

## Çözelti Madenciliği ile Tuz Üretimi

A. Ersoy & T.Y. Yünsel

*Çukurova Üniversitesi, Adana*

**ÖZET:** Çalışma alanı Adana ili, Karakuyu Köyü, Arapali mevkiinde yer almaktadır. Alandaki tuz oluşumu iki tabaka halinde ve yaklaşık olarak yüzeyden 400 m derinliktedir. Toplam tuz kalınlığı 150-200 m arasında değişmektedir. İki tuz tabakası arasında 1-30 m kalınlık aralığında değişen kil seviyesi bulunmaktadır. Tuz, sondaj kuyularından çözelti madenciliği yöntemi ile üretilmektedir. Messinien-Pliosen yaşlı kaliç, kil, kum, anhidrit ve kum-silt ara katkılı kıl formasyonları delinmiştir. Tuz tavanına kadar sondaj kuyuları açılarak, muhafaza borularının yerleştirilmesi ve çimentolama işlemi yapılmaktadır. Sondaj işlemine devam edilerek tuz tabanına kadar delinmektedir. Kuyuya iç boru (üretim veya besleme) yerleştirilmektedir. Çözelti madenciliğinin direk dolaşım metodu üretimin başlangıcında, ters dolaşım metodu ise üretimin ileri aşamalarında uygulanmaktadır. Tuzlu çözelti, çalışma alanından 48 km' lik bir boru hattı ile Mersin Soda Sanayii' ne gönderilerek, Solvay Yöntemi ile yapay soda elde edilmektedir.

**ABSTRACT:** The study area is located in Arapali province near the Karakuyu village (Adana). The salt formation in the study area is found as two separate layers at depth of 400 m. from the surface. Total thickness of the salt varies between 150-200 m. Clay formations changing 1-30 m in thickness have occurred between the two salt layers. The salt is produced by Solution Mining Process through the drilling boreholes. Messinian-Pliocene aged caliche, clay, sand, anhydrite and clay formations with sand-silt intercalations have been drilled. The cover rocks are drilled until the roof of the salt formations and then, casing and cementing operations are carried out. Drilling is continued down to the base of the salt layer. A free tube (production or feeding-pipe) is placed in the borehole near the bottom of the salt layer. In Solution Mining Process, the direct circulation method is applied at the beginning of the production and the reverse circulation method is applied for further salt production. The synthetic soda is obtained from the brine pumped through a pipe-line of 48 km. away from the source area to Mersin Soda Industry using Solvay Process.

### 1. GİRİŞ

Bir ülkenin kalkınması ve gelişmesi, yer altı ve yerüstü hammadde kaynaklarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi, bilimsel ve ekonomik yöntemlerle üretilmesine bağlıdır. Sondaj kuyuları özellikle, yeraltı hammadde ve yarı mamul ürünlerin geliştirilmesinde ve üretilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Çözelti madenciliği tuz, trona, kükürt ve bazı kaolinler gibi endüstriyel hammaddeler için üretim yöntemi olup, literatürde son 60 yıldır devamlı olarak kullanılmış ve geliştirilmiştir (Örneğin: Pike, 1945, 1953; Jessen, 1973; Shock and Conley, 1974; Lefond, 1983; Folle, 1985; Frint ve

Copenhafer, 1993; Frint ve diğerleri, 1993; Copenhafer ve diğerleri, 1994; Nasün-Saygılı ve Okutan, 1996; Haynes, 1997,1998). Daha doğru olarak çözelti madenciliği prosesinin tanımı "Sondaj kuyuları madenciliği" olarak ifade edilebilir. Sülfür madenciliğinin "Frash Prosesi" sondaj madenciliğinin önemli bir örneğidir. Bu prosesin uygulama tarihi 1900 yıllarına kadar gitmektedir. Sondaj kuyusu madenciliğinin değişken bir sistem olarak bu prosesin yerine geçmesi, Frash Prosesle sülfür üretiminin uzun yıllar başarılı olmasının bir göstergesidir.

Sondaj kuyuları ile çözelti madenciliği üretim prosesi, yeraltı mekanik madencilğe alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Çünkü, mekanik madencilik oldukça pahalı bir yöntemdir. Ancak,

çözelti madenciliğinin ilk uygulamaları geçerli ve uygun bir proses üretememiştir. Diğer yandan, "çözelti madenciliği devamlı olarak gelişmiş ve günümüzde bu yönteme karşı olan ilgi her geçen gün artmıştır.-Sentetik soda yüz yılı aşkın bir süredir tüm dünyada tuzdan elde edilmektedir. Tuz ise yeraltından çözelti madenciliği ile üretilmektedir. Soda eldesinde amonyak katalizör olarak, kireçtaşı hammadde, kok ve kömür yakıt olarak kullanılmaktadır. Çözelti madenciliği dünyada bir çok işletmede özellikle Amerika Birleşik Devletleri' nde (Wyoming Bölgesinde) kullanılmaktadır.

Çözelti madenciliği prosesinde yer altındaki hammadde yatağına kadar sondaj kuyuları açılır. Bu kuyulara casing (koruma boruları) ve iç boru yerleştirilir. Annülüsten (koruma boruları ile iç boru arasından) veya sulu bir seviyeden (yeraltı su seviyesi altından) hammaddeye tatlı su verilir ve hammaddenin çözülmesi sağlanır. Hammadde çözümlenmiş borudan pompalarla yeryüzüne taşınır. Bu işlem yatakta bir kuyudan veya daha fazla sondaj kuyusunun birbirleri ile yönlü ve seri olarak irtibatlandırılması ile üretim yapılabilir.

Dünyada ekonomik bir üretim yöntemi olan çözelti madenciliği, Türkiye'de oldukça az ilgi görmüştür. Ancak, Türkiye'de Beypazarı (Ankara), trona yatakları 1979 yılında kömür araştırmaları sırasında MTA tarafından keşfedilmiştir. Beypazarı trona yatakları tüm özellikleri itibarı ile dünyada ikinci büyük rezerve sahiptir. Fakat, bugüne kadar bu yataklardan üretim yapılamamıştır. Beypazarı trona yataklarında üretim için hazırlık ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Çalışma alanı, Adana-İlinin Karakuyu köyünün Arapali mevkiinde bulunmaktadır (Şekil 1). Arapali tuz işletmesi Mersin Soda Sanayii' ne aittir. Sondaj kuyuları ise Mersin Soda Sanayii adına MTA tarafından yapılmaktadır. 1974' den Haziran 2001 tarihine kadar toplam 125 sondaj kuyusu açılmıştır. Her bir sondaj kuyusunun derinliği yaklaşık 600 m. dir. Sondaj kuyusunun birim maliyeti yaklaşık 20\$/m civarındadır. Her bir sondaj kuyusu çalışma şartlarına bağlı olarak ortalama bir ay sürede tamamlanmaktadır.

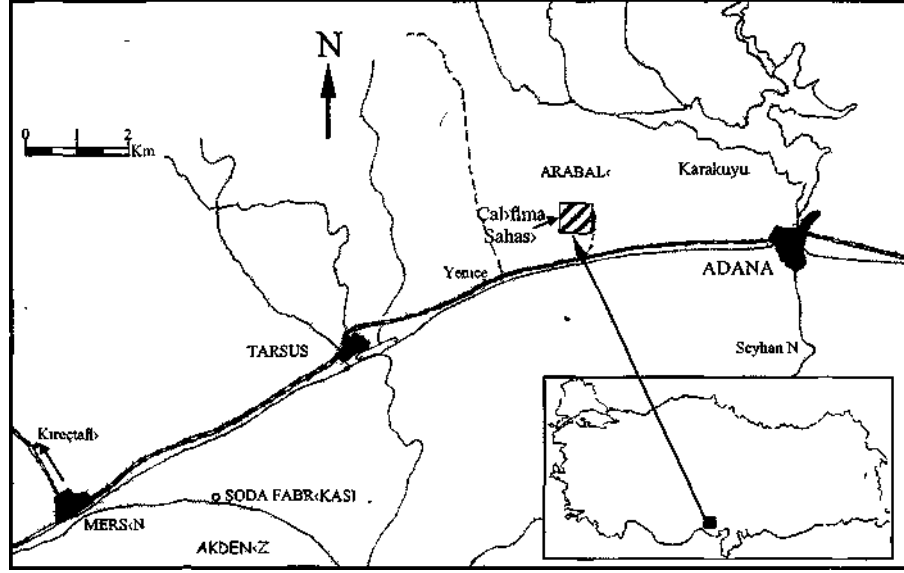
Çalışma alanından tuz üretimi sondaj kuyuları ve çözelti madenciliği yöntemi ile yapılmaktadır.

