

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak Gökhan BASTACIOĞLU

**TUZ TABAKALARINDA ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİ VE BU YÖNTEMLE
DOĞALGAZ DEPOLAMA İMKANLARININ YARATILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TUZ TABAKALARINDA ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİ VE BU YÖNTEMLE
DOĞALGAZ DEPOLAMA İMKANLARININ YARATILMASI**

Burak Gökhan BASTACIOĞLU

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

Danışman: Prof. Dr. Mesut ANIL

Yıl: 2010, Sayfa: 111

Jüri : Prof. Dr. Mesut ANIL

Doç. Dr. Suphi URAL

Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ

Doç. Dr. Özen KILIÇ

Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Bu tez çalışmasında yeraltı maden işletmeciliği yöntemlerinden çözelti madenciliği yöntemi ele alınmıştır. Çözelti madenciliği yönteminin yaygın olmamasından dolayı, dünyadaki uygulamaları araştırılarak yöntem hakkında temel mühendislik çerçevesinde literatür bilgileri 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 yeraltı doğalgaz depolama imkanlarının sağlanmasına ışık tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çözelti Madenciliği, Eritme, Tuz.

ABSTRACT

MSc THESIS

SOLUTION MINING IN SALT DEPOSITS AND PROVIDING NATURAL GAS UNDERGROUND STORAGE OPPORTUNITIES

Burak Gökhan BASTACIOĞLU

**CUKUROVA UNIVERSITY
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

Supervisor : Prof. Dr. Mesut ANIL
Year: 2010, Pages: 111
Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL
Assoc. Prof. Dr. Suphi URAL
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Assoc. Prof. Dr. Özen KILIÇ
Asst. Prof. Dr. Mustafa AKYILDIZ

In this thesis, 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 Sanayi A.Ş. Arabalı Salt Mine located in the Zeytinli Village of Adana, it has also been supported by necessary data from Arabalı Salt Mine to shed light on the operation of typical salt deposits in our region and underground natural gas storage potential.

Key Words: Solution Mining, Leaching, Salt.

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum Yüksek Lisans çalışmamda bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, çalışmalarımın sağlıklı yürütmesine yardımcı olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL'a teşekkür ederim.

Şu anda görev yapmakta olduğum Soda Sanayii A.Ş.'ye, değerli yöneticim Sayın Mehmet Ali KIRMİÇ'e, değerli şeflerim Sayın Erdal ÇINAR'a ve Sayın Mehmet TOKER'e çalışmalarımda verdikleri desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili babam Abdurrahman BASTACIOĞLU'na ve sevgili annem Nurten BASTACIOĞLU'na ve kıymetli hayat arkadaşım sevgili eşim Sevda BASTACIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Tuz Yataklarının Oluşumu.....	3
2.2. Tuz Yataklarında Mineraller ve Kayaçlar.....	4
2.3. Tuz Yataklarının Litostratigrafisi.....	6
2.4. Tuz Yataklarının Şekilleri.....	8
2.5. Dünyadaki Tuz Yataklarının Dağılımı.....	9
2.5.1. Afrika.....	9
2.5.2. Kuzey Amerika.....	10
2.5.3. Güney Amerika.....	11
2.5.4. Avustralya.....	11
2.5.5. Asya.....	11
2.5.6. Avrupa.....	12
3. MATERYAL ve METOD.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler.....	15
3.1.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojik Konumu.....	18
3.1.2.1. Handere Formasyonu.....	18
3.1.2.2. Taban Kayası.....	20
3.1.2.3. Tuz Zonu.....	21
3.1.2.4. Tavan Kayası.....	21
3.1.3. Çözelti Madenciliği Yöntemi.....	22
3.1.4. Tuz Kavernalarında Depolama ve Atık Bertarafı.....	24

3.1.4.1. Depolama İçin Kaya Tuzunun Tercih Edilmesi.....	24
3.1.4.2. Dünyada ve Bölgemizde Yer altı Depolaması.....	25
3.1.4.3. Kullanılabilir Maddelerin Depolanması	26
3.1.4.4. Atık Bertarafı	27
3.1.4.5. Depolanabilir Enerji Kaynakları Arasında Doğalgaz.....	27
3.1.4.5.(1). Kısa Tarihçe	30
3.1.4.5.(2). Doğalgaz Rezervleri, Üretim ve Tüketim.....	32
3.2. Metod	35
3.2.1. Tuz Yatağı İçerisinde Kaverna Konumlandırılması.....	35
3.2.1.1. Kaverna Konumlandırılmasında Jeolojik Koşullar	35
3.2.1.1.(1). Tuz Yatağının Şekil, Boyut ve Derinliği	36
3.2.1.1.(2). Litoloji	37
3.2.1.1.(3). Tuz Katmanının İç Yapısı.....	38
3.2.1.1.(4) Tuzların Eritilebilirliği (Çözünürlüğü).....	38
3.2.2. Çözelti Madenciliğinde Sondaj, İnşaat ve Kuyu Tamamlanması Aşamaları	40
3.2.2.1. Sondaj.....	40
3.2.2.1.(1). Kimyasal Analiz Yöntemi	44
3.2.2.2. Muhafaza Borusunun İndirilmesi ve Çimentolanması.....	48
3.2.2.3. Kuyu Tamamlanması	49
3.2.2.4. Sızdırmazlık Testleri	51
3.2.3. Çözelti Madenciliği Teknolojilerinin Özeti	53
3.2.3.1. En Yaygın Eritme Teknolojileri.....	54
3.2.3.2. Eritilen Boşluğun Şekli.....	55
3.2.3.2.(1). Sonar Ölçümler (Echolog)	60
3.2.3.3. Eritme Çözücüsünün Kavernaya Enjekte Edilmesi ve Tuzlu Suyun Geri Alınması	60
3.2.3.4. Kaverna Duvarlarının Geliştirilmesi ve Şekillendirilmesi	66
3.2.3.5. Kaverna Gelişimi ve Başlangıç Kavernası	67
3.2.3.6. Eritme Teknolojileri	69
3.2.4. Tuzlu Su Özellikleri.....	70

3.2.4.1. Sodyum Klorürün Su İçerisindeki Çözünürlüğü.....	71
3.2.4.2. Tuzlu Suyun Yoğunluğu.....	72
3.2.4.3. Tuzlu Su Konsantrasyonu.....	74
3.2.4.4. Tuzlu Su Yoğunluğu ve Konsantrasyonu Arasındaki İlişki.....	75
3.2.4.5. Tuzlu Su İçerisindeki Tuz İçeriğinin Belirlenmesi.....	77
3.2.4.6. Tuzlu Su İçin Endüstriyel Standartlar.....	80
3.2.5. Eritme Prosesi.....	80
3.2.6. Çözünen İçeriği ve Konsantrasyon Dağılımı.....	81
3.2.7. Termal Etkiler.....	84
3.2.8. Çözünmeyen Madde İçeriği.....	84
3.2.9. Tuz Üretimi ve Net Kaverna Hacmi Arasındaki İlişki.....	88
3.2.10. Eritme Debisi.....	89
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	91
4.1. Uygulama Alanındaki Kuyularda Kimyasal Analiz.....	91
4.2. Litolojik Profil.....	95
4.3. Echolog Ölçümleri.....	99
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. Tuz kayaçları içerisinde bulunan yaygın tuz mineralleri	5
Çizelge 2.1. Batı ve Orta Avrupa'da Üst Permien (Zechstein) tuz formasyonu içinde bulunan yaygın tuzlar	8
Çizelge 3.1. Fosil yakıtların elektrik üretiminde CO ₂ salınımları.....	29
Çizelge 3.2. Sodyum klorürün sıcaklığa bağlı çözünürlüğü	72
Çizelge 3.3. Tuzlu su içerisinde tuz içeriği (kütle yüzdesi, tuzlu suyun yoğunluk ve sıcaklığına bağımlı olarak.....	78
Çizelge 3.4. Tuzlu su içerisinde tuz içeriği (kg/m ³ , tuzlu suyun yoğunluk ve sıcaklığına bağımlı olarak.....	79
Çizelge 3.5. Kaverna çapı ve üretim debisine bağımlı olarak kaverna tabanına çöken çözünmeyen madde miktarı	87
Çizelge 3.6. Tuzlu su konsantrasyonuna bağlı, net kaverna hacmi ve üretilen tuz miktarı ilişkileri ve çözünmeyen madde miktarları.....	89
Çizelge 4.1. Arabali Tuz İşletmesi'nde 25 nolu kuyuda kimyasal analiz 1.....	92
Çizelge 4.2. Arabali Tuz İşletmesi'nde 25 nolu kuyuda kimyasal analiz 2.....	93
Çizelge 4.3. Arabali Tuz İşletmesi'nde 25 nolu kuyuda kimyasal analiz 3.....	93
Çizelge 4.4. Arabali Tuz İşletmesi'nde 27 nolu kuyuda kimyasal analiz 1.....	94
Çizelge 4.5. Arabali Tuz İşletmesi'nde 27 nolu kuyuda kimyasal analiz 2.....	94
Çizelge 4.6. Arabali Tuz İşletmesi'nde 27 nolu kuyuda kimyasal analiz 3.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Genelleştirilmiş (Zechstein tuzlu formasyonu) Üst Permiyen litostratigrafik profili, Orta Polonya, Kujawy Bölgesi.....	7
Şekil 3.1. Çalışma alanı Arabali Tuz İşletmesi'nin genel görünümü.....	16
Şekil 3.2. Arabali Tuz İşletmesi kuyularından bir görünüm.....	16
Şekil 3.3. Çalışma alanı yer bulduru haritası	17
Şekil 3.4. Çalışma alanının jeolojik haritası	19
Şekil 3.5. Arabali Tuz İşletmesi'nde kuyular arası üretim hatları.....	23
Şekil 3.6. Örnek bir kuyu lokasyon alanı ve tipik kuyu başlığı.....	24
Şekil 3.7. Tuz tabakalarında inşa edilmiş depo kavernaları ve yüzey tesisleri (Etzel, Almanya)	33
Şekil 3.8. Dünya doğal gaz rezervlerinin ömürleri (yıl)	34
Şekil 3.9. Farklı sondaj tekniklerinin uygulandığı iki kuyudan dikey görünüm.....	41
Şekil 3.10. Örnek bir depolama kuyusu sondaj kesiti ve kuyu teçhiz dizaynı.....	43
Şekil 3.11. Çimento sızdırmazlık testi.....	53
Şekil 3.12. Dikey kaverna üç boyutlu örnek kesiti.....	56
Şekil 3.13. Dikey kaverna üç boyutlu örnek kafes kesiti.....	57
Şekil 3.14. İnce tuz tabakalarında üretim metodları.....	59
Şekil 3.15. Direkt sirkülasyon	62
Şekil 3.16. İndirekt sirkülasyon.....	63
Şekil 3.17. İndirekt sirkülasyonda üretim boruları arası mesafenin uzun olduğu durum.....	64
Şekil 3.18. Direkt ve indirekt sirkülasyonlar, izolasyon sıvısı enjeksiyonu	65
Şekil 3.19. Sınırlı yüksekliğe sahip başlangıç kavernası örnekleri	68
Şekil 3.20. Ters sirkülasyon uygulanarak yapılan eritme süresince kaverna içindeki durum (üretim borusu ayakları birbirine yakın).....	83
Şekil 3.21. Eritme süresince kaverna içerisindeki tuzlu su sıcaklığındaki değişiklikler	85
Şekil 3.22. Eritme süresince kaverna tabanına çöken anhidrit kırıntılarının (tuz içerisinde bulunan) yüzdesi	88

Şekil 3.23. Kaverna hacmi ve tuz üretimi.....	90
Şekil 4.1. Örnek tuz karotları (yüksek tenörlü).....	95
Şekil 4.2. Örnek tuz karotu (düşük tenörlü, kil yüzdesi yüksek).....	96
Şekil 4.3. Örnek tuz karotu (farklı kristal yapılı).....	96
Şekil 4.4. Örnek tuz karotu (anhidrit, kiltası içerikli).....	97
Şekil 4.5. Arabali Tuz İşletmesi'nde sondaj faaliyetlerini yürüten sondaj makinesi ...	97
Şekil 4.6. Sondaj makinesinden bir başka görünüm.....	98
Şekil 4.7. Arabali Tuz İşletmesi'nde açılmış bir kuyunun örnek litolojik kesiti	99
Şekil 4.8. Arabali Tuz İşletmesi'ndeki bir kavernanın echolog ile alınan görünümü	100
Şekil 4.9. Arabali Tuz İşletmesi'nden tipik bir kaverna örneği.....	101
Şekil 4.10. Echolog ölçümü ile alınmış üç boyutlu kaverna kesit örneği.....	102
Şekil 4.11. Echolog ölçümü ile alınmış üç boyutlu kaverna kesit örneği.....	102
Şekil 4.12. Echolog ölçümü ile alınmış örnek kaverna dikey kesitleri(çakıştırılmış)	103
Şekil 4.13. Echolog ölçümü ile alınmış örnek kaverna dikey kesitleri(çakıştırılmış)	103
Şekil 4.14. Echolog ölçümü ile alınmış örnek kaverna yatay kesitleri(çakıştırılmış)	104

1. GİRİŞ

Tuz içeren maden yataklarının işletilmesi, kökleri yüzlerce yıl öncesine dayanan geleneksel bir madencilik yöntemidir. Son yıllarda ise bu teknolojinin uygulama alanı tuz üretimi yerine ham petrol, doğal gaz, diğer yakıtlar ve atıkların yeraltında depolanmasına doğru kaymıştır.

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 kavernalarının oluşturulması doğrultusunda değişim göstermeye başlamıştır.

Yeraltı çözeltili madenciliği, diğer hammaddelerin (ham petrol, doğal gaz vs.) sondaj temelli üretim tekniklerinden oldukça farklı ve sınırlı bir uzmanlaşma alanıdır. Bu nedendir ki dünya üzerinde birkaç yüzden fazla tuz eritme teknolojisi üzerinde çalışan uzman bulmak mümkün değildir. 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 çözeltili 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 problem 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 çözümlenmesi güç detaylarla dar boğaza sokmaktadır.

Bu tez çalışması ile çözeltili madenciliği ve bu yöntemle tuz yataklarının işletilmesi konularındaki literatür boşluğunun doldurulması, çözeltili madenciliğinin

açık bir dille ve temelleriyle ortaya konulması ve proses sonucu ortaya çıkan depolama imkanları hakkında genel bilgilerin verilmesi amaç edinilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, yeryüzündeki tuz yatakları jeolojisinin genel profili, tuzun oluşumu ve kayaç, mineral içerikleri, tuz yatakları şekilleri ve tuz yataklarının dağılımı hakkında literatürde yer alan bilgilere yer verilmiştir.

2.1. Tuz Yataklarının Oluşumu

Kaya tuzu yatakları, doğal tuz çözeltisi havzalarının buharlaşarak çökelmeleri (evaporasyonu) sonucu oluşmaktadır. Çökme olayında meydana gelen tortular evaporit olarak adlandırılmaktadır. Evaporitler de denizel ve karasal kökenli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Denizel evaporitler yaygındırlar ve sedimanter kayaçlar arasında çok büyük miktarlarda meydana gelmektedirler. Karasal evaporitler ise oldukça seyrek görülmektedirler. Denizel evaporitlerin en sık karşılaşılan türleri, (karbonatlar hariç) sülfatlar ve ardından başlıcası 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 oluşmaktadırlar (Baar, 1977).

En geniş doğal tuz çözeltisi havzaları okyanuslar ve denizlerdir. Deniz suyu tuz konsantrasyonu ağırlıkça yaklaşık % 3,5 tuz yüzdesine sahiptir. Bu da, 1 kg deniz suyunun evaporasyonu sonucu 35 g civarı farklı tuz kimyasalları kütlesi ortaya çıktığı anlamına gelmektedir, ancak başlıca tuz sodyum klorürdür (Baar, 1977).

Deniz suyu evaporasyonu üzerindeki ilk araştırmalar 19. yüzyılın ortalarında yapılmıştır. Tuz çökmesinin genel dizilimi şu şekilde tespit edilmiştir (Baar, 1977):

- Kalsiyum karbonat
- Kalsiyum sülfat
- Sodyum klorür
- Genellikle sodyum klorürle birlikte potasyum ve magnezyum tuzları

Araştırma çalışmaları sonraki yıllarda devam ettirilmiştir. Sonuç olarak, oluşumun kimyasal ve fiziksel şartlarıyla ilgili, deniz suyu tuz kristalleşmesi üzerinde çalışılmış ve miktarla ilgili bağlantılar tespit edilmiştir (Warren, 1999).

Bugün 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 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.

Şimdiki doğal tuzlu tabakalardan elde edilen jeolojik veri, binlerce kilometrekarelik alanlara yayılan ve birkaç yüz metre ve daha fazlası kalınlığa sahip eski tuz yataklarının orijinini açıklamaya yeterli değildir. Bu yatakların oluşum koşulları onlarca yıldır araştırılmaktadır ve birçok teori formüle edilmiştir. Ayrıca günümüzde jeologlar azalmayan bir ilgiyle bu problemi araştırmakta ve müzakere etmektedirler (Poborski ve Slizowski, 1985).

2.2. Tuz Yataklarında Mineraller ve Kayaçlar

Kaya tuzları, doğal tuz minerallerinin bileşimidir. Tek tip mineralden oluşan kaya tuzları monomineral olarak bilinirler. İki, üç veya daha fazla mineralden oluşan kaya tuzları ise polimineral olarak bilinirler. Kaya tuzları mineral içeriği hem sedimentasyon havzasındaki çökeltme (kristalleşme) süresince hakim olan fizikokimyasal şartlara hem de primer mineralleri dönüştüren sonraki alterasyon olaylarına dayanır. Bu tip alterasyon olayları, sedimentasyon 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. Çizelge 2.1.'de yaygın olarak görülen kayaç oluşturuca tuz mineralleri ve bazı fiziksel özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Baar, 1977).

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 (Baar, 1977).

Çizelge 2.1. Tuz kayaçları içerisinde bulunan yaygın tuz mineralleri (Baar, 1977)

Ad ve Kimyasal Formül	Renk	Mohs Cetvelinde Sertlik	Özgül Ağırlık Mg/m ³	Göreceli Çözünürlük
Halit NaCl	renksiz, gri, sarımsı, turuncu, kırmızı	2,0	2,168	kolay çözünür
Silvit KCl	renksiz, kırmızı, beyaz	2,2	1,987	kolay çözünür
Karnalit KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O	Beyaz, sarımsı, kırmızı	2,7	1,602	çok kolay çözünür
Kiserit MgSO ₄ .H ₂ O	renksiz, beyaz, hafif sarı	3,7	2,573	yavaş çözünür
Anhidrit CaSO ₄	renksiz, gri, mavimsi	3,8	2,985	pratikte çözünmez
Jips CaSO ₄ .2H ₂ O	renksiz, beyaz, gri, sarı, kahverengimsi	2,0	2,320	çok zor çözünür
Langbinit K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄	Beyaz, sarımsı, kırmızı	4,2	2,825	zor çözünür
Polihalit K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .2CaSO ₄ .2H ₂ O	renksiz, gri, sarımsı, kırmızı	3,6	2,775	çok zor çözünür
Kainit KCl.MgSO ₄ .3H ₂ O	Beyaz, kırmızı, sarımsı	3,0	2,132	çözünür

Göreceli çözünürlük, mineralin çözünürlüğünün “kolay çözünür” olarak nitelendirilen Halit ile karşılaştırılmış halidir.

Çizelge 2.2, Orta ve Doğu Avrupa’da bulunan ve daha çok Üst Permiyen dönemine ait tuz yataklanmalarını içeren formasyonun tuzlarını içermektedir. Tabloda gösterilen potasyum ve magnezyum minerallerinden meydana gelen

polimineral tuzlar zaman zaman kaya tuzu arasında çok büyük miktarlarda oluşur veya kaya tuzu yataklarında ayrı potasyum/magnezyum tuz yatakları meydana getirmektedirler (Poborski, 1959).

Tuzların yapısında, kayaç yapıcı minerallerin yanında az miktarda yan mineral ve tuz içermeyen mineraller de bulunur. Tuz içermeyen yan minerallerin yaygın olarak görüleni “klastik materyal”dir. Örnek olarak kuvars kumları, çamurlar veya killeri verilebilir. Klastik materyallerin miktarı geniş sınırlar aralığında değişmektedir. Örneğin tuz içerisindeki kil, çok az bir bulaşık şeklinde tuzun rengini değiştirme aşamasından başlayabilir, killi tuzlar hatta tuzlu killeri şeklinde adlandırmalar dahi söz konusu olabilmektedir. Zaman zaman killi-tuzlu kayaçlar tuz yatakları içerisinde çok büyük hacimlerde bulunmaktadır (Poborski, 1959).

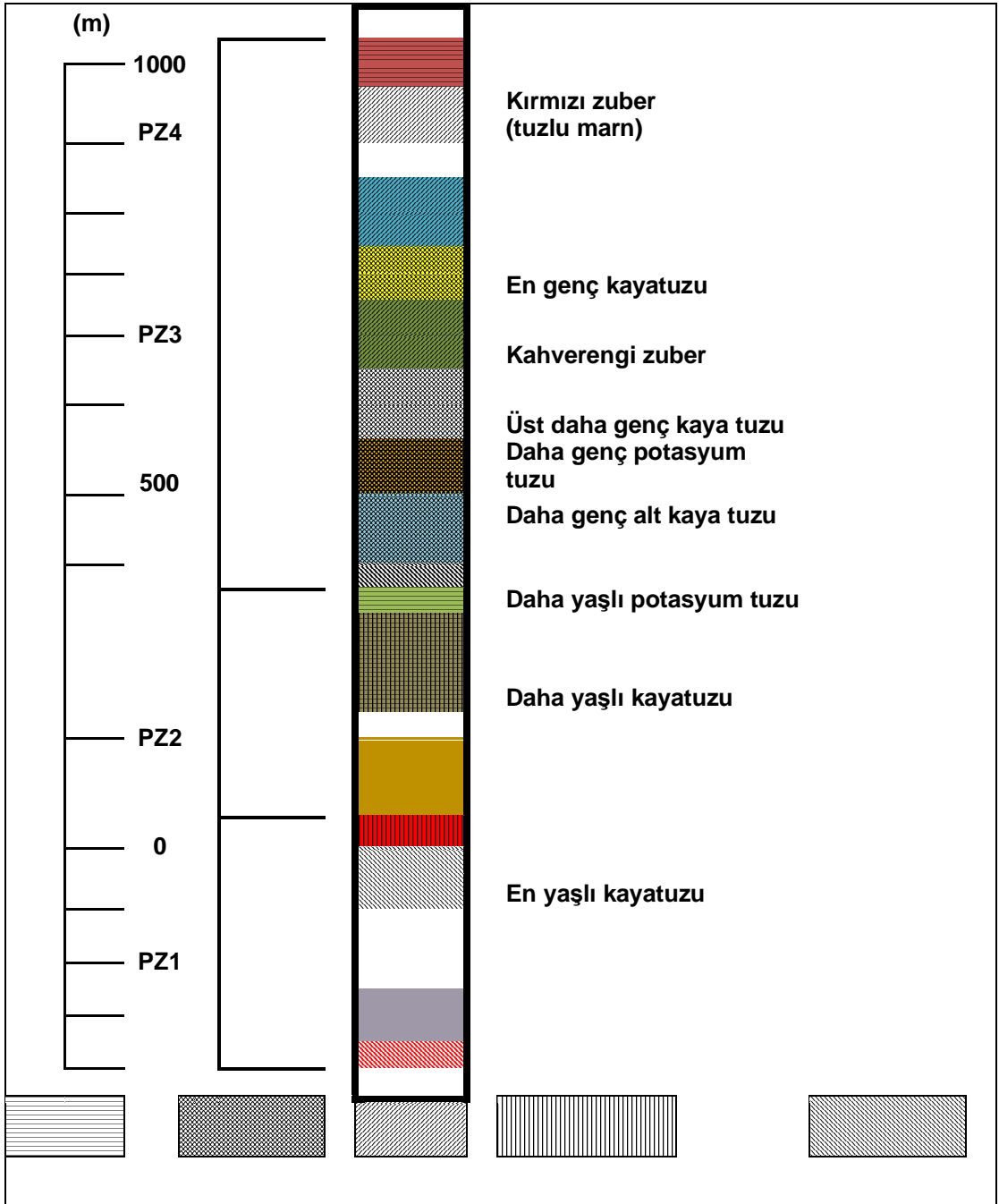
Kaya tuzları kristal yapısı ise daha çok sık tabakalı ve lamine bir dokuya sahiptir ve transformasyon süresince kimyasal özelliklerini, dokularını ve yapılarını değiştirebilmektedirler.

2.3. Tuz Yataklarının Litostratigrafisi

Genel olarak tuz yatakları çok sayıda kayaç tabakasından meydana gelmektedir. Katmanların ilk düzenli yapıları tuz yataklarının oluşumu süresince, sıklıkla daha sonraki jeolojik olaylarla bozulmakta ve sedimentasyon dizilimine göre oluşan bu kayaç tabakaları tuz yataklarının litostratigrafik profilini meydana getirmektedirler (Poborski, 1964).

Tuz formasyonlarının litostratigrafik profillerinde genellikle kayaçların bir karakteristik dizilim gösterdiği gözlenir. Çökelme havzasındaki çözelti konsantrasyonlarındaki değişimden dolayı, sediman çökelme 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, potasyum-magnezyum tuzları. Bazı tuz formasyonları ve tuz yataklarının stratigrafik profillerinde, bu tip veya benzer dizilimler birkaç defa ardalanabilir. Tek bir sedimentasyon/çökelme 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 kayaları da içerir (Poborski, 1964).



Şekil 2.1. Genelleştirilmiş (Zechstein tuzlu formasyonu) Üst Permiyen litostratigrafik profili, Orta Polonya, Kujawy Bölgesi (Slizowski, 1983; Wagner, 1988)

Çizelge 2.2. Batı ve Orta Avrupa’da Üst Permiyen (Zechstein) tuz formasyonu içinde bulunan yaygın tuzlar (Poborski, 1959)

Ad		Kayaç Yapıcı Mineraller
Mono-mineral kayaçlar	Kaya tuzu	Halit
	Anhidritik kayaç	Anhidrit
	Jips kayacı	Jips
Poli-mineral kayaçlar	Silvinit kayacı	Silvit+Halit
	Anhidritli sert tuz Kiseritli sert tuz Langbinitle sert tuz	Silvit+Halit+Anhidrit Silvit+Halit+Kiserit Silvit+Halit+Langbinitle
	Karnalit	Karnalit+Halit Karnalit+Halit+Kiserit Karnalit+Halit+Anhidrit

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 (Poborski, 1964).

Tuz yataklarının uzaysal formları ve çevre formasyonlarla tektonik ilişkileri sonucu aşağıdaki genel ayrımlar ortaya konmuştur (Poborski, 1964):

- 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.

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 Permien dönemlerinde tuz sedimantasyonu için çok uygun şartların var olduğunu ispat etmektedir.

Bilinen tuz yataklarının sayısı oldukça fazladır. Aşağıda, Kambriyenden Tersiyere kadar yaş aralığında olan dünyadaki (Kuaterner çökellerini hariç tutarak) önemli ve büyük tuz çökellerinin kısa bir özeti verilmiştir (Lefond, 1969).

2.5.1. Afrika

Afrika'nın en büyük tuz yatakları, tüm kıta boyunca tanınan birkaç formasyona dağılmış durumdadır. Bu formasyonlardan bazılarının yayılımı çok geniştir. Triyas yaşlı formasyon Fas'tan başlayarak Cezayir ve Tunus'u geçerek Libya'da son bulmaktadır. Yüzeyde ise bol miktarda tuz diapirleri, tuz dağları olarak bilinen mostraları oluşturmaktadır. Bölgesel olarak da kaya tuzu içeren potasyum çökelleri görülmektedir.

Kıtanın batı tarafında ise Alt Kretase yaşlı tuz formasyonu uzanmaktadır. Bu tuz baseni güneyde Angola'dan başlayarak, Kongo, Gabon ve Ekvatorial Gine boyunca yayılarak Atlantik kıyısı boyunca devam etmektedir.

Tersiyer yaşlı tuz çökelleri ise Akdeniz sahillerinde, Süveyş Kanalı ve Kızıl Deniz boyunca yayılmaktadır (Lefond, 1969).

2.5.2. Kuzey Amerika

Kaya tuzu ve potasyum içeren farklı jeolojik yaşlardaki formasyonlar Kuzey Amerika boyunca farklı bölgelerde gözlenmektedir. 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.

Permiyen 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 (Lefond, 1969).

2.5.3. Güney Amerika

Kıtanın çeşitli yerlerinde tuz çökel alanları mevcut olsa da bunlardan yalnızca birkaçı ekonomik olarak önem taşımaktadır.

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 (Lefond, 1969).

2.5.4. Avustralya

Kıtada ekonomik açıdan önemli tuz rezervleri bulunmamakla beraber Kambriyen yaşlı formasyonların varlığı saptanmıştır (Lefond, 1969).

2.5.5. Asya

Tuz formasyonlarının kıtadaki dağılımı oldukça geniş olmakla beraber bazı yerlerde tuz içeren formasyonların yokluğu da söz konusu olmaktadır.

Asya tuz yatakları 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 diapirler oluşturmaktadır.

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 deniz tabanı altında da görmek mümkündür.

Orta Asya'da ise oldukça geniş yayımlı ve birbirinden farklı jeolojik yaşlara sahip bir çok formasyon gözlemlenmiştir, bunlardan bazıları:

- Bashkirostan 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 (Lefond, 1969).

2.5.6. Avrupa

Avrupa kıtası boyunca birçok tuz ve potasyum içeren formasyon gözlenmektedir.

Ukrayna'nın Dnepr-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 Permiyen (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 gelip 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 (Lefond, 1969).

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler

1935 yılında İş Bankası tarafından temeli atılan Şişecam Topluluğu, bugün faaliyet gösterdiği Düzcam, Cam Ev Eşyası ve Cam Ambalaj sektörlerindeki hammadde ihtiyacını Kimyasallar Grubu'na bağlı Soda Sanayii A.Ş. tarafından karşılamaktadır. 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 (Soda Sanayii A.Ş., 2010).

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 çözelti madenciliğine başlanacak şekilde sondajlara başlanmıştır. İlk yatırım planına uygun olarak 20 kuyu tamamlanmış ve 1975 yılında üretime başlanmıştır (Soda Sanayii A.Ş., 2006).

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 sevkıyatı 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 hamsu, 3 adet tuzlu su tankı şeklinde kullanıma ayrılmıştır.

