökmesine neden olarak yeryüzünde çökme oluşması meydana getirebilir bu nedenle çapın daha fazla genişlemesi istenmeyen bir durumdur. Kalın tuz domlarında oluşturulan yüksek kavernalarda eritme işlemi gerçekleştirilmek için üretim borularının seviyelerin defalarca değişmesi ile gerçekleşmektedir. Üretim borularının değiştirildiği her seviyede tavan izolasyonu uygulanarak yanıl gelişme sağlanmakta ve kaverna tavan bölgesindeki eritme yavaşlatılmaktadır. Buna ek olarak hedef kaverna çapına ulaşıldığında yanıl gelişmeyi durdurmak gerekmektedir. Bunu sağlamak için üretim boruları yukarı bir seviyeye çekilerek, kavernanın alt bölgesinde eritme işlemi yavaşlatılmaktadır. Bununla birlikte kuyunun daha önce izole edildiği üst bölgeden bir miktar izolasyon sıvısı geri çekilir ve istenilen eritme bölgesinin tavanında izolasyon yapılır. Böylelikle yeni bir eritme aşaması için tavan yönünde ilerleme sağlanmaktadır (Kunstman ve ark., 2007).

MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Kaya Tuzu Jeolojisi ve Mineral Oluşumu (Rock Salt Geology and Mineral Formation)

Kaya tuzu oluşumu paleocoğrafya ile ilgilidir. Yerin yüzlerce metre altında oluşan kaya tuzu, Zechstein (sığ bir denizde oluşan jips ve anhidritin oluşturduğu yataklanma) tipi yaygın bir sığ deniz veya Akdeniz gibi bir okyanusal evaporit oluşumu olabildiği gibi epirojenik hareketlerle herhangi bir yönden bağlantısı kesilen bir iç deniz çukurunun dolmasıyla da oluşabilmektedir.

Tetis adındaki eski bir okyanusun III. Jeolojik zamanda gerçekleşen levha hareketlerine bağlı olarak ve Afrika-Avrasya kıtasının çarpışması sonucu denizel alanlar giderek daralmış ve bugünkü Akdeniz meydana gelmiştir. Orta Jura jeolojik zamanda Afrika plakası, Avrupa plakasına göre kuzeye doğru hareket ederek Alpin dağ oluşum başlangıcına ve Tetis okyanusun büyük bir kısmının yok olmasına neden olmuştur. Alpin dağ oluşumundan sonra yeni Akdeniz Havzaları meydana gelmiştir ve Atalntik ve Indo-Pasifik arasındaki bağlantı Burdigaliyen döneminde bu iki kıtanın Ortadoğu boyunca birleşmesi sonucu kesilmiştir. Genç Miyosen döneminde ise, Afrika ile Avrupa arasındaki son açıklık olan Betik ve Rif geçitleri de kapanmıştır. Bu olaylar sonucunda Akdeniz'e su gelişi kesilmiş ve buna bağlı olarak Akdeniz için bir kriz başlamıştır. Bu kriz sonucu Akdeniz Havzalarında jips, anhidrit ve kaya tuzundan oluşan evaporitler çökelmiştir. Bu olaya "Messiniyen Tuzluluk Krizi" ya da okyanusal evaporit oluşumu denmektedir (Benson ve ark., 1991).

Epirojenik hareketlerle bağlantısı kesilen bir iç deniz çukurunun dolmasıyla oluşan kaya tuzu oluşumunda deniz daha sonra geri çekilmesi sonucu tamamen gerileyerek daralmış durumda, yerine karasal ve sıcak iklim koşullarına ve bu koşullarda oluşan açık denize bağlı geçici göllere (lagün) bırakmıştır. Bu lagüner tortullaşmada kurak ve yarı kurak iklim koşullarında, buharlaşma sonucu kalın karasal seriler, kil marn tortulları ve jips yatakları oluşmuştur. Denizin çekilmesiyle oluşan dağlar arasındaki çorak basenlerde tuzlu bataklık ve göller meydana gelirken, akarsuların yataklarında da kırıntılı oluşuklar depolanmış, playa denilen çukurlarda jips ve diğer evaporitler çökelmiştir.