Üretilen "doymuş tuz çözeltisi 48 km. lık "bir boru hattı ile Mersin Soda Sanayii' ne gönderilmektedir. Üretilen bu tuzdan Solvay yöntemi ile sentetik soda elde edilmektedir. 1975 yılından beri yerli soda üretimini yapan Mersin Soda A.Ş. Türkiye' nin tek soda fabrikası olup, Orta Doğu' nun en yüksek üretim kapasitesine sahiptir. 2000 yılı itibarı ile 750,000 ton/yıl civarında üretim yapılmaktadır. Hafif soda, ağır soda ve rafine soda üretilen soda türleridir. Çok geniş bir kullanım alanına sahip olan soda; en çok cam, deterjan, kimya, kağıt, boya ve tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır. Sodayı girdi olarak kullanan yüzü aşkın kimyasal madde üretimi yapıldığı bilinmektedir.

## 2. JEOLJİ

Çalışma alanı, Adana baseninde oluşmuş olup, Orta Toroslar Dağ silsilesinin güneyinde yer almaktadır. Alan Üst Pliosen-Messinien yaşındadır. Litoloji, kaliç ve kil formasyonları ile ara katkılı silttaşı, kumtaşı, anhidrit ve tuz oluşumlarından meydana gelmiştir. Adana Baseninin Üst Pliosen Birimleri "Messmien Tuzluluk Krizi" olarak adlandırılan şiddetli jeolojik değişimlere maruz kalmıştır. Messimen Tuzluluk Krizi yaklaşık olarak 6 milyon yıl önce Akdeniz' in tektonik olaylar ile şekillenmesi sonucu oluşmuştur (Öğrünç ve diğerleri, 2000; Benson ve diğerleri, 1991).

Tersiyer döneminin jeolojik ve tektonik olayları tuz yatağının yapısını hem çökeltme sırasında hem de çökeltmeden sonra etkilemiştir. Yatağın tavanında mercexsi ve çatlak dolguşu şeklinde tuz ve anhidrit kütleleri ara katkılı kil ve silt oluşumları yer almaktadır. Tuz tabanında ise yine kil tabakaları mevcut olup; bunun içinde kum ve anhidrit-ara tabakaları bulunmaktadır. Karakteristik bir sondaj kuyusunun jeolojisi Şekil 2' de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sondaj kuyusunun ilk 300 metre derinliğinde kaliç, kil ve kil ara katkılı silt; 301-450 m. ler arasında kilttaşı, silttaşı, kumtaşı ve anhidrit tabakaları; 451-560 m arasında tuz katmanı» 561-600 m arasında ikinci tuz katmanı ve tabanda da yine kil tabakası bulunmaktadır. Bu durum sbndaj kuyularının birinden diğerine değişim göstermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer buldum haritası.

Genellikle formasyon tipi ve özellikleri değişmemekle birlikte, bunların kalınlıklarında ve derinliklerinde büyük değişim söz konusudur. Tektonik olaylar (kıvrım ve bindirmeler); ara, ince tabakalanmalar ve ara katkılar gibi sedimantolojik özellikler yatağın tuz kalitesini ve kalınlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu nedenle, yatağın bugünkü konumuna ulaşmasında tektonizmanın etkinliği oldukça belirgindir. Makrotektonizmanın olduğu yerde mikrotektonizma daha etkilidir.

Sondaj verilerine göre çalışma alanındaki tuz yatakları, 1-30 m arasında değişen kil seviyesi ile iki ana tabakaya bölünmüştür, ilk tabaka daha kalın olup 100-150 m arasında değişmektedir. İkinci tabakanın kalınlığı ise 20-50 m arasındadır. Yaklaşık olarak ortalama tuz kalınlığı 150-200 m arasında değişim göstermektedir.'

Arapali tuz yataklarının işletme sorunlarına yönelik diğer jeolojik özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Tuz tavanı oldukça düzgün olup güney yönüne doğru 10°-11° lik eğime sahiptir. Tuz yatağının tabanı da aynı şekilde güney yönünde 8°-10° lik bir eğim sunmaktadır.
- Eğim yönüne gidildikçe tuz yatağı tavanının derinliği arttığı gibi tabanın derinliği de artmaktadır.

Tuz yatağının global kalınlığında sürekli ve düzenli bir artış olmamakta ve tuz kalınlığının artma ya da azalma yönü belirlenmemektedir.

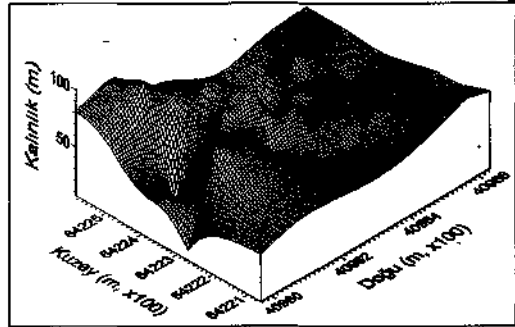
İkinci tuz tabakasının daha saf görünümde olmasına karşın tuz yüzdesi beklenenden düşüktür (% 75-83 NaCl).. Birinci tabakada ortalama tuz tenörü % 75' dir.

Genel olarak derinlik arttıkça tuz tabakası saflaşmakta ve en arı tuz tabana yakın yerlerde bulunmaktadır.

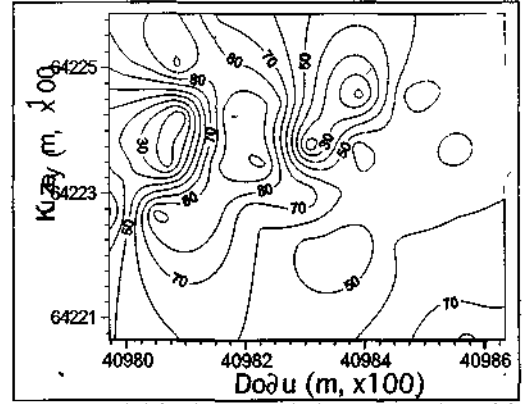
Tuz yatakları alanda rezerv açısından büyük bir potansiyele sahip olup, 500 milyon ton rezerv tahmin edilmekle birlikte, miktar olarak kesin rezerv hesabı yapılamamıştır. Rezerv hesabı konunun dışında olup, jeostatistik yöntemlerle rezerv hesabı başka bir çalışmada verilecektir. Yeraltındaki tuz kalınlığının birinci ve ikinci tabakalar için üç boyutlu grafikleri ve kontur haritaları Şekil 3-6' da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi tuz tabakalarının düzenli olarak dağıtmadığı, derinlik, tabakalanma ve kalınlık bakımından pek çok uyumsuzluk ve düzensizlik bulunmaktadır. Bu nedenle, üretim olumsuz yönde etkilenmekte ve bu durum maliyeti artırıcı bir unsur olarak görülmektedir.