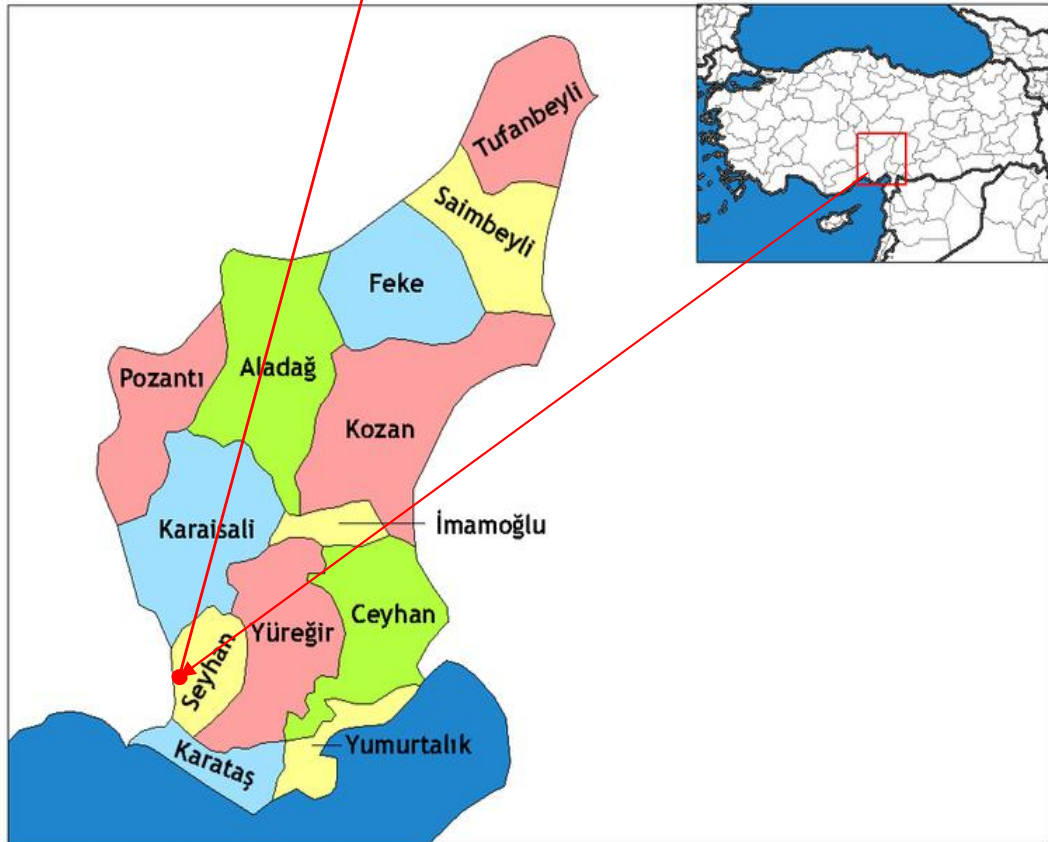
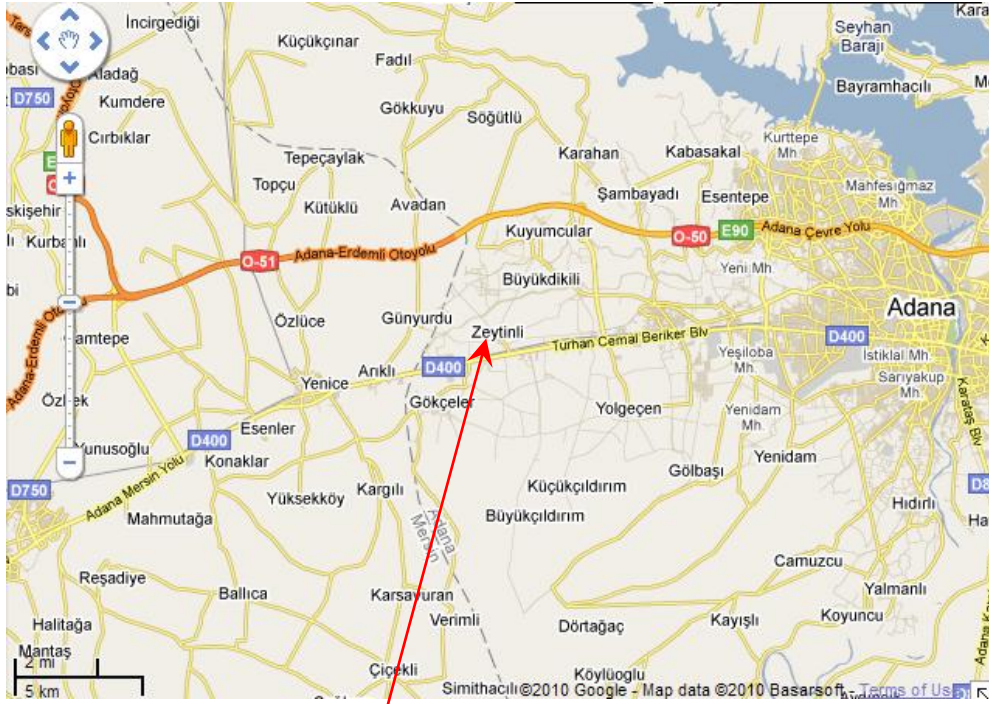
Üretilen tuzlu su, Ø400 mm'lik 47 km uzunluğunda CTP hattı ve hat üzerinde kurulu 3 adet ara pompa istasyonu aracılığı ile Soda Fabrikasına sevk edilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı Arabali Tuz İşletmesi'nin genel görünümü



Şekil 3.2. Arabali Tuz İşletmesi kuyularından bir görünüm.



Şekil 3.3. Çalışma alanı yerbuldur haritası (Wikipedia 2010, Google Maps 2010)

3.1.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojik Konumu

Bu tez çalışmasında konu edilen Soda Sanayii A.Ş.'ne ait Zeytinli Köyü (Adana), Arabali Tuz İşletmesi'nin bulunduğu bölge Adana Baseni'nin batı kesiminde bulunmaktadır. Bu basenin tabanını oldukça deforme olmuş Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel kayalar oluşturur (Gelirbaşı, 1993, Ünlügenç, 1993). Üst Paleozoyik istifinin önemli bir bölümü sığ denizel kireçtaşı ve klastiklerden oluşmuştur (Ünlügenç ve Arkadaşları, 1990).

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

Gildiri ve Karsantı Formasyonlarının yaşı Oligosen-Miyosen olup, çökelmelerin Miyosen sonuna kadar sürdüğü belirlenmiştir (Abacı, 1986). Yine bu bölgede Paleozoyik ve Mesozoyik üzerine açılı diskordansla Burdigaliyen-Langiyen yaşlı Kaplankaya Formasyonu, Karaisalı ve Cingöz Formasyonlarıyla geçiş gösterir (Lagap 1985; Ünlügenç 1986; Yetiş ve Demirkol, 1986; Yetiş, 1987).

Bu istifin üstünde ise biyoklastik kireçtaşı ile dolomitli kireçtaşlarından oluşan Burdigaliyen-Langiyen yaşlı Karaisalı Formasyonu yer almaktadır. Gildiri, 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 (Lagap, 1985; Ünlügenç, 1986; Yetiş ve Demirkol, 1988) (Şekil 3.4).

3.1.2.1. Handere Formasyonu

Bölgedeki birçok alçıtışı zuhuru ve tuz yataklarını içinde bulunduran Handere Formasyonu Schmidt (1961) tarafından adlandırılmıştır.

Arazi gözlemleri de gri-boz renkli olup, oldukça kırılğan, paralel laminalı, lamellibrans ve gastropodlu, yer yer demiroksitli ince kumtaşı-silttaşı arakatmanlı çamurtaşı ile başlar ve yukarıya doğru tane boyu incelererek çakıllı kumtaşı ve kumtaşına geçen merceksel geometrili, çamur topacıklı bu dönem en üstte silttaşı ile sonuçlanır. İstifin bundan sonraki kesimi aşınmalı bir taban ile başlayıp kumtaşına geçen dönemler halinde bulunur (Yetiş ve Demirkol, 1986). Bu formasyon içinde Gökkuyu Alçıtaşı üyesi olarak Yetiş ve Demirkol (1986) tarafından adlandırılan bu cevherleşmeler birincil selenitik jips kristallerinden oluşur. Bu üye, adlandırıldığı Gökkuyu Köyü civarında selenitik kristaller içinde 15-20 cm boyuna kadar ulaşanlar vardır. Bazı yerlerde alabastrin (ikincil) doku gösteren bu evaporitlerin neredeyse tamamı jipsten oluşur (Yılmaz, 2002).

Yazar jipsler üzerine yaptığı çalışmada jipsler içinde birincil jips litofasiyesi, selenitik jips litofasiyesi, iskelet jips litofasiyesi, diskoidal jips litofasiyesi, ikincil jips litofasiyesi, nodüler ikincil jips litofasiyesi, alabastrin ikincil jips litofasiyesi ve satinspar ayırt etmiştir.

Handere Formasyonu içinde Messiniyen Tuzluluk Krizinde oluşan evaporitler yalnızca jips olmayıp, bu teze konu olan tuz yatakları da gelişmiştir. Üst Miyosen (Messiniyen)-Pliyosen (Zangiyen-Astiyen) yaşlı, sığdeniz, geçiş ortamı (lagün, gelgit düzlüğü, delta, kıyı) ve bu geçiş ortamlarında gelişmiş menderesli akarsu çökelleri ile Kuvaterner yaşlı karasal birimler arasında çok yaygın olmasa da jips yataklanmasının yanı sıra tuz çökelmeleri de olmuştur (Soda Sanayii A.Ş., 2003).

3.1.2.2. Taban Kayası

Jeofizik verilere göre tuz zonunun altında bulunan bu birim yeryüzünün yaklaşık 1200-1450 m derinliklerinde ve daha alt katmanların değişik tarzda defalarca ardalanmasından oluşmuştur. Birim içerisinde laminalama, ince katmanlama, derecelenme, organizma yaşamı, çok ince kum-ince kum boyutunda beyazımsı renkli oolit veya küçük organizma kavkıları bazı bölümlerde laminatlar halinde bulunmakta, çok ince kum-ince kum boyu oluşukların enjeksiyonu gibi sedimanter yapılar bulunmaktadır. Üst bölümlerde tuz zonu ile geçişli yerlerde

gevşek yapılı ve dağılgan, altlarda daha sert ve dayanıklıdır. Fasiyes özellikleri göz önüne alındığında tabankayanın, sığ deniz ile geçiş ortamında (lagün, kıyı, gelgit düzlüğü) çökeldiği söylenebilir. Kayayı oluşturan birimler ortalama eriyik halinde gelen karbonatların ve süspansiyon halinde ritmik olarak gelen kil ve silt boyu materyalin çökmesi sonucu oluşmuştur (Soda Sanayi A.Ş., 2003).

3.1.2.3. Tuz Zonu

Akdeniz Havzasında Üst Miyosenin Messiniyen katında, kuru ve sıcak iklimin hüküm sürdüğü zamanda deniz suyunun aşırı derecede buharlaşması sonucu evaporitleşme ile başlıca jips, anhidrit ve selenit gibi sülfatlar; halit (kaya tuzu) ve potasyum tuzları, dolomit ve karbonatlar ile kil taşı (şeyl), marn ve silt taşı gibi süspansiyon çökellerinden oluşmaktadır.

Tuz zonu alttan taban kaya ile üstten tavan kaya geçişlidir. Jeofizik verilere göre yeryüzünden 500-1200 m arasında değişen aralıklarda çıkar. Zon içerisinde oran olarak %50-90 tuz, %5-25 kiltası ve %2-20 anhidrit vardır. Bu birimler birbirleriyle girik ve karmaşık halde bulunmaktadır. Özellikle kiltası-marn ve anhidritin daha yoğun olduğu bölümlerde kayma, deformasyon yapıları ve irili ufaklı kırılmalar sıkça gelişmiştir. Bu bölmeler kırılğan ve dağılgandır. Tuz kirli beyaz-gri, kiltası siyah-mavi ve anhidrit beyaz-kirli beyaz renklindedir.

Tuz zonunun orta-üst bölümlerinde kalınlığı 10-100 m arasında değişen siyah-mavi renkli marn ara tabaka mevcuttur. Bu tabaka ender deformasyon yapılı ve kırıklı, sert ve dayanımlıdır. Tuz zonu sığ deniz ve geçiş (lagün, kıyı, gelgit düzlüğü) ortamı suların aşırı buharlaşması ve evaporasyonu sonucu oluşmuştur (Soda Sanayi A.Ş., 2003).

3.1.2.4. Tavan Kayası

Mavi-siyah renkli olan tavan kaya kiltası, marn ve silttaşı birimlerinin değişik tarzda defalarca aralanmasından oluşmuştur. Birim alt bölümlerinde tuz zonu, üst bölümlerde akifer zonu ile geçişlidir. Jeofizik verilere göre yeryüzünden 150-750 m.

derinliklerde görülür. Birim içerisinde laminalanma, ince katmanlama, organizma yaşam izi, dereceleme, küçük ölçekli çapraz katmanlama, dalga rıplına benzer oluşuklar, lentiküler ve flaser katmanlamaya benzer oluşuklar, yükleme oluşuklar, silt ve çok ince kum enjeksiyonları, stilolit benzer dişli yapılar görülebilir. Bu yapıların çoğu senjenetik oluşan slamp ve deformasyon nedeni ile bozulmuş, karmaşık bir hal almıştır.

Kil ve silt katmanları ve laminatları arasında çok ince-ince kum boyutunda oolit veya küçük organizma kavkuları sıkça görülmektedir. Bunlar gri-beyaz renktedir. Ayrıca bazı seviyelerde katmanlar arasında lupla seçilebilecek büyüklükte pirit kristalleri serpintiler halinde bulunmaktadır. Zondaki kil taşları plastik özellik gösterir. Zon içerisinde yer yer kum dilleri, mercekleri ve kamaları görülür.

Fasiyes özellikleri göz önüne alındığında tavan kayası da taban kaya gibi sığ deniz ile geçiş ortamında (lagün, kıyı, gelgit düzlüğü) ortamında çökeldiği söylenebilir. Çökelim sırasında ortama daha ziyade eriyik halde karbonatlar ve ritmik olarak süspansiyon halinde kil ve silt boyu materyal gelmiştir (Soda Sanayi A.Ş., 2003).

3.1.3. Çözelti Madenciliği Yöntemi

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

Soda Sanayii A.Ş., kendi soda fabrikası ana 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 çözerak 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.



Şekil 3.5. Arabali Tuz İşletmesi'nde kuyular arası üretim hatları



Şekil 3.6. Örnek bir kuyu lokasyon alanı ve tipik kuyu başlığı

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.

3.1.4. Tuz Kavernalarında Depolama ve Atık Bertarafı

3.1.4.1. Depolama İçin Kaya Tuzunun Tercih Edilmesi

Tuz yatakları gerek kullanılabilir endüstriyel hammaddelerin ve stratejik önem taşıyan enerji hammaddelerinin, gerekse tehlikeli atıkların depolanması için en

uygun yapıya sahiptir. Bu uygunluğun başlıca nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007):

- Tuz yataklarının yeryüzü genelinde yaygın ve sık oluşumu
- Tuz yataklarının geçirimsizliği, su geçişlerinin (akifer) bulunmaması
- Kaya tuzunun özel jeomekanik özellikleri, tuza özel plastik özellik (tuzun plastisitesi)
- Kaya tuzunun depolanan maddelerin büyük bir çoğunluğu ile reaksiyona girmemesi
- Tuz yataklarının ihtiyaç duyulan depolama hacimlerinin oluşturulabilmesi için yeterli kalınlığa sahip olabilmeleri
- Daha düşük maliyet

Kullanılabilir maddelerin depolama teknolojisi standartları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007):

- Kavernanın stabilitesi ve depolanan maddenin emniyeti
- Depolanan maddenin uzun dönem depolama periyodunda kalitesini koruması
- Boş kavernaya hızlı dolum yapılabilmesi
- Kullanıcı tarafından talep edilen debide kavernadan geriçekilim yapılabilmesi

Atık bertarafı prosesinde ise asıl amaç atık maddeyi atmosfer ve yer altı suyundan izole etmektir. Atık bertarafında aranan standartlar da aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007):

- Kavernanın stabilitesi ve atık maddenin emniyeti
- Yüzyıllar boyu sürebilecek bir periyot için sızdırmaz izolasyonun sağlanması
- Boş kavernanın atık madde ile güvenli bir şekilde doldurulabilmesi

3.1.4.2. Dünyada ve Bölgemizde Yeraltı Depolaması

Tuz yataklarında depolama konusunda ilk patent, ham petrol ve sıvı hidrokarbon depolanmasında 1916 yılında Almanya'da alınmıştır. Ardından Kanada'da geliştirilen prosesin ilk uygulaması ise 1950 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde ve İngiltere'de gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ham petrol, petrol

ürünleri, sıvı hidrokarbon ve doğalgaz depolanması ABD, Almanya, Fransa, İngiltere, Danimarka, Kanada, Polonya, Rusya, Irak ve Çin’de uygulanmaktadır. Örnek vermek gerekirse 1990’lı yılların sonunda ABD’de 1120 adet depolama kavernası kullanılmaya başlandığı belirtilebilir (Richner, Shock and Ahlness 1995).

Türkiye’de ise Tarsus bölgesindeki tuz yataklarında doğalgaz ve Arabali Tuz İşletmesi’nde akaryakıt depolanması gündeme gelmiştir. Bölgedeki depolama hakkında fizibilite çalışmaları yapılmış olup 2006 yılında Mersin’de yapılan sempozyum ile ilgililer ve yetkililere detay bilgiler aktarılmıştır. Bölgede yalnızca bölge için değil, tüm ülke için depolama potansiyeli bulunmaktadır.

3.1.4.3. Kullanılabilir Maddelerin Depolanması

Tuz kavernalarında depolanabilen maddeleri sıvı ve gaz fazında olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Günümüzde depolanmakta olan maddeler aşağıda fazlarına göre sınıflandırılarak verilmiştir (Branka, Maciejewski, 1998):

1- Sıvı maddeler:

- Ham petrol
- Sıvı hidrokarbonlar (benzin, fuel oil, mazot)
- Sıvılaştırılmış gaz fazındaki hidrokarbonlar (LNG-sıvı doğal gaz, LPG-sıvı petrol gazı, etan, propan, bütan, etilen, propilen vs)
- Etilen diklorit
- Özel tuzlu sular

2- Gaz fazındaki maddeler:

- Doğalgaz
- Klor
- Sıkıştırılmış hava
- Azot
- Karbon dioksit

Sıvı fazdaki maddeler veya sıvılaştırılmış maddeler tuzlu su kullanılarak depo edilebilmektedirler. Tuzlu su, daha yoğun olmasından dolayı kavernaların alt kısmında,

sıvı madde ise kavernanın üst kısmında yer almaktadır. Yüksek basınçlı pompa ile depo edilecek olan sıvı, kavernanın tavan bölgesine enjekte edilmektedir. Aynı basınçla tuzlu su, kuyu başlığı aracılığı ile yeryüzüne çekilmektedir. Doldurma operasyonunun tersi şeklinde tuzlu suyun kaverna tabanına tekrar enjekte edilmesi ile de depo edilen sıvı geri çekilebilmektedir.

Gaz fazındaki maddelerin depolanmasında da yine aynı prensiple gaz ve tuzlu su kaverna içerisinde yer değiştirmektedir.

3.1.4.4. Atık Bertarafı

Tuz kavernalarında atık bertarafı dünya genelinde birçok ülkede uzun yıllardan beri uygulanmakta olan bir metottur. Başlangıçta tuz ve kimya fabrikalarında açığa çıkan atıkların bertarafı için kullanılırken 1970'li yıllarda gerekli koşullara sahip kavernaların tehlikeli atıkların bertarafı için de kullanılabilceği fark edilmiştir.

Atık bertarafı için sağlanması gereken koşullar ve önem taşıyan noktalar aşağıda listelenmiştir (Testa, 1994):

- Atık bertarafı için kullanılacak kavernanın eritilmesi için uygulanacak teknoloji ve kavernanın doldurulma operasyon şekli, kullanılacak atığın sınıf ve özelliklerine göre seçilmelidir
- Kavernalar atık maddeyi biyosferden izole eder ve ekstra bir emniyete gerek yoktur
- Atıklar kaverna içerisine sıvı, çözelti, süspansiyon veya karışım halinde aktarılabilmektedir
- Kaverna içerisinde aktarılmış atık maddeler geri dönüşüm prosesine tabi değildirler.

3.1.4.5. Depolanabilir Enerji Kaynakları Arasında Doğalgaz

Geleneksel olarak enerji kaynaklarını ikiye ayırabiliriz. Bunlardan ilki kaynağından çıktığı gibi tüketilen kömür, doğal gaz ve petrol gibi kaynaklar olup

birincil (primer) enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji kaynağının dönüşümünden elde edilen elektrik, kok, havagazı vb. enerji kaynakları ise, ikincil (sekonder) enerji kaynağı adlandırılmaktadır.

Dünyadaki enerji türlerinin kökeni olarak güneş enerjisi gösterilmekte, diğer enerjiler ise güneş enerjisi kökenli, “dönüşüm enerjileri” olarak tanımlanmaktadır. Tüm yenilenebilir enerjiler ve hatta fosil yakıtlar enerjilerini güneşten almaktadır. Enerji kaynaklarını üç ana başlıkta toplamak mümkündür. Birincisi yerin altında kalan bitkilerin ve canlıların bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğramasıyla meydana gelen “Fosil Yakıtlar”dır. İkincisi potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanımı artan “Yeni” enerji kaynaklarıdır. Üçüncüsü ise tükenmeyen, eksilmeyen “Yenilenebilir” enerji kaynaklarıdır.

Doğal gaz fosil yakıtlar içerisinde yer almaktadır. Doğal gaz, organik maddelerin yeryüzünün alt katmanlarında milyonlarca yıl süren doğal dönüşümü sonucunda oluşmuş olup kaynağından çıkarıldığı haliyle, herhangi bir işlemle geçirilmeksizin kullanılabilir. Temel olarak metan (CH_4) (% 90 ve üzeri) ve daha düşük oranlarda etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) ve daha ağır hidrokarbonları içeren doğal gaz, düşük oranlarda azot (N_2), oksijen (O_2), karbon dioksit (CO_2), kükürtlü bileşikler ve su gibi safsızlıklar içerebilir. En önemli özelliği en temiz fosil yakıt olmasıdır. Gaz halinde olması nedeniyle hava ile daha iyi bir karışım oluşturarak kolay yanar, tam yandığında mavi bir alev oluşturur. Gaz halinde olması nedeniyle daha hassas kontrol edilebilme olanağı bulunmaktadır.

Doğal gaz renksiz, kokusuz, zehirli olmayan ve havadan hafif bir yakıttır. Kokusuz olması nedeniyle sızıntısı fark edilemeyeceğinden, özel olarak kokulandırılmaktadır. Doğal gaz, diğer fosil enerji kaynaklarına göre çevreye daha uyumlu, karbon salınımları diğer fosil yakıtlara göre daha düşük olan bir enerji kaynağıdır. Doğal gaz, yandığı zaman havayı kirletici kükürt oksitleri ve karbon tanecikleri gibi atık maddeler meydana getirmemektedir. Ayrıca sera gazları üretimi açısından da önemli avantaja sahiptir. Örneğin doğal gaz elektrik üretiminde en düşük CO_2 miktarına sahiptir (TMMOB-Makine Mühendisleri Odası, 2008).

Çizelge 3.1. Fosil yakıtların elektrik üretiminde CO₂ salınımları

Elektrik üretiminde kullanılan yakıt	Salınım faktörü KgCO ₂ /kwh
Taşkömürü	0,97-0,98
Linyit	0,98-1,14
Fuel oil	0,85-0,91
Doğal gaz	0,46-0,56

Dünyada kullanımı hızla yaygınlaşan doğal gaz, yüksek ısı değeri ve diğer nitelikleriyle önemli ölçüde tercih edilmektedir. Doğal gaz atmosferik basınçta yaklaşık olarak -164 0C'nin altında soğutulduğu zaman sıvılaşmakta ve hacmi 600 kere daha küçülmektedir. Sıvı hale gelen doğal gaz Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG-Liquified Natural Gas) olarak adlandırılır. Sıvılaştırılan doğal gaz özel tanklarda depolanabilir ve taşınabilir. Ülkemizde, 2007 yılı sonu itibariyle ithal edilen doğal gazın yaklaşık %16.09'u LNG olarak Cezayir, Nijerya ve spot piyasadan temin edilmiştir. Doğal gazın kompresörler ile basınçlandırılarak sıkıştırılmış haline ise Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas-CNG) denir.

Yakma esnasında otomatik kontrole daha uygun olması nedeni ile enerji daha verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

Doğal gaz, optimum hava yakıt oranının homojen bir şekilde sağlanabilmesi nedeniyle yanma verimi en yüksek olarak sağlanabilen fosil yakıttır. Özellikle içinde kükürt olmaması nedeniyle baca ve atık gaz sıcaklıklarının; çekiş probleminin halledilebildiği noktalarda korozyon problemi olmadan 80-90 °C'ye kadar düşürülebilmesi önemli bir enerji verimliliği artışı sağlamaktadır.

Hava ile karıştırıldığında yanma limitleri hacimce % 5 ile % 15 arasındadır. Doğalgazın yanması için hava ile karışımının uygun bir oranda olması gerekmektedir. En iyi yanma karışımı % 9 doğal gaz ve % 91 havadır. Doğal gazın tutuşma sıcaklığı 650 °C'dir. "Tam yanma" anında mavi bir alevle yanar.

Doğal gaz karbon monoksit (CO) içermediğinden zehirleyici değildir. Ancak havadan daha hafif bir gaz olduğundan sızma halinde kapalı alanlarda yukarılarda toplanır. Diğer fosil yakıtlarda da olduğu gibi, tam yanma sağlanamadığında doğal gazın yanması sonucu karbon monoksit oluşabilir, karbon monoksitin kapalı mekanda birikmesi ölümlere neden olabilir. Bu nedenle özellikle yanma havasının

ortamdan sağlandığı atmosferik brülörlü sistemlerin kullanıldığı cihaz ortamlarının mutlaka havalandırılması gerekmektedir.

Doğal gaz, konutlarda başlıca ısıtma ve soğutma, sıcak su elde etme, pişirme amaçlı kullanılır. Küçük sanayide, atölye ve fırınlarda üretim amaçlı olarak kullanılır. Demir-çelik, çimento, kimya sanayinde, cam ve kiremit imalatında da yararlanılan doğal gaz, tekstil ve seramik sektörü için de önemli bir enerji kaynağıdır.

Öte yandan otomobil ve araçlarda CNG olarak kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır.

Doğal gaz aynı zamanda değerli bir sanayi hammaddesidir. Bu nedenle rezervlerin yakıt olarak kullanılmaması, hammadde olarak ileriye doğru saklanmasına yönelik görüş bildiren çevreler bulunmaktadır.

Bileşiminde bulunan hidrokarbonlar sayesinde ise birçok sanayi prosesinde, amonyak, metanol, hidrojen ve petrokimya ürünlerinin sentezinde, mürekkep, zambak, sentetik lastik, fotoğraf filmi, plastik, gübre vb. maddelerin üretiminde hammadde olarak kullanılabilir (TMMOB-Makine Mühendisleri Odası, 2008).

3.1.4.5.(1). Kısa Tarihçe

Doğalgazdan ilk kez M.Ö. 50'de Roma'da yararlanıldı. Uesta Tapınağı'ndaki aşk tanrıçası heykelinin doğal gazdan elde edilen sürekli alev ile aydınlatıldığı bilinmektedir. Ardından M.S.150'de Çin Sichuan'da tuzun çökertilmesi işleminde, yakıt olarak kullanılmak için yeraltı rezervuarlarından sızan doğal gazın bambu borularla taşındığı kayıtlara geçmiştir. Daha sonra Marco Polo, gezileri sırasında Bakü'deki Zoroastrian ateş tapınağında yüzyıllardan beri yanmakta olan doğal gaz alevlerini tespit etmiştir. Daha yakın tarihe bakılacak olursa, Avrupa'da 1659'da İngiltere'de bulunan doğal gaz 1790'da yaygın kullanıma girmiştir. Amerika'da ilk gaz sahası keşfi 1815 yılında West Virginia'daki Charleston bölgesinde bir tuz madeni civarında olmuştur. Bundan beş yıl sonra da, ilk ticari gaz işletmeciliği 1820 yılında William Hart tarafından New York eyaletinde yapılmıştır. Sokakların ve

evlerin aydınlatılmasında, içten yanmalı motorların çalıştırılmasında büyük ölçüde doğal gazdan yararlanılmıştır.

1900'lü yılların ortalarında Almanya, İtalya, Fransa ve Avusturya kendi mevcut doğal gaz potansiyelini kullanmaktaydı. Hollanda'daki Groningen sahasının gelişmesi (1959) ile buradaki potansiyelin bir kısmı komşu ülkelere ihraç edilmeye başlamıştır. Almanya 1964'te Groningen gaz sistemine bağlanmıştır. Ancak artan enerji talebi, gerek iç kaynaklardan ve gerekse komşu ülkelere karşılanamaz hale gelince bu defa Cezayir, Libya, Brunei, Nijerya'dan ve bilahare Orta Doğudan doğal gazın sıvılaştırılarak tankerler ile nakline başlanmıştır. Bu şekilde Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri geniş ölçülerde doğalgaz transferi gerçekleştirmişlerdir. Sovyet Rusya doğal gazı'nda 1974'te Almanya'dan başlamak sureti ile Batı Avrupa sistemine bağlanmıştır. 1970 yılından sonra yaşanan petrol krizi, doğal gaz talebinde geniş ölçüde artışlara sebep olmuş ve hemen sonrasında dünya doğal gaz üretimi 7-8 misline çıkmıştır.

Doğal gazın A.B.D.'de 19. yüzyılın ortalarından itibaren enerji kaynağı olarak tüketildiği bilinmekle beraber, 40-50 yıl öncesine kadar petrolle birlikte üretilen gaz gereksiz bir ürün sayılmaktaydı ve dünyada geniş bir kullanıma sahip değildi. Ancak, özellikle 1973'teki ilk petrol krizinden sonra gittikçe önem kazandı, doğal gaz aramaları hızlandı ve günümüzde 70'ten fazla ülkede doğal gaz üretilmektedir.

1920'lerde boru hattı taşımacılığı yöntemlerinin uygulamaya konulmasıyla hızla artan doğal gaz kullanımı, II. Dünya Savaşı'ndan sonra sürekli olarak gelişmiş ve bunun yanı sıra boru imalat ve kaynak teknolojilerinde büyük gelişmeler kaydedilmiştir. İmalat ve kaynak işlerini de içeren diğer demir çelik endüstrileri de doğalgaz kullanımına yönelmeye başlamıştır.

Milattan önceki yüzyıllarda da bilinen ve kullanılan petrol ve doğal gaz, özellikle petrol, içten patlamalı motorların icadından sonra, sanayi devrimiyle birlikte ekonomik ve stratejik bir madde haline geldi. Teknolojik gelişmeyle birlikte kullanımı da artan doğal gaz, çevresel faktörlerin de etkisiyle, petrolden daha fazla kullanılma eğilimine girmiştir (TMMOB-Makine Mühendisleri Odası, 2008).

3.1.4.5.(2). Doğalgaz Rezervleri, Üretim ve Tüketim

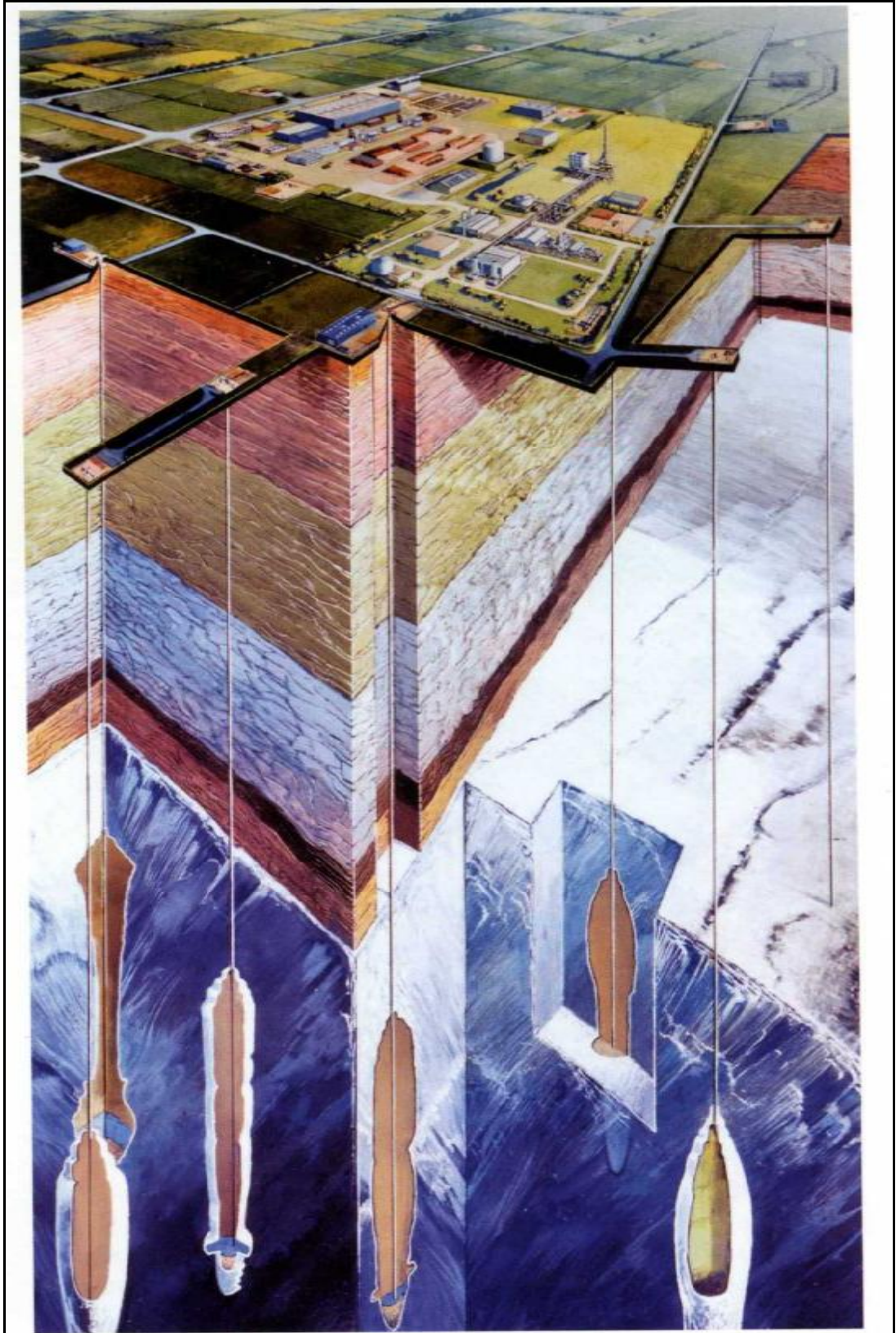
Dünyada tüketilen birincil enerjinin 2006 yılı sonu itibariyle büyük çoğunluğu petrol (% 35,8), doğal gaz (% 23,7) ve kömürdür (% 28,4). Stratejik bir birincil enerji kaynağı olarak, dünyada ve ülkemizde kullanımı hızla yayılmakta olan doğalgaz, diğer fosil enerji kaynaklarının yerini hızlı bir şekilde almaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın yaptığı çalışmalara ve referans senaryoya göre, her yıl ortalama % 2,1 oranında artan dünya doğal gaz tüketiminin 2015 yılında 3,68 trilyon m³'e, 2030 yılında ise 4,78 trilyon m³'e ulaşacağı tahmin edilmektedir.