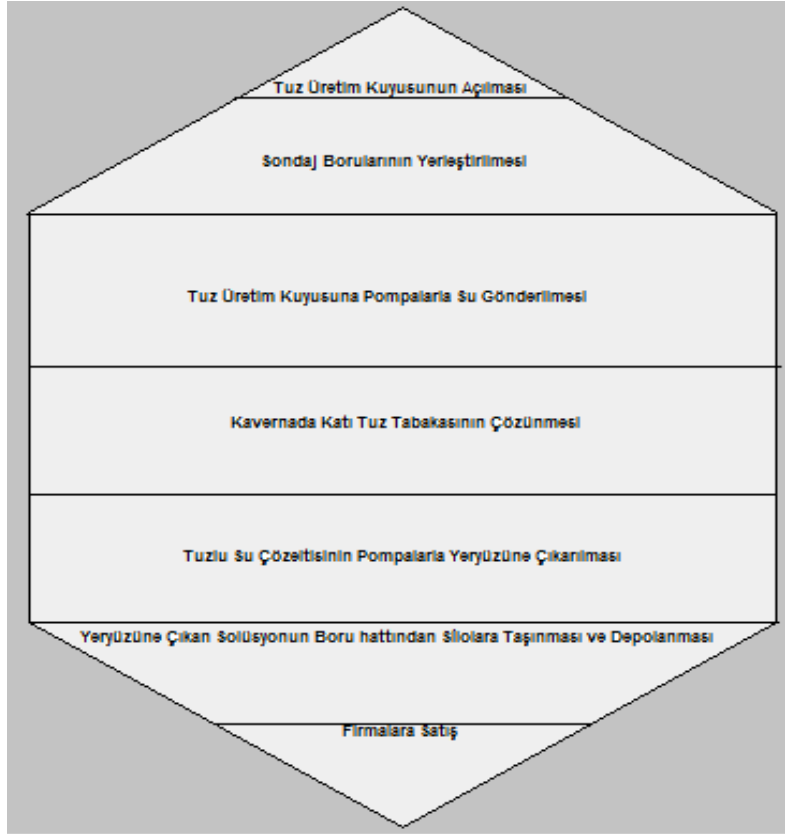
Yerin yüzlerce metre altındaki kaya tuzu homojen bir yapıya sahip olmamasından dolayı yer yer kil bantları içerebilir. İçerdiği bu killerden dolayı kaya tuzunun rengi kirli beyaz olup saydamlığı değişebilmektedir. Bununla birlikte tuz katmanları arasında, killer ve marnlar, ince kristalli jips mineralleri yer alabilmektedir.

Tuz cevheri olma olasılığı olan bölgede içme ya da kuyu sularına kimyasal analiz testi uygulandıktan sonra rezerv ve tenör miktarının öğrenimi için belli kuruluşlarca sondaj çalışmasının yapılması şarttır. Yapılacak olan tuz arama faaliyetleri sonucu; çalışma alanında yapılan çalışmalarda yeryüzünün yüzlerce metre altında kaya tuzu tabakası varlığı neticesinde, sondaj işlemleri sonucunda alınan karot numunelerine uygulanan analizler sonucunda; üretilmeye elverişli rezerv ve kalitede kaya tuzu rezervi tespit edilebilirse tuz üretim faaliyetlerine geçilebilmektedir. Yapılan çalışmalar ve analizler sonucu kaya tuzunun ortalama bileşimini genellikle Ca^{+2} , Mg^{+2} , NaCl, suda erimeyen madde, SO_4 ve nem gibi iyonlar ve maddeler oluşturmaktadır.

Çözelti Madenciliği Yöntemiyle Kaya Tuzu Üretiminde İş Akım Şeması (Flow chart in Rock Salt Production by Solution Mining Method)

Kaya tuzu işletme alanında tuz üretimi için sondaj kuyuları yardımı ile çözelti madenciliği yöntemi uygulanmaktadır. İşletme kapsamında üretim sırasında; tuz tabakasına kadar uygun aralıklarla sondaj kuyuları açılarak, muhafaza borularının yerleştirilmesi ve çimentolama işlemi yapılmaktadır. Sondaj işlemi, tuz tabanına kadar devam etmelidir.