Derinlik (m)	Delik Çapı (cm)	Stamp	Litoloji
51	31,2 (12 ¼ in)		0-17 Kum-kil, toprak
			17-22 Kaliç
			22-29 Kil+kaliç
			30-68 Kil+çakıl
			69-123 Gri kil
			125
			150
			175
			200 Gri kil ara katkılı silt
			225
			250
			275
			300
			325
			350
27 (10 ⅝ in)			Kil+silt+anhidrit
			375
			400 Kumtaşı+silt anhidrit
			425
			450
			475 Kil ardalanması
			500
			525 Kil+anhidrit+tuz
			550
			575 Tuz
528			600
	25,1 (9 ⅞ in)		Kil+tuz
			Tuz
			Kil
	601		

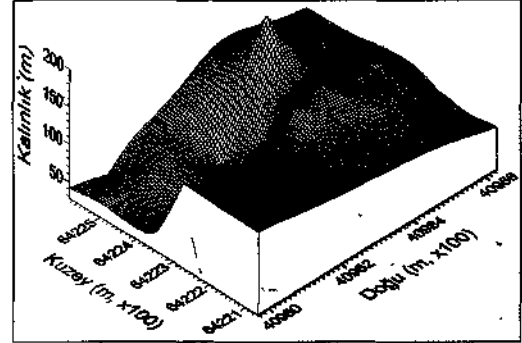
Şekil 2. Bir sondaj kuyusunun jeolojik kesiti.



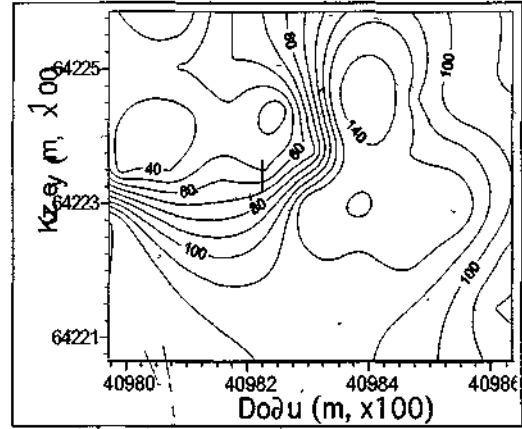
Şekil 3. Birinci tuz tabakasına ait üç boyutlu kalınlık dağılım haritası.



Şekil 4. Birinci tuz tabakası için kalınlık dağılımının kontur haritası.



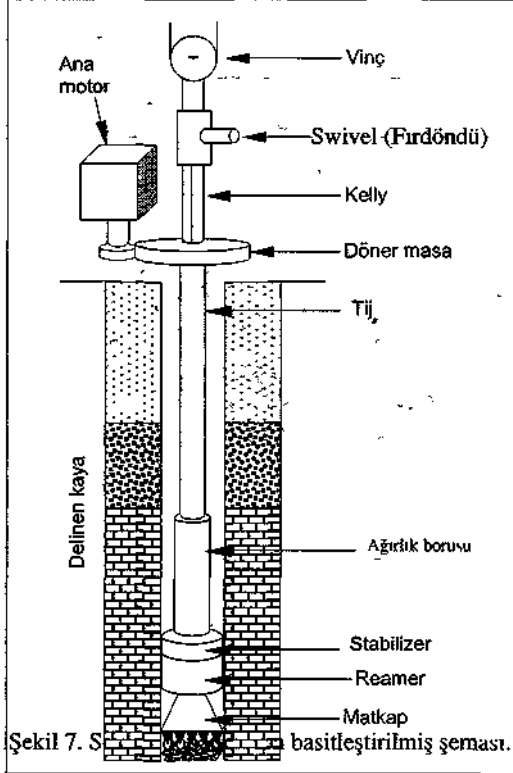
Şekil 5. İkinci tuz tabakası için üç boyutlu kalınlık dağılım haritası.



Şekil 6. İkinci tuz tabakası için kalınlık dağılımının kontur haritası.

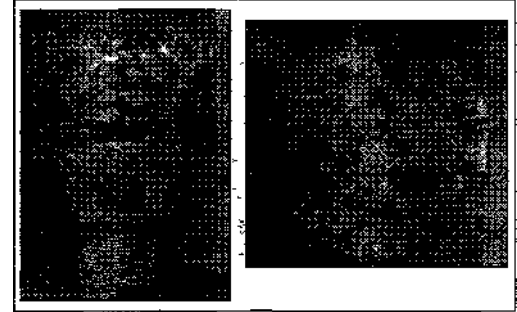
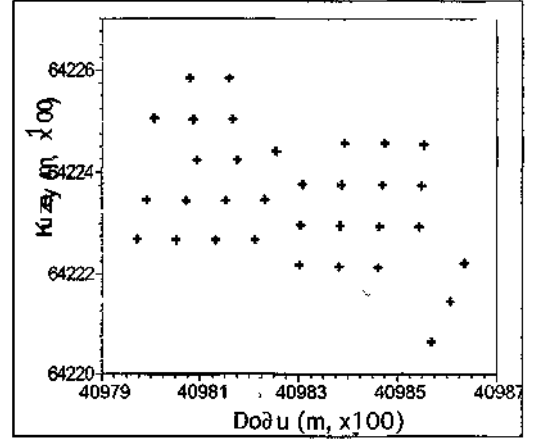
### 3. SONDAJLAR

Tuz sahasındaki sondajlar için bir kamyon üzerine monte edilen sondaj donanımı; güç kaynağı, sondaj dizisi, çamur pompaları ve vinçten oluşmuştur. İki dizel motor ve CF-2000 model sondaj makinesi kullanılmıştır. Çalışma alanında kullanılan basitleştirilmiş sondaj donanımı kesiti Şekil 11 de verilmiştir.

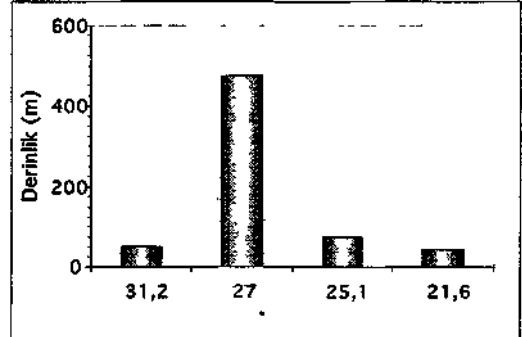


Çalışma alanında her yıl yaklaşık olarak 10 adet sondaj kuyusu, her kuyu 600 m. ve toplam 6000 m. sondaj yapılmaktadır. Tuz üretiminin değerlendirilmesinde 33 adet sondaj kuyusu göz önüne alınmıştır (Şekil 8).

Dört farklı çapta üç konulu oyma (çelik dişli (rock bit) matkaplar kullanılmıştır (Şekil 9). Bir kuyuda kullanılan matkap çapı ile delinen derinlik arasındaki ilişki Şekil 10'da sunulmuştur. Derinlik arttıkça kuyu çapı azalmaktadır. Kuyuda en fazla 27 cm (10.625")' lik matkap çapı uygulanmaktadır.



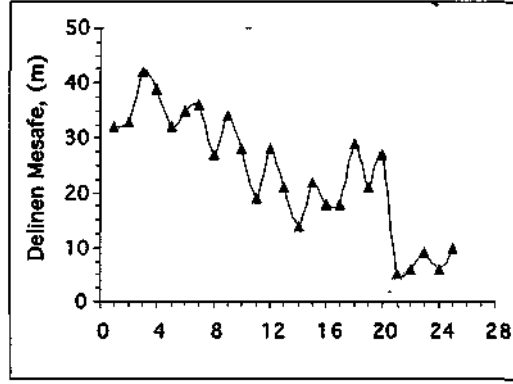
Şekil 9. Sondajlarda kullanılan konulu (çelik dişli) matkap.



Şekil 10. Çalışma alanında kullanılan matkapların kullanım derinlikleri.