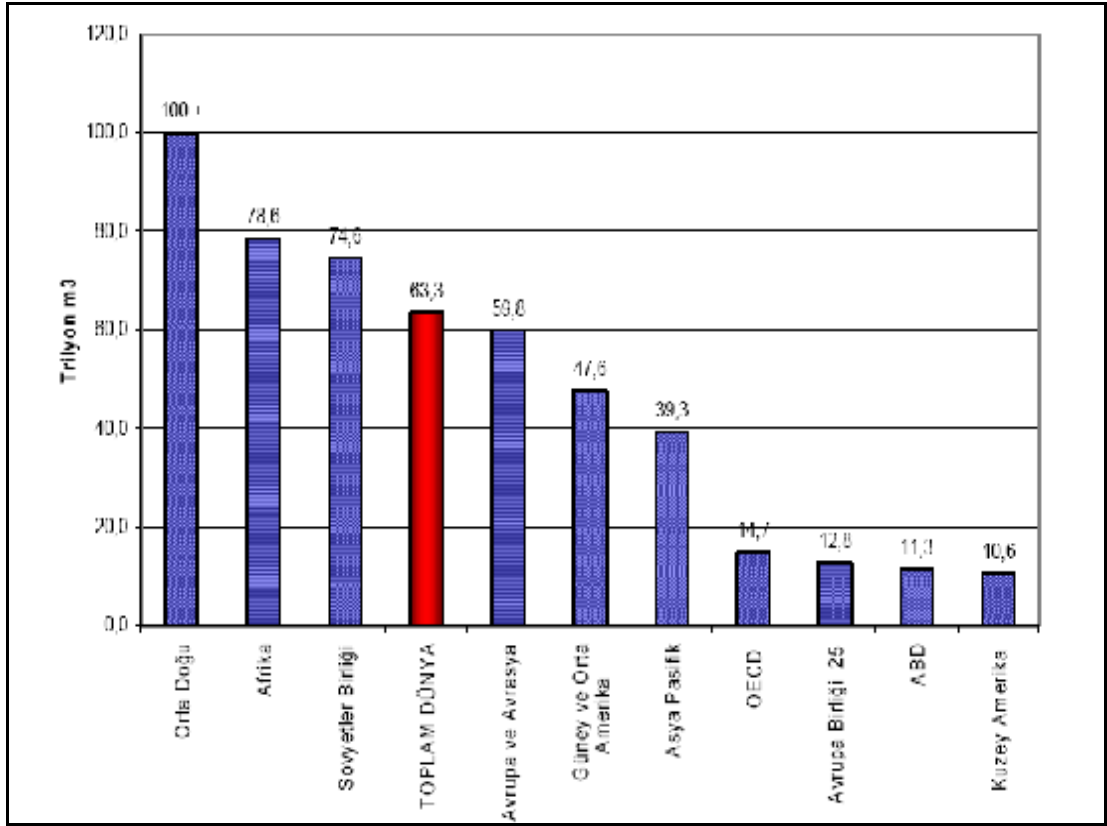
Dünyanın değişik bölgelerinde çıkarılan petrolün rezerv olarak ağırlıklı bir kısmı ülkemizin komşu olduğu bölgelerde bulunmaktadır. 2006 yılı sonu itibariyle rezerv sıralamasında 264,3 milyar varille (% 22) Suudi Arabistan başı çekmekte, onu 137,5 milyar varille İran (% 11,4), 115 milyar varille (% 9,5) Irak, 101,5 milyar varille (% 8,4) Kuveyt ve diğer petrol ihracatçısı ülkeler izlemektedir. Genel olarak ifade edilirse, ülkemizin doğusunda bulunan Ortadoğu ve Avrasya bölgesi dünyadaki mevcut bilinen rezervin yaklaşık % 74'üne sahiptir. Dünyada bilinen toplam petrol rezervi 1208,2 milyar varil olup, bu rezervin yaklaşık 40,5 yıl sonra tükeneceği tahmin edilmektedir (TMMOB-Makine Mühendisleri Odası, 2008).

2006 yılı itibarıyla dünyada doğal gaz üretimi 2865,3 milyar m³, tüketimi ise 2850,8 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir. 2006 sonu itibariyle varlığı kanıtlanmış dünya doğal gaz rezervleri 181,5 trilyon m³ olarak tahmin edilmektedir. Mevcut rezerv ve üretim trendine göre (Rezerv/Üretim) dünya doğal gaz rezervleri için öngörülen ömür yaklaşık 63,3 yıldır. Dünyada doğalgazın bölgesel ömrü şöyledir:

- Orta Doğu 100 yıldan fazla
- Afrika 78,6 yıl
- Rusya Cumhuriyeti 74,6 yıl
- Orta ve Güney Amerika 47,6 yıl
- Asya-Pasifik 39,3 yıl
- Avrupa 21 yıl
- Kuzey Amerika 10,6 yıl
- Avrupa ve Avrasya 59,8 yıl



Şekil 3.7. Almanya, Emsel tuz tabakalarında inşa edilmiş depo kavernaları ve yüzey tesisleri (Deep ve KBB, 2009)



Şekil 3.8. Dünya doğalgaz rezervlerinin ömürleri (yıl) (British Petrol, 2009)

3.2. Metod

3.2.1. Tuz Yatağı İçerisinde Kaverna Konumlandırılması

Kavernanın tuz yatağı içerisinde doğru konumlandırılması, eritme prosesinin başarılı bir şekilde uygulanmasında önemli bir faktördür. Gerek tuzlu su üretimi, gerekse depo kavernası inşasına imkân sağlayan en iyi koşullar, saf ve homojen yapıya büyük tuz yataklarında mevcuttur. Şu da bir gerçek ki, bu tip yataklara nadiren rastlanır; yatakların çoğu farklı heterojen içeriğe sahiptir ve kendi içyapılarında kesintiler, süreksizlikler bulunmaktadır. Bu tip yataklarda meydana gelecek kaverna şekli ve tüm eritme prosesi ve kavernanın sağlıklı konumlandırılması birbirlerine bağlıdır.

Tuz yatakları içerisindeki ve özellikle de oluşturulacak kaverna için uygun yer olarak seçilen kısımlarındaki jeolojik koşullar, uygulanacak eritme teknolojisini belirler. Ayrıca tuzlu su üretiminin ve kavernanın en son şekil, hacim, geçirimsizlik ve stabilitesi gibi parametrelerinin miktar ve kalitelerini de etkilemektedir.

3.2.1.1. Kaverna Konumlandırılmasında Jeolojik ve Madencilik Koşulları

Kavernanın konumlandırılmasını etkileyen jeolojik ve maden işletmeciliği koşulları (tuz yatağı veya belli bir kısmının kaverna oluşturulması için uygunluğunu gösteren koşullar) şu şekilde sıralanmaktadır (Charysz, Garlicki, Ziabka,; 1977):

- Tuz yatağı ve onu çevreleyen formasyonların jeolojik karakteristiği
- Eritilecek kaya tuzunun tercih edilen özellikleri
- Belirli madencilik parametreleri

Konumla ilgili koşullar tuzlu su üretimine yönelik kavernalar ve depo kavernaları için farklılık göstermektedir. Tuzlu su kavernaları için tuzlu su üretimini daha ekonomik hale getirecek kriterler çerçevesinde koşullar ele alınır. Depo kavernalarında ise sözü geçen koşullar kaverna konumunun derinliği, şekli, hacmi, geçirimsizliği vs. gibi ilave parametreler de göz önünde bulundurularak ele alınır.

Yeraltı depolama kavernalarının konumlandırılmasını etkileyecek ve detay jeolojik tetkik gerektirecek jeolojik ve madencilik koşulları ise şunlardır (Charysz, Garlicki, Ziabka,; 1977):

- Tuz yatağının şekil, boyut ve derinliği
- Litoloji (kaya tuzunun mineralojik karakteristiği, petrografi, iyi çözünür ve çözünmeyen katmanların tanımı)
- Yatak içerisindeki ve onu çevreleyen formasyonlardaki hidrojeolojik parametreler
- Kayaçların fiziksel ve kimyasal özellikleri: özkütle, porozite, geçirgenlik, çözünürlük (eritmeye uygunluk), gaz içeriği
- Kayaçların mekanik özellikleri
- Kayaçların termal özellikleri

3.2.1.1.(1). Tuz Yatağının Şekil, Boyut ve Derinliği

Tuzlu su üretimi için ve aynı zamanda yeraltı depolama kavernalarının konumlandırılması için en iyi koşulları homojen ve büyük miktarlarda tuzdan meydana gelen yataklar sağlamaktadır. Bu tip yataklarda beklenen kaya tuzu rezervleri çözelti madenciliğinin ekonomik şekilde icra edilmesini sağlayacak kadar büyüktür. Rezerv, yatak şeklinde ve dom şeklinde olabilmektedir (Slizowski, 1983).

Kesintisiz yataklanmaya sahip tuz katmanlarında kavernaların dikey boyutları, tuzun kalınlığıyla sınırlıdır. Kaverna gelişimi için minimum 100 m tuz kalınlığı genel kabuldür. Ancak daha ince tuz katmanlarında da özel üretim yöntemleriyle eritme yapmak mümkündür. Tuz yatağı derinliği de 1500 metreyi geçmemelidir. Tuz domlarında ise homojen tuzun dikey uzunluğu binlerce metreyi aşabilmektedir. En uygun madencilik koşulları saf tuzun 1000m kalınlığa eriştiği sığ tuz domlarında (tuz giriş derinliği 300 m) beklenmektedir. Bu tip tuz domlarında eritilen kavernaların yükseklikleri oldukça fazladır ve herhangi bir sınırlama jeolojik nedenlerle değil, sadece üretimdeki teknik sorunlarla meydana gelebilir. Ayrıca emniyetle ilgili alınması gereken tedbirler de vardır. Örneğin Arabali Tuz İşletmesi'ndeki tuz giriş derinliğinin hemen altında sigorta olarak bırakılması

gereken tuz tabakasının minimum kalınlığı 25 m, emniyet topuğu olarak bırakılacak kaverna duvar kalınlıkları ise minimum 30 m kalınlıkta olması gerekmektedir.

3.2.1.1.(2). Litoloji

Kaya tuzunun çözünürlük, geçirgenlik, mekanik dayanıklılık ve termal iletkenlik gibi özelliklerini tuzların litolojik karakteristikleri belirler. Bu özelliklerin tamamı eritme prosesi için büyük önem teşkil etmektedir (Slizowski, 1983).

Rezerv kalitesinin belirlenmesi ve tuzlu su üretimine yönelik ekonomik değerlendirme yapılması adımlarında, yatağın mineral kompozisyonu ve litolojisi baz alınmaktadır. Eritme prosesinde, büyük miktarda saf, temiz kaya tuzu avantaj sağlarken, yatağın jeolojik değişkenliği olumsuz etki yaratmaktadır.

Dolayısıyla en iyi konumlandırma, kuyu profili göz önünde bulundurularak kavernayı saf ve homojen tuz içerisinde geliştirmektir.

Aşağıdaki faktörler eritmeyi olumsuz etkilemektedir (Slizowski, 1983):

- **Kaya tuzu içerisinde yayılmış büyük miktarda çözünmeyen madde:**
Eritme prosesinde temel ekonomik kriter, çözünmeyen içeriğinin (çoğunlukla anhidrit ve kiltası) hacmen %20 oranında olmasının sınırlar dahilinde kabul edilmesi ve daha fazla çözünmeyen miktarının eritme işlemini yavaşlattığı ve kaverna hacmini daralttığıdır,
- **Çözünmeyen katmanların varlığı:**
Kalınlığı 1m'yi aşan çözünmeyen kayaç katmanları kavernanın doğru şekilde gelişmesini büyük ölçüde olumsuz etkileyebilmektedir,
- **Kaya tuzundan daha kolay çözünebilir kayaçların varlığı (daha çok potasyum ve magnezyum klorürler):**
Kaya tuzu arasında yataklanmış kolay çözünebilen ince tabakalar herhangi bir yöne doğru kontrolsüz kaverna gelişimine ve kavernalar arasındaki emniyet topuklarının erimesine neden olabilirler. Eritme prosesinde gerekli önlemler sondaj karotlarından alınan numuneler üzerinde yapılan kimyasal analizlere göre alınmaktadır. Analiz sonuçlarına göre kuyu işletim sistemi yönlendirilmektedir.

3.2.1.1.(3). Tuz Katmanının İç Yapısı

Tuz yatağı içerisinde en uygun kaverna konumlandırılması jeolojik olarak saf ve kalın tuz yataklarında olduğu gibi kesintisiz ve yatay yataklarda da gerçekleştirilmektedir. Bu tip yataklardaki litolojik değişkenlik (dolayısıyla kaya tuzu özelliklerinin değişkenliği) genellikle dikey doğrultuda gelişir. Açılan dikey kuyularda yapılan jeolojik ölçümlerle belirlenen litoloji taban-tavan doğrultusunda kaverna gelişimini belirleyici rol oynar. Eritme prosesinin dizaynı ve kavernanın daha sonraki üretimi yine litolojiye bağlıdır. Tuz yataklarındaki litolojik değişkenlik ise dikeyden farklı doğrultularda da görülebilmektedir. Bu duruma daha çok tuz domlarında rastlanmaktadır. Tuz domlarında, dikey profilde gözlenen litolojik değişkenlik, tabakaların sarp hatta 90°'lik açılara varan diklikteki eğimlerine bağlı olarak yatay profildeki değişkenliğe göre fark edilir derecede azdır. Açılan kuyu yalnızca birkaç tabaka keser ve eksenden sadece birkaç metre ilerdeki tabakalar (kaverna gelişirken çapın kapsamına girecek kadar yakın) fark edilmemektedir ki bu durum eritme teknolojisi açısından son derece risklidir. Bu tip tuz yataklarında kavernaya istenilen şekil ve boyutların verilmesi çok daha zordur.

Çözünmeyen kayaçların tuz yataklarındaki dağılımı da kaverna eritme prosesi açısından önemli bir etkiye sahiptir. Bazı teknik çalışmalar tuz kütlesi içindeki çözünmeyen tabakaların parça parça döküldüğünü ortaya koymuştur. Çözünmeyen tabakaların kalınlık ve eğim açıları gibi parametrelerinin böyle bir gelişmede belirleyici etken olduğu görülmüştür. Uygulamada, çözünmeyen bir tabakanın 15 cm'den daha ince ve 45°'den daha az eğime sahip olması durumunda eritme prosesine mani bir durum söz konusu olmamaktadır. Daha kalın tabakaların varlığında ise eritme prosesinin bölgesel olarak durduğu, tavanın kontrolsüz geliştiği ve kaverna duvarında hasar meydana geldiğine rastlanmıştır (Slizowski, 1983).

3.2.1.1.(4). Tuzların Eritilebilirliği (Çözünürlüğü)

Tuz yataklarındaki tuz kayaçlarının çözünürlükleri fizikokimyasal özelliklerine ve petrografik karakteristiklerine göre farklılıklar göstermektedir.

Bazıları tatlı veya tuzlu su içerisinde hızlı çözünür, bazıları daha yavaş çözünür ve bazıları da pratikte çözünmezler.

Sıcaklık, basınç, kimyasal bileşim ve eritme ortamındaki konsantrasyon gibi fiziksel ve kimyasal dış etkenlerin dışında tuz kayaçlarının çözünürlüğü tuz kayaçları içerisindeki minerallerin çözünürlüğüne, çözünmeyen (kirlenici özellik taşıyan) maddelerin miktar ve kalitesine, kayaç yapısı gibi bazı petrografik özelliklere ve gaz içerik miktarına bağlıdır.

Tatlı suda en kolay çözünen tuzlar ise potasyum ve magnezyum klorürlerdir. NaCl (Kaya Tuzu) genellikle kolay çözünür olduğu gibi, kendi içerisinde kolay çözünür ve zor çözünür olarak da ikiye ayrılır. Kolay çözünenler, saf, iri kristal yapılı ve potasyum-magnezyum içerikli olanlardır. Zor çözünenler ise ince kristal yapılı ve anhidrit-kil bulaşıklı olanlardır.

Pratik olarak çözünmeyen kayaçlar; sülfatlar, karbonatlar, anhidritler, jips, kireçtaşı ve dolomit olarak sıralanabilirler.

Kavernanın doğru konumlandırılmasına ilişkin koşullarla ilgili yukarıda verilen bulgu ve tanılar, jeolojik ölçümleme ve araştırma çalışmalarının amaçlarından birisidir. Çözelti madenciliği kavernalarının doğru konumlandırılması ancak böyle bulgu ve tanılar baz alınarak mümkün olmaktadır. Kavernanın konumlandırılması süresince takip edilecek basamaklar da aşağıda listelenmiştir (Slizowski, 1983):

- Tuzlu su üretimi ve/veya depo kavernası inşasına yönelik tuz yatağının değerlendirilmesi,
- Araştırma/üretim kuyusu lokasyonu belirlenmesi,
- Kuyu profili baz alınarak kuyunun kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi ve kavernanın kuyu eksenine boyunca konumlandırılması.

Kuyunun kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi ise şu temellere dayandırılmaktadır:

- Jeolojik ölçümleme (karot alınması: gerek duyulan sondaj karotu minimum %80 verime sahip olmalıdır, litolojik inceleme: sondaj karotunun tanımlanması, karotun numuneler halinde saklanması, hidrojeolojik gözlemler, jeofizik log alınması),

- Karotun laboratuvar testleri (kimyasal analizler, fiziksel ve kimyasal özelliklerin laboratuvar testleri: kaya mekaniği katsayıları, eritme debisi, gaz içeriği, doğal porozite ve geçirgenlik, termal özellikler ve depo kavernalarına yönelik spesifik testler).

3.2.2. Çözelti Madenciliğinde Sondaj, İnşaat ve Kuyu Tamamlanması Aşamaları

Tuz yataklarında çözelti madenciliği metodu uygulanmasında en büyük rolü sondaj teknolojisi üstlenmektedir. Madencilik terimleri kapsamında işin giriş ve geliştirme kısımları temel olarak delgi, muhafaza borusu, tamamlanma ve enstrumantasyon olarak yürütülür. “Giriş”, yer kabuğundan tuz tabakası içerisinde ulaşılmak istenen derinliğe kadarki kuyu sondajı anlamına gelmektedir. Geliştirme ise aşağıdaki aşamaları içermektedir (Bujakowski, 1984):

- Muhafaza borusu
- Kuyunun tamamlanması (üretim boruları, kuyu başlığı)
- Yüzey düzenlemeleri ve enstrumantasyon.

Sondaj metotları, muhafaza borusu ve kuyuların tamamlanması aşağıdaki doğal faktörlere bağlıdır:

- Tuz yatağı jeolojisi
- Kabuk (tuz yatağı üstündeki örtü) jeolojisi ve hidrojeolojik parametreleri

Ayrıca aşağıdaki teknik faktörler de belirleyicidir:

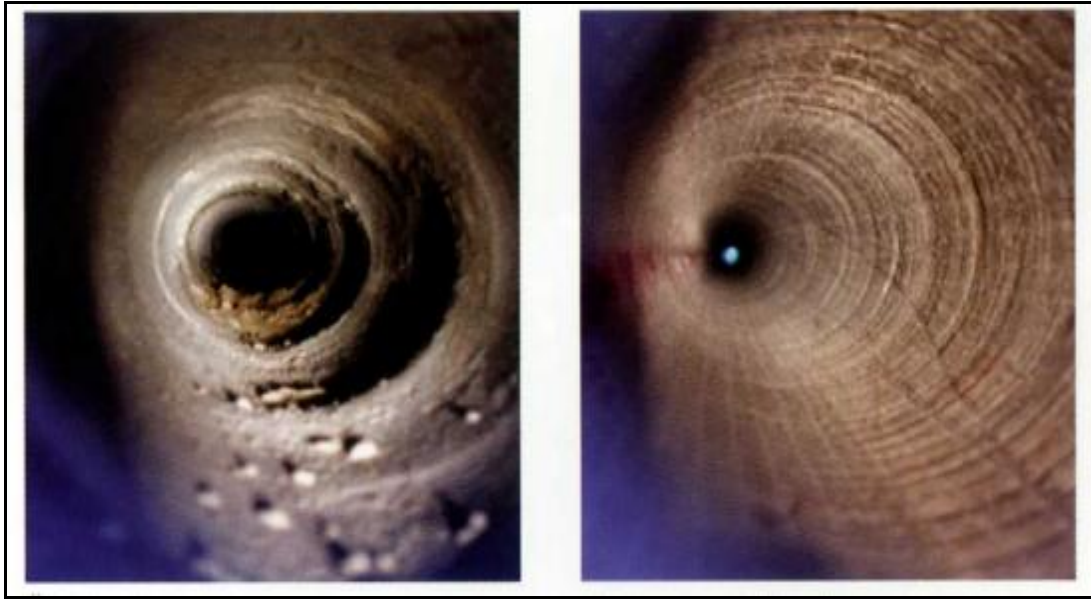
- Eritme teknolojisi dizaynı
- Kavernanın maksimum derinliği

Sondaj dizaynının belirlenmesi için, yukarıda sözü geçen bu teknik ve doğal faktörler için kapsamlı bir çalışmalar yapılmaktadır.

3.2.2.1. Sondaj

Çözelti madenciliğinde uygulanacak eritme prosesi, kuyunun amacına (tuzlu su üretim kuyusu, depolama kuyusu) göre değişmektedir. Bunun paralelinde kuyunun açılması esnasında uygulanacak sondaj tekniği ve standartlarında da

değişiklikler gözlenmektedir (Şekil 3.8). Dolayısıyla kuyu dizayn ve tamamlanmaları da farklı olmaktadır. Kullanılan farklı dizayn ve tekniklerdeki amaç, depolama amaçlı dizayn edilmiş bir kuyunun, eritilmesini sağladığı kavernanın daha sonra bir yeraltı deposu olarak işletilmesine uygun olmasını sağlamaktır. Bununla beraber özel kullanım amaçlı kavernalar ve standart dışı eritme teknolojileri için özel işletim metotları da kullanılmaktadır.



Şekil 3.9. Farklı sondaj tekniklerinin uygulandığı iki kuyudan dikey görünüm (Deep ve KBB, 2009)

Şunu da belirtmek gerekir ki, temelde tuzlu su üretimi için dizayn edilmiş bir kuyu yalnızca birkaç görevi üstlenir :

- Jeolojik ölçümlemenin bir parçasıdır
- Yatağa giriş yapar
- Eritme ortamı ve tuzlu su için bir yoldur

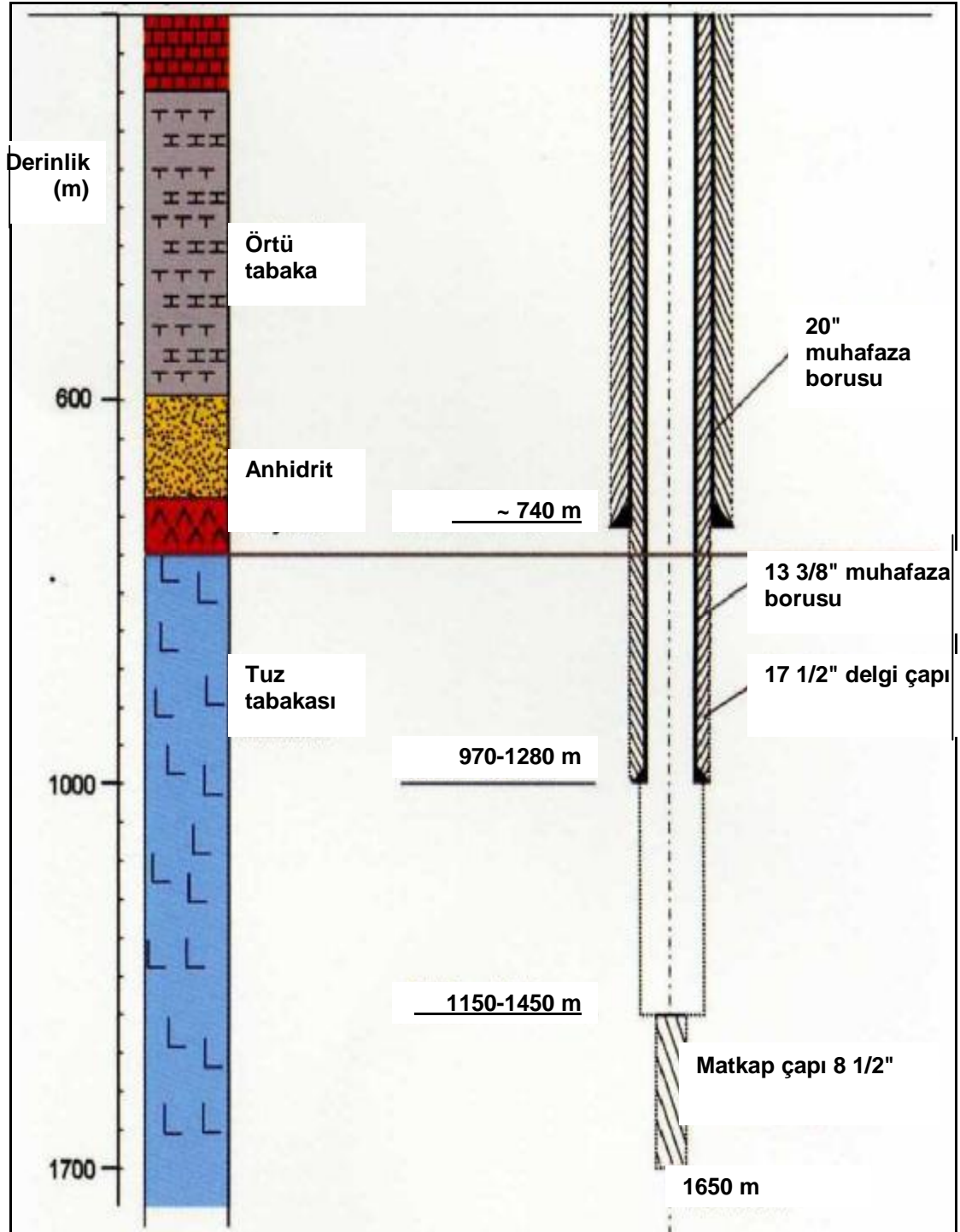
Gerek tuzlu su üretimine yönelik gerekse depolama kavernası inşasına yönelik kuyuların sondajlarında sağlanması ve dikkat edilmesi gereken bazı özel koşullar aşağıda belirtilmiştir (Bujakowski, 1984)::

- Kaya mekaniği hesaplamaları ve saha koşulları baz alınarak yapılan hesaplamalarla ortaya konan kuyu derinliği ve çapı belirlenerek, kullanım

amacına bağlı bir mesafede, çoğunlukla eşkenar üçgenler şeklinde modelleme yapılması

- Oluşacak kavernanın taban derinliğinin proseste belirleyici ve etkin rol oynaması
- Kuyunun inşası ve tamamlanması işlerinin gereksinimlerine paralel bir şekilde kaverna çapının belirlenmesi
- Özellikle derin kavernalar için geçerli olmak üzere, minimum kuyu sapma açısının ölçülmesi
- Kuyu duvarlarında istenmeyen çözünmeleri engellemek için doygun (sodyum, magnezyum veya potasyum klorür ile) hazırlanmış sondaj çamurunun kullanılması
- Tuz tabakasından alınacak karotun maksimum verime (minimum %80) sahip olması (özellikle kavernanın konumlandırılacağı derinliklerdeki karotlar için)
- Su geçirimsiz izolasyon yapılması (örtü tabakadaki su içeren seviyelerde muhafaza borusunun çimentolanması operasyonu)
- Üretim amaçlı muhafaza borusu dizisi (genellikle oluşacak kavernanın tavan derinliğine altına kadar)
- Kuyunun eritme için dizayn edilen kısmında muhafaza borusu kullanılmaması
- Çimentolama operasyonunun tuz tabakasından elde edilen tuzlu su ile hazırlanan özel çimento şerbetleri kullanılarak yapılması
- Depo edilecek maddenin sınıfına ve depolama teknolojisine göre yerinde yapılan özel testler (insitu tests) yapılması

Depolama kuyusu inşası (Şekil 3.9) standart bir tuzlu su kuyusu inşasına göre daha zor, daha fazla zaman gerektiren ve daha pahalı bir çalışmadır. Özellikle doğal gaz ve diğer sıkıştırılmış gazlar depolanacağı zaman bu maliyetler daha da artmaktadır. Böyle bir kuyu, gerekli incelemeler ve değerlendirmeler yapıp depolamaya uygunluğu teyit edilinceye kadar araştırma kuyusu niteliğini taşımaktadır. Son teyit ise sondaj karotunun jeolojik olarak tetkik edilmesinden ve kuyunun sızdırmazlık testinin yapılmasından sonra gerçekleşir.



Şekil 3.10. Örnek bir depolama kuyusu sondaj kesiti ve kuyu teçhizatı dizaynı

Depolama kuyuları için yapılacak sondaj aşağıdakiler özel koşulları gerektirmektedir:

- Daha geniş çaplı sondaj delgi takımı, muhafaza borusu dizisi ve kuyu tamamlama ekipmanı
- Kuyunun dikliği konusunda daha kati şartlar; (tüm kuyunun toplam eğim sapması kuyunun derinliğine oranla %1'den fazla olmamalıdır ve ölçüm noktalarından alınan maksimum sapma açısı 2°'den fazla olamaz. (Bu kriteri sağlamak için sondajda düşük yük ve düşük dönme hızı uygulanmalı, rijit tijler kullanılmalı ve kuyudaki olası sapmalar sık sık kontrol edilmelidir)
- Üretim muhafaza borusu ve çimentolanması, sızdırmazlık ve dayanım parametreleri yüksek standartlara sahip olmalıdır

3.2.2.1.(1). Kimyasal Analiz

Sondaj esnasında kuyulardan alınan numuneler üzerinde kimyasal analizler yapılarak tuzun kimyasal ve fiziksel yapısı hakkında bilgi edinilmektedir. Analizlerde farklı kimyasal metotlar kullanılmakta olup, ortak amaç suda çözünen ve çözünmeyen maddelerin tayin edilmesidir. Suda çözünen maddeler NaCl, MgCl₂, CaSO₄, NaSO₄ ve suda çözünmeyen maddeler ise Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, CaSO₄, MgSO₄, CaCO₃, MgCO₃'tür. Bu maddelerin analiz yöntemleri şu şekilde yapılmaktadır (Soda Sanayii A.Ş., 2008):

1- Toplam Cl⁻ Tayini

Yöntem: APHA 4-69 Potansiyometrik Metot

Kimyasal Reaktifler:

1/1 lik H₂SO₄, %0,1 lik Metil Oranj, 0.1 N AgNO₃

Cihaz ve Laboratuvar Gereçleri

Metrohm 785 DMP Titrino, Plastik numune kabı, 10 ml'lik pipet, 500 ml'lik balonjoje, 150 ml'lik beher.

Analiz:

- Numuneden 10 ml, 500 ml'lik balonjojeye alınır ve saf su ile markaya tamamlanır
- Seyreltilen numuneden 10 ml, 150 cc'lik behere alınır ve üzerine bir miktar

su ilave edilir

- 1-2 damla metil oranj ve ortamı asitlendirmek için nötralize asidi damlatılır
- Laboratuvar cihazları kullanım klavuzuna göre Cl^- analizi için uygun program seçilir
- Numune cihaza yerleştirilir ve analiz başlatılır
- Sonuç rapor kısmından alınır

Analiz elde yapıldığında ise;

- Günlük ortalama numuneden 10 ml, 500 ml'lik balonjojeye alınır ve markaya tamamlanır. Bundan dikkatlice 10 ml numune 150 ml'lik behere alınır
- Üzerine bir miktar saf su ilave edilir ve metiloranj damlatılır. Ortamı asitlendirmek için 1-2 damla asit ilave edilir
- Asidin fazlası $CaCO_3$ veya $NaHCO_3$ ile nötralleştirilir
- 1-2 ml % 5'lik potasyum kromat çözeltisi ilave edilerek 0,1 N $AgNO_3$ ile sarı renk açık kremite oluncaya kadar titre edilir, sarfiyat belirlenir

2- $Ca^{++} + Mg^{++}$ Tayini

Yöntem: Titrimetrik

Kimyasal Reaktifler:

1 N HCl, tampon K10, Eriokrom black T, 0,01 M EDTA

Cihaz ve Laboratuvar Gereçleri:

250 ml'lik erlen, 20 cc'lik pipet

Analiz:

- Tuzlu su numunesinden 20 ml, 250 ml'lik erlene alınır
- Üzerine biraz su ve 1N HCl'den 1-2 ml ilave edilir
- Daha sonra 5 ml tampon K10 ve biraz eriochrom black T indikatörü ilave edilip 0,01 M EDTA ile pembe renk, maviye dönünceye kadar titre edilir
- Sarfiyat belirlenir

3- Ca Tayini

Yöntem: Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile

Cihaz ve Laboratuvar Gereçleri:

Kalsiyum (Ca) standart çözeltisi, 1 ml'sinde 1 mg Ca içeren derişik nitrik asit, potasyum klorür, primer standart sodyum karbonat, atomik absorpsiyon spektrofotometresi.