Eritme için kullanılan su, tuz yatağına kuyuda kullanılan üretim borularının içerisinden aktararak, kuyunun çıplak kısmında tuzun çözdürülüp tuzlu su konsantrasyonu artırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Eritmenin bir sonucu olarak, eritilen bu bölgede kaverna gelişmiş olup, madencilik faaliyeti sonrasında elde edilen tuzlu çözelti, çözücünün kuyu içerisine girdiği basınç sayesinde yine üretim boruları aracılığı ile yeryüzüne taşınmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Çözelti madenciliği ile kaya tuzu üretim akış şeması

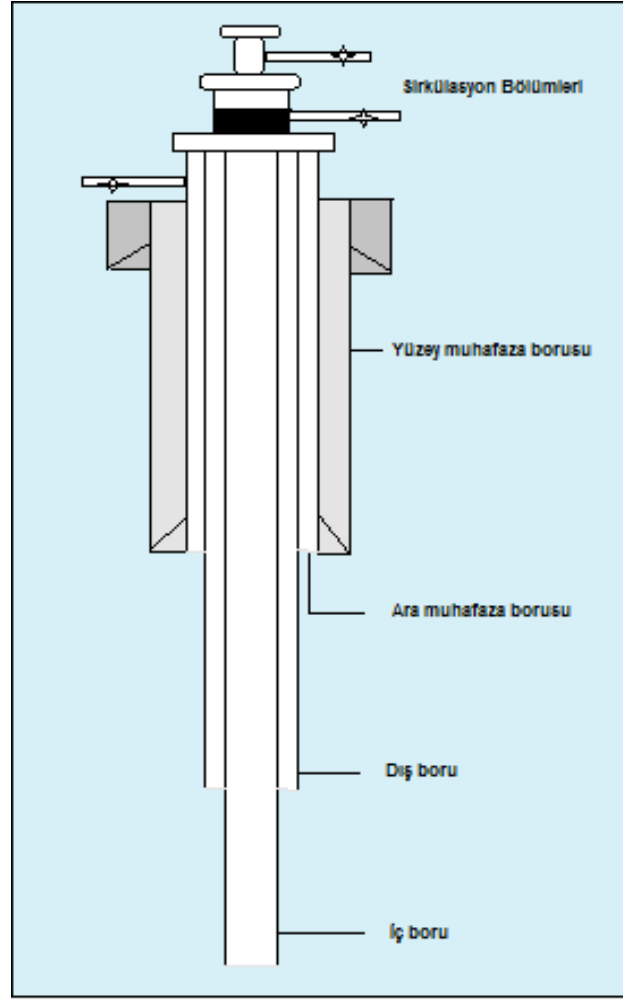
Figure 4. Solution mining and rock salt production flow chart

Çözelti Madenciliği Yönteminde Kullanılan Teknoloji (Technology Used in Solution Mining Method)

Kaya tuzunun çözelti madenciliği yöntemiyle üretildiği işletmelerde alandaki tuz oluşumu katı halde tabaka halinde ve yaklaşık olarak yüzeyden birkaç yüz metre derinlikte başlamaktadır. Kuyuların toplam tuz kalınlığı yaklaşık olarak birkaç yüz metre arasında değişmektedir. Yaklaşık 40-50 m'lik tuz tabakası emniyet olarak yerinde bırakılmış olup üretim, tuz tabakasının 40-50 m altından başlanır.

Tuz tabakaları arasında yer yer değişik kalınlıklarda kil bantları bulunmakta olup tuz tabakasına kadar sondaj kuyuları açılarak, muhafaza borularının yerleştirilmesi ve çimentolama işlemi yapılmaktadır. Sondaj işlemine tuz tabanına ulaşılan kadar devam edilmektedir. Kuyuya iç boru (üretim veya besleme) yerleştirilmektedir.