Sondajlarda karakteristik ve günlük ilerleme hızı kuyunun ilk bölümlerinde daha yüksektir. Ancak, kuyu derinliği arttıkça, ilerleme hızı düşmektedir (Şekil 11). Bu durum, matkap değişimi, sondaj dizisinin kuyudan çıkarılması ve kuyuya

indirilmesi, bazı kuyu problemleri gibi nedenlerin bir sonucudur.



Şekil 11. Sondajda yapılan günlük ilerleme.

Matkap çalışma parametrelerinden, matkap yükü ve devri bağımsız değişkenler olup, sondaj operatörü tarafından kontrol edilebilmektedir. Matkap yükü ve devri genellikle sondaj sırasında sabit veya belli bir aralıktaki tutulmuştur. Çünkü 'delinen formasyonlar yumuşak olması, çok sık süreksizlik içermemesi nedeniyle, jeo-mekanik olarak önemli değişim ve farklılıklar göstermemektedir. Diğer bir deyişle, kuyu boyunca kayaçların mühendislik özellikleri (dayanım, sertlik, aşındırıcılık, kaya bileşenleri ve kompozisyonu) açısından normal bir homojenlik ve uyum söz konusudur. Yaklaşık olarak sondaj dizisi 7-8 ton ağırlığında olup, bunun 800-1500 kg. 1 matkap üzerine uygulanmaktadır. Sondaj dizisinin geriye kalan ağırlığı vinç tarafından askıda tutulmaktadır. Genellikle matkaba kaya tipine ve kuyu derinliğine göre 120-180 dev/dak'lık matkap devri uygulanmaktadır. Bu aralıktaki matkap devri optimum değerler olarak düşünülmüştür.

Tuz üretim sondajlarında, kuyunun farklı derinliklerinde farklı çamur tipleri ve karışımı kullanılmıştır. Genelde kuyunun ilk 100. m. sinde yüksek oranlarda gözenek içeren nebati toprak ve çakıl bulunmaktadır. Bu durum, su bazlı çamurların sızmasına ve çamur kaçaklarına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu derinliğe kadar belirli oranlarda su ve bentonit karışımı uygulanarak kuyu duvarlarında çamur kekinin oluşması sağlanmıştır. Kuyu çeperindeki bu kek, çamur kaçaklarını ve formasyon gözenek suyunun kuyu içerisine akışını önlemektedir. Sondaj sırasında belirli zaman aralıklarında" devamlı olarak çamur ağırlığı ve viskozitesi, annülüs çamur hızı ölçülmektedir.

Kuyunun ilk 100 m. derinliğinde çamur yoğunluğu 1.1 gr/cm<sup>3</sup> ve Marsh Hunisi viskozite değeri 40 sn. optimum değerlerdir. Kuyunun 100 m. derinliğinden sonra, tuz zonuna kadar sondaj sıvısı olarak tatlı su kullanılmaktadır. Kuyuların bu derinliklerinde genellikle kil formasyonları hakim olup, kıl kesintileri dolaşım suyuna karışarak sondaj çamurunu oluşturmaktadır. Tuz tabakasına ulaşıldığında sondaj çamuru tuza doyurulmaktadır. Bu proses, tuz tabakalarının erimesini önlemektedir. Bu safhada çamur ağırlığı 1,38 gr/cm<sup>3</sup> e kadar artmakta ve Marsh Huni değeri 32-33 sn' dir.

Çamur akış oranı fazla değiştirilmemektedir. Çünkü, kuyu boyunca formasyon özellikleri önemli farklılıklar göstermemektedir. Çamur pompasının teknik özellikleri esas alınarak çamur akış oranı 0,73 m<sup>3</sup>/dk olarak seçilmiştir. Bu oran, matkap kesintilerini tabandan yüzeye çıkarmak için etkili ve yeterlidir. Annülüs çamur hızı ise, aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$V = \frac{24,5 * Q}{D^2 - d^2}$$

Burada,

- V = Annülüs hızı (m/dk),
- Q = Debi (m<sup>3</sup>/dk),
- D = Kuyu Çapı (m),
- d = Tij çapı (m).

$$V = \frac{2,45 * 0,73}{0,27^2 - 0,089^2} \approx 27,524 \text{ m/dk}$$

Bu hız, kuyuda en çok kullanılan 27 cm. lik matkap çapı için hesaplanmış olup, sondaj-çamurunun kırıntılarını uzaklaştırmak için optimum değerdir.

Kuyu sapma kontrolü her 100 m. derinlik için ölçülmektedir. Bu ölçüm için Eastman- Marka Magnetik Tek Ölçme Ekipmanı kullanılmıştır. Aynı anda hem kuyu sapması, hem de manyetik kuzey yönü ölçülmüştür. Kuyularda önemli bir sapma kaydedilmemiştir. Ölçülen Kuyu sapmaları 2" den daha azdır.

#### 4. TUZ ÜRETİMİ

Tuz kübik sistemde kristallenir. Havadaki nemi kapacak kadar higroskopiktir; suda kolayca çözünmesi bu özelliğinin yansımasıdır. Tuz 430 °C de erimekte olup, daha yüksek sıcaklıklarda buharlaşmaktadır. Kaynama derecesi 1412 °C dir. Yoğunluğu 2.15-2.55 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Tuzdaki yabancı maddeler ve kil, tuza değişik renkler verir. Tuz beyaz, gri, koyu gri ve siyaha yakın renklerde görülmektedir. Molekül ağırlığı 58.454 olan tuzun ağırlık olarak % 39.34'ü sodyum, % 60.66' s klor içerir. Tuzun suda erime miktarı sıcaklık ile değişir. 0 °C de 100 gr suda 36 gr tuz eriyerek doymuş tuzlu çözelti oluşturulduğu halde, 100 °C de bu miktar 40 gr' dir. Yüksek basınç altında tuz plastik özellik gösterir. Tuzun çok sayıda kullanım alanı mevcuttur (Sarız ve Nuhoglu, 1992; Önem, 1997).

Normal oda sıcaklığında kurumuş tuz karot numunelerinden yapılan ortalama tek eksenli basma dayanımı 10.5 MPa, elastisite modülü ise 1.3 GPa' dır. Shore Scleroscope sertlik değeri ortalama 12 olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki tuzun kimyasal analiz sonuçları Çizelge T de verilmiştir. Tuzun kimyasal analizinde Cl için TSE 3732 analiz yöntemi; Ca, Mg, Na, K için Atomik Absorbsiyon Spektrometre ve Alev Fotometre analiz yöntemleri; SiO<sub>2</sub> ve SO<sub>4</sub> için Alkali Ergitme yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 1. Tuzun kimyasal analizi.

Element	%
NaCl	78.81
MgCl <sub>2</sub>	2.55
KCl	0.95
CaSO <sub>4</sub>	4.96
CaCO <sub>3</sub>	4.83
SiO <sub>2</sub>	6.58

Çalışma alanında tuz üretimi için sondaj kuyuları yardımı ile çözelti madenciliği yöntemi uygulanmaktadır. Çalışma alanında uygulanan bu yöntem ve özellikleri aşağıdaki gibi açıklanabilir;

'Sondaj kuyuları tuz tavanına kadar (genellikle 400 m. derinlikte) açılmaktadır. 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 çimento olma işlemi uygulanmaktadır. Çimento kuyu başlığından pompalanarak kuyu yüzeyi ile muhafaza borusu arasına girmesi sağlanmaktadır. Yaklaşık olarak 72 saat çimentonun donması beklenmektedir. Kuyunun tabanında (kuyu boşluğunda) 10-15 m bir çimento kalmaktadır. Bu çimento sondaj ile delinerek tuz tabanına kadar (genelde 600 m civan derinlikte) ilerleme yapılmaktadır. Kuyu, muhafaza boruları ve çimento olma işlemleri tamamlandıktan sonra, yeraltındaki tuz tabakalarını tatlı su ile çözdürerek üretime geçilmektedir. 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.