Analiz Numunesinin Hazırlanması:

Artılmış tuzlusu numunesinden 50 ml alınır. Üzerine 0,4 g KCl alınır ve 3 ml derişik nitrik asit ilave edilir. Çözelti, 100 ml'lik balonjojeye alınır ve hacim destile su ile tamamlanır, çalkalanır.

Çalışma Eğrisinin Hazırlanması

Atomik absorpsiyon spektrometresi ile çalışma eğrilerinin hazırlanması sırasında 1 ml'si 1 mg Ca içeren standart kalsiyum çözeltisi kullanılır. Çalışma eğrisinin oluşturulması sırasında, 0,5 mg/l, 1,0 mg/l ve 2,0 mg/l'lik 3 adet standart çözelti ve 1 adet blank çözelti hazırlanır;

1.Standart:

100 ml'lik balonjojeye 2 g sodyum karbonat 0,1 mg hassasiyetle tartılır, az miktarda su ile çözülür, 0,05 ml (0,05 mg) Ca standardı ilave edilir. Üzerine 0,4 g potasyum klorür ilave edilir. 3 ml nitrik asit ile asitlendirilir ve hacim 100 ml'ye damıtık su ile tamamlanır.

2.Standart:

100 ml'lik balonjojeye 2 g sodyum karbonat 0,1 mg hassasiyetle tartılır, az miktarda su ile çözülür, 0,10 ml (0,10 mg) Ca standardı ilave edilir. Üzerine 0,4 g potasyum klorür ilave edilir. 3 ml nitrik asit ile asitlendirilir ve hacim 100 ml'ye damıtık su ile tamamlanır.

3. Standart:

100 ml'lik balonjojeye 2 g sodyum karbonat 0,1 mg hassasiyetle tartılır, az miktarda su ile çözülür, 0,20 ml (0,20 mg) Ca standardı ilave edilir. Üzerine 0,4 g potasyum klorür ilave edilir. 3 ml Nitrik asit ile asitlendirilir ve hacim 100 ml'ye damıtık su ile tamamlanır.

Blank çözeltiyi hazırlamak için 100 ml'lik balonjojeye 2 g sodyum karbonat 0,1 mg hassasiyetle tartılır, az miktarda su ile çözülür. Üzerine 0,4 g potasyum klorür

ilave edilir. 3 ml Nitrik asit ile asitlendirilir ve hacim 100 ml'ye damıtık su ile tamamlanır.

4-Fe₂O₃ + Al₂O₃ Tayini :

Yöntem: Gravimetrik

Kimyasal Reaktifler:

Derişik amonyak

Cihaz ve Laboratuvar Gereçleri:

500 ml'lik balonjoje, 25 ml'lik pipet, beyaz bant süzgeç kağıdı, kantitatif huni, kül fırını.

Analiz:

- Ana numuneden 10 ml numune alınıp 500 ml'ye seyreltilir
- Seyreltilmiş bu numuneden 25 ml, 400 ml'lik behere alınır, suyla seyreltilerek kaynatılır
- Biraz soğutulup pH = 9 - 9,5 oluncaya kadar derişik amonyak ilave edilir
- Isıtılarak R (OH)₃'ün (Al(OH)₃ + Fe(OH)₃) çökmesi gözlenir
- Meydana gelen çökeleğin tamamen oluşması için bir süre beklenir
- Beyaz bant süzgeç kağıdından süzülür, sabit tartıma getirilmiş porselen kroze 1000 °C'de 1 saat yakılır, desikatörde soğutulur ve tartılır

5- SO₄⁻ Tayini

Yöntem: Gravimetrik

Kimyasal Reaktifler:

% 10'luk BaCl₂, %25'lik HCl

Cihaz ve Laboratuvar Gereçleri:

5 ml'lik pipet, mavi bant süzgeç kağıdı, porselen kroze, kül fırını, desikatör, hassas terazi.

Analiz :

- Ana numuneden 5 ml alınır. Suyla seyreltilir ve HCl ile asitlendirilip ısıtılır
- Daha sonra 2 N BaCl₂ çözeltisinden 10 ml ilave edilerek SO₄⁻ çöktürülür
- Çökmenin tamamlanması için düşük sıcaklıkta 24 saat bekletilir

Mavi bant süzgeç kağıdından süzülür ve sabit tartıma gelmiş bir kroze 850° C'de fırında 1 saat yakılır. Desikatörde soğutulur ve tartılır.

3.2.2.2. Muhafaza Borusunun İndirilmesi ve Çimentolanması

Muhafaza borusu dizisi indirilmesi ve çimentolanması konusunda Gora ve Mogilno tuz domlarında (Inowroclaw Tuz İşletmeleri SOLINO, Polonya) çalışıyor olan tuzlu su kuyularında uygulanan sistemi örnek verebiliriz. 100'er metre aralıklarla eşkenar üçgen köşelerine gelecek şekilde konumlandırılmışlardır ve kuyu derinlikleri 1200-1400 m. civarındadır (Chemkop ve ABB, 2006).

Muhafaza borusu dizisi seçimi ise:

- Kondüktör borusu dizisi
- Ø20" veya Ø18 5/8" yüzey muhafaza borusu
- Ø13 3/8" üretim muhafaza borusu

şeklindedir.

Mogilno tuz domunda ise (KPMG Mogilno, Polonya) depolama amaçlı açılan kuyular ise 800-1600 m arası değişen derinliklerde ve 300'er metre aralıklarla eşkenar üçgen köşelerine gelecek şekilde konumlandırılmışlardır.

Bu kuyulardaki muhafaza borusu dizisi seçimi ise:

- Kondüktör borusu dizisi (8-20 m derinliğe kadar)
- Tavan kayacı jipse kadar yüzey muhafaza borusu (Ø24" veya Ø20")
- Kaya tuzu içerisinde yaklaşık 50m. ara muhafaza borusu (Ø18 5/8" veya Ø16")

şeklindedir.

Kondüktör borusu mekanik nedenlerden dolayı oldukça önemlidir. Tüm sondaj prosesi boyunca kuyunun üst seviyelerinin stabilitesini sağlar. Uygun çapta boru parçalarının (çoğunlukla tij) birbirine kaynatılmasıyla imal edilirler.

Yüzey muhafaza borusu jips olan tavan kayacına kadar ulaşır ve birkaç metre içerisine dalım yapar. Bu noktadan yüzeye kadar çimentolanır. Temel görevi ise gevşek Tersiyer ve Kuvaterner malzemeyi stabilize etmek (içe göçmesini engellemek) ve kuyuyu su içeren yatay üst formasyonlardan izole etmektir.

Ara muhafaza borusu kaya tuzu içerisinde 40-50 metrelere kadar uzanır. Bu noktadan yüzeye kadar çimentolanır. Bu muhafaza borusu dizisi kalın duvarlı borulardan imal edilmelidir ve çimentolama yapılırken korozif etkiye sahip su

ortamına karşı dayanıklı çamur kullanılmalıdır. Temel görevi su geçirimsiz üst katmanları ve su içeren tavan kayacını tuz yatağından ayırmaktır.

Üretim muhafaza borusu (son çimentolanan muhafaza borusu) oluşacak kaverna tavanına kadar uzanır ve korozif tuzlu su ortamına karşı dayanıklı çamur kullanılarak yüzeye kadar çimentolanmalıdır. Muhafaza borusu dizisi yüksek basınca dayanıklı borulardan yapılmalıdır. Kavernanın gaz depolama amaçlı dizayn edilmesi durumunda ise gaz geçirimsiz borular kullanılmalıdır.

Muhafaza borusu dizisinin en alt ucunda muhafaza borusu ayağı bulunur ve ayağın altında kuyu çıplaktır, çimentolanma yapılmaz ve üretim boruları bu kısma indirilir.

Burada, bir işletmedeki uygulama örnek alınmıştır. Ancak gerek tuz üretim kuyuları, gerekse gaz depolama kuyularında derinlikler jeolojik yapıya göre fark etse de üretim muhafaza borusu ve iç ve dış üretim borularından oluşan eritme sisteminde kuyu teçhiz ve sondaj-çimentolama dizaynları birbirine çok yakındır. Verilen örnek genel bir örnek olarak kabul edilebilir.

3.2.2.3. Kuyu Tamamlanması

Eritme için kuyunun tamamlanması yeraltı ve yerüstü tesislerinin (ekipmanın) kurulması ile gerçekleştirilir.

Yeraltı ekipmanı iki ayrı üretim borusu dizisinden meydana gelir. Üretim boruları kullanılan eritme teknolojisine paralel şekilde kuyu içerisinde aşağı ve yukarı doğrultuda hareket ettirilmektedir. Gerek dış boru gerekse iç boru yine kullanılan eritme teknolojisine göre çözücü (çoğunlukla tatlı su) kuyu içerisine basma ya da tuzlu suyun geri çekilimi amaçları için kullanılır.

İç boru dizisi her zaman dış borudan daha sığ bir seviyeye indirilir. Kullanılan bu dizilerin çapları aşağıdaki gibidir (dış boru çapı-ç iç boru çapı şeklinde sıralanmıştır) (Richner, 1995):

13 3/8"-8 5/8", 11 3/4"-7 5/8", 10 3/4"-7", 9 5/8"-5 1/2", 8 5/8"-5", 7 5/8"-4 1/2".

Dış üretim borusunun dış yüzeyine bakan boşluk kısım, diğer bir deyişle bu üretim borusu dizisi ile son çimentolanan muhafaza borusu dizisi (üretim muhafaza borusu) arasında kalan boşluk (anulus olarak adlandırılmaktadır), kaverna tavanını izole etmek için izolasyon sıvısı (fuel oil, yağ veya azot vb.) ile doldurulur.

Bazı durumlarda kaverna tavanı izole edilmeden veya çok az izole edilerek de eritme prosesi uygulanarak farklı teknolojiler uygulanır. Şöyle ki, kaverna içerisine tatlı suyun basılması için tek bir üretim borusu dizisi kullanılır. Tuzlu su bu üretim borusu dizisi ile üretim muhafaza borusu arasında kalan boşluktan alınır. Bu teknolojiye kaverna tavanı devamlı olarak yukarı doğru hareket eder. Eğer üretim muhafaza borusu kaverna tavanının ilerlemesinden dolayı üretime mani olacak kadar alt seviyede kalırsa kesilerek ya da patlayıcı kullanılarak kısaltılır. Çok daha nadir kullanılan ve “iki borulu sistem” olarak adlandırılan bu sistem Arabali Tuz İşletmesi’nde uygulanmaktadır. Şimdiye dek aktarılan diğer sistem ise “üç borulu sistem” olarak adlandırılmaktadır.

Eritme kuyularında kullanılan yüzey tesisleri, kuyu başlığından ve kuyu lokasyonu-atık havuzundan ibarettir. Başlığın görevi kuyu ağzını kapatmak, geçirimsiz hale getirmek ve kuyu cidarı ile herhangi bir bağlantısı bulunmayan üretim borusu dizisini askıda tutmaktır. Kuyu başlığı üretim muhafaza borusuna monte edilir ve kaverna içerisine tatlı suyu aktaracak olan boruları ve üretilen tuzlu suyun geri çekilimini sağlayacak olan muhafaza borusunun bağlantısını sağlar ve izolasyon sıvısının kontrol edilmesi görevini de üstlenir.

Aşağıda kuyu başlığının eritme kuyusunda kapattığı boşluklar verilmiştir:

- Üretim muhafaza borusu ve dış üretim borusu arasındaki boşluk
- İç ve dış üretim boruları arası boşluk
- İç üretim borusunun içi hacmi

Kuyu başlığı üretim borusu hareketlerine de imkan tanıdığı gibi, spesifik yapılarından dolayı eritme ve gaz depolama amaçlı kuyularda farklı modeller kullanılmaktadır.

Gaz depolama için dizayn edilen kavernalarda eritme prosesi tamamlandığında tüm eritme tamamlama ekipmanı (üretim boruları ve kuyu başlığı) kuyudan sökülür ve özel ekipman monte edilir.

Bu işlem gaz depolama kavernasının güvenli çalışması için gereklidir ve özel ekipmanın elemanları gaz sızdırmaz kuyubaşlığı, gaz sızdırmaz dış üretim borusu ve ilk gaz dolun operasyonu süresince tuzlu suyun deşarjını sağlayacak olan özel iç üretim borusundan ibarettir.

3.2.2.4. Sızdırmazlık Testleri

Yüksek basınç altında (yaklaşık 10 ila 20 MPa) gaz depolanması için dizayn edilmiş bir kaverna kuyusu kesinlikle sızdırmaz özellikte olmalıdır. Bu bağlamda aşağıdaki yerinde uygulamalı tetkikler yapılmalıdır (Richner, 1995):

- Kaya tuzunun sızdırmazlığı (mikro çatlatma testleri)
- Üretim muhafaza borularında bağlantı sızdırmazlığı
- Üretim muhafaza borusu çimentosunun sızdırmazlığı

Mikro çatlatma testleri sondaj esnasında yapılır ve genellikle kuyunun taban kısmında yapılır.

Bu testin temel amacı yatağın bu kısmındaki mikro çatlaklı (ya da çatlama potansiyeli olan) meyili belirlemektir. Bu meyil, kaverna içerisine gaz depolamak için kabul edilebilir maksimum basıncı hesaplamak ve dizayn etmek için temel oluşturmaktadır.

Üretim muhafaza borusu ve üretim borularının bağlantı sızdırmazlığı testleri ise aşağıdaki adımları içermektedir (Richner, 1995):

- Gaz sızdırmaz borular indirilirken bağlantı noktalarının sızdırmazlık testi HOLD (Helium Operated Leak Detection – Helyum Gazı ile sızıntı tespiti) metodu ile test edilir. Helyum gazı, boru içerisindeki bağlantı noktasının bulunduğu bölmeye basılır ve dış kısımdan bir helyum detektörü ile boru bağlantı noktalarındaki dışlardan gazın kaçıp kaçmadığı tetkik edilir,
- Borular indirildikten sonra ancak çimentolama operasyonu öncesinde boruların tamamı için sızdırmazlık testi uygulanır ve test basınçları planlanan depolama basıncının 1.25-1.5 katı aralıklarda uygulanır.

Çimentolamanın sızdırmazlığı ise, üretim muhafaza borusu için yapılan çimentolama operasyonu sonrasında muhafaza borusu ayağının altındaki çimento

içerisinde delik açılmak suretiyle test edilir. Bu test, hava kullanılarak çimentolama operasyonundan 20-30 gün sonra (çimentonun en sağlam halini alması için) yapılır (Şekil 3.10).

Çıplak kuyuyu ve muhafaza borusu ayağını birbirinden ayırmak için çimentolanmış muhafaza borusunun son kısmına bir paker yerleştirilir. Bir tij aracılığıyla test yapılacak kesimin içine hava enjekte edilir. Kuyu tabanında, hacmi kalibre edilmiş ve kendinden kapanan valfe sahip bir konteyner tijin ucuna yerleştirilmiş durumdadır. Hava basıncı pakerin altında yeterince arttığında valf kendiliğinden açılır ve pakerin altındaki boşluğu dolduran tuzlu su konteynerın içine dolar ve bu sayede üretim muhafaza borusunun ayak kısmı havayla temas eder. Ayarlama için kısa bir süre beklendikten sonra hava tekrar istenen basınca ulaşılan kadar pompalanır.

Daha sonra test edilecek boşluk tij üzerindeki kapama valfi aracılığı ile kapatılır ve 3-5 gün süresince test edilecek bölgedeki hava basıncı ve sıcaklığı otomatik kayıt özelliği bulunan özel derin manometre ve termometreler ile kayda alınır.

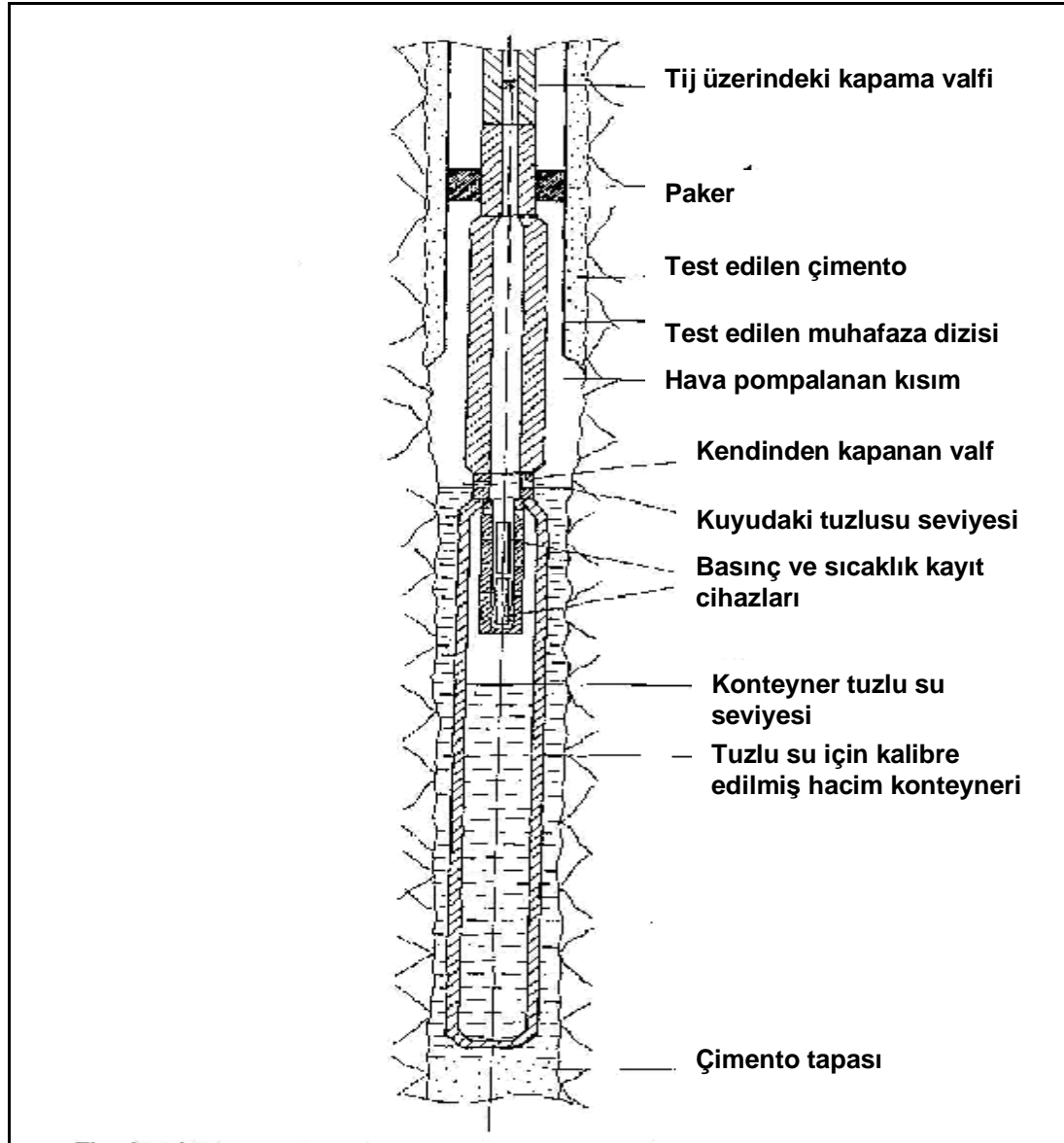
Test sonuçlandırıldığında otomatik kayıt alıcı cihazlar kontrol edilirler ve test sıcaklığı basıncındaki değişikliklerin grafiği hazırlanır. Bu grafikten alınan verilerle test bölgesindeki hacim ve diğer koşullar da göz önüne alınarak hava kayıp oranı belirlenir (Richner, 1995).

Sızdırmazlık kriteri olarak kabul edilebilir hava kaçağı:

- $150 \text{ dcm}^3/24\text{h}$ 'tir (test koşullarında)
- Pratikte ise çimentolama sızdırmaz ise, bu kayıp $2 \text{ dcm}^3/24\text{h}$ 'in altındadır
- Eğer yeterli sızdırmazlık yoksa yüzlerce $\text{dcm}^3/24\text{h}$ kaçak meydana gelmektedir

Şunu da belirtmek gerekir ki, test boyunca sadece hava basıncında meydana gelebilecek değişikliklerin analiz edilmesi çimentolamanın sızdırmazlığı ya da kaçak varlığı ile ilgili fikir sahibi olmak için yeterli değildir.

Özellikle kış mevsiminde test süresince hava sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sızdırmazlık yetersizliği söz konusu olmasına rağmen test bölgesindeki hava basıncı artış gösterebilir.



Şekil 3.11. Çimento sızdırmazlık testi (Chemkop, 1994)

3.2.3. Çözelti Madenciliği Teknolojilerinin Özeti

Çözelti madenciliği prosesi hakkında daha detay bilgiler üzerinde durulmadan önce uygulanan teknolojinin temel özetini toparlamak gereklidir. Kısa özeti şu şekildedir:

- Tuz yatağının jeolojisi, kaya mekaniği hesaplamaları ve yüzey koşullarına bağlı olarak uygun aralıklarla açılan kuyular ile tuz yatağına ulaşılır
- Eritme için kullanılan çözücü tuz yatağına kuyuda kullanılan üretim borularının içerisinden aktarılır
- Kuyunun çıplak kısmında tuz çözünür ve tuzlu su konsantrasyonu artar
- Eritmenin bir sonucu olarak, eritilen bu bölgede kaverna geliştirilir
- Madencilik faaliyeti sonrasında elde edilen ürün olarak tuzlu su, çözücünün kuyu içerisine girdiği basınç sayesinde yine üretim boruları aracılığı ile yeryüzüne taşınır

Eritme için kullanılan çözücü madde sadece tuzun çözünmesini sağlayarak kavernayı meydana getirmekle kalmayıp, çözünen tuzu diğer bir deyişle zenginleştirilmiş cevheri yeryüzüne taşıyarak ve çözünmeyenlerin kavernada çökmesini sağlayarak son derece önemli bir görev üstlenir.

Çözelti madenciliği sonucu elde edilen temel ürünler ise şunlardır:

- Tuzlu su (doymun veya yarı doymun)
- Eritme esnasında oluşturulan ve depolama veya atık bertarafı için kullanılabilen kaverna
- Tuzlu su ve kaverna

3.2.3.1. En Yaygın Eritme Teknolojileri

Eritme prosesinde kavernaların dikey bir kuyu aracılığı ile geliştirilmesi tüm çözelti madenciliği faaliyetlerinde ortak bir uygulama olmasına rağmen, dünyada uygulanmakta olan eritme teknoloji ve dizaynları farklılık göstermektedir.

Bazı kavernalar birkaç yüz metre derinlikte geliştirilmektedir ve sığ olarak nitelendirilirler, buna rağmen derinliği 2000 metrelere varan kavernalar da mevcuttur. Kimi kavernalar 10 m'lik maksimum çapa sahipken, kimisi 150 m'lik çapa sahiptir. Yine aynı şekilde kaverna yüksekliği birkaç düzine metre ile sınırlı kavernaların yanı sıra 1000 m'nin üzerinde yüksekliğe sahip kavernalar da görülebilmektedir (Mogilno, 1998).

Böylesine geniş bir çeşitlilik yelpazesi ile tüm kavernaların tek bir uygun teknolojiye geliştirilmesi oldukça zordur. Bölgesel şartlara göre bir dizi teknolojik çözüm geliştirilmiştir. Daha da ötesi, bazı durumlarda istenilen ideal kaverna şeklini meydana getirmek için eritme prosesi uygulanırken aşama aşama teknolojiyi değiştirmek gerekmektedir. Pratikte bir kavernanın eritme başlangıcından sonuna kadar aynı yöntemle geliştirilmesi çok nadirdir (Mogilno, 1998).

3.2.3.2. Eritilen Boşluğun Şekli

Dünyada uygulanan tuz eritme teknolojileri arasında farklı kaverna çeşitlerinin meydana gelmesini sağlayan parametre tuz yatağının kalınlığıdır (Kuntsman ve Urbanczyk, 1995):

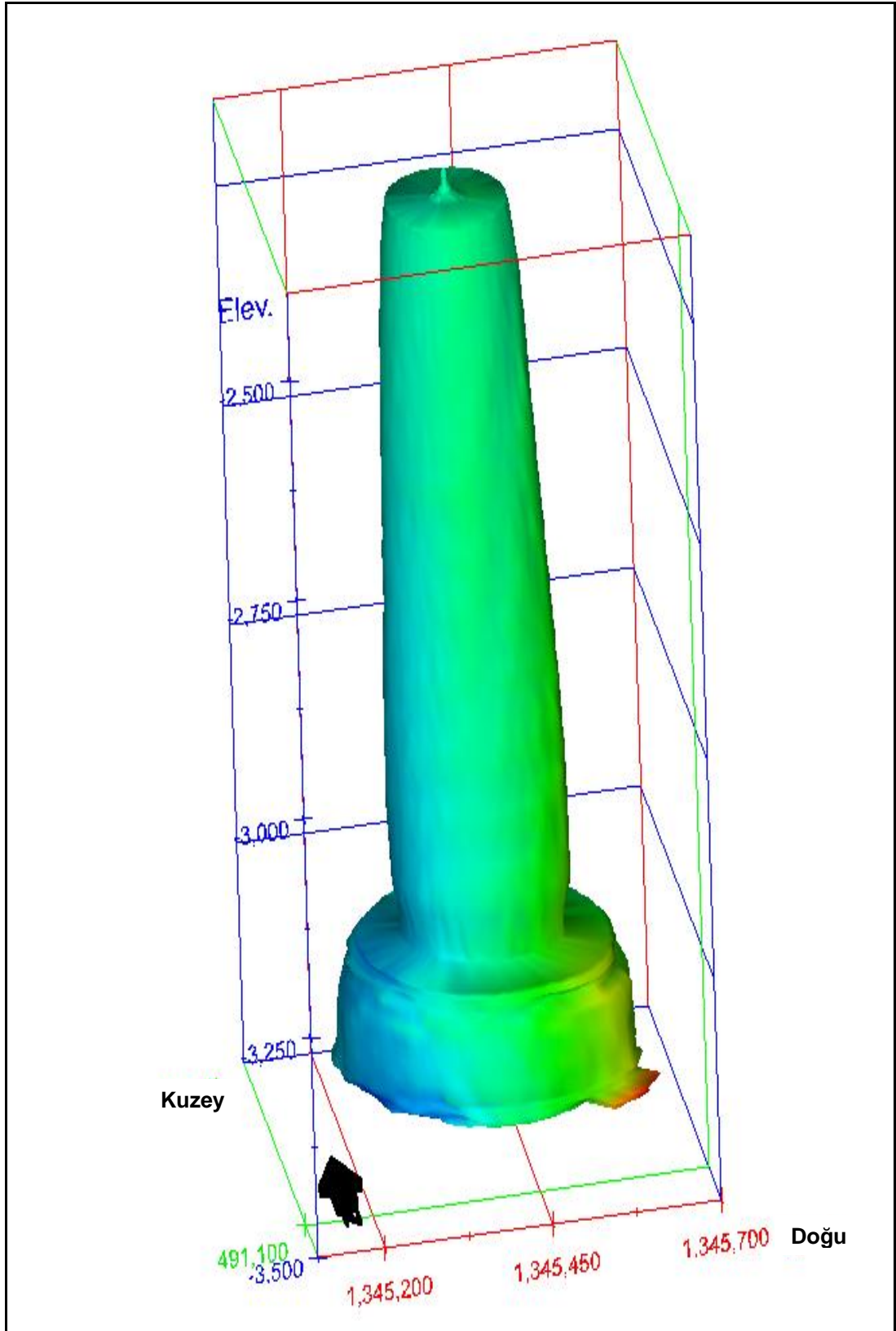
- Tuz domlarında ya da kalın tuz tabakalarında (standart durum) tek ve dik kavernalar eritilmektedir,
- Daha ince tuz tabakalarında (standart dışı durum) kavernalar gruplar halinde eritilirler; birleşik kavernalar veya yatay kavernalar şeklinde eritilmektedir.

Birinci durumda eğer tuz yatağı yeterince kalınsa kaverna yüksekliğini sınırlayan bir durum söz konusu değildir. Kaverna içerisindeki eritme yüzeyi, kesintisiz doygun tuzlu su üretimini olanak sağlayacak kadar geniştir.

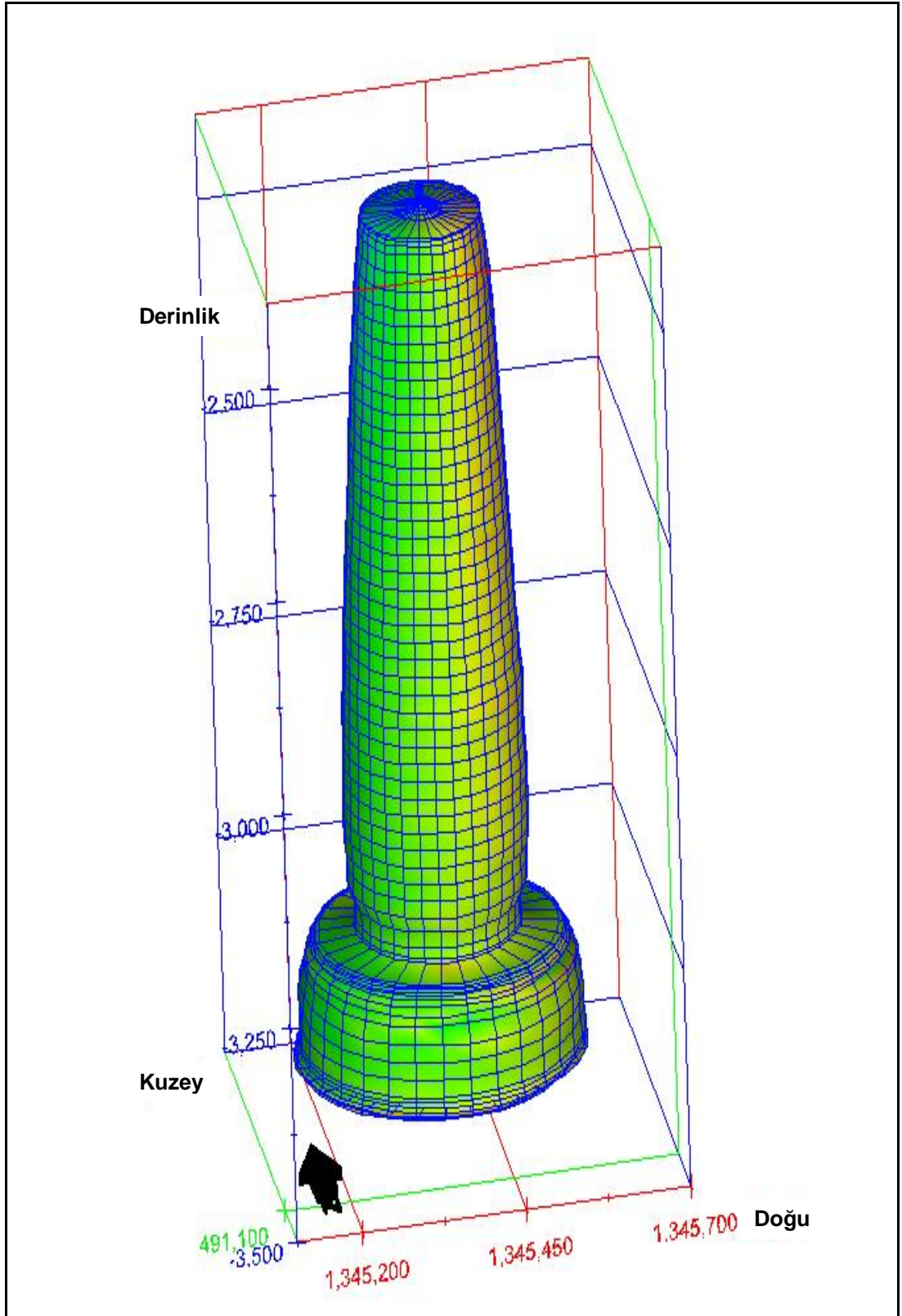
Tuzlu su üretimi ve kavernanın gelişimi bu şekilde bir kavernada ve tek bir kuyu aracılığı ile (en sık görülen uygulama) yapılırsa, üretim şekli tek kavernalı eritme sistemi veya dikey kavernalı eritme sistemi olarak adlandırılır (Şekil 3.11, 3.12).