Çözelti madenciliği işleminde; yeraltındaki hammadde yatağına kadar sondaj kuyuları açılmaktadır. Bu kuyulara casing (koruma boruları) ve iç boru yerleştirilmektedir. Kuyu işlemi tamamlandıktan sonra kuyunun göçmesini önlemek, kuyuya gönderilen tatlı suyun ve kuyudan yeryüzüne gelen tuz çözeltisinin formasyona kaçmasını önlemek için tuz tavanına kadar muhafaza boruları (casing) indirilmektedir. Koruma borularının çapı kuyu çapına yakın olup kuyu çeperinde bulunmaktadır. Bundan sonra çimentolama işlemi uygulanmalıdır. Şekil 5'de sondaj üretim kuyusunun yüzey muhafaza borusu, ara muhafaza borusu, iç boru ve dış boru gibi elemanları yer almaktadır.



Şekil 5. Üretim kuyusunun sondaj dizisi

Figure 5. Drilling string of the production well

Kuyu boşluğuna; serbest iç boru (tubing), tuz tabanından 1-2 m yukarıda kalacak şekilde yerleştirilmektedir. Tuzun çözdürülmesi ve yeryüzüne alınması işlemi, çözelti madenciliğinin iki farklı metodu ile yapılmaktadır. Bunlar direkt ve ters dolaşım yöntemleridir. Çalışma alanında, üretimin ilk başlangıcında direkt dolaşım yöntemi, ileri aşamalarında ise ters dolaşım yönteminin uygulanmaktadır.

Tuzu eritmek için kullanılan su, üretim boruları içerisinde zemin pompalar yardımıyla aktarılarak kuyunun çıplak kısmında tuz domunun çözülmesiyle tuzlu su çözeltisi üretilmektedir. Madencilik faaliyetleri sonrasında elde edilen tuzlu su çözeltisi, çözeltinin kuyu içerisine girdiği basınç sayesinde yine üretim boruları aracılığı ile yeryüzüne taşınmaktadır. Yeryüzüne taşınan tuzlu su çözeltisi tanklarda birirmektedir. Tanklarda biriken tuzlu su çözeltisi ise pompalar yardımıyla boru hattı üzerinden solüsyon havuzlarına basılmaktadır.

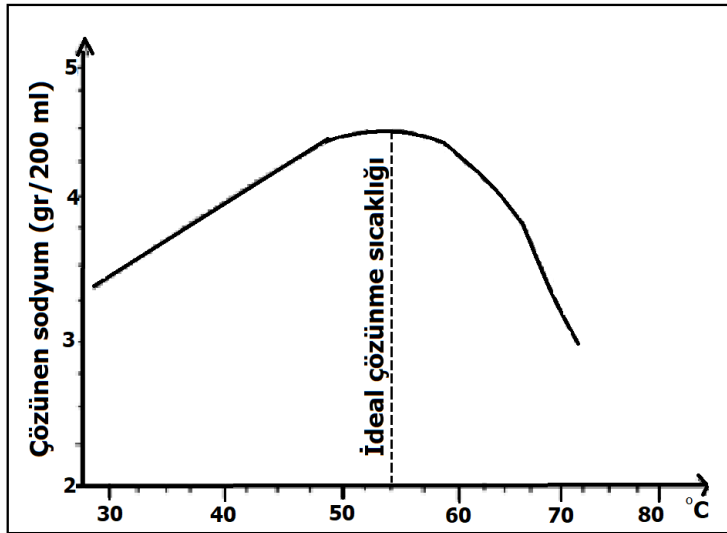
Pompalar kademeli pompa olup motorun ve pompanın tam verimle ve hasar görmeden çalışması için motor-pompa bağlantısını oluşturan kaplin ve kaide ayarı hassas şekilde ayarlanmalıdır. Bu pompalar çözücünün (tatlı su) tuz üretim kuyularına gönderilmesini sağlamaktadır.