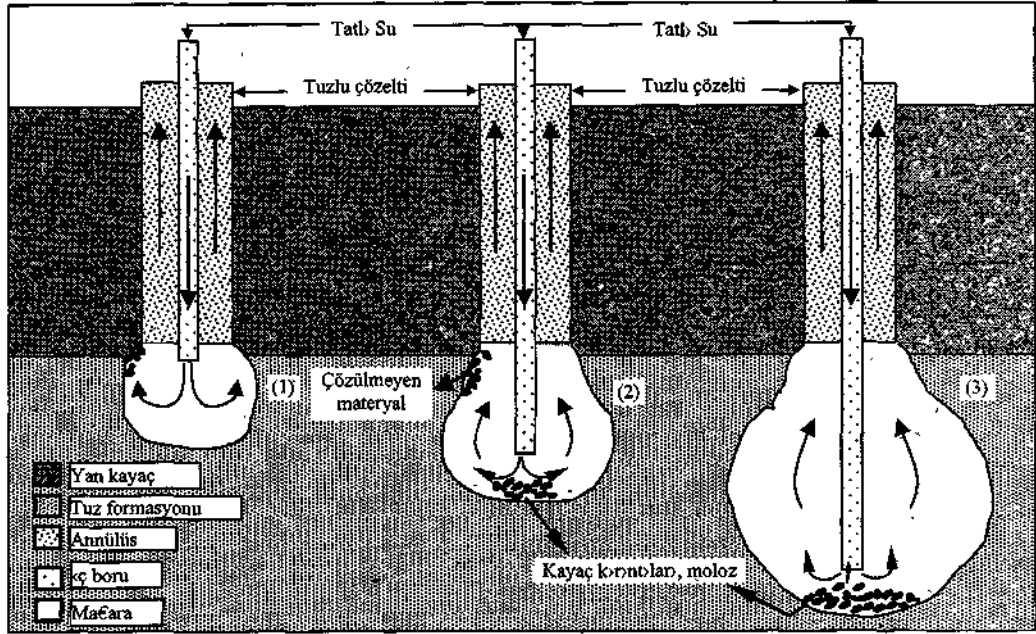
Direkt dolaşımında tatlı su iç borudan pompalanarak, tuzlu su annülüstten, yani muhafaza borusu ile iç boru arasından yeryüzündeki tanklara ve depolara alınmaktadır (Şekil 12). Ters dolaşımında ise tatlı su annülüstten pompalanmakta olup, tuzlu su çözeltisi iç borudan alınmaktadır (Şekil 13). Çalışma alanında, üretimin ilk başlangıcında direkt dolaşım yöntemi, üretimjn ileri aşamalarında ise ters dolaşım uygulanmaktadır. Direk dolaşımın en önemli avantajı basit bir sistem oluşudur.

Dezavantajları ise;

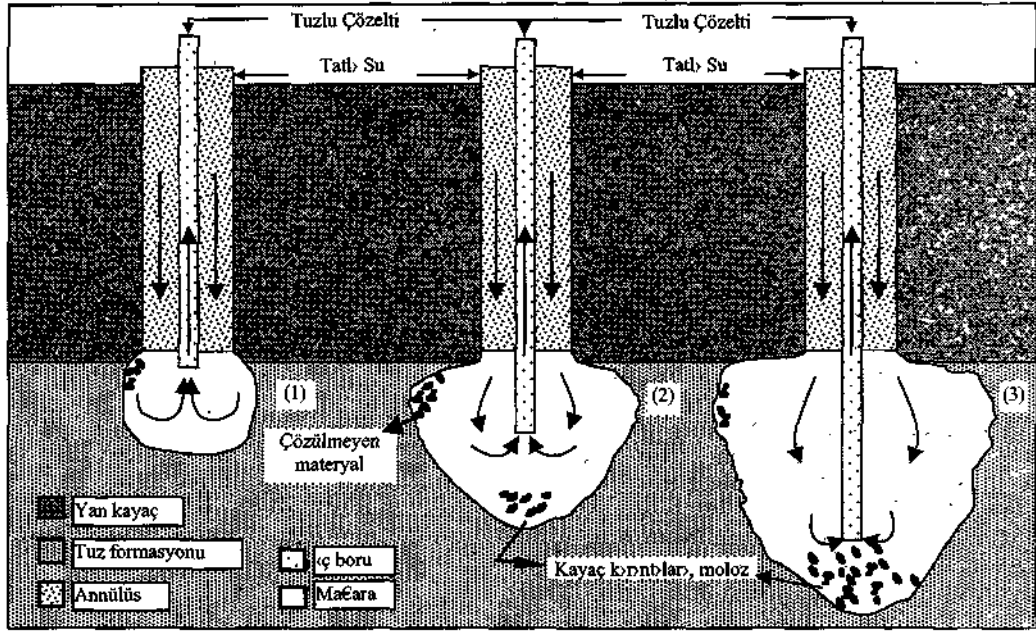
- Üretim kuyusunun tabanında erimeyen materyallerin toplanması,
- Tuz tavanının çökerek üretim borusunu bükmesi veya kesme ihtimali,
- Tuz tavanında çözünmeyen materyallerin toplanması,
- Genellikle düşük üretim oranı (3500-4000 lt/dk' dan az).

Ters dolaşım sisteminde daha düşük debide ( 750-2000 lt/dk) doymuş tuzlu su çözeltisi elde edilir. Bu sistemin avantajları;

- Üretim sonrası erime boşluklarının şekli daha ^ homojen,
- Az bakım ve üretim sırasında çözünmeyen materyallerin birikeceği alanın geniş olması,
- Daha az arıza veya üretim sırasında çözülmeyen materyallerin iç boruyu tıkamaması.



Şekil 12. Sondajlarla çözelti madenciliğinin direkt dolaşım ile üretim yöntemi ve yapay mağaraların gelişimi.



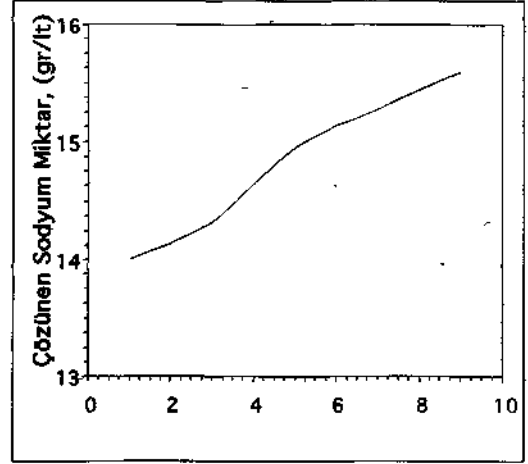
Şekil 13. Sondajlarla çözelti madenciliğinin ters dolaşım ile üretim yöntemi ve yapay mağaraların gelişimi.



Çözelti madencilğinde dünyada en fazla ters dolaşım yöntemi uygulanmaktadır. Üretimin ileri safhalarında kuyuya fuel-oil ve motorin - pompalanmaktadır. Bu organik sıvıların yoğunluğu az olması nedeniyle tuzun tavanına toplanmakta, tuz tabakasının erimesini önleyerek tuz katmanı ile formasyon arasında kısmen tahkimat görevi yapmaktadır. Böylece, kısmi yer altı göçükleri yani tasman (subsidence) engellenmektedir.