Yukarıda belirtilen ikinci duruma uyan ince tabakalı tuz yataklarında ise yalnızca söz konusu bölgede daha iyi tuz yataklarının bulunmaması ve tuzlu su ihtiyacının devam etmesi durumunda üretim yapılmaktadır.

Tuz kalınlığının sınırlı olması, kavernalardaki temas yüzeyini de azaltmaktadır. Sonuç olarak ihtiyaç duyulan tuzlu su miktarı tek bir dikey kuyudan elde edilememektedir (Şekil 3.13).



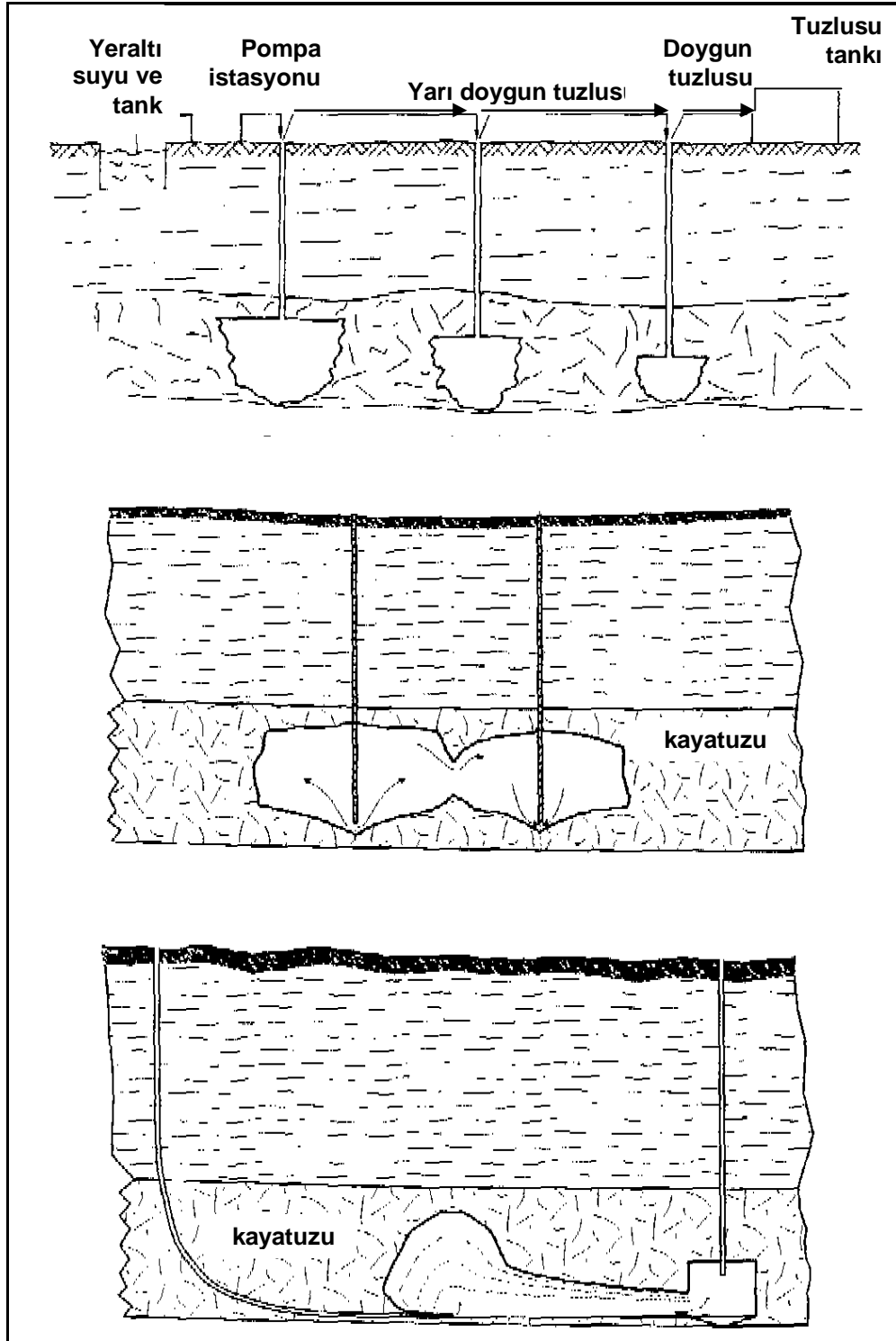
Şekil 3.12. Dikey kaverna üç boyutlu örnek kesiti (gelişme aşamasında) (SMRI, 2008)



Şekil 3.13. Dikey kaverna üç boyutlu örnek kafes kesiti (gelişme aşamasında) (SMRI, 2008)

İnce tabakalarda uygulanan eritme metodları aşağıda açıklanmıştır (Thoms, 1993):

- Bir eritme ağında (bölgesinde) iki veya daha fazla eritme kuyusu yüzeyde seri olarak birbirine bağlanırlar (her kuyu, tek bir kaverna eritme sisteminde çalışır); çözücü madde (ham su) sırasıyla kavernalara basılır, ilk kavernadan çıkan çözücü bir diğerine aktarılır ve aynı şekilde oradan da diğer kuyuya gönderilir. Elde edilen doygun tuzlu su tek bir kavernadan değil eritme ağını meydana getiren kuyular grubundan elde edilmiş olur. İlk kavernada elde edilen konsantrasyon diğer girdiği kavernalarda artacaktır,
- Birbiriyle komşu durumda olan kavernalar veya kuyular tuz yatağı içerisinde eritme metodu, yönlü sondaj veya hidrolik çatlatma yollarından birisi kullanılarak birleştirilirler; kuyulardan ilkinde tatlı su enjekte edilir ve diğer kuyuda tuzlu su üretimi gerçekleştirilir. Böylelikle kuyular arasında doygun tuzlu su elde etmek için yeterli temas yüzeyi sağlanır; bu metod çok kuyulu sistem veya ikili kuyular sistemi ya da topuksuz eritme yöntemi olarak bilinir. Bazen böyle bir sistem yanlış ve kontrolsüz uygulama sonucunda topukların eritilmesi ve birbirine komşu kavernaların veya kuyuların birleştirilmesiyle de ortaya çıkabilir,
- Tuz yatağına inen dikey bir kuyu, sondaj sırasında yön verilerek eğimli ya da diğer bir deyişle yönlü sondaj gerçekleştirilir. Böyle bir çalışmada tuz yatağına (tabana çok yakın bir şekilde) yatay olarak girilir ve daha önceden açılmış dikey bir kavernaya eritme prosesi sayesinde ulaşılır. Bu kuyunun çevresinde tünelimsi kaverna olarak da adlandırılan yatay kaverna geliştirilir. Bu kavernanın oluşturulması esnasında yine tatlı su yatay kuyuya basılır ve dikey kuyudan tuzlu su üretilir. Yatay sondajcılık dünyada çok yaygın kullanılan bir teknoloji olmasına karşın, çözücü madenciliğinde uygulanması henüz çok yenidir ve beraberinde getirdiği birtakım problemlerden günümüze dek çözüme ulaştırılamamıştır. Ancak halen ince tuz tabakaları için geleceğin teknolojisi olma özelliğini korumaktadır.



Şekil 3.14. İnce tuz tabakalarında üretim metodları (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007)

Dikey kaverna eritilmesi ile yapılan üretimde, silindir, koni, yarım küre veya küre şeklinde simetrik şekilleri meydana getirmek teorik olarak mümkündür. Pratikte

ise kavernalar hemen hemen düzensiz olarak nitelendirilebilecek silindirik, konik ve çana benzer şekillerde oluşturulabilmektedir. Ortaya çıkan şekillerin dikey eksenleri, kuyu eksenine oldukça yakın bir doğrultudadır.

Tek ve dikey kaverna sisteminde eritilen kavernalar verilen boyutlarda ve düzenli şekillerde geliştirilebilmektedir, ancak tuz yatağının jeolojik yapısı avantaj uygun yapıda olmalıdır. Bunun yanında eritme teknolojisi doğru dizayn edilmelidir ve kontrollü uygulanmalıdır. Eritme teknolojisi dizayn ve kontrolü yer altı depolamaları için hazırlanan kavernalarda daha fazla hassasiyet ve öneme sahiptir.

3.2.3.2.(1). Sonar Ölçümler (Echolog)

Eritme süresince kavernaların gelişimine, üretim miktarına ve eritme yapılan seviyelerdeki formasyon yapısına göre değişen sıklıklarda kaverna şekil tayini için sonar ölçümler yapılmaktadır.

Sonar ölçümün yapılmasında kullanılan cihaz temelde ultrasonik ses göndericisidir. Kavernada ölçüme başlanacak seviyeye inilmeden önce kuyudan tuzlu su alınarak kavernalardaki basınç düşürülmektedir. Daha sonra iç tubing dizisi kuyudan çekilmektedir. Cihaz kavernalaya indirildikten sonra ultrasonik ses dalgaları gönderilmeye başlanmaktadır. Ses dalgalarını gönderen parça dönerek yatayda ve hareketli başlığı sayesinde (broken head) kırılarak dikeyde farklı açılardan gönderim yapabilmektedir. Kavernaların istenilen seviyelerinde bu işlem tekrar edilmektedir. Gönderilen ses dalgası çarptığı engelden yansıyarak geri dönmektedir. Gönderim ve geri gelim zamanları kayda alınarak hesap edilen gecikme ile mesafeler belirlenmekte ve kaverna hacim ve şekli özel programlarla görüntülenmektedir.

3.2.3.3. Eritme Çözücüsünün Kavernalaya Enjekte Edilmesi ve Tuzlu Suyun Geri Alınması

Günümüzde, kaverna içerisine eritme çözücüsü enjekte edilme yöntemleri arasında en yaygın metot yer üstünde tesis edilmiş pompalar vasıtasıyla kesintisiz enjeksiyon yöntemidir. Pompalar ham suyu belli bir basınçla kuyu içerisinden

kavernaya basmakta ve bu esnada aynı basıncı kullanarak tamamen tavana kadar tuzlu su ile dolu olan kavernadan tuzlu suyun geri alınmasını sağlamaktadır.

Kaverna tavanında meydana gelen eritme hızı, kaverna duvarlarında meydana gelen eritme hızına kıyasla daha fazladır. İdeal kaverna şeklini yakalamak ve bu bağlamda kaverna tavanını istenilen seviyede tutmak için sıvı ya da gaz fazındaki bir izolasyon maddesi ile tavanda izolasyon uygulanmaktadır. Bu tip eritme prosesine tavan izolasyonu ile kontrol edilen eritme adı verilmektedir.

İzolasyonu sağlamak için sudan daha az özkütleyle sahip gaz veya sıvı madde, kaverna tavanının hemen altına üretim muhafaza borusu ve dış üretim borusu arasındaki boşluktan enjekte edilir. Uygulamalarda kullanılan izolasyon maddeleri aşağıda verilmiştir (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007):

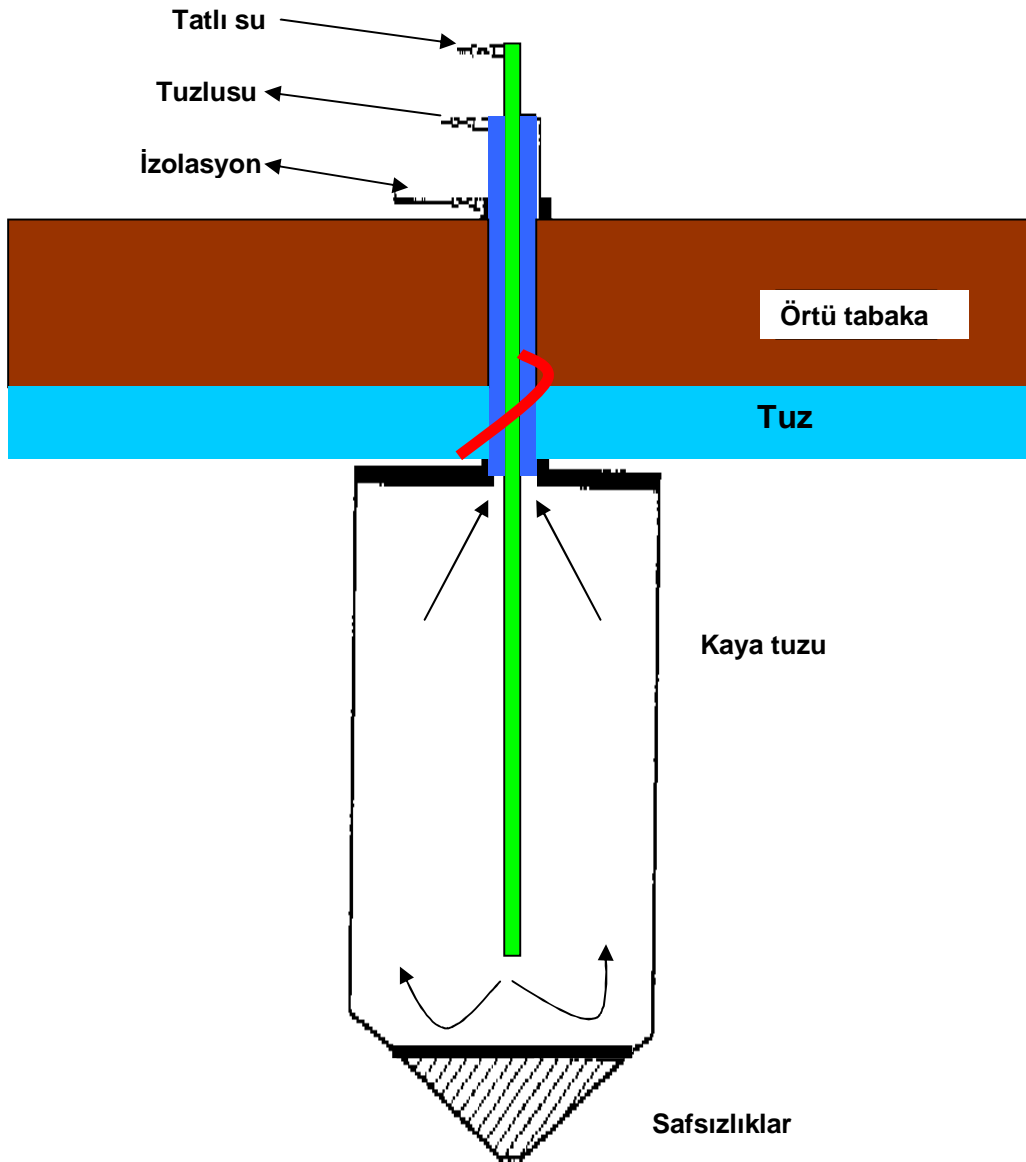
- Fuel oil
- Mazot, ham petrol, petrol veya sıvı propan-bütan (kavernanın bu maddeler için depo olarak kullanılacağı durumlarda)
- Sıkıştırılmış hava
- Sıkıştırılmış azot

Avrupa'da en yaygın kullanılan izolasyon sıvısı fuel oil'dir. Kısmen daha düşük fiyata sahip olması, düşük sıkıştırılabilirlik ve tamamına yakın bir kısmının tuzlu su ile birlikte tekrar yeryüzüne alınabiliyor olması fuel oilin avantajları arasında yer almaktadır. Dezavantajı ise bir kısmının kaverna duvarlarında kalmasıdır ki bu nedenle bazı sıvı hidrokarbonların depolanması için geliştirilen kavernalarda fuel oil yerine gaz kullanılmaktadır (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007).

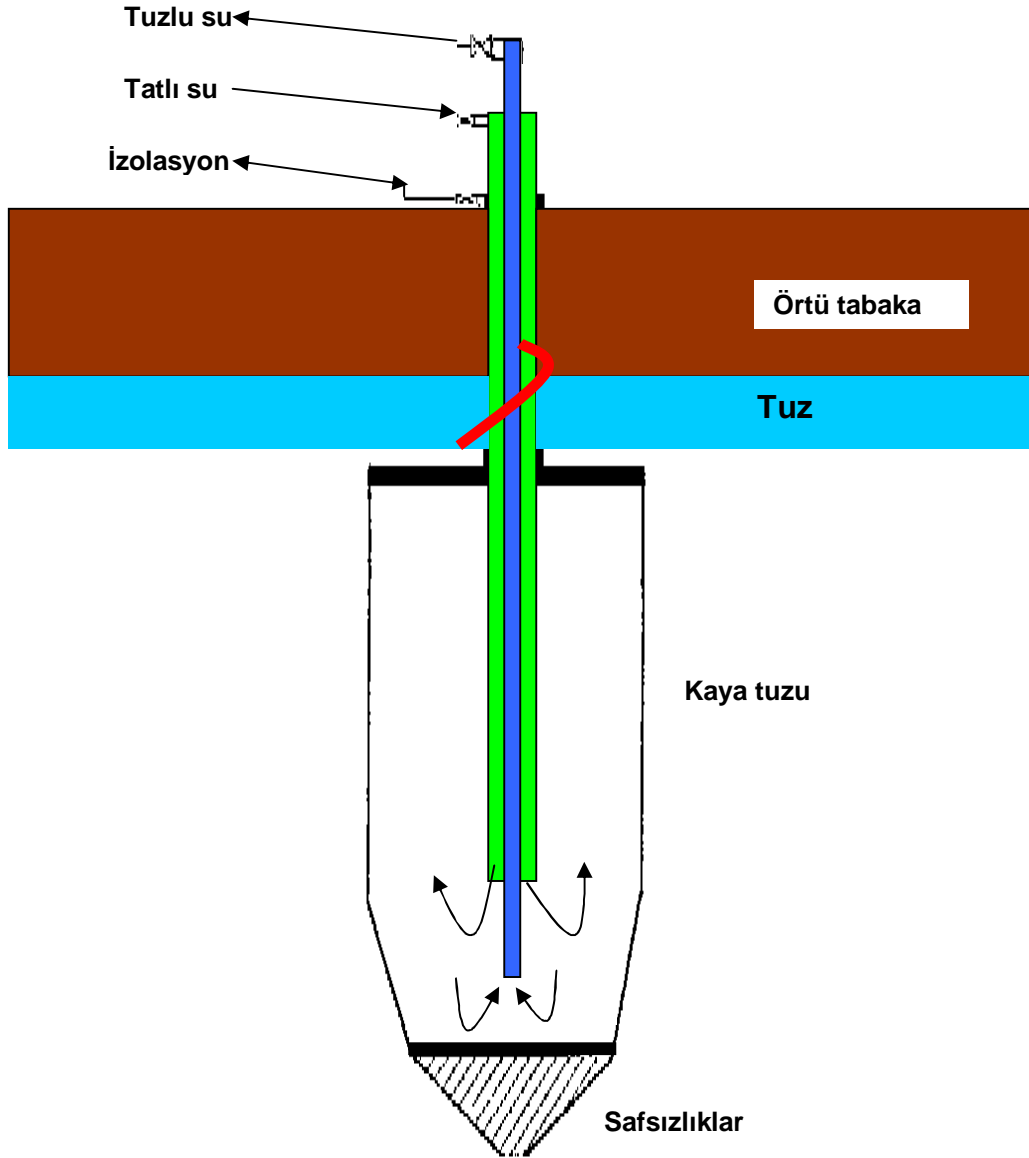
Havanın, boruların paslanmasında neden olabilecek kadar güçlü bir korezyon etkisi olmasından dolayı izolasyon maddesi olarak kullanıldığı durumlar daha kısıtlıdır. Böyle durumlarda daha çok azot kullanılmaktadır. Azot çok daha pahalı ve gerek taşınma gerekse depolanması konularındaki zorluklara rağmen çevresel nedenlerden dolayı giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Tavan izolasyonu kullanılarak eritme yapılmasında çözücü ve tuzlu su, askıda bulunan ve dikey tek eksenli iki takım üretim borusu dizisi (iç ve dış üretim boruları) içerisinden kavernaya giriş çıkış yaparlar. Ham su iç üretim borusu içerisinden kuyuya basılırken, tuzlu su iç ve dış üretim borusu arasındaki boşluktan geri

alınmaktadır. Bu şekilde yapılan sirkülasyona direkt sirkülasyon adı verilmektedir (Şekil 3.14, 3.17). Bu teknolojiye kavemanın üretim borusu seviyesinin en alt noktasından itibaren yukarıda kalan kısmının tamamı eritilmektedir ve hemen hemen düzenli bir şekil ortaya çıkar. Ancak üretilen tuzlu suyun konsantrasyonu istenilen endüstriyel konsantrasyon seviyesine (yaklaşık 310 g/l) göre genellikle düşüktür.



Şekil 3.15. Direkt sirkülasyon

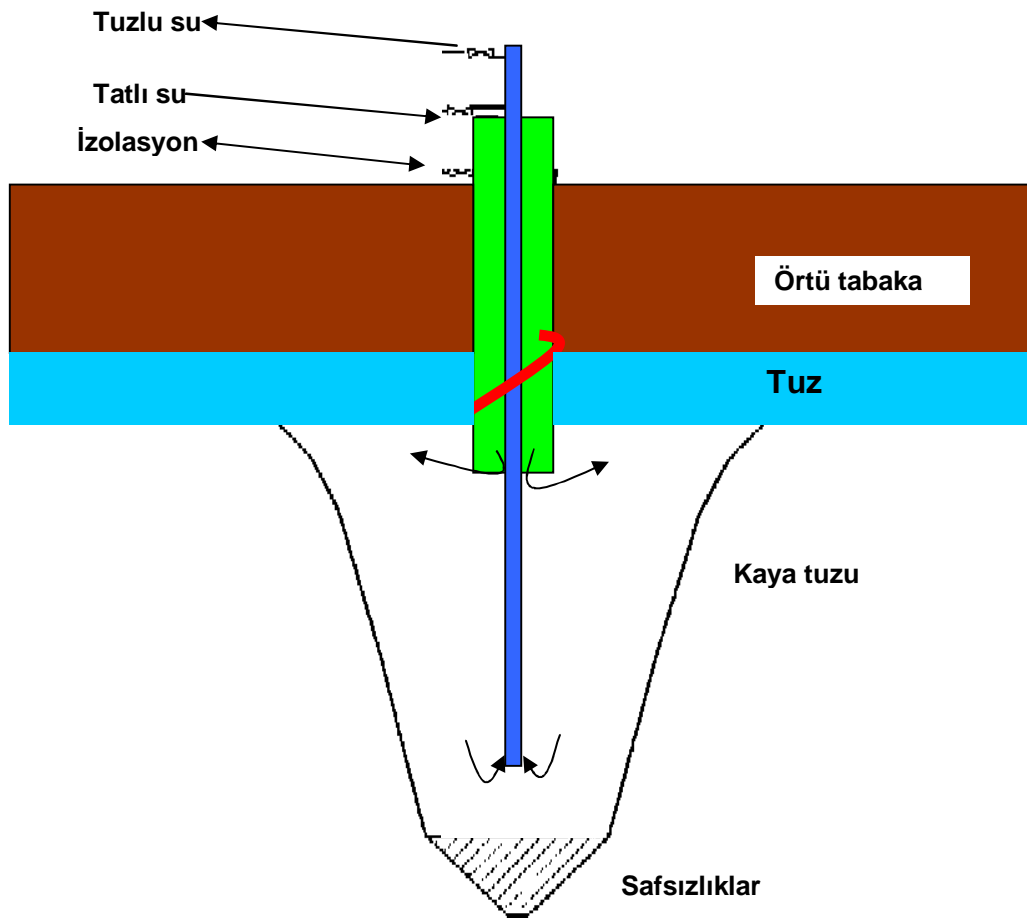


Şekil 3.16. İndirekt sirkülasyon

Ham suyun iç ve dış üretim borusu arasındaki boşluktan verilmesi ve üretilen tuzlu suyun iç üretim borusu içerisinde geri alınması ise ters (indirekt) sirkülasyon olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.15, 3.17). Bu teknolojiye kavernanın dış üretim borusu üstünde kalan kısmı düzenli gelişmektedir. İki üretim borusu dizisinin en alt noktaları arasında kalan kısım ters koni şeklinde gelişmekte olup, alınan tuzlu suyun

konsantrasyonu genellikle yüksektir ve istenilen endüstriyel konsantrasyon seviyesini yakalamak mümkündür.

Sonuç olarak direkt sirkülasyonun avantajı düzenli bir şeklin oluşturulabilmesi, ters sirkülasyonun avantajı ise yüksek konsantrasyon elde edilebilmesidir. Bu avantajların her ikisini birden kullanabilmek için ters sirkülasyon yöntemini ve üretim borusu alt seviyeleri birbirine yakın versiyonu uygulamak gerekmektedir.

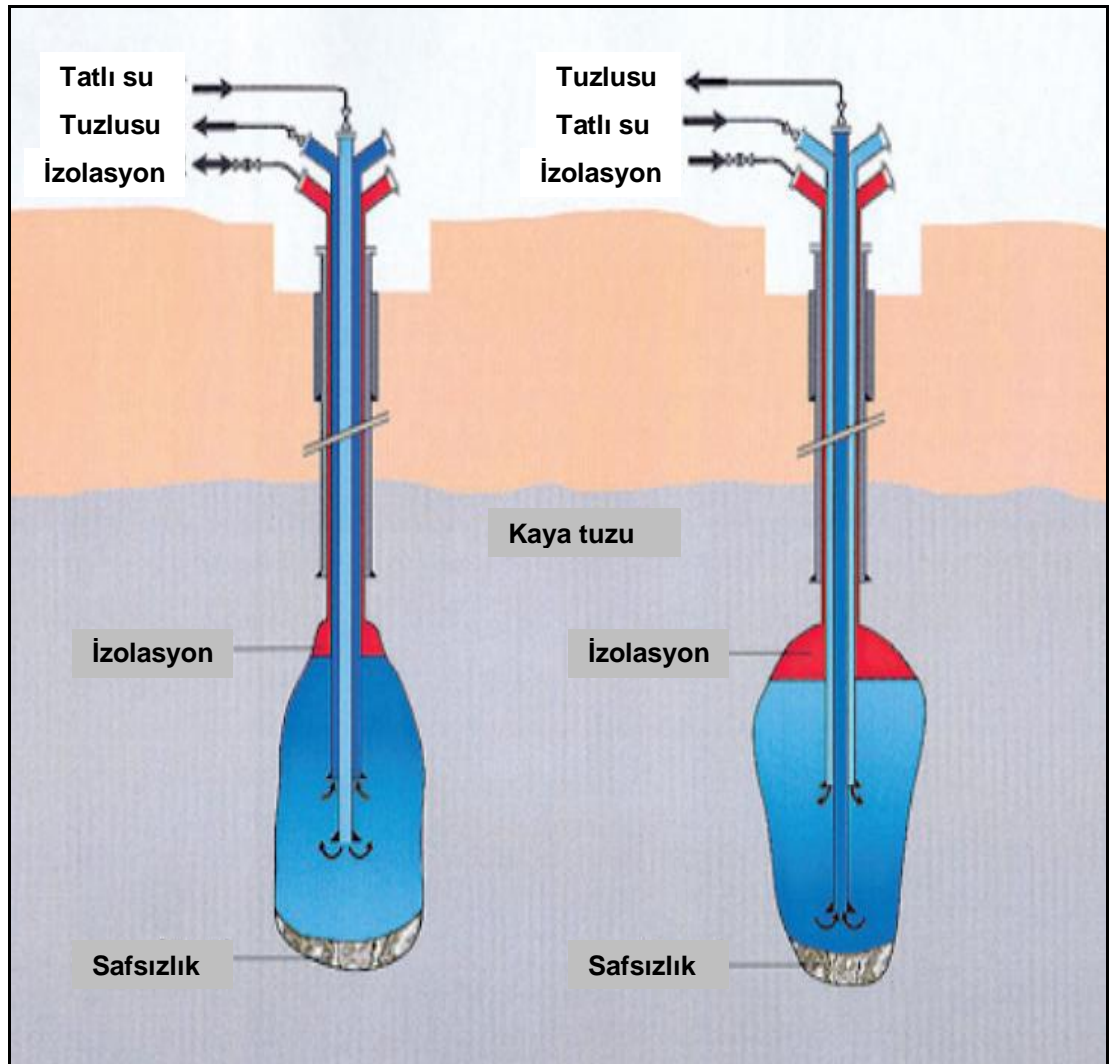


Şekil 3.17. İndirekt (ters) sirkülasyonda üretim boruları arası mesafenin uzun olduğu durum

Üretim borusu alt seviyeleri birbirine yakın versiyon tekniğinde üretim boruları arası mesafe ortalama 15-30m olmalıdır. Bu teknik kavernanın daha önemli olan “üst kaverna” kısmında düzenli bir şeklin ortaya çıkmasına imkan tanımaktadır ve yüksek konsantrasyon alınabilmektedir. Ancak sadece geliştirilmiş kavernalarda

uygulanabilmektedir. Kaverna eritmesinin ilk aşamalarında bu tekniğin uygulanması mümkün değildir. Çünkü kaverna yüksekliği yetersiz kalmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi “klasik ters sirkülasyon” un uygulanması esnasında ham suyun kaverna tavanının hemen altına enjekte edilmesi ve tuzlu suyun eritme bölgesinin tabanında üretilmesi istenmeyen bir ters koni şeklini meydana getirmektedir ve üst kısımlarda tuz kaybına ve topukların erimesine neden olmaktadır (Şekil 3.16). Bu yöntemin uzun süreli uygulanması ancak iki başlangıç kavernasını birleştirmek amaçlı kullanılabilir.



Şekil 3.18. Direkt ve indirekt sirkülasyonlar, izolasyon sıvısı enjeksiyonu (SMRI, 2008)

3.2.3.4. Kaverna Duvarlarının Geliştirilmesi ve Şekillendirilmesi

Eritme işlemi yatay doğrultuda veya dikey doğrultuda olmak üzere iki yönlü olabilmektedir (ve diğer tüm yönlerde de eritme yapılmaktadır). Kaverna tavanından aşağıya doğru eritme günümüzde uygulanmamaktadır. Standart eritme yönteminde kavernanın alt seviyelerinden başlanarak, yukarı seviyelere doğru eritme ile ilerlenmektedir. Kaverna taban seviyesi başlangıç noktası olup, tavana kadar işletim devam ettirilmektedir. Klasik yatay eritme, kavernanın işletilmeye başlandığı ilk aşamada uygulanır. Bu aşamaya “başlangıç kavernası” adı verilir (Thoms, 1993).

Daha alt seviyede bulunan üretim borusu, önceden eritilen seviyenin tavan kısmına indirilmekte ve yeni tavan aynı anda izole edilmektedir. Ancak klasik yatay eritmenin uygulanması esnasında yüksek konsantrasyona sahip tuzlu su elde etmek çok zordur.

Pratikte bir kavernanın işletilmesinde yalnız başına dikey eritme yoktur. Dikey eritmeye en yakın işletme şekli tavan izolasyonu yapılmadan uygulanan eritmedir. Ancak bu durumda da kaverna tavanı tamamen düz gelişecek, zamanla aşağı yönde eğim kazanacaktır.

Kavernanın dikey ve yatay gelişimini sağlayan eritme teknolojilerinin elemanları şu şekilde sıralanabilir:

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

Üretim borularının yukarı çekilmesi, kavernanın bu kısmında istenilen çapa ulaşılmasından dolayı eritme prosesini kavernanın bu bölgesinde durdurmak içindir. Çapın daha fazla genişlemesi istenmeyen bir durumdur. Kavernanın alt bölgesinde sirkülasyon kesilerek eritme prosesi durdurulmuş olur ve tuzlu su doygunlaşır. Kalın tuz yataklarında oluşturulan yüksek kavernalarda eritme işlemi gerçekleştirilmek çok sayıda seviye kullanarak (üretim boruları seviyelerinin değiştirildiği üretim seviyeleri) mümkün olabilmektedir. Hesap edilen her seviyede tavan izolasyonu

uygulanarak yanal gelişme sağlanmakta ve tavan tarafındaki eritme yavaşlatılmaktadır. Öte yandan, kaverna hedef kaverna çapına ulaştığında yanal gelişmeyi durdurmak gerekmektedir. Bu amaçla üretim boruları yukarı bir seviyeye çekilerek, kavernanın alt bölgesinde eritme durdurulmaktadır. Aynı anda kuyunun daha önce izole edildiği üst bölgeden bir miktar izolasyon sıvısı geri çekilerek eritme başlatılarak ve tavanda başka bir seviyede izolasyon yapılmaktadır. Böylelikle yeni bir eritme aşaması için tavan yönünde ilerleme sağlanmaktadır (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007).