Çözelti Madenciliği Yöntemiyle Kaya Tuzu Üretiminde Çözünen Sodyum Miktarı ile Çözücü Sıcaklığı Arasındaki İlişki (The Relationship Between Solvent Temperature and Soluble Sodium Amount in Rock Salt Production by Solution Mining Method)

Tuz üretim kuyu kavernalarına gönderilen çözücü, kaverna içinde kaldığı zamana göre çözünen sodyum (Na) miktarı da artmaktadır. Tuzlu çözeltinin doygunluk derecesiyle, çözünen sodyum miktarı

ters orantılı olarak değişmektedir. Bu durum kısaca açıklanacak olursa, üretim sistemine bağlı olarak iç boru ile dış boru arasında hareket eden tuzlu su çözeltisinin doygunluk derecesi arttıkça, çözünen sodyum miktarı azalmaktadır. Tuzlu su çözeltisinin yeterince doygun hale gelmesi, iç boru ile dış boru arasındaki mesafeye bağlıdır ve genellikle bu mesafe tuzlu su çözeltisinin doygun hale geleceği mesafeye göre ayarlanmaktadır. Tuz üretim kuyusundan yüzeye çıkan tuzlu su çözeltisinin yoğunluğu, sürekli olarak boume metre ile ya da yoğunlukölçer cihazları ile ölçülür. Yeterince yoğun tuzlu çözeltisi gelmemesi halinde, tuz üretim kuyularına pompalanan tatlı su debisi düşürülür ve tatlı suyun, tuz üretim kuyusunda kalma süresi artırılarak tuzlu su çözeltisinin yeterli doygunluğa erişmesi sağlanmaktadır.

Tuz üretim kuyu kavernasına gönderilen tatlı suyun sıcaklığı belli bir dereceye çıkartıldıkça çözünen sodyum miktarı da artmaktadır. Ancak tatlı su sıcaklığı belli bir dereceyi aştıktan sonra çözünen sodyum miktarı azalmaktadır. Çünkü belirli bir sıcaklık değerinde çözünen sodyum miktarı, doygunluk seviyesine ulaşmaktadır. Yaklaşık 50-55 °C'den sonraki sıcaklık değerlerinde çözünen sodyum miktarı azalmaktadır. Sonuç olarak tuz üretim kuyularına gönderilen çözücü sıcaklığı 50-55 °C'yi aşmamalıdır (Şekil 6). Çözücü olarak gönderilen tatlı su sıcaklığını artırma işlemi maliyetli olduğu için tuz üretim kuyularına gönderilen tatlı su sıcaklığı, atmosfer sıcaklığında olmaktadır (Ersoy ve ark., 2001).



Şekil 6. Çözünen sodyum miktarı ile çözünme sıcaklığı arasındaki ilişki

Figure 6. Relationship between dissolved sodium and dissolution temperature

SONUÇ VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Çözelti madenciliği yöntemi, çözücüsü genelde su olan tuz, trona gibi madenlerin işletilmesinde teknolojik, ekonomik ve iş güvenliği açısından oldukça güvenli bir yöntemdir. Yeraltındaki maden yatağına sondaj kuyuları açılması ve bu sondaj boruları içinden çözücünün pompalarla gönderilmesiyle yeraltındaki oluşumun erimesi sonucu kaverna oluşumunu sağlayarak çözeltinin oluşan kavernaya dolup üretim boruları aracılığıyla yeryüzüne alındığı yani endüstriyel hammaddenin kazanıldığı yöntem "çözelti madenciliği" olarak tanımlanmaktadır.

Çözelti madenciliği yönteminin tuz, kükürt ve trona gibi hammaddelerin işletilmesinde son derece güvenli, teknolojik ve çevre dostu bir yöntemdir. Bununla birlikte yöntemin en büyük avantajı, diğer madencilik yöntemlerinde görülen büyük miktarlarda dekapaj malzemesinin ortaya çıkmaması, çözelti madenciliği yöntemi ile elde edilen tuzlu su çözeltisinin rafine işlemi sonrası elde edilen atık (kil, CaCO₃, MgCO₃ vb.) içeren malzemenin kavernaya gönderilmesi ve bunlardan kaynaklanan düşük maliyetli bir faaliyet oluşudur. Ayrıca bu tür madenlerde yeraltı madenciliğine alternatif olarak geliştirilen çözelti madenciliği yöntemi iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça risksiz bir çalışma ortamı sunmaktadır.