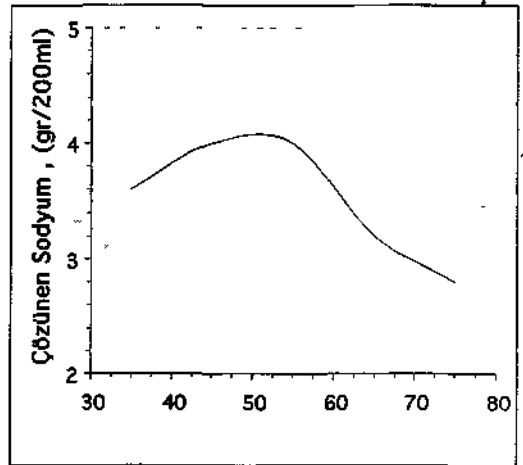
Sondaj kuyu yerlerinin belirlenmesinde sistematik bir program uygulanmıştır. Genellikle sondajlar arası mesafe 80 m' dir. Tuzun alınmasıyla yeraltında koni veya ters koni şeklinde mağaralar oluşmaktadır. Çalışma alanındaki sondaj kuyuları düşey olarak çalışmaktadırlar. Kuyular birbirine seri olarak bağlanmamakta, yani iki sondaj kuyusunun etki alanı belirli bir süre\* sonra birleştirilmemektedir. Diğer bir deyişle, kuyulardan ayrı ayrı üretim yapılmaktadır. Birçok ülkede, özellikle Amerika Birleşik Devletleri' nde (Wyoming bölgesinde) iki veya daha fazla kuyudan aynı anda üretim yapılmaktadır. Üretimin ileri aşamalarında iki kuyunun etki alanı belirli bir süre sonra birleşmekte olup, bir kuyudan tatlı su basılmakta diğer kuyudan ise tuzlu çözelti alınmaktadır. Bu yöntemle üretim kapasitesi artmakta ve yeraltındaki rezervin büyük çoğunluğu alınmaktadır. Yine Amerikanın Wyoming bölgesinde yeraltında, oluşan büyük çaplı yapay oyuklar ham petrol ve doğal gaz için depo olarak kullanılmaktadır (Neal ve Magorian, 1997).

Tuz örnekleri üzerinde, Na'un zamana bağlı olarak çözünen miktarları Şekil 14' de verilmiştir. Çözünen Na miktarı zamana göre artmaktadır. Bu miktar, tuzlu çözeltinin doygunluk derecesiyle ters orantılı olarak değişmektedir. Yani, üretim sistemine bağlı olarak, iç boru (üretim ve besleme) ile annülüs boşluğu arasında hareket eden tuzlu çözeltinin doygunluk derecesi arttıkça, çözünen Na miktarı da azalmaktadır. Genellikle, iç boru ve annülüs boşluğu arasındaki mesafe, tuzlu çözeltinin yeterince doygun hale gelmesi için gerekli zamanı sağlar. Bu çözeltinin doygunluk derecesi sürekli olarak yüzeyden kontrol edilmektedir. Yeterli doygunlukta "çözeltinin gelmemesi halinde pompalanan tatlı su debisi düşürülerek sirkülasyon süyunun tuzlu tabakalar arasında kalma süresinin arttırılması yoluna gidilmekte ve tuzun yeterli doygunluğa erişmesi sağlanmaktadır.



Şekil 14. Tuz örneklerindeki sodyumun zamana karşı çözünme miktarı.

Sodyumun çözünme sıcaklığı ile ilişkisi Şekil 15' de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi çözünen sodyum miktarı belirli bir sıcaklığa kadar artmakta ve bu değerden sonra ise azalmaktadır. Çünkü, bu değerde sodyum konsantrasyonu doygunluk seviyesine ulaşmaktadır. Belirli bir sıcaklık değerinde (50-55 °C) sonraki çözünme prosesinde, sıcaklığın artması ile birlikte sodyum üzerinde stres oluşmaktadır. Bu stres ise-ısıyı harcamaktadır. Bu nedenle, yeraltında tuzu sıcak su ile çözme prosesi uygun ve ekonomik olmamaktadır. Çalışma alanından yeraltına pompalanan tatlı su atmosfer sıcaklığına sahiptir.



Şekil 15. Çözünen sodyum miktarı ile çözünme sıcaklığı arasındaki ilişki.

Arapali tuz işletmesinde sondaj kuyularının yarı çapı genelde 25 m. olup, üretim kuyuları arasında yaklaşık 30 m. topuk bırakılmaktadır. Yeraltındaki rezervin % 40-50' si değerlendirilebilmektedir. Kuyulara verilen tatlı su debisi 5-20 m<sup>3</sup>/saat arasında değişmektedir. Kuyuda üretimin ilk başlangıcında tuz katmanına gönderilen tatlı su oranı 5 m<sup>3</sup>/saat' tır. Üretimin ileri aşamalarında ve yeraltında oluşan yapay boşluk (mağara) çaplarının büyümesiyle bu oran 18-20 m<sup>3</sup>/saat' a kadar çıkmaktadır. Üretilen tuz çözelti miktarı, kuyuya gönderilen tatlı su miktarının % 5-10 eksiği olarak belirlenmiştir. Yılda 365 gün boyunca üretim yapılmaktadır. 1,200,000 ton/yıl tuzlu çözelti üretilmektedir. Tuz konsantrasyonu 310 gr/lit ve çözelti yoğunluğu 2.15-2.20 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Üretilen tuzlu çözelti kuyu başından boru hatları ile işletmelerdeki depolara taşınmaktadır. Tuz çözeltisi depolardan 48 km. lik boru hattı ile Mersin Soda Sanayii' ne kendi cazibesi ile akmaktadır. Arapali tuz işletmesi 5,000,000 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulmuştur. Tatlı su ihtiyacı DSİ kanallarından ve yeraltı su kuyularından karşılanmaktadır.

Yeraltında iki tabaka halinde oluşan tuzun toplam kalınlığı 150-200 m arasında değişmektedir. 1-30 m arasında değişen kil tabakası tuzu iki tabakaya bölmektedir. Tuz tabakasının kalınlığı kuyu ömrünün uzun olmasına, çözelti miktarının fazla olmasına, sonuçta üretimin ekonomikliği için birinci derecede önemli rol oynamaktadır. Tabanda ve tuzun erimesiyle oluşan yapay mağara kenarlarında çözülmeyen ana mineraller kil, anhidrit, kuvars ve feldspattan oluşmaktadır. Üretim borusunun tıkanmasını önlemek amacıyla iç boru periyodik zamanlarla belirli mesafelerle yukarı çekilmektedir.

##### 5. SODA ÜRETİMİ

Cam ve temizlik sanayiinin ana hammaddelerinden olan soda, gerek üretim bakımından gerekse kullanım bakımından asit ve amonyaktan sonra gelmekte ve dünya kimya sanayiinde geniş bir yer kaplamaktadır. TÜRKİYE' deki soda talebi Çizelge 2 ve Dünya' daki soda talebi ise Çizelge 3' de verilmiştir. Türkiye' de üretilen sodanın % 95' i iç piyasadaki tek üretici olan Soda Sanayii tarafından karşılanmakta, geri kalan ise ithal edilmektedir. Türkiye' de soda tüketiminin % 59' u cam sektörü tarafından kullanılmaktadır.

Çizelge 2. Türkiye' deki soda talebi..

Sektor	Pay (%)	Beklenen Büyüme (%)
Cam	59	3-5
Kimya	13	5
Deterjan	9	5
Tekstil	17	3
Diğer	2	

Beypazarı (Ankara) trona (doğal soda) yatakları dünyanın ikinci büyük rezervi (200 milyon ton) olması, doğal sodanın (trona) yapay soda üretiminden daha ekonomik olması ve doğal soda üretiminin çevre problemlerinin olmamasına rağmen, üretime halen geçilememiştir. Bu nedenle soda ihtiyacı sentetik yolla giderilmektedir. Türkiye' de (Mersin Soda Sanayii) sentetik soda "Solway Yöntemi" ile üretilmektedir. Bu proses aşağıda özetlenmiştir.