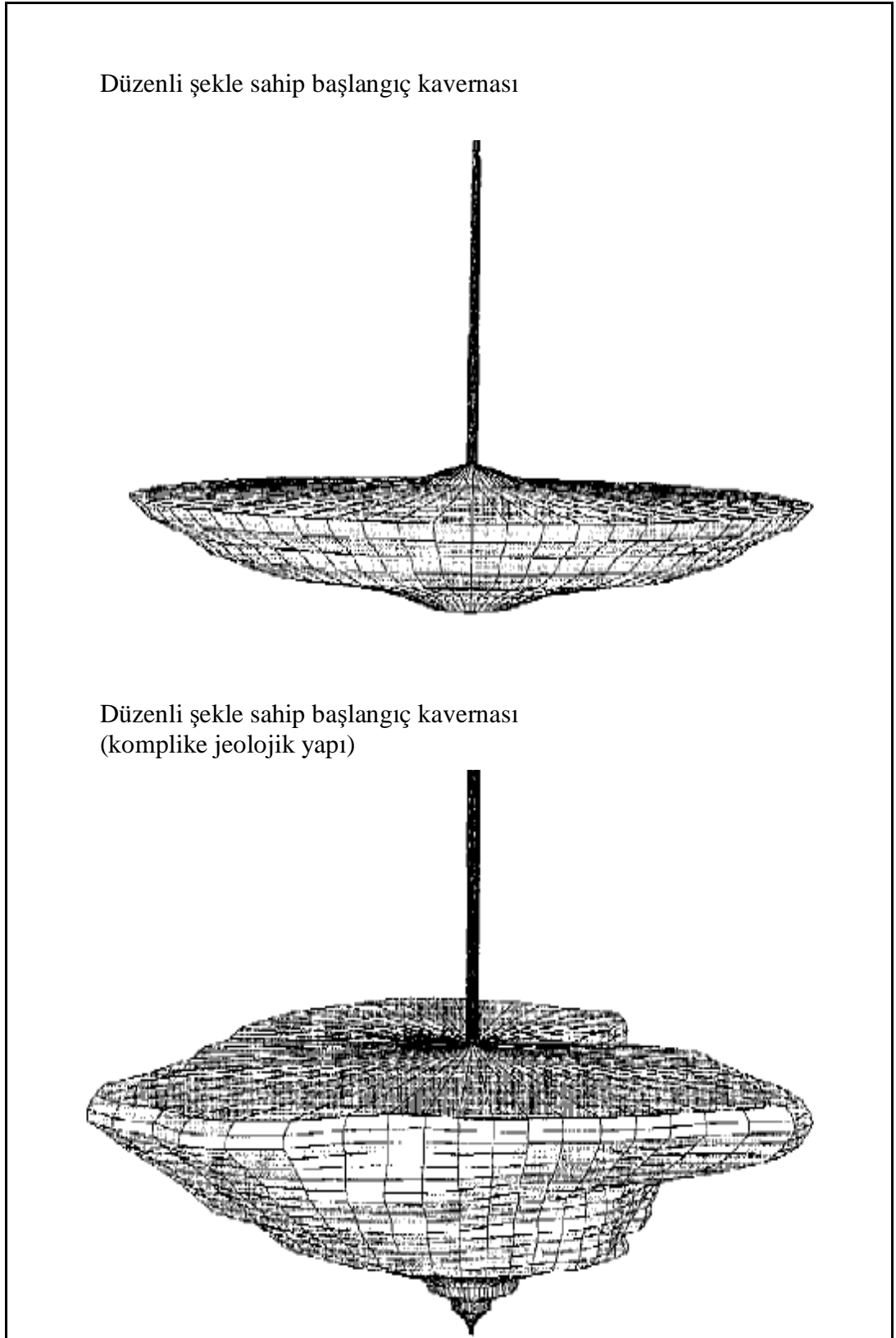
3.2.3.5. Kaverna Gelişimi ve Başlangıç Kavernası

Kavernanın taban kısmında istenilen kuyu delgi çapından istenilen kaverna çapına ulaşmak için yapılan eritme oldukça zor bir işlemdir. Bu işlemin temel problemi eritilen çıplak kuyudan dökülen çözünmeyen partiküllerin kavernanın alt kısımlarını doldurmasıdır ki bu da, bu bölgede eritmenin sağlıklı devam etmesine neden olabilmektedir. Kavernaların taban kısmında ideal gelişimin sağlanması için özellikle yüksek kavernalarda eritme aşamaları kısa aralıklarla ancak uygun çaplarda gerçekleştirilmelidir (Şekil 3.18). Başlangıç kavernasının yüksekliği tuz yatağındaki çözünmeyen maddelerin miktarına bağlıdır. Fazla miktarda çözünmeyen madde, kaverna yüksekliğinin daha düşük olmasına neden olmaktadır .

Ortalama bir tuz yatağında oluşturulan başlangıç kavernasının standart yüksekliği yaklaşık 20m'dir. Başlangıç kavernasının geliştirilmesi esnasında direkt sirkülasyon ile doygun olmayan tuzlu su üretilmekte ve tavanda izolasyon uygulanmaktadır (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007).

Başlangıç kavernasının oluşturulmasında temel amaç, kavernayı taban kısmında uygun çapta genişleterek ideal başlangıç şeklini ve bunun için gerekli parametreleri yakalamaktır. Sonuç olarak ulaşmak istenilen amaçlar şu şekildedir:

- Çözünmeyen maddelerin çökmesi için yeterli hacimde boşluk yaratmak
- Eritmenin ilerleyen aşamalarında yüksek konsantrasyon elde etmek için mümkün olan en geniş yüzey alanını oluşturmak
- Kuyunun taban kısmındaki tuz rezervini kullanmak



Şekil 3.19. Sınırlı yüksekliğe sahip başlangıç kavernası örnekleri (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007)

3.2.3.6. Eritme Teknolojileri

Tuz kavernalarında eritme teknolojisini dizayn ederken hedef alınan temel amaç, ihtiyaç duyulan kaverna boyut ve şekillerini kaya mekaniği hesaplamaları dahilinde yapmaktır. Aşağıdaki parametreler de göz önünde bulundurulmaktadır (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007):

- Eritme masrafları,
- Üretilen tuzlu suyun parametreleri (konsantrasyon, kimyasal kalite),
- Eritme süresi.

Eritme teknolojisinde nihai seçim yapılacağı zaman yukarıda verilen parametrelerin bir orta noktası bulunmalıdır ki genellikle parametrelerin hepsinde aynı anda olumlu sonuç yakalanamamaktadır. Tuz kavernasının standart eritme işlemi süresince teknolojiyi tasarlayan uzmanların kullanabileceği olanaklar oldukça sınırlıdır. Aşağıda, bu sınırlamaların başlıcaları verilmiştir (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007):

- Kaverna için lokasyon ve şekil dizaynı yapılırken jeolojik analiz ve kaya mekaniği hesaplamalarına dayalı olarak kavernanın tavan ve taban pozisyonu ve nihai şekli belirlenmektedir
- Açılan kuyunun çapı, eritme için kullanılacak üretim borularının çap seçiminde belirleyici rol oynar
- Yer üstü eritme tesisleri, pompalar vasıtasıyla eritme çözücüsünün (genellikle tatlı su) sınırlı bir maksimum debide basılmasını sağlar

Eritme süresince yalnızca aşağıdaki parametreleri değiştirmek mümkündür:

- Askıda tutulan üretim borusu dizilerinin alt ucunun indirileceği seviye
- Sirkülasyon yönü
- Eritme debisi
- Tavan izolasyon seviyesi

Çok büyük değişkenlik gösteren eritme teknolojisi ile birlikte günümüz şartlarında, çözelti madenciliği güvenilir standartlara kavuşmuştur. Artık zorunluluk haline gelen bu standartlar aşağıda listelenmiştir (Kuntsman, Poborska, Urbanczyk, 2007):

- Yüzey stabilitesini muhafaza etmek ve oluşturulan kavernaları daha sonra depolama amaçlı kullanabilmek için tuzlu su üretiminde uzun süreli jeomekanik stabilite sağlanması
- Prosesin asıl amacı tuzlu su üretmek veya depolama amaçlı hacimler meydana getirmek olsa da, düzenli bir kaverna şekli meydana getirmek ve en uygun ölçüleri yakalamak hedef alınarak dizayna uygun kaverna geliştirilmesi, böylece kavernaların ihtiyaç duyulması halinde daha sonra yer altı depoları olarak kullanılabilir halde terk edilmesi
- Bu amaca ulaşmak için eritme teknolojisinin en ideal ve hatasız şekilde uygulanması (oluşturulacak kavernanın taban bölgesinde başlangıç kavernasını hazırlamak, tavan izolasyonu yapmak, askıda bulunan üretim borusu dizisini uygun seviyelere indirmek, doğru bir şekilde direkt veya ters sirkülasyonu uygulamak)
- Uygun eritme teknolojisinin bilgisayar simülasyon programları kullanılarak seçilmesi (böylelikle uzmanlar daha rahat çalışabilmekte ve kavernanın gerek dizayn edilmesi aşamasında gerekse eritme prosesinin anlık kontrolü süresince kaverna gelişimi hakkında güvenilir tahminler elde edilmektedir)

Dizayn edilen veya simüle edilen kavernayı teyit etmenin en doğru, gerçekçi ve vazgeçilmez yolu sonar ölçümlerdir. Kaverna içerisindeki bilinmeyen jeolojik problemleri teşhis etmenin de tek yolu sonar ölçümdür. Böyle bir durumda mevcut durumda uygulanıyor olan eritme teknolojisinde hızlı bir değişim uygulanarak problem bertaraf edilebilmektedir. Eritme dizaynı ve bilgisayar simülasyonu modellerinin geliştirilmesine de yardımcı olmaktadır (Saalbach, 1997).

3.2.4. Tuzlu Su Özellikleri

Kaya tuzu sodyum klorürün yanında başka çözünebilir tuzlar da içerebilmektedir. Dolayısıyla eritme prosesi sonucu elde edilen sodyum klorürlü tuzlu su, farklı kimyasal bileşikler de içermektedir. Bu çözünebilir içerik, tuzlu suyun yoğunluğunu ve doygunluk konsantrasyonunu etkilemekte ve sonuç olarak

ayrı tuz yataklarından elde edilen tuzlu suyun farklı fiziksel özelliklere sahip olması kaçınılmazdır. Tuzlu su konsantrasyonu ve eritme parametresi (eritilebilirlik oranı) üzerindeki etkinin belirlenebilmesi için, eritme prosesi öncesinde yapılan madencilik-jeolojik araştırma esnasında tuz yatağından alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenmelidir (Kuntsman, Slizowski, 1990).

3.2.4.1. Sodyum Klorürün Su İçerisindeki Çözünürlüğü

Tüm eritme prosesi süresince sodyum klorürün tatlı su içerisindeki çözünürlüğü en önemli eritme parametreleri arasında yer almaktadır. Tuzdan kopan moleküller su içerisine karışarak tuzlu suyu meydana getirmekte ve bu süreç eritme işlemi boyunca devam etmektedir. Ancak çözelti denge seviyesine geldikten sonra çözünme durmakta ve bu olaya da doygunluk adı verilmektedir. Tuzun suda çözünürlüğü veya doygunluk konsantrasyonu kavramları da kullanılmaktadır ve belirli koşullar altında birim hacimdeki suda çözünebilen maksimum tuz olarak da tanımlanmaktadır.

Bir çözelti, söz konusu çözünürlükten daha az tuz içeriyorsa yarı doygun çözelti olarak adlandırılmaktadır. Farklı bir sıcaklık altında çözünürlüğün müsaade ettiği sınırın da üzerinde konsantrasyonun elde edildiği çözeltiler de mevcuttur; aşırı doygun çözelti olarak isimlendirilmektedir. Çözelti madenciliğinde belirli fiziksel (basınç, sıcaklık vs.) ve kimyasal şartlar altında doygunluk konsantrasyonu belli bir sınırın üzerine çıkamamaktadır, dolayısıyla daha fazla tuzun çözünmesi de mümkün değildir. Ancak sıcaklığın düşmesi gibi bir fiziksel değişiklik olması durumunda aşırı doygun çözelti oluşabilmekte ve ardından tuz kristallenmeleri gelişerek çökeltme meydana gelebilmektedir.

Sıcaklık ve basınçtaki artış çözünürlüğü olumlu yönde etkilemekte ve sodyum klorürün su içinde çözünme miktarını da artırmaktadır. Basınca bağlı çözünürlük, sıcaklıktan farklı olarak doğrusaldır; basınçtaki 10^5 Pa'lık (1 bar) artış, çözünürlüğü $7,5 \cdot 10^{-4}$ oranında arttırmaktadır. (Lorenz, Haas, Clynne, Potter, Schafer, 1981).

Çizelge 3.2. Sodyum klorürün sıcaklığa bağlı çözünürlüğü (Lorenz, Haas, Clynne, Potter, Schafer, 1981).

Sıcaklık, °C	Saf tuz kütlesi oranı %	Mogilno Tuz Domunda çözünmeyen maddelerin minimum kütle yüzdesi %
0	25,99	26,439
5	26,05	26,465
10	26,11	26,504
15	26,18	26,55
20	26,24	26,616
25	26,32	26,684
30	26,40	26,765
35	26,48	26,852
40	26,57	26,946
45	26,66	27,046
50	26,76	27,153
55	26,86	27,265
60	26,97	27,382
65	27,08	27,501
70	27,19	27,623

Laboratuvar ortamında yapılan eritme testlerinin büyük bir çoğunluğu 20 °C sıcaklıkta yapılmaktadır. Bu sıcaklık altında saf NaCl içeren doymun tuzlu su aşağıdaki parametreleri göstermektedir (Lorenz, Haas, Clynne, Potter, Schafer, 1981):

- yoğunluk 1,2001 ton/m³
- kütle yüzdesi %26,24 tuz
- metre küp başına kilogram tuz 314,9 kg/m³

3.2.4.2. Tuzlu Suyun Yoğunluğu

Tuzlu su yoğunluğu – d – birim hacimdeki tuzlu suyun kütlesidir.

$$d = \frac{M_b}{V_b} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3.1)$$

M_b : tuzlu suyun kütlesi, [kg]

V_b : tuzlu suyun hacmi, [m³]

– d – şunlara bağlıdır (Lorenz, Haas, Clynne, Potter, Schafer, 1981):

- Tuzlu su içerisinde çözülmüş tuz (sodyum klorür) miktarı
- Sıcaklık (sıcaklığın artışı ile birlikte termal genişmeden dolayı tuzlu su yoğunluğu azalmaktadır)
- Basınç (basıncın artışı ile birlikte sıkışmadan dolayı tuzlu su yoğunluğu artmaktadır)
- Diğer çözünebilir tuzların içerik ve çeşitleri (potasyum ve magnezyum tuzları, kalsiyum sülfatlar)

Tuzlu su yoğunluğunu etkileyen bir başka fiziksel olay da, tuzun eritme işlemi süresince meydana gelen büzülmedir. Büzülme gerek kaya tuzunun suda çözünmesi gerekse farklı konsantrasyonlara sahip tuzlu suların birbirine karışması esnasında meydana gelebilmektedir. Bu olay, üretilen tuzlu su hacminin eritmede kullanılan tatlı su ve tuzun hacminden daha az olmasından ileri gelmektedir. Büzülmeyi özetlemek gerekirse: Çözünen kaya tuzu hacmi + enjekte edilen tatlı su hacmi > üretilen tuzlu su hacmi (Lorenz, Haas, Clynne, Potter, Schafer, 1981).

Hacimler arasında oluşan bu fark yüzdeye vurulduğunda birkaç puan olarak hesap edilmiştir, ancak konsantrasyona bağımlı olarak büzülme miktarında artış gözlenmektedir. O halde, tuzlu su içerisindeki tuz miktarını konsantrasyon üzerinden basit bir aritmetik hesaplamayla elde etmek mümkün gözükmemektedir.

Tuzlu su içerisinde çözünen tuzun yoğunluğu – d_s – çözelti içerisindeki tuzun kapladığı birim hacimdeki tuz kütlesidir.

$$d_s = \frac{M_s}{V_s} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3.2)$$

$$V_s = V_b - V_w \text{ [m}^3\text{]} \quad (3.3)$$

M_s : tuzlu su hacmi içerisinde çözünen tuzlu suyun kütlesi, [kg]

V_s : tuzun çözelti içerisinde kapladığı hacim, [m³]

V_b : tuzlu suyun hacmi [m³]

V_w : tuzlu su içerisindeki tatlı su hacmi [m³]

3.2.4.3. Tuzlu Su Konsantrasyonu

Çözelti madenciliğinde en önemli parametrelerden biri, üretilen tuzlu su içerisindeki tuz içeriğidir. Birim hacim çözelti içerisinde çözünen tuz miktarına konsantrasyon denir. Kavernadan alınan tuzun miktarı ve oluşturulan kaverna hacmi konsantrasyon ve debiye göre hesap edilir. Tuzlu su üreticileri tuzlu su endüstriyel konsantrasyonunun 310 kg/m³ olmasına ihtiyaç duymaktadırlar.

Tuzlu su konsantrasyonunu belirlemek için birkaç metot kullanılmaktadır. Başlıca kullanılan yöntem aşağıda verilmiştir:

Kütle-Hacim Konsantrasyonu – C – birim hacim tuzlu su içerisinde çözünen tuz miktarıdır. Tuzlu su konsantrasyonuna tuzlu suyun kilogramajı da denir.

$$C = \frac{M_s}{V_b} \text{ kg/m}^3 \quad (3.4)$$

V_b : tuzlu suyun hacmi, [m³]

M_s : tuzlu su hacmi içerisinde çözünen tuzlu suyun kütlesi, [kg]

C_s : doygun tuzlu su kütle-hacim konsantrasyonu, [kg/m³]

Kütle-Hacim Konsantrasyonu, çözelti madenciliğine ışık tutan fizik kanunları çerçevesinde uygulanmaktadır. Bu konsantrasyon metodunu kullanmanın yarattığı dezavantaj, termal genişmeden dolayı aynı tuzlu suyun farklı sıcaklıklar altında farklı konsantrasyon değerleri vermesidir.

Kütle-Yüzde Konsantrasyonu – C_p – toplam tuzlu su kütlesine oranla yüzde olarak hesap edilen çözünen tuz miktarıdır. Bu konsantrasyona tuzlu suyun yüzdesi de denir.

$$C_p = \frac{M_s}{M_b} \times 100\% \quad [\text{kg/m}^3 \times 100\%] \quad (3.5)$$

M_s : tuzlu su hacmi içerisinde çözünen tuzlu suyun kütlesi, [kg]

M_b : tuzlu suyun kütlesi, [kg]

Kütle-Yüzde Konsantrasyonu birimlere ihtiyaç duyulmadan ve sıcaklığa bağımlı kalınmaksızın hesap edilebildiğinden daha çok kimyada kullanılan bir yöntemdir. Öte yandan günümüzde doygunluk yüzdesinin tuzlu su konsantrasyonunu ifade etmek için kullanıldığına da rastlanmaktadır. Bu hatanın yapılmaması için doygunluk yüzdesinin tuzlu su yüzdesi ile karıştırılmaması gerekmektedir (Lorenz, Haas, Clynne, Potter, Schafer, 1981).

3.2.4.4. Tuzlu Su Yoğunluğu ve Konsantrasyonu Arasındaki İlişki

Yoğunluk ve konsantrasyon arasındaki fiziksel ve matematiksel temel bağıntılar aşağıda verilmiştir. Bu bağıntılar kullanılarak eritme sahasında ölçülen değerler üzerinde hesaplamalar yapılabilmekte ve yeni formüller geliştirilip, tablolar hazırlanabilmektedir. Bağıntılar bilgisayar destekli hale getirilebilmekte olup teknik raporlarda ve kaverna eritme simülasyonlarında kullanılabilmektedir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

$$C = 0,01.d.C_p \quad (3.6)$$

$$C = d_s \cdot \frac{d - d_w}{d_s - d_w} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3.7)$$

$$d = d_w + C \cdot \left(1 - d_w / d_s\right) \quad (3.8)$$

$$d_s = \frac{d_w}{1 - \frac{100}{C_p} \left(1 - d_w / d\right)} \quad (3.9)$$

d_w : Saf su yoğunluğu

Tatlı suyun yoğunluğu kaba hesaplamalarla 1000 kg/m^3 olarak kabul edilmiştir; ancak reel değeri suyun sıcaklığına bağlıdır ve şu formülle hesaplanır:

$$d_w(T) = 0,9998975 + 0,512426 \cdot 10^{-4}T - 0,640533 \cdot 10^{-5}T^2 \quad (3.10)$$

T : Santigrat derece biriminde sıcaklık

Yoğunluk ve konsantrasyon formüllerinde kullanılan V_b çözelti hacmi büzülmeye bağlıdır ve büzülmenin konsantrasyonla doğrudan bir ilişkisi yoktur. (d_s değişkendir ve tuzlu su konsantrasyonuna göre değişkenlik gösterir). Bu durumda, tuzlu suyun yoğunluğu baz alınarak konsantrasyonunun hesap edilmesi mümkün olmamaktadır. Pratikte, ölçümlenmelerle ilgili bilgisayar hesaplamalarına ve tablolarına polinomsal yaklaşım uygulanmıştır. Örneğin Mogilno tuz domu için bilgisayar tarafından laboratuvar ölçümleri baz alınarak aşağıdaki polinomsal yaklaşım hesap edilmiştir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997). Hesaplamalar üzerinde çalışılmamış olup, örnek olarak verilmiştir:

$$C_s(T) = 318,58 + 0,111T - 2,96 \cdot 10^{-3}T^2 + 5,16 \cdot 10^{-5}T^3 \quad (3.11)$$

$$d_s(C, T) = \sum_{0 \leq i+k \leq 3} a_{ik} C^i T^k \quad (3.12)$$

$$C(d, T) = \sum_{0 \leq i+k \leq 3} b_{ik} d^i T^k \quad (3.13)$$

$a_{00} = 3,9291212$	$a_{02} = -0,96382811 \cdot 10^{-4}$
$a_{10} = -0,87682093 \cdot 10^{-2}$	$a_{30} = -0,70179151 \cdot 10^{-7}$
$a_{01} = -0,021390119$	$a_{21} = 0,30431067 \cdot 10^{-6}$
$a_{20} = 0,35384176 \cdot 10^{-4}$	$a_{12} = -0,28075684 \cdot 10^{-5}$
$a_{11} = 0,68998896 \cdot 10^{-4}$	$a_{03} = 0,86717954 \cdot 10^{-5}$
$b_{00} = 797,37113$	$b_{02} = 0,038055438$
$b_{10} = -4100,9795$	$b_{30} = -1138,5088$
$b_{01} = -5,8978208$	$b_{21} = -2,6201017$
$b_{20} = 4443,0135$	$b_{12} = -0,020216328$
$b_{11} = 8,2860204$	$b_{03} = -0,13070651 \cdot 10^{-3}$

- C : tuzlu suyun kütle-hacim konsantrasyonu
 C_s : doymuş tuzlu suyun kütle-hacim konsantrasyonu, [kg/m³]
 d_s : tuzlu su hacmi içerisinde çözünen tuzlu suyun yoğunluğu, [kg/m³]
 T : Santigrat derece biriminde sıcaklık

Yukarıda verilen formüller bilgisayar programlarına aktarılmaktadır. Pratikte yapılan hesaplamalarda tuzlu su tabloları kullanılmaktadır. Çizelgelerde, belli sıcaklardaki (Çizelge 3.2, 3.3) farklı tuzlu su yoğunlukları için hesaplanmış konsantrasyonlar yer almaktadır.

3.2.4.5. Tuzlu Su İçerisindeki Tuz İçeriğinin Belirlenmesi

Tuzlu su içerisinde tuzun ve diğer bileşenlerin kesin varlığı ancak kimyasal analizle belirlenebilmektedir. Özellikle Na⁺ iyonları olmak üzere konsantrasyonun direkt ve hızlı bir şekilde ölçülmesi oldukça zordur. Tuzlu suyun yoğunluğunu ölçmek (aerometre veya piknometre kullanarak), doğrudan konsantrasyon ölçmekten çok daha kolaydır. Dolayısıyla eritmenin sahadaki uygulamalarında tuzlu su konsantrasyonu, yoğunluğu baz alınarak belirlenmektedir. Ölçülen tuzlu su yoğunluğu sıcaklık ve bir önceki bölümde sözü geçen tablolar hesaba katılarak konsantrasyona çevrilmektedir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Tuzlu su yoğunluğu, yoğunluk birimlerinde kalibre edilmiş aerometre ile ölçülmelidir. Bu tip aerometreleri gıda endüstrisi için tasarlanmış ve doğrudan konsantrasyon birimlerinde kalibre edilmiş halde, tuzlusumetre adı altında bulmak da mümkündür. Gösterge ölçekleri belirli sıcaklık değerleri için geçerlidir ve dahili termometre ile üretilen termotuzlusumetre adı altında satılan modelleri de mevcuttur. Madencilik uygulamalarında tuzlusumetrelerle yapılan ölçümler doğru sonuç vermeyebilmektedirler ve pratik değildir. Çünkü tuzlusumetreler saf sodyum klorür çözeltileri için ölçeklendirilirken, ölçüm esnasında çok farklı tuzlusu kompozisyonları ile karşılaşılmaktadır (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Aşağıda, tuzlu suyun yoğunluk ve sıcaklığına bağımlı olarak hesap edilen tuzlu su içerisindeki tuz içeriğinin kütlece yüzdesi (Çizelge 3.3) ve yine tuzlu suyun

yoğunluk ve sıcaklığına bağımlı olarak hesap edilen tuzlu su içerisindeki tuz içeriğinin kg/m^3 (g/l) birimindeki konsantrasyon değerleri (Çizelge 3.4) verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tuzlu su içerisinde tuz içeriği (kütle yüzdesi, tuzlu suyun yoğunluk ve sıcaklığına bağımlı olarak) (Kuntsman, Urbanczyk, 1997)

Yoğunluk, ton/m^3	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
1,00	0,02	0,24	0,65	1,18	1,75
1,01	1,41	1,65	2,08	2,61	3,20
1,02	2,80	3,06	3,50	4,05	4,64
1,03	4,18	4,45	4,91	5,47	6,06
1,04	5,55	5,84	6,31	6,88	7,47
1,05	6,91	7,22	7,70	8,27	8,87
1,06	8,25	8,58	9,07	9,66	10,26
1,07	9,59	9,93	10,44	11,03	11,64
1,08	10,92	11,28	11,79	12,39	13,00
1,09	12,23	12,61	13,13	13,74	14,35
1,10	13,54	13,93	14,46	15,07	15,68
1,11	14,83	15,23	15,78	16,39	17,00
1,12	16,11	16,53	17,08	17,70	18,31
1,13	17,38	17,81	18,37	18,99	19,60
1,14	18,64	19,08	19,64	20,27	20,88
1,15	19,88	20,33	20,90	21,53	22,14
1,16	21,11	21,57	22,15	22,78	23,39
1,17	22,33	22,80	23,38	24,01	24,62
1,18	23,53	24,01	24,60	25,23	25,83
1,19	24,72	25,21	25,80	26,44	27,03
1,20	25,89	26,39	-	-	-

Çizelge 3.4. Tuzlu su içerisinde tuz içeriği (kg/m^3 , tuzlu suyun yoğunluk ve sıcaklığına bağımlı olarak) (Kuntsman, Urbanczyk, 1997)

Yoğunluk ton/m^3	10 °C	10 °C	10 °C	10 °C	10 °C
1,00	0,19	2,39	6,49	11,77	17,52
1,01	14,29	16,70	21,00	26,44	32,32
1,02	28,57	31,20	35,69	41,29	47,28
1,03	43,04	45,89	50,56	56,32	62,42
1,04	57,69	60,74	65,60	71,51	77,72
1,05	72,50	75,77	80,80	86,86	93,17
1,06	87,48	90,95	96,17	102,36	108,77
1,07	102,62	106,29	111,68	118,01	124,51
1,08	117,91	121,78	127,34	133,80	140,39
1,09	133,35	137,42	143,13	149,72	156,39
1,10	148,92	153,18	159,06	165,77	172,51
1,11	164,63	169,08	175,11	181,93	188,75
1,12	180,46	185,09	191,28	198,21	205,08
1,13	196,41	201,22	207,55	214,59	221,52
1,14	212,47	217,46	223,93	231,06	238,04
1,15	228,63	233,79	240,40	247,62	254,64
1,16	244,89	250,22	256,95	264,26	271,31
1,17	261,24	266,73	273,59	280,98	288,05
1,18	277,67	283,31	290,29	297,75	304,84
1,19	294,17	299,97	307,05	314,58	321,68
1,20	310,73	316,68	-	-	-

3.2.4.6. Tuzlu Su İçin Endüstriyel Standartlar

Daha önce de aktarıldığı gibi kavernadan üretilen tuzlu su sodyum klorürün yanında, başka çözünebilen tuzlar ve diğer kimyasal bileşikleri de içermektedir. Bu kimyasal bileşiklerin bazıları tuzlu suyun daha sonra gireceği prosesler açısından istenmemektedirler (örneğin soda fabrikalarında) ve eğer miktarları fazla ise tuzlu su prosese girmeden önce ön işlemden geçmek zorundadırlar.

3.2.5. Eritme Prosesi

Çözelti madenciliği uzun yıllardır biliniyor olmasına rağmen, eritme prosesi ile ilgili simülasyon programlarının yazılmasıyla birlikte eritme prosesi ve tuzlu su özellikleriyle ilgili kesin matematiksel ve fiziksel verilere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Eritme prosesi, içeriğinde çözünen ve çözünmeyen maddeler bulunan heterojen yapıda ve katı haldeki bir kaya tuzunun yüzeyden çözündürülmesi olarak özetlenebilmektedir. Çözünebilen kısım çözelti içerisine karışırken, çözünmeyenler ise kayaç içerisinden ayrılarak bir kısmı kaverna tabanında çökelmekte, bir kısmı ise çözelti içerisinde askıda kalmaktadır. Uygulanan eritme prosesi süresince meydana gelen temel fiziksel şöyledir:

- Tuz mineralinin, kaya tuzundan kopup çözeltiye karışması (çözünmesi): Çözünme süresince kaverna duvarı ilerler, bu ilerleme kaverna duvarının eğimine ve tuzlu su konsantrasyonuna bağlıdır
- Tuzlu suyun kaverna duvarından kavernanın daha derin kısmına doğru hareket etmesi: Bu olay kaverna içerisindeki akımla birlikte gerçekleşen türbülansın sağladığı moleküler yayılma sonucu gerçekleşir
- Tatlı su enjeksiyonu ve tuzlu su üretimi sonucu (Kaverna içerisindeki konveksiyon ve değişken konsantrasyon dağılımı ile ilgili türbülans kaynaklanan tuzlu su üretimi) meydana gelen kaverna içerisindeki akım
- Çözünmeyen maddelerin yıkanması, koparak kaverna dibine çökmesi

Eritme prosesinin tam tanımı, hareketli olan kaverna duvarı üzerindeki koşullara göre hazırlanmış birçok diferansiyel denklemlerle izah edilebilir. Ancak tuzun suda çözünmesi gibi sıradan bir olayın bu kadar karmaşık bir fiziksel-matematiksel yöntemle açıklanması oldukça zor olduğundan kullanılmamaktadır (Kuntsman, Mazur, 2000).

3.2.6. Çözünen İçeriği ve Konsantrasyon Dağılımı

Kaya tuzunun çözünmesi olayı oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Olayı ikiye ayıracak olursak (Kuntsman, Mazur,2000):

- Tuzun (tuzlu suyun) kaya tuzunun kristal yapısından koparak su molekülleri içerisine iyonlar halinde çözünmesi
- Kopan iyonların yayılma yoluyla çözelti içerisinde daha derinlere inmesi

Tuzun kristal yapısı çözünme prosesiyle bozulmaktadır. Çözünme prosesi, elektrostatik çekim gücü sayesinde kristal içerisindeki iyonik bağlarla su moleküllerinin (su dipolleri) termal ve elektrostatik etkileşimi sonucu elektrolitik çözünme yoluyla gerçekleşmektedir. Tuzdan kopan iyonlar difüzyon yoluyla çözeltiye karışmaktadır. Difüzyon, çözünen maddenin iyonlarının çözelti içerisindeki termal moleküler (moleküler difüzyon) çalkalanmaları veya lokal akıntı ve girdap oluşumları (türbülanslı difüzyon) sonucu yayılmasıyla gerçekleşmektedir.

Kaverna içerisinde tuzun yayılması süreci eritme için çok büyük öneme sahiptir. Sonuç olarak, tuzlu su konsantrasyonuna ait karakteristik dağılımı kaverna içerisinde meydana gelir ki bu da eritme debisini direkt olarak etkilemektedir.