Çözelti madenciliği yönteminde, başlangıç kavernası oluşturulan üretim kuyusuna yılda en az bir sonar ölçüm yapılmalıdır. Sonar ölçüm sonucunda kuyu kavernasının 3 boyutlu şekli, kaverna çapı ve derinliği, kaverna da çökme olup olmadığı, iç-dış tubing üretim borularında eksiklik, deforme vb. gibi durumların olup olmadığı gibi önemli bilgilere ulaşılmaktadır. Bu bilgiler ışığında, üretim prosesi mühendislik hesaplamalarına göre yeniden revize edilerek üretim verimi, üst düzeye çıkarılmalıdır. Buna ek olarak tatlı su ya da geri dönüş suyunu (rafine işleminden elde edilen atık su) kavernaya pompalayan pompalar, üretilen maddeye uygun olarak seçilmelidir ve pompa emme hattına gelen suyun (tatlı su, rafine sonrası atık su vb.) içinde yer alması olası yabancı maddelerin pompa elemanlarına zarar vermemesi için filtrelerden (basket tipi ya da kova tipi) geçirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Bastacioğlu, B. G., 2010, Tuz Tabakalarında Çözelti Madenciliği ve Oluşan Boşlukta Doğalgaz Depolama İmkanlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi.
- Benson, R.H., El Bied, K.R., and Bonaduce, G., 1991. An important current reversal (influx) in the Rifian Corridor (Morocco) at the Tortonian- Messinian Boundary: The End of Tetyhs Ocean. *Palaeoceanography*, 6 (1), 164-192.
- Copenhafer, W. C., Smith, D. E. ve Niedringhaus, G. F., 1994, Process for producing sodium salts from brines of sodium ores, Google Patents.
- Ersoy, A. ve Yünsel, T., 2001, Çözelti madenciliği ile tuz üretimi.
- Folle, S., 1985, Geological Conditions for The Construction of Salt Caverns. *Salts & Brines' 85, Proceedings of The Symposium-Solution 'Mining of Salts and Brines, New York. '*
- Frint, W. R., Bithell, M. ve Fischer, W. G., 1993, Soda Ash Production. U.S. Patent No: 5, 192, 164, (Mar. 9, 1993).
- Frint, W. R. ve Copenhafer, W. C., 1993, Process for Producing Sodium Salts from Brines of Sodium Ores. U.S. Patent No: 5, 262,134.
- Geertman, R., 2000, Sodium chloride: Crystallization, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, 4127-4134.
- Haynes, H., 1997, Solution mining of Wyoming Trona, SPE Rocky Mountain regional meeting.
- Haynes, H. W. ve Ukidwe, A., 1998, A Model for Solution Mining Trona. Wyoming State Geological Survey Public Information Circular, 40,153-161.
- IPT Akaryakıt Malz. Petrol Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti., 2008, Akaryakıt Pompası Kullanım ve Bakım Kılavuzu.
- Jessen, F. W., 1973, Specialized Underground Systems: Solution Mining. SME Mining Engineering Handbook. 2, Editor: Cumins, A.B., The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Eng. Inc., New York.
- Kunstman, A., POBORSKA-MŁYNAŃSKA, K. ve URBAŃCZYK, K., 2007, Solution mining in Salt Deposits, Wyd. AGH, Kraków.
- Lefond, S. J. ve Jackoby, C. H., 1983, Salt In Industrial Minerals and Rocks. Editor: Lefond' S.J. 2:1119-1150.
- Nasün-Saygılı, G. ve Okutan, H., 1996, Application of the solution mining process to the Turkish trona deposit, *Hydrometallurgy*, 42 (1), 103-113.
- Pike, R. D. ve Seaton, M. Y., 1953, Mining Operation, U.S. Patent JSfo: 2,625,384 (January 13, 1953).
- Pike, R. D., 1945, Solution mining of trona, Google Patents.
- Shock, D. ve Conley, F., 1974, Solution Mining-Its Promise and Its Problems, Solution Mining Symposium, FF Apian, WA McKinney, and AD Pernichele, eds., AIME, New York, 79-97.
- Thoms, R. ve Gehle, R., 1993, Feasibility of Controlled Solution Mining From Horizontal Wells, Solution Mining Research Institute.