Solway yönteminde ana hammaddeler tuz (NaCl), Kireçtaşı, kok ve amonyaktır. Amonyak katalizör rolü oynar ve büyük bir kısmı yeniden kazanılır. Prosesi ekonomik kılan bu geri kazanma işlemidir. Arapali alanından üretilen tuz çözeltisi, bileşiminde bulunan kalsiyum ve magnezyum gibi yabancı materyallerden arındırıldıktan sonra bir absorpsiyon kulesine gönderilerek içinden amonyak gazı geçirilir. Amonyaga doymuş tuzlu suyun karbonatlaştırılması aşağıdaki işlemlerden oluşur.

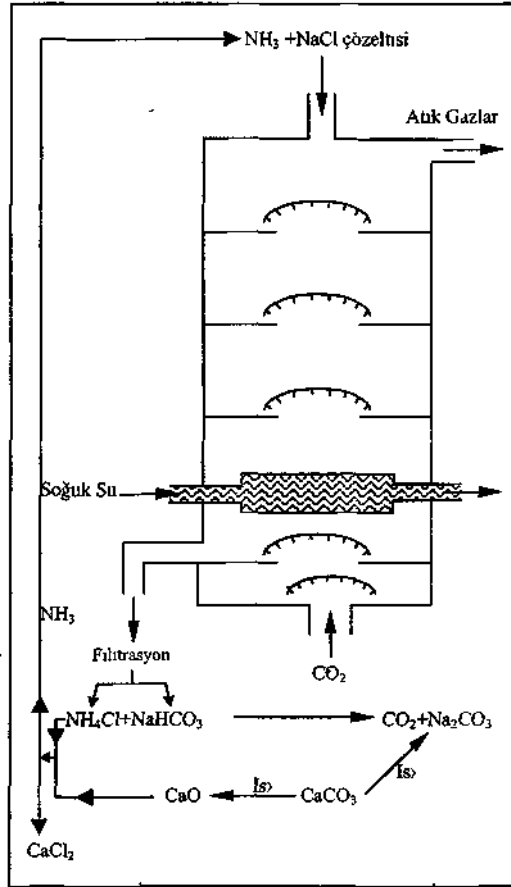
- Amonyum bikarbonatın oluşması,
- Sodyum bikarbonatın oluşumu ve kontrollü çöktürülmesi,
- Sodyum bikarbonatın çözülmesi ve yıkanması,
- Kireçtaşının kireç ve CO<sub>2</sub> oluşumu için yıkılması,
- Zayıf CO<sub>2</sub>' nin dağıtılması, bastırılması ve karbüratore pompalanması

Vakum filtreleriyle ana likörden ayrılan ham NaHCO<sub>3</sub>, hafif sodaya dönüştürülerek üzere kalsinasyon ünitesine gönderilir. Ana likörden daha önce geri alınmış amonyak tekrar sisteme sevk edilerek Cl<sup>-</sup> anyonu ile kireç sütunundaki Ca<sup>2+</sup> kationunun birleşmesi ile CaCl<sub>2</sub> oluşur. Böylece, CaCl<sub>2</sub>, NaCl, CaCO<sub>3</sub>, CaSCC Mg(OH)<sub>2</sub>, "tamamen sistemden çıkarılır ve atılır. Serbest hale gelen NaHCO<sub>3</sub> kalsinatörlerde 230-250 °C ısıtılarak hafif sodaya (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dönüştürülür.

Çizelge 3. Bölgelere göre soda talebi (x 1000 ton).

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Batı Avrupa	5,884	5,984	6,017	6,025	6,018	6,018	6,033	6,047
Kuzey Amerika	6,869	6,806	6,890	6,994	6,955	6,918	6,943	6,967
Japonya	1,363	1,354	1,311	1,322	1,326	1,330	1,335	1,340
Toplam	14,116	14,144	14,218	14,341	14,299	14,266	14,311	14,354
Geri kalan bölgeler	17,107	17,930	18,792	19,864	20,905	21,942	23,052	24,318
<b>Toplam</b>	<b>31,223</b>	<b>32,074</b>	<b>33,010</b>	<b>34,205</b>	<b>35,204</b>	<b>36,208</b>	<b>37,363</b>	<b>38,672</b>
Yıllık Artış (%)	-0,8	2,7	2,9	3,6	2,9	2,9	3,2	3,5

Bunun bir molekülüne bir molekül su eşdeğer sayılarak, su ile muamele edilir. Kristal halinde monohidrat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) elde edilir. Buharlaştırma ile su geri alınarak, ağır soda oluşturulur. Solvay yöntemi ile soda üretiminin basitleştirilmiş şeması Şekil 16' da verilmiştir.



Şekil 16. Solvay Yöntemi ile soda elde edilmesi.

Solvay prosesi, elde edilen  $\text{NaHCO}_3$ 'ün bir kısmı hafif ve ağır soda üretimi için kullanılırken, bir kısmı da bu prosese sokulmayarak ve işlenerek  $\text{NaHCO}_3$  olarak hazırlanır.  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 'ün (amonyum bikarbonat) yakılması için dekarbonasyon kolonuna gönderilir ve aktif karbon ile karşılaştırılarak filtre edilir. Yeniden karbonasyon kolonuna gönderilir ve  $\text{CO}_2$  ile muamele edilerek saf  $\text{NaHCO}_3$  sağlanır. Kurutulduktan sonra stoklanır.

Amonyakın geri kazanılması iki aşamada gerçekleştirilir.

- Kirecin söndürülmesi,
- Kuvvetli amonyak çözeltisi kolonunda  $\text{NaHCO}_3$  ara çözeltisinin su buharı ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile işleme girmesi.

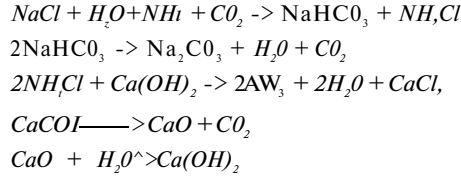
Solvay yöntemi ile elde edilen soda ( $\text{NaHCO}_3$ ) % 97.5-99.8 saflıktadır (Çizelge 4). Bu prosesle 1 ton soda için aşağıda belirtilen hammaddeler kullanılır.

Tuz (NaCl)	1.7-1.8 ton
Kireçtaşı	1.3-1.5 ton
Kok	100-110 kg
Kömür	700-1050 kg
Amonyak	1kg

Çizelge 4. Sodyumun kimyasal analizi (standart ve karakteristik değerler).

İçerik	Standart Değeri (%)	Analiz Değeri (%)
Sodyum Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	99,1 min	99,57
Klorür iyonu (Cl)	0,20 max	0,1
Demir iyonu (Fe)	0,002 max	0,0006
Sülfat iyonu ( $\text{SO}_4$ )	0,027 max	0,020
Suda Çözünmeyen Madde	0,02 max	

Yukarıda ifade edilen reaksiyonlara ait kimyasal denklemler kısaca aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Üretilen hafif soda, ağır soda ve rafine bikarbonat aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Hafif soda beyaz toz görünümünde olup, bileşimi sodyum karbonattır. Yoğunluğu 0.5 gr/cm<sup>3</sup> tür. Töz probleminde neden olduğu için taşınması, torbalanması zordur. Bu nedenle, hafif soda tekrar kristallenme işlemine tabi tutularak ağır soda üretilir.

Ağır soda, bileşimi sodyum karbonat olup, granül görünümündedir. Hafif sodanın üzerine su püskürtülerek kristallendirilmesi ile sodyum karbonat monohidrat elde edilir. Kristal suyu 105 °C de uçurulur. Ürün elenerek istenilen tane büyüklüğüne göre ayrılır. Cam sanayiinde kullanılan ana hammaddelerden biridir. Torbalı ve dökme olarak satılır.