Eritme esnasında üretim borusunun indirildiği seviyelere göre kavernayı üç ayrı bölgeye ayırmak mümkündür (Kuntsman, Mazur, 2000):

1) Alt üretim borusu ayağının hemen altında durgun bölge yer almaktadır. Tatlı su bu bölgeye girmemekte ve tuzlu su bu kısımda giderek doymunlaşmaktadır. Bu bölgedeki yüksek konsantrasyondan dolayı kaverna duvarlarındaki erime çok azdır veya hiç yoktur. Çözünmeyen maddelerin kaverna tabanına çökmesi bu bölgedeki tuzlu suyun yukarıya doğru çok yavaş bir şekilde hareket etmesini sağlamaktadır. Kavernanın alt kısmı sıcaklığın en yüksek olduğu bölgedir, çünkü

buradaki tuzlu su kavernaya enjekte edilen soğuk tatlı su ile karışmamaktadır, ancak çevreleyen tuz katmanınca ısıtılmaktadır.

2) Üretim borusu ayakları arasında kalan yer çekimine bağlı ayırım bölgesi sadece ters sirkülasyon esnasında oluşmaktadır. Tuz bu bölgede katmanlaşmaktadır: Düşük konsantrasyon enjeksiyonun yapıldığı seviyede (su girişi), en yüksek konsantrasyon ise üretim seviyesindedir (tuzlu su çıkışı). Enjekte edilen su direkt olarak bu noktaya girmemekte, üst kısımda karışma bölgesi dediğimiz yerde tuzlu su ile karışmaktadır. Tuzlu su tabakaları üretim seviyesine doğru itilir ve bu esnada çıkış konsantrasyonuna doğru giderek doygunlaşma gözlenir. Bu bölgedeki konsantrasyon değişkenlik gösterdikçe su giriş seviyesinde eritme hızlanmakta ve üretim seviyesinde yavaşlamaktadır. Sonuç olarak da kaverna duvar açısı bu bölgede azalmaktadır.

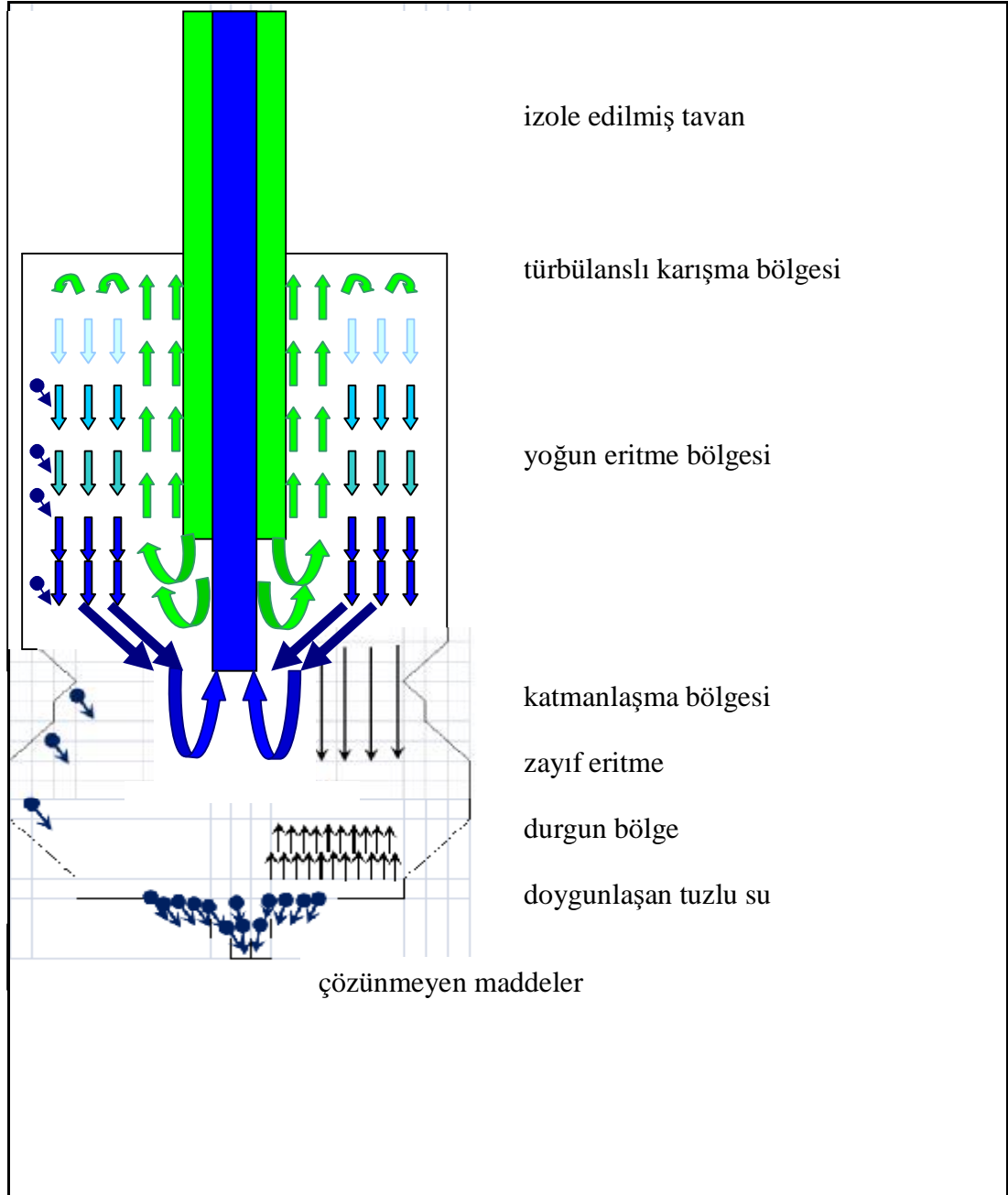
3) Su enjeksiyon seviyesinin üzerinde karışma bölgesi bulunmaktadır. Enjekte edilen su yukarıya doğru hareket etmekte ve bu bölgeyi tuzlu su ile karışarak doldurmaktadır. Karışma güçlü ve hızlı bir şekilde gerçekleşip bu bölgedeki kararlı konsantrasyonu meydana getirmektedir. Tüm kavernanın en düşük konsantrasyonu bu bölgede meydana gelmektedir. Kararlı karışımın gerçekleştiği sıcaklık ölçümleriyle de teyit edilir ki bu bölgede ölçülen sıcaklık değerleri de kararlıdır ve kavernanın en düşük sıcaklık değerine sahiptir (Şekil 3.20). Tuz katmanı homojen yapıya sahipse kararlı konsantrasyon sayesinde bu bölgedeki kaverna duvarları da kararlı şekilde eritilir ve eğim açıları değişmez (Şekil 3.19).

Kaverna içerisindeki hidrodinamik olay eritme prosesi açısından büyük öneme sahiptir, küçük bir değişiklik konsantrasyon dağılımını etkilemektedir. Kavernada hareket eden tuzlu su içerisinde iki önemli bileşen vardır. Birincisi aşağıdaki faktörlerce meydana gelen akıntıdır (Kuntsman, Urbanczyk, 1997):

- Tatlı su enjeksiyonu ve tuzlu su üretimi
- Tuzun çözünmesine bağlı hacimsel büzülme
- Çözünmeyen maddelerin kaverna tabanına çökmesi ve aynı anda tuzlu suyun yukarıya doğru hafif hareket etmesi.

İkinci ve daha önemli etken ise gravitasyonel kuvvetlerin kaverna içerisindeki hidrodinamik koşulları değiştirmesi, yönlendirmesidir. Konsantrasyon dağılımı her

zaman dikey doğrultuda ve aşağı yönde artma eğilimindedir. Bu konsantrasyon dağılımını başka yöne kaydıracak bir etken söz konusu olduğunda güçlü bir türbülans doğmaktadır ve eritme zonunda hızlı bir tuzlu su karışımı meydana gelerek ortalama bir konsantrasyon oluşmaktadır.



Şekil 3.20. Ters sirkülasyon uygulanarak yapılan eritme süresince kaverna içindeki durum

3.2.7. Termal Etkiler

Eritilen kaverna bölgesindeki tuz yatağının orijinal sıcaklığı çok önemlidir ve sığ kavernalarda yaklaşık 30°C'den başlayıp ve derinlere inildikçe 70°C'ye kadar çıkmaktadır. Tuz domlarında kaya tuzunun termal iletkenliği oldukça fazladır ve bu durum da kaya tuzunun aynı derinliklerde kendisini çevreleyen diğer sedimanter kayalardan daha sıcak olmasına neden olmaktadır (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

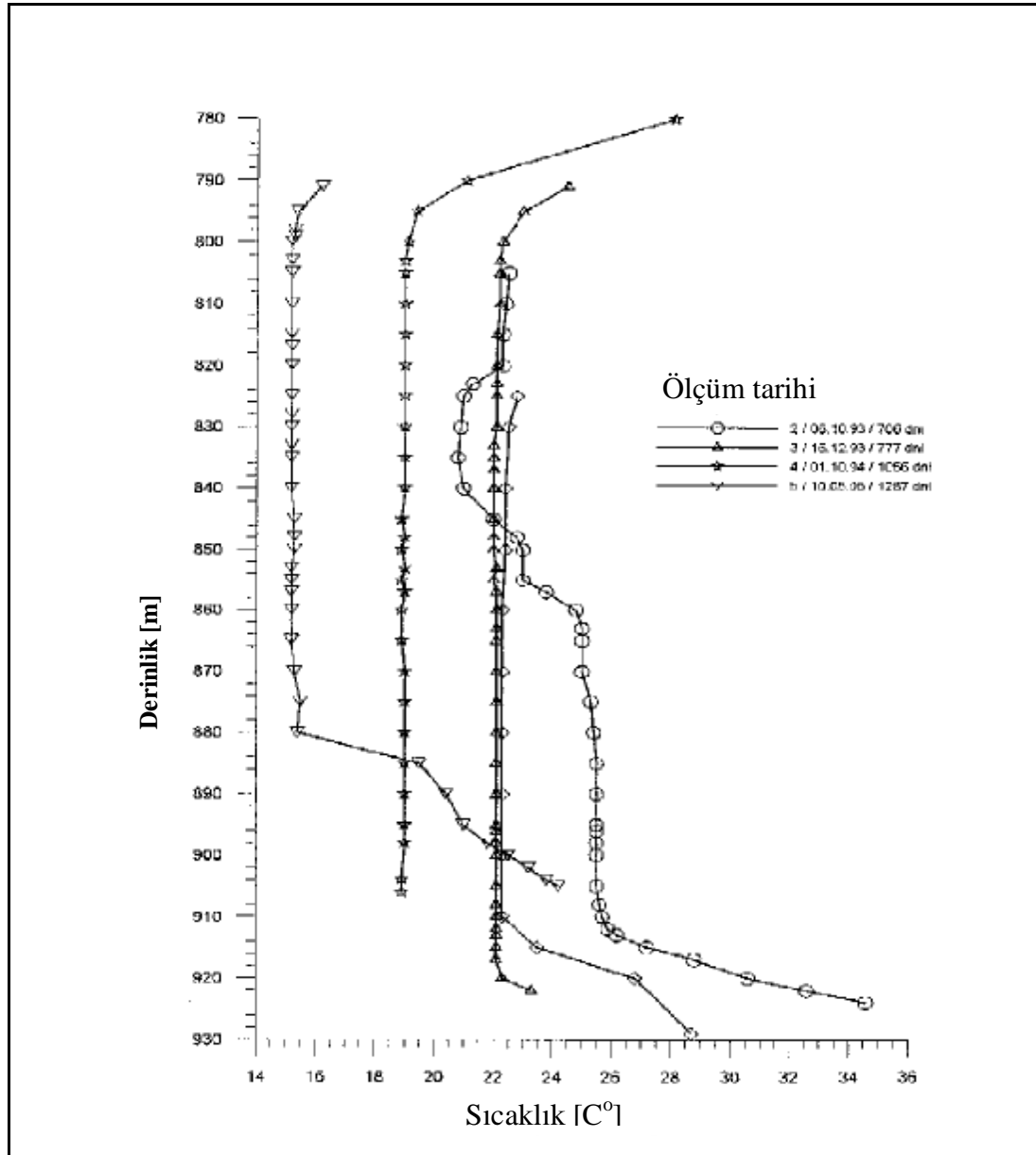
Kavernanın eritilmesi süresince kavermaya enjekte edilen tatlı suyun sıcaklığı da doğal olarak kaya tuzunun sıcaklığına göre daha düşük kalarak, kuyu içerisinde ısı alışverişi gerçekleşmesine rağmen bu durum devam etmektedir. Isı alışverişi sonucunda dahi tatlı suyun sıcaklığı nispeten düşüktür. Tuzun çözünme prosesi ısı emen, bir başka deyişle endotermik bir olaydır. Kaverna içerisindeki tuzlu su ile onu çevreleyen tuz yatağı arasında da ısı alışverişi meydana gelmektedir. Sonuç olarak tuzlu su ısınır ve tuz yatağı soğur (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Kavernaya kışın enjekte edilen tatlı su ise sıcak aylara oranla düşük sıcaklık değerlerine sahiptir. Bunun sonucunda ise kavernayı çevreleyen tuz yatağı daha fazla soğumaya maruz kalmaktadır (Şekil 3.20, 2-3-4-5 eğrileri). Böylelikle üretilen tuzlu suyun sıcaklığı mevsimsel olarak çok az miktarda da olsa değişiklik gösterir (Şekil 3.20, 1-2-3 eğrileri). Kaverna içerisinde meydana gelen farklı sıcaklıktaki tuzlu su bölgeleri ancak tuz yatağı tarafından ısıtıldığı takdirde veya kış şartlarında karışabilmektedir. Kavernanın üst kısmında ise yarı doymuş ve düşük sıcaklıktaki tuzlu su, kavernanın daha alt kısımlarında yer alan daha sıcak ve doymuş veya daha yüksek konsantrasyonlu tuzlu su ile karışmaktadır (Şekil 3.20, 4-5 eğrileri). Bu etkiler alınan sonar ölçümlerle birlikte sıcaklık logları sayesinde açığa çıkarılabilmektedir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

3.2.8. Çözünmeyen Madde İçeriği

Kaya tuzu, yapısında belirli miktarlarda çözünmeyen maddeler barındırmaktadır. Bunların en sık görülenleri anhidrit kırıntıları, farklı kalınlıklarda anhidrit tabakaları, kil ve jipstir. En saf kaya tuzu tabakaları %1 ila %3 arasında

değişen oranlarda çözünmeyen madde içermektedir, ancak eritilen kavernalarda %30 hatta bazen daha da yüksek oranlarda çözünmeyen madde yüzdesi görülebilmektedir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).



Şekil 3.21. Eritme süresince kaverna içerisindeki tuzlu su sıcaklığındaki değişiklikler (Kuntsman, Urbanczyk, 1997)

Eritme süresince çözünmeyen maddeler tabakadan ayrılarak kaverna tabanı üzerine düşmektedirler. En küçük boyuttaki partiküller tuzlu su içerisinde askıda

kalmakta ve tuzlu su ile birlikte yeryüzüne taşınmaktadırlar. Daha büyük boyuttaki partiküller ise gevşeyerek taban üzerine konumlanarak maddenin gevşemesinden dolayı kaya tuzu içerisindeki hacminden daha büyük bir hacim kaplamaktadırlar. Boyut ve şekillerine de bağımlı olarak bu büyüme %50 civarı bir oranda olabilmektedir (gevşeme faktörü: 1,5 ile örtüşmektedir). Örneğin, 100 m³ hacme ve %10 oranda çözünmeyen madde miktarına sahip bir kaya tuzu kütlesi çözüldüğünde 15 m³ hacim kaplayacaktır (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Heterojen kaya tuzu tabaklarında, kavernanın düzensiz geliştiği doğrultularda, jeomekanik etkilerden dolayı hasar görmüş, çatlaklı ya da kırıklı tuz kütleleri çözünmeden kaverna tabanına düşebilmektedirler. Çözünmeyen maddelerle birlikte tabana yatan kırık tuz kütlesi tamamen çözünmez çünkü taban kısımdaki tuzlu su zaten doygunudur. Çözünebilen kısım %1 ile sınırlı olduğundan, kaverna tabanını tuz içerisinde %9 oranında çözünmeyen madde varmışçasına doldurur ve hacim kaybına neden olmaktadır (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Çözünmeyen maddeler dikeyde 90°'den daha az eğime sahip kaverna duvarları üzerine düşmektedirler. Eğer duvarların eğimi yeterince dikse, çözünmeyen maddeler kaverna duvarı üzerinde kayarak, tuzlu su içerisinde serbest düşmeye nispeten daha yavaş da olsa tabana ulaşmaktadırlar. Eğimin yeterli olmaması durumunda, çözünmeyen maddeler kaverna duvarına düşer ve hareket edemezler. Sonucunda ise çözücü madde ile tuz duvarı arasında temas kesildiğinden eritme prosesi bu bölgede durmaktadır. İşte bu nedenle hiçbir kaverna duvarı tam anlamıyla düz bir yapıya sahip değildir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Çözünmeyen maddelerin kaymasını sağlayabilecek en düşük kaverna duvar eğim açısı sınır çözünme açısı olarak adlandırılmaktadır. Tuz yataklarının büyük bir çoğunluğunda bu açı yaklaşık 15°'dir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Direkt sirkülasyonla eritilen bir kuyuda, eritmenin başlangıç aşamasında sıra dışı bir durumla karşılaşmaktadır. Küçük olan kuyu çapı, kuyu içerisinde yüksek hızda bir su akımına neden olacaktır. Çözünmeyen maddeler hızlı bir şekilde yeryüzüne taşınacak ve normal süreçte yüzeye taşınan çözünmeyen madde miktarına oranla çok daha fazla miktarlarda taşınma gerçekleşecektir. Bu olayın başlangıç

kavernası şekli ve tüm gelişimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Dolayısıyla Amerikan uzmanlarca mercek altına alınmış bir konudur.

Kaverna tabanına çöken çözünmeyen maddelerin yüzdesini tanımlayan formül, Sandia Ulusal Laboratuvarlarında geliştirilmiştir, kaverna çapı ve debi parametrelerine bağlıdır. Formül aşağıda verilmiştir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997):

$$f = 50 \left(\frac{1}{1 + (0,00965).(Q/D)} + e^{-(0,00835).(Q/D)} \right) \quad (3.14)$$

f : kaverna tabanına düşen çözünmeyen madde yüzdesi

Q : debi [m^3/h]

D : kaverna çapı [m]

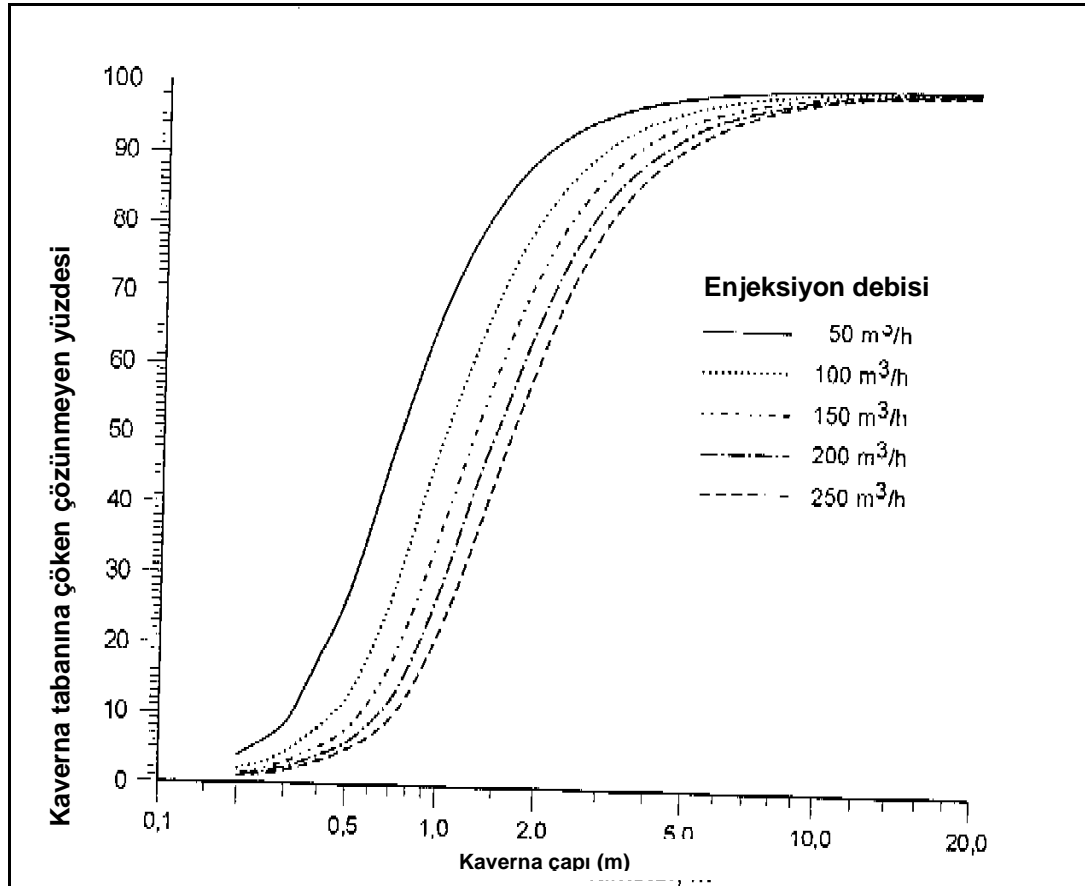
Yukarıda verilen formülden yola çıkılarak hesap edilen değerler ise Çizelge 3.5'te verilmiştir:

Çizelge 3.5. Kaverna çapı ve üretim debisine bağlı olarak kaverna tabanına çöken çözünmeyen madde miktarı (Kuntsman, Urbanczyk, 1997)

debi	50 (m^3/h)	100 (m^3/h)	150 (m^3/h)	200 (m^3/h)	250 (m^3/h)
çap					
0,5 m	0,2647	0,1206	0,0770	0,0580	0,0471
1 m	0,6665	0,4713	0,3471	0,2647	0,2085
1,5 m	0,8270	0,6948	0,5907	0,5071	0,4389
2 m	0,8966	0,8086	0,7327	0,6665	0,6085
2,5 m	0,9318	0,8706	0,8151	0,7647	0,7182
3 m	0,9519	0,9073	0,8657	0,8270	0,7908
3,5 m	0,9643	0,9305	0,8985	0,8682	0,8394
4 m	0,9725	0,9461	0,9209	0,8966	0,8733
4,5 m	0,9782	0,9570	0,9366	0,9169	0,8978
5 m	0,9822	0,9650	0,9482	0,9318	0,9159

Çizelge 3.5'e bağlı grafik ise şekil 3.21'de verilmiştir. Çizelgedeki değerlere göre 1m çapa sahip bir kavernada $100m^3/h$ debi ile çözünmeyenlerin yalnızca %47'si

kaverna tabanına çöker ve geri kalan kısmı tuzlu su ile birlikte yeryüzüne taşınır. Aynı debi ile 5m çapa sahip bir kavernada ise çözünmeyenlerin en az %96'sı kaverna tabanına çöker (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).



Şekil 3.22. Eritme süresince kaverna tabanına çöken anhidrit kırıntılarının (tuz içerisinde bulunan) yüzdesi (Kuntsman, Urbanczyk, 1997)

3.2.9. Tuz Üretimi ve Net Kaverna Hacmi Arasındaki İlişki

Üretilen tuz miktarı, kaverna hacmini hesaplamak için kullanılan en garanti ve yaygın metottur. Ancak üretilen tuz miktarı ile kaverna hacmi arasındaki ilişki görüldüğü kadar basit değildir. Çünkü kavernayı dolduran tuz miktarı ve çözünmeyen hacmini hesaba katmak gerekmektedir ve şu formülle gösterilebilir

$$\frac{M}{V_e} = \frac{(p-C)(100-P_{ins})}{1000(100-\alpha P_{ins})} \quad (3.15)$$

M : Kavernadan alınan toplam tuz üretimi [kg]

V_e : Kaverna net hacmi (tabandaki çökel hariç) [m^3]

P_{ins} : Kaya tuzu içerisindeki çözünmeyen madde yüzdesi

C : Kavernada kalan tuzlu suyun ortalama konsantrasyonu [g/cm^3]

p : Kaya tuzunun yoğunluğu [g/cm^3]

α : Taban çökeli için gevşeme faktörü

Kaya tuzu yoğunluğu $2,150 g/cm^3$, gevşeme faktörü 1,5 olarak alınır (Kuntzman, Urbanczyk, 1997).

Çizelge 3.6. Tuzlu su konsantrasyonuna bağlı, net kaverna hacmi ve üretilen tuz miktarı ilişkileri ve çözünmeyen madde miktarları

Pins C (g/l)	%0	%1	%2,5	%5	%7,5	%10	%15	%30
260	1,890	1,900	1,915	1,941	1,970	2,001	2,073	2,405
280	1,870	1,879	1,894	1,921	1,949	1,980	2,051	2,380
300	1,850	1,859	1,874	1,900	1,928	1,959	2,029	2,355
305	1,845	1,854	1,869	1,895	1,923	1,954	2,024	2,348
310	1,840	1,849	1,864	1,890	1,918	1,948	2,018	2,342
315	1,835	1,844	1,859	1,885	1,913	1,943	2,013	2,335
320	1,830	1,839	1,854	1,879	1,907	1,938	2,007	2,329

Örneğin, kaya tuzunun %5 çözünmeyen madde içerdiği ve kavernada kalan tuzlu suyun ortalama konsantrasyonunun $300 g/l$ olduğu bir durumda M/V_e değeri 1,9'dur. O halde kavernadan 250.000 ton tuz üretim yapıldığı durumda net kaverna hacmi $131.500 m^3$ olacaktır.

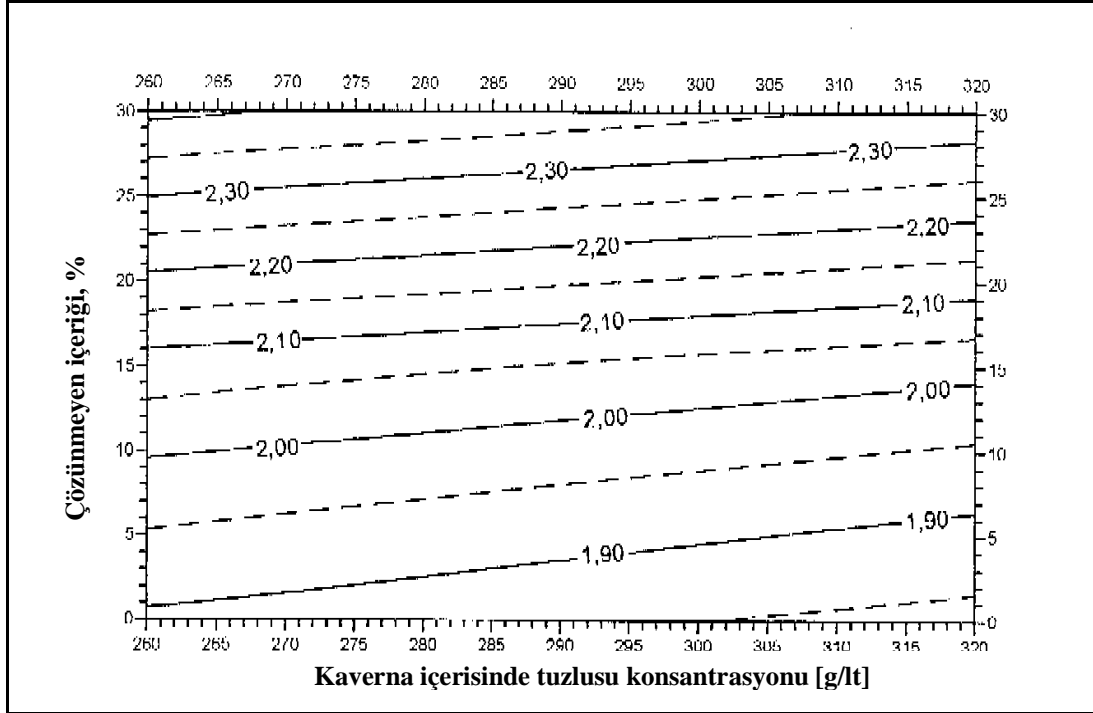
Çizelge 3.6'te verilenler şekil 3.22'de grafik olarak verilmiştir.

3.2.10. Eritme Debisi

Eritme debisi aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

- Tuzlu su konsantrasyonu

- Kaya tuzunun petrografisi
- Tuz duvarının eğim açısı
- Sıcaklık



Şekil 3.23. Net kaverna hacmi ve tuz üretimi (Kuntsman, Urbanczyk, 1997)

Kaya tuzu tipine göre uygulanacak eritme debisi bağıntısı, tuz yatağından tuz numuneleri üzerinde yapılacak laboratuvar testleri sonuçlarına göre empirik olarak belirlenmek zorundadır. Ancak konsantrasyon, eğim açısı ve sıcaklık üzerindeki bağıntı uygun bir matematiksel formülle belirlenebilmektedir (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

Polonya'da sistematik teorik ve laboratuvar araştırmaları Chemkop firması tarafından 1978 yılından beri icra edilmektedir. Bu araştırmalar laboratuvar testleriyle birlikte 80'li yıllarda yerini UBRO model çalışmalarına bırakmıştır. Bu çalışma 90'lı yılların sonlarında geliştirilmiş ve WinUbro adını almıştır (Kuntsman, Urbanczyk, 1997).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çözelti madenciliği metodunda 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 kaverna şeklinin oluşturulabilmesi ve nihai kavernanın başka amaçlar için de kullanılabilmesi tüm çalışmaların titizlikle yapılmasına bağlıdır.

Söz konusu çalışmalara örnek teşkil edecek analiz ve ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1. Uygulama Alanındaki Kuyularda Kimyasal Analiz

Arabali tuz işletmesinde açılmış ve ömrünü tamamlamış olan 25 ve 27 nolu kuyulardan alınan numuneler üzerinde kimyasal analiz yapılmıştır (Soda Sanayii A.Ş., 1982). Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6).

Çizelge 4.1. Arabali Tuz İşletmesi 25 nolu kuyuda kimyasal analiz (1. aşama)

MADDELER (%)	Num.No.1 452 m	Num.No.2 459 m	Num.No.3 464 m	Num.No.4 469 m	Num.No.5 495 m
Suda Çözünen					
NaCl	79,20	90,67	79,46	84,03	84,26
MgCl ₂	0,36	0,16	0,08	0,04	0,20
CaSO ₄	1,60	5,10	9,69	7,85	3,50
NaSO ₄	-	0,27	0,22	0,06	-
Suda Çözünmeyen					
SiO ₂	9,32	1,30	2,44	3,00	6,11
Fe ₂ O ₃	1,33	0,30	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	0,80	1,29	0,06
CaCO ₃	5,63	0,73	1,80	2,25	3,50
MgCO ₃	1,98	0,51	-	0,16	-
Toplam çözünen yab. mad.	1,96	5,53	9,99	7,95	3,70
Toplam çözünmeyen yab. mad.	19,90	3,08	9,02	7,45	11,75

Çizelge 4.2. Arabali Tuz İşletmesi 25 nolu kuyuda kimyasal analiz (2. aşama)

MADDELER (%)	Num.No.6 501 m	Num.No.7 506 m	Num.No.8 512 m	Num.No.9 518 m	Num.No.10 524 m
Suda Çözünen					
NaCl	93,90	93,65	80,98	96,10	84,25
MgCl ₂	0,12	0,08	0,12	0,04	0,04
CaSO ₄	1,84	2,65	6,97	1,60	7,17
NaSO ₄	-	-	0,12	-	0,10
Suda Çözünmeyen					
SiO ₂	1,44	1,11	3,78	0,67	2,83
Fe ₂ O ₃	0,23	0,19	0,52	0,14	0,53
Al ₂ O ₃	0,15	0,13	0,90	0,11	0,86
CaSO ₄	-	-	1,86	0,21	0,48
MgSO ₄	0,14	0,28	0,80	0,15	2,14
CaCO ₃	0,93	0,65	2,68	0,35	0,18
MgCO ₃	0,55	0,55	-	-	-
Toplam çözünen yab. mad.					
	1,96	2,73	7,21	1,64	7,31
Toplam çözünmeyen yab. mad.					
	3,44	2,91	10,54	1,63	7,02

Çizelge 4.3. Arabali Tuz İşletmesi 25 nolu kuyuda kimyasal analiz (3. aşama)

MADDELER (%)	Num.No.11 530 m	Num.No.12 541 m	Num.No.13 542 m	Num.No.14 554 m
Suda Çözünen				
NaCl	92,85	81,85	96,68	87,49
MgCl ₂	-	0,04	0,08	0,08
CaSO ₄	3,23	5,13	1,56	3,43
NaSO ₄	-	0,16	-	-
Suda Çözünmeyen				
SiO ₂	1,56	5,02	0,36	3,67
Fe ₂ O ₃	0,23	0,66	0,08	0,50
Al ₂ O ₃	0,22	1,22	0,06	0,31
CaSO ₄	-	-	-	-
MgSO ₄	0,40	0,93	0,23	0,33
CaCO ₃	1,10	2,90	0,15	2,48
MgCO ₃	0,20	0,95	-	0,67
Toplam çözünen yab. mad.				
	3,23	5,33	1,64	3,51
Toplam çözünmeyen yab. mad.				
	3,71	11,68	0,88	7,96

Çizelge 4.4. Arabali Tuz İşletmesi 27 nolu kuyuda kimyasal analiz (1. aşama)

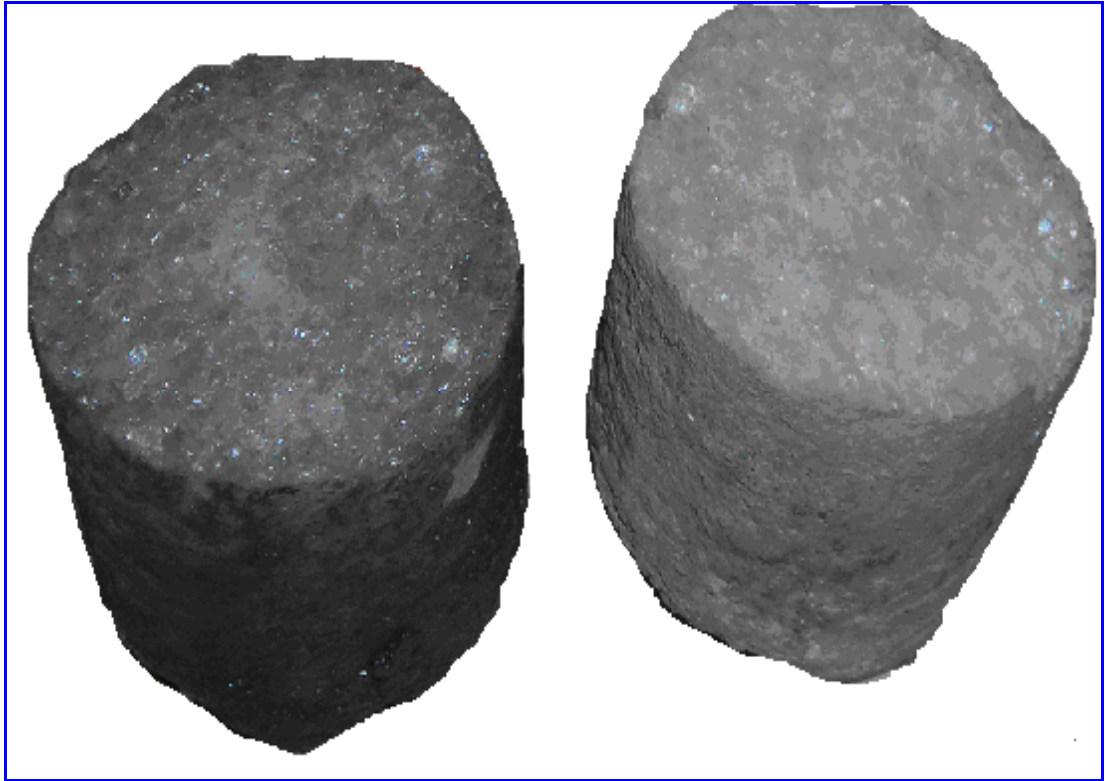
MADDELER (%)	Num.No.1 463 m	Num.No.2 487 m	Num.No.3 488 m	Num.No.4 493 m	Num.No.5 494 m
Suda Çözünen					
NaCl	91,20	73,19	79,34	94,85	84,25
MgCl ₂	0,08	0,20	0,12	0,04	0,08
CaSO ₄	4,05	1,73	4,73	2,11	3,57
NaSO ₄	0,03	-	0,24	-	0,04
Suda Çözünmeyen					
SiO ₂					
Fe ₂ O ₃	1,40	11,80	6,37	0,79	4,45
Al ₂ O ₃	0,21	1,25	0,80	0,12	0,50
CaSO ₄	0,34	3,15	1,71	0,25	0,73
MgSO ₄	-	-	0,50	-	-
CaCO ₃	0,44	0,08	-	0,10	0,34
MgCO ₃	1,40	5,95	4,40	0,65	3,40
	0,11	0,60	-	0,14	1,09
Toplam çözünen yab. mad.					
Toplam çözünmeyen yab. mad.	4,16	1,93	5,09	2,15	3,69

Çizelge 4.5. Arabali Tuz İşletmesi 27 nolu kuyuda kimyasal analiz (2. aşama)

MADDELER (%)	Num.No.6 503 m	Num.No.7 506 m	Num.No.8 509 m	Num.No.9 514 m	Num.No.10 519 m
Suda Çözünen					
NaCl	94,90	79,80	70,80	90,43	91,53
MgCl ₂	-	0,08	0,08	0,08	0,08
CaSO ₄	-	7,31	9,18	3,20	4,96
NaSO ₄	-	0,21	-	0,04	-
Suda Çözünmeyen					
SiO ₂					
Fe ₂ O ₃	1,21	4,97	5,69	2,18	0,71
Al ₂ O ₃	0,16	0,55	0,65	0,27	0,13
CaSO ₄	0,21	1,07	0,97	0,37	0,21
MgSO ₄	-	-	-	-	0,18
CaCO ₃	0,13	0,98	2,20	0,14	0,35
MgCO ₃	0,85	2,15	5,43	1,73	0,73
	0,28	1,30	-	0,36	-
Toplam çözünen yab. mad.					
Toplam çözünmeyen yab. mad.	0,00	7,60	9,26	3,32	5,04

Çizelge 4.6. Arabali Tuz İşletmesi 27 nolu kuyuda kimyasal analiz (3. aşama)

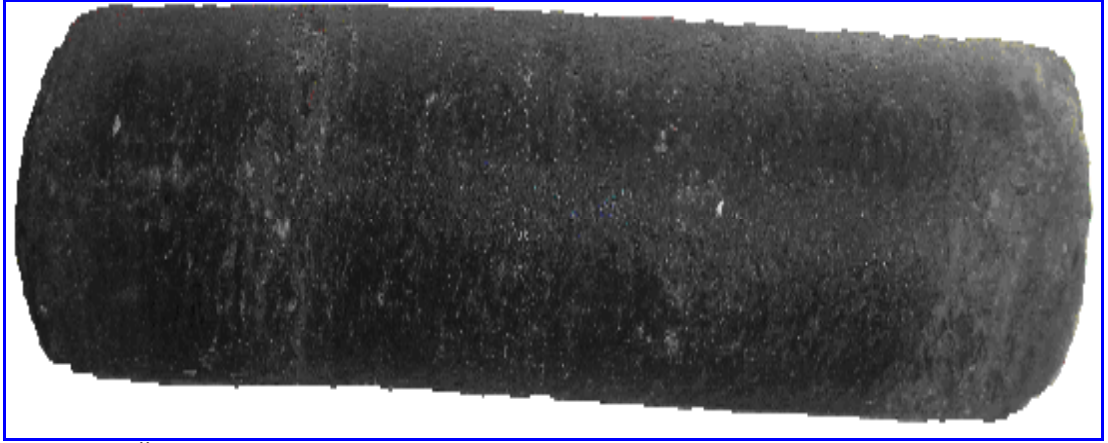
MADDELER (%)	Num.No.11 526 m	Num.No.12 530 m	Num.No.13 533 m	Num.No.14 537 m
Suda Çözünen				
NaCl	95,83	88,48	95,98	97,10
MgCl ₂	0,07	0,08	0,27	0,16
CaSO ₄	0,95	6,63	1,26	0,68
NaSO ₄	-	0,16	-	-
Suda Çözünmeyen				
SiO ₂				
Fe ₂ O ₃	0,79	3,06	0,62	0,64
Al ₂ O ₃	0,12	0,36	0,10	0,09
CaSO ₄	0,22	0,65	0,23	0,12
MgSO ₄	0,14	-	-	-
CaCO ₃	-	-	0,05	0,09
MgCO ₃	0,60	2,53	0,53	0,33
	-	0,79	-	-
Toplam çözünen yab. mad.				
Toplam çözünmeyen yab. mad.	1,02	6,87	1,53	0,84



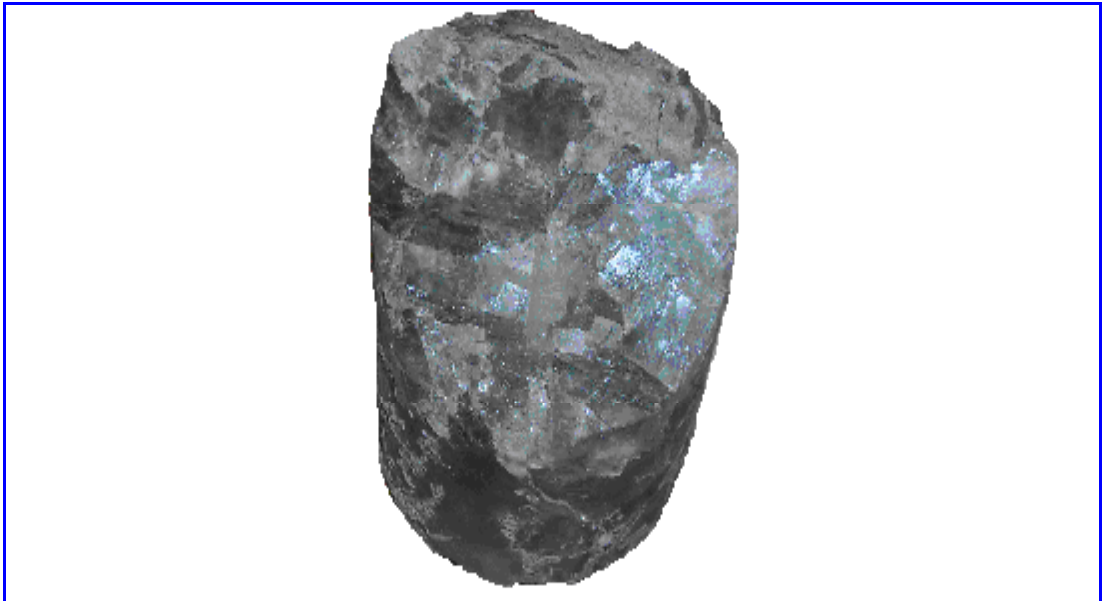
Şekil 4.1. Örnek tuz karotları (yüksek tenörlü)

4.2. Litolojik Profil

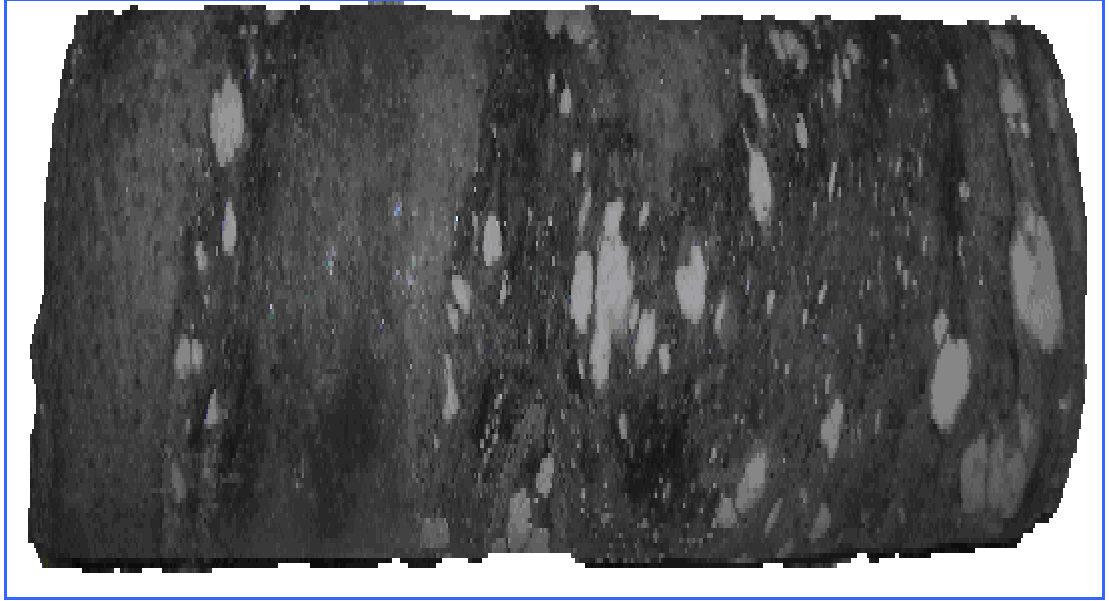
Çözelti madenciliği prosesinde hammadde elde edilmek üzere açılan kuyularda gerek sondaj esnasında alınan sedimanlarla gerekse sondaj tamamlandıktan sonra çıplak kuyudan alınan gamma ray neutron log ölçümleri ile litolojik profil tayin edilmektedir. Arabali tuz işletmesinde yapılan sondaj, alınan karot numuneleri ve örnek bir kuyu litolojik kesiti aşağıda verilmiştir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6).



Şekil 4.2. Örnek tuz karotu (düşük tenörlü, kil yüzdesi yüksek)



Şekil 4.3. Örnek tuz karotu (farklı kristal yapı)



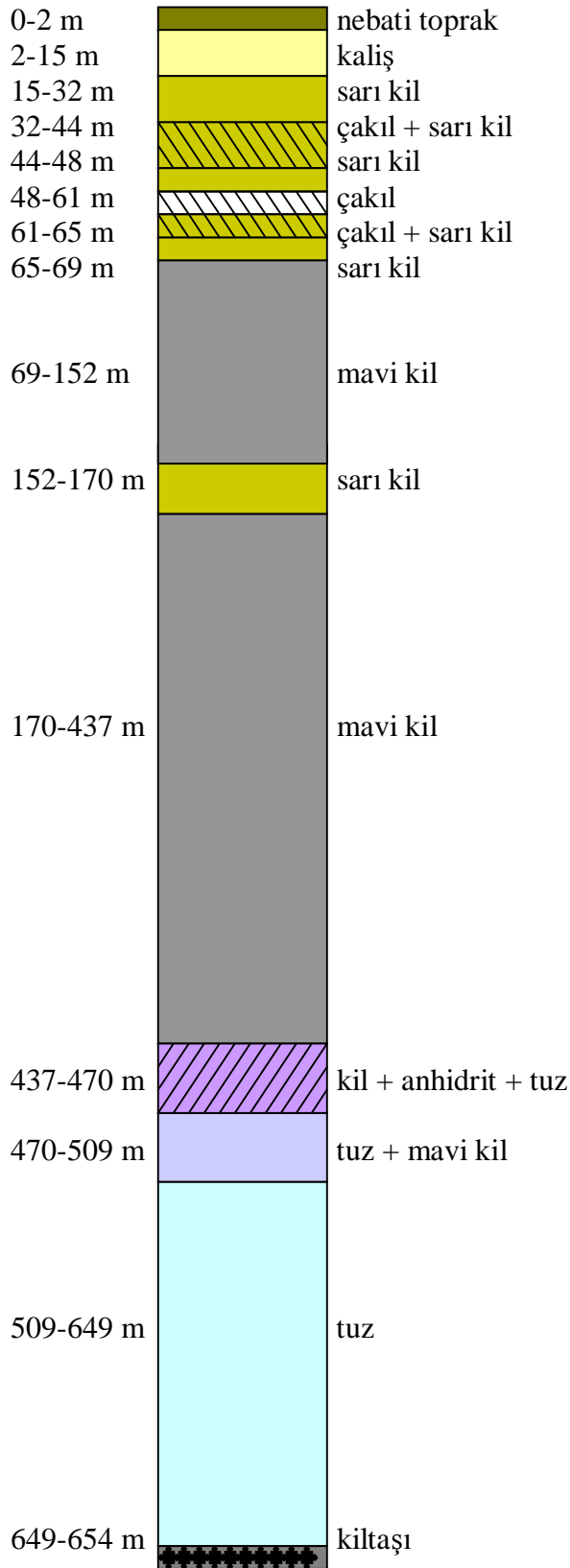
Şekil 4.4. rnek tuz karotu (anhidrit, kil taşı içerikli)



Şekil 4.5. Arabali Tuz İŞletmesi'nde sondaj faaliyetlerini yürüten sondaj makinesi



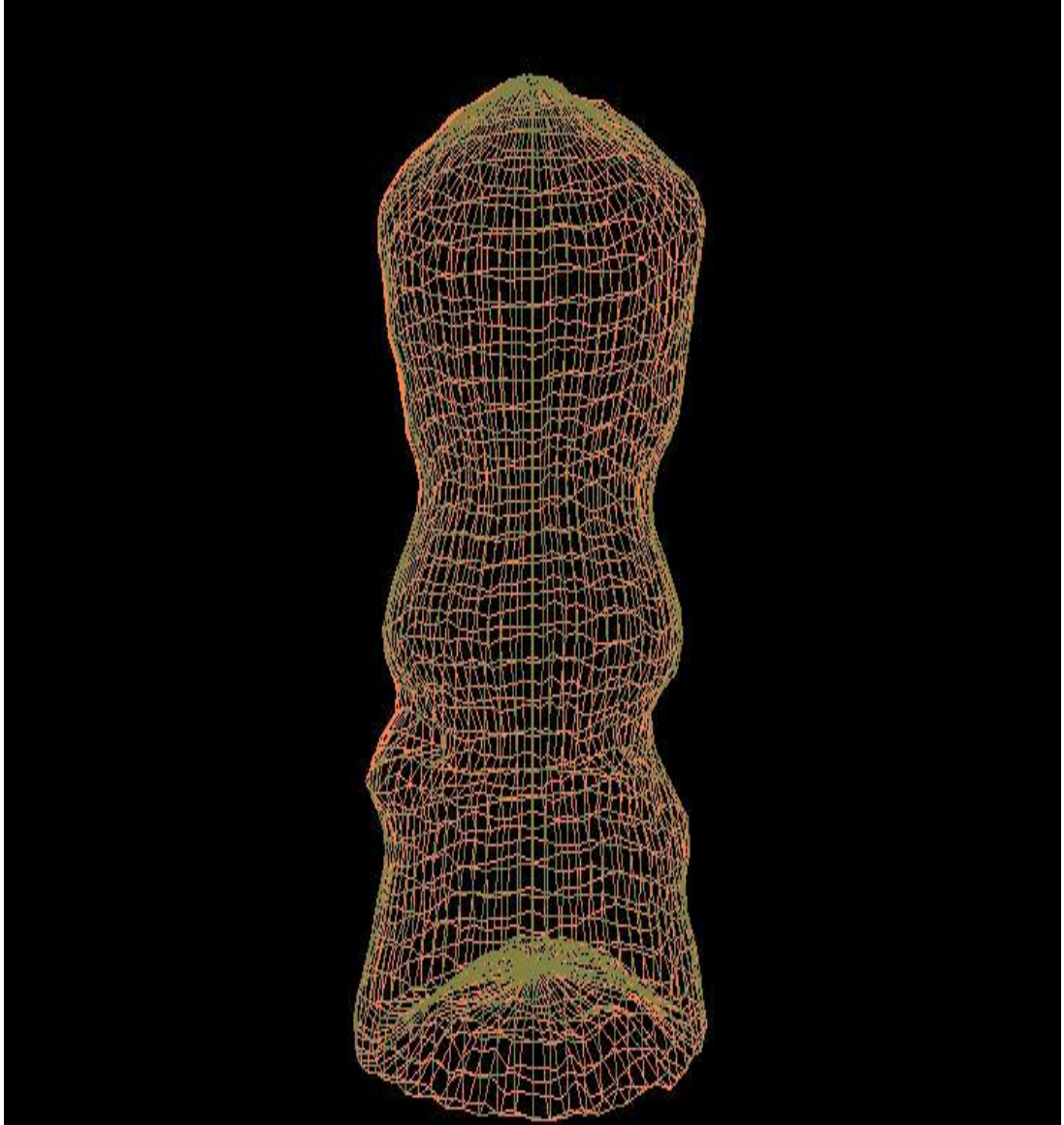
Şekil 4.6. Sondaj makinesinden bir başka g3r3n3m



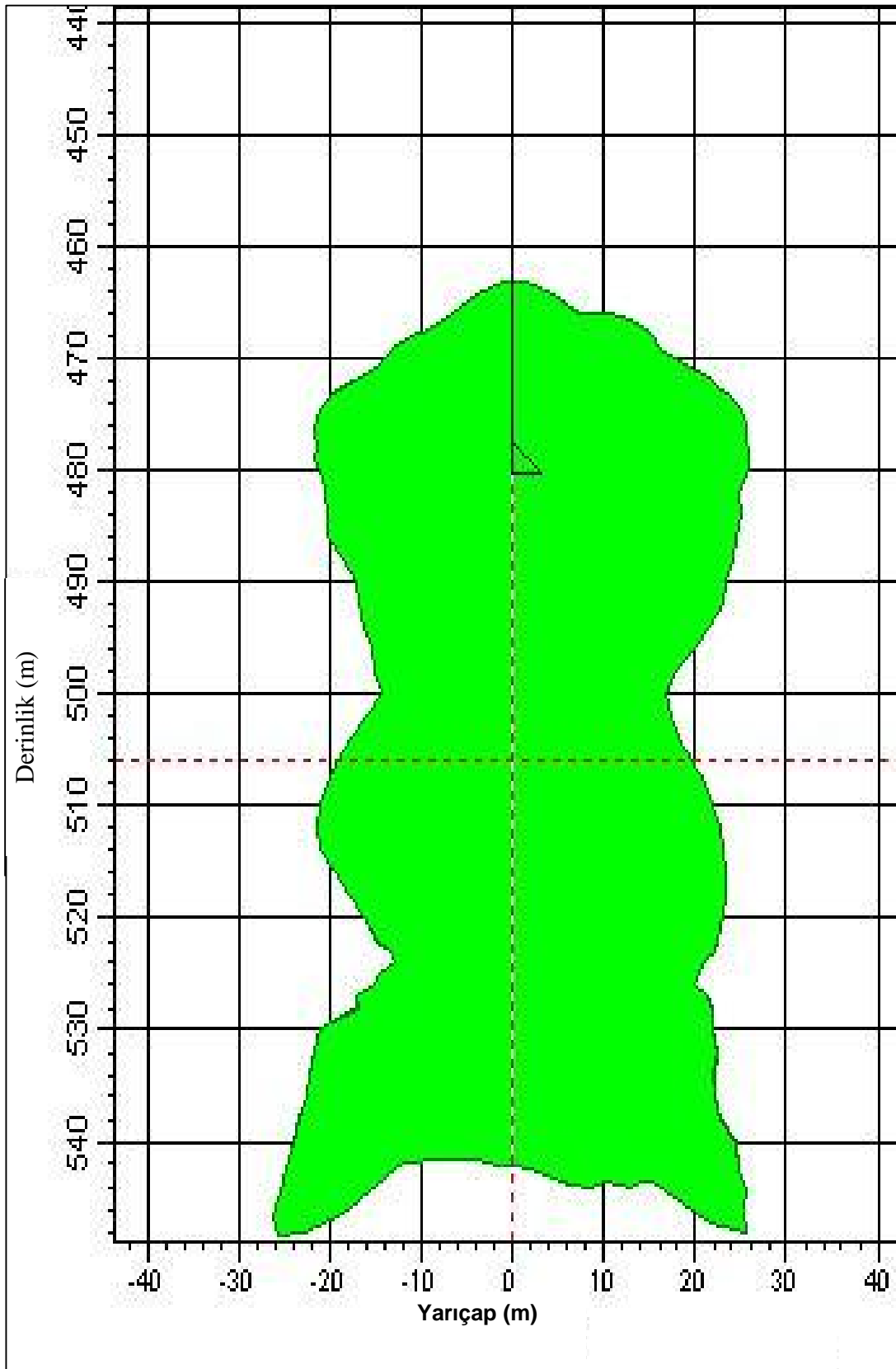
Şekil 4.7. Arabali Tuz İşletmesi'nde açılmış bir kuyunun örnek litolojik kesiti

4.3. Echolog Ölçümleri

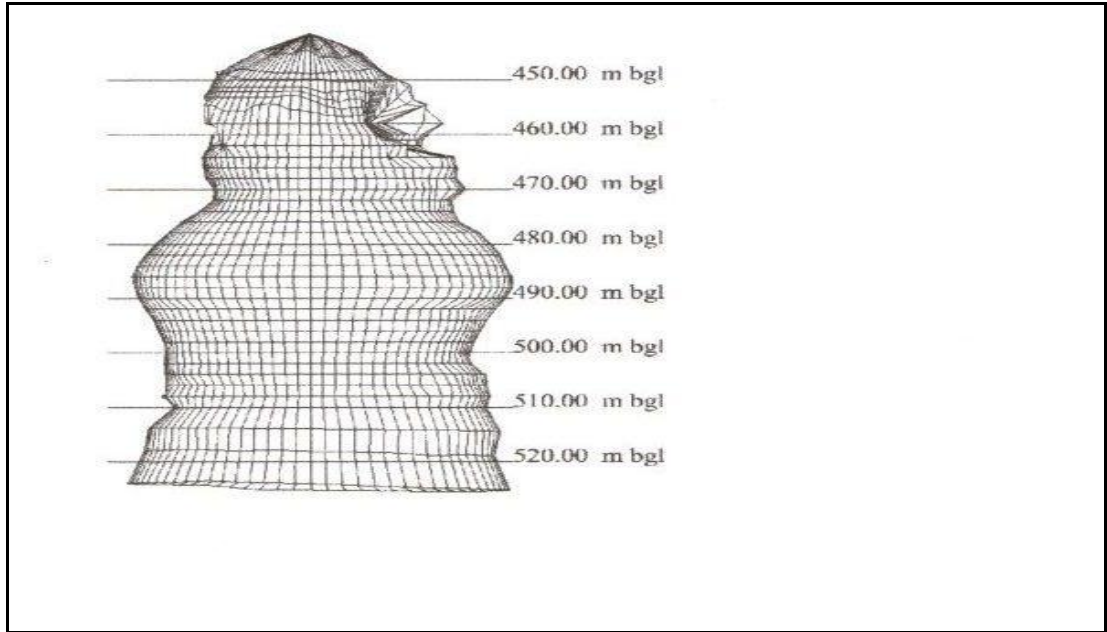
Çözelti madenciliği günümüz standartları arasında yer alan ve artık zorunluluk haline gelen sonar ölçümler ve elde edilen bilgilerin yorumlanarak görüntülenmesi, çalışma alanı Arabali Tuz İşletmesi'nde periyodik yapılan çalışmalar arasında yer almaktadır. Söz konusu Echolog ölçümleri sonucu elde edilen kaverna şekilleri aşağıda verilmiştir (Soda Sanayii A.Ş., 2002, 2003, 2007, 2008).



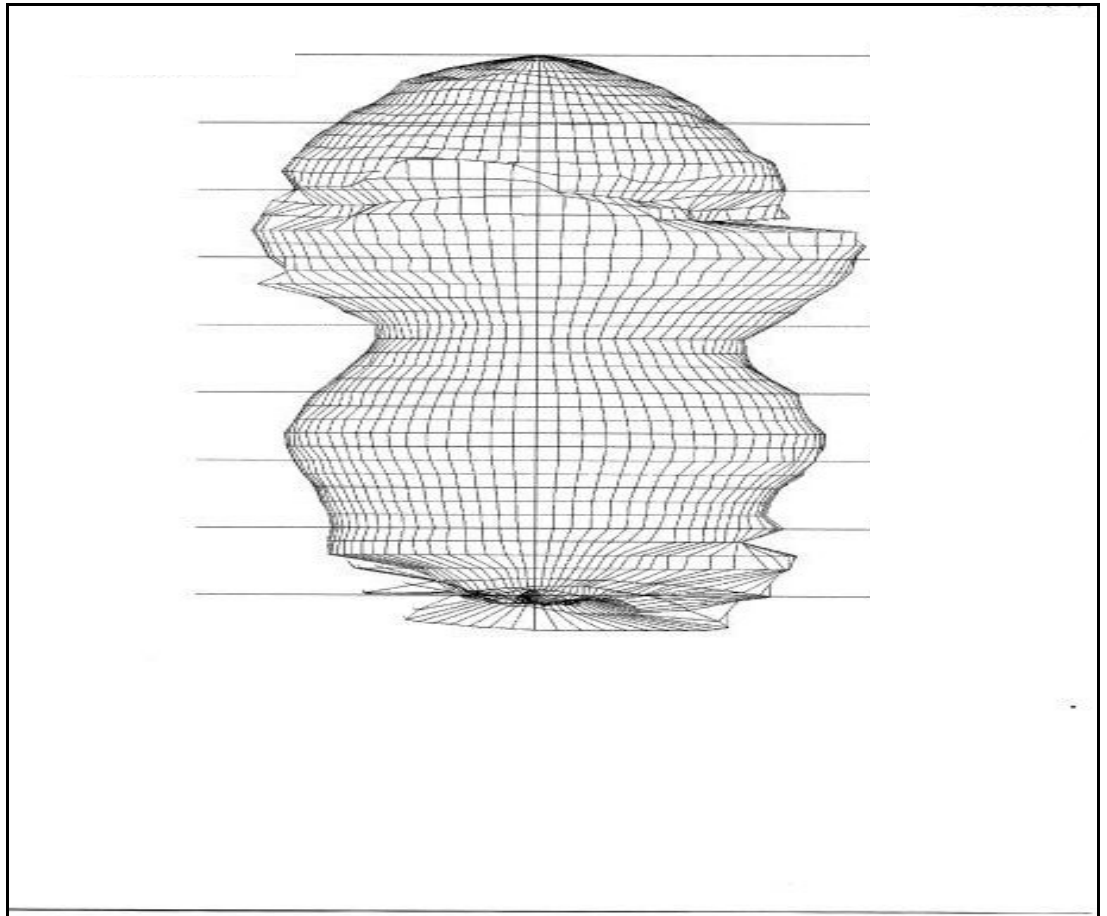
Şekil 4.8. Arabali Tuz İşletmesi'nde echolog ile alınan bir kaverna görünümü



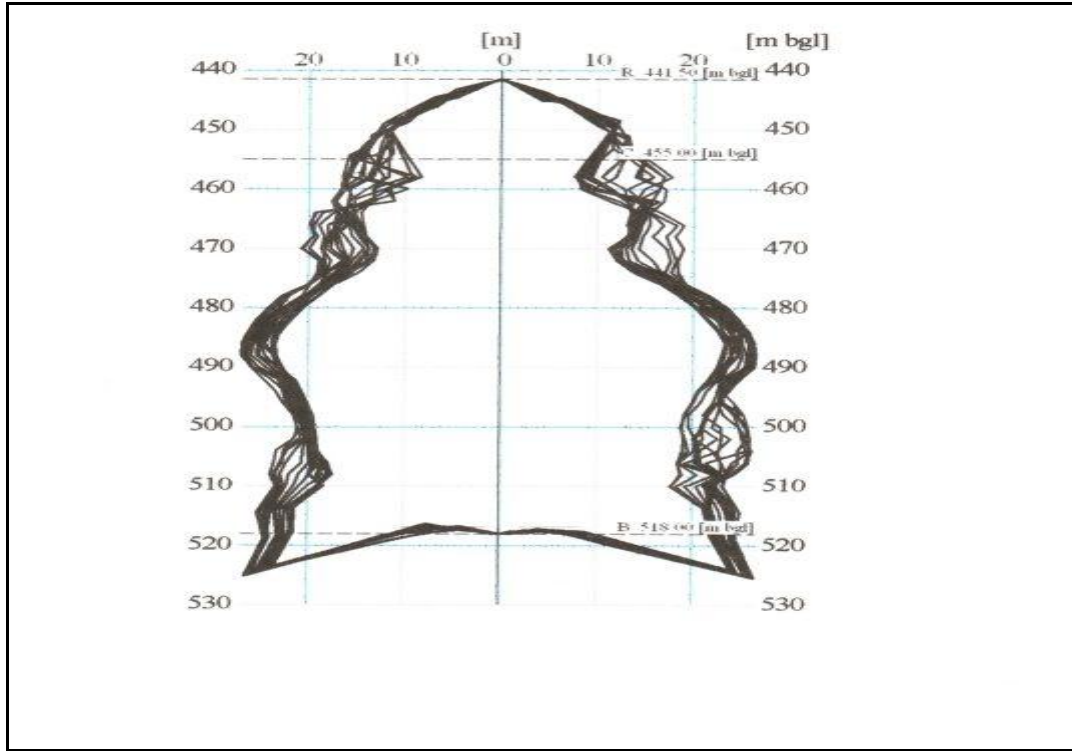
Şekil 4.9. Arabali Tuz İşletmesi'nden tipik bir kaverna örneği