Rafine bikarbonat, bileşimi sodyum bikarbonat olup, küçük beyaz kristal görünümündedir. Ham NaHCO<sub>3</sub>' ün rafinesi ile elde edilir: Elekler ile istenilen tane büyüklüğünde üretilir. Bu tür soda ilaç, gıda, tekstil, deterjan sanayiilerinde kullanılır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Çalışma alanındaki tuz formasyonları ve yan kayaçları tuzluluk krizi etkisiyle Pliosen-Messinien jeolojik devrinde oluşmuştur.
2. Tuz formasyonun tavanı yüzeyden yaklaşık olarak 400 m, tuz tabanı ise 600 m derinliktedir.
3. Tuz iki tabaka halinde olup, toplam kalınlığı 150-200 m arasında değişmektedir. İki tuz tabakası arasında kalınlığı 1-30 m arasında değişen kil seviyesi bulunmaktadır.
4. Yer altında tuz tabakaları yatay veya az 7° -10° lik bir eğime sahiptir.
5. Tuz yataklarında kesin rezerv hesabı yapılmamakla birlikte, alan büyük bir tuz potansiyeline sahip olup, 500 milyon ton rezerv tahmin edilmiştir. Tuz tenörü % 75-83 arasında değişmektedir.

6. Tuz üretimi için sondaj kuyuları ile çözelti madenciliği yöntemi uygulanmaktadır.
7. Sondaj işleminin ilk aşamasında, tuz tavanına kadar kuyu açılmakta ve muhafaza boruları yerleştirilerek çimentolama yapılmaktadır.
8. Sondaj işleminin ikinci aşamasında, tuz tabanına kadar kuyu açılmakta ve serbest olarak hareket eden iç (üretim veya besleme) borusu yerleştirilmektedir.
9. Tuz üretimi çözelti madenciliğinin direkt ve ters dolaşimli iki metodu ile sağlanmaktadır.
10. Üretimin ilk aşamasında direkt dolaşım metodu uygulanmakta olup, tatlı su iç borudan pompalanarak tuzlu çözelti annülüstün yeryüzüne çıkmaktadır.
11. Üretimin ileri aşamalarında ters dolaşım metodu uygulanmakta olup, tatlı su annülüstün verilmekte ve tuzlu çözelti iç borudan elde edilmektedir.
12. Tuz üretimi, tek kuyudan ve düşey olarak yapılmaktadır. Kuyuların etki mesafeleri birleştirilmemektedir. Üretim kuyuları arasında 30 m.lik topuk bırakılmaktadır.
13. Tuzun çözünürlüğü zamanla artmaktadır. Ancak, bu miktar tuzlu çözeltinin doygunluk derecesi ile ters orantılı olarak değişmektedir.
14. Sodyumun çözünmesi belirli bir sıcaklığa kadar artmakta bu değerden sonra ise azalmaktadır.
15. Üretilen tuz çözeltisi, kuyu başından boru hatları ile tanklara gitmekte, tanklardan 46 km.lik boru hattı ile Mersin Soda Sanayii' jae gönderilmektedir.
16. Tuz çözeltisinden Solvay Prosesi ile yapay soda elde edilmektedir. Bu proseste amonyak katalizör; kireçtaşı hammadde; kok ve komur yakıt olarak kullanılmaktadır.
17. Soda bir çok alanda kullanılmakta olup, özellikle cam ve temizlik sanayiinin ana hammaddelerindendir. Türkiye'nin % 95'lik soda ihtiyacı çalışma alanından karşılanmaktadır.
18. Çalışma alanındaki çözelti madenciliği ile tuz üretimi ve Solvay Prosesi ile soda elde edilmesi oldukça ekonomik bir yöntemdir.

## KAYNAKLAR

- Benson, R.H., El Bied, K.R. & Boraduce, G. 1991. *An Important Current Reversal (influx) in the Rifion Corridor (Morocco) at the Tortonian Messinian Boundary: The end of Tetyhs Ocean - Palaeoceanography*. 6: 164-192.

KAYNAKLAR

- Benson, R.H., ElBied, K.R. & Boraduee, G. 1991. *An Important Current Reversal (influx) in the Riftion Corridor (Morocco) at the Tortonian Messinian Boundary: The end of Tetyhs Ocean*. Palaeoceanography. 6: 164-192.
- Copenhafer, W.C., Smith D.E. ve Niedrihghaus, G.F. 1994. *Processfor Producing Sodium Salts from Brines of Sodium Ores.*, U.S. Patent No: 5, 282, 054, (Feb. 1,1994).
- Çatar, H., 1988. *Ham Sodyum Klorür (tuz)*. Bor Dışı Endüstriyel Madenler ve Kimya Sanayii Mineralleri. DPT:2143, 218-235, Ankara.
- 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. and Fischer, W.G. 1993. *Soda Ash Production*. U.S. Patent No: 5, 192, 164, (Mar. 9, 1993).
- Fnnnt, W.R. and Copenhafer, W.C. 1993. *Process for Producing Sodium Salts from Brines of Sodium Ores*. U.S. Patent No: 5, 262,134, (Nov. ' 9,1993).
- Golden Software Inc. 1999. *Surface Mapping System*, version 7.00. USA.
- Haynes, H.W.Jr. 1997. *Solution Mining of Trona*. In Situ. 21:357-394.
- Haynes, H.W.Jr. 1997. *Solution Mining of Wyoming Trona*. Proceedings of the 1997 SPE Rocky Mountain Regional Meeting, May 18-21 1997, USA.
- Haynes, H.WJr., and Ukidwe, A., 1998. *A Model for Solution Mining Trona*. Wyoming State Geological Survey Public Information Circular, 40,153-161.
- 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.
- Lefond, S.J. & Jackoby, C.H. 1983. *Salt In Industrial Minerals and Rocks*. Editor: Lefond ' S.J. 2:1119-1150.
- Neal, J.T., ve Magorian, T.R., 1997. *Geologic Site Characterization (GSC) Principles Derived from Storage and Mining Projects in Salt, with Application to- Environmental Surety*. Environmental Geology, 29, No: 1, 165-175, Springer-Verlag.
- Öğrünç, G., Gürbüz, K. & Nazik, A. 2000. *Evidences About Messinian Salinity Crisis in the Upper Miocene-Pliocene Sequence of the Adana Basin*. Yerbilimleri: Bulletin of Earth Sei. Application and Research Centre of Hacettepe University: 22: 183-192.
- Önem, Y., 1997. *Sanayii Madenleri*. Kozan Ofset Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Şti. Ankara.
- Pike, R.D. 1945. *Solution Mining of Trona*, U.S. Patent No: 2,388,009 (October 30, 1945).
- Pike, R.D. and Seaton, M.Y. 1953. *Mining Operation*, U.S. Patent JSfö: 2,625,384 (January 13, 1953).
- Sarız, K. ve Nuhuğlu, İ., 1992. *Endüstriyel Hammade Yatakları ve Madenciliği*. Anadolu Üniversitesi, Yayın No: 636, Eskişehir.
- Nasün-Saygılı, G. & Okutan H. 1996. *Application of the Solution Mining Process to the Turkish Trona Deposit*. Hydrometallurgy. 42: 103-113.
- Saygılı, N.-S. & Okutan H. 1996. *Mechanism of the Dissolution of Turkish Trona*. Hydrometallurgy, 43, 317-329.
- Shock, D.A. & Conley, R. 1974. *Solution Mining- Its Promise and Its Problems*. In Solution Mining Symposium. Editor: Apian, F.F. et al. : 79-97, New York.
- Tokgömil, F. & İçaçan, I. 2000. *Yenice Tuz Sondajları 1999 Yılı sondaj Faaliyet Raporu* (yayınlanmamış). Maden Tetkik ve Arama Bölge Müdürlüğü, Adana.
- Türk Standartları Enstitüsü TSE 3732.1982, *Beton Agregalarında Klorür Miktarı Tayin Metodu*, Ankara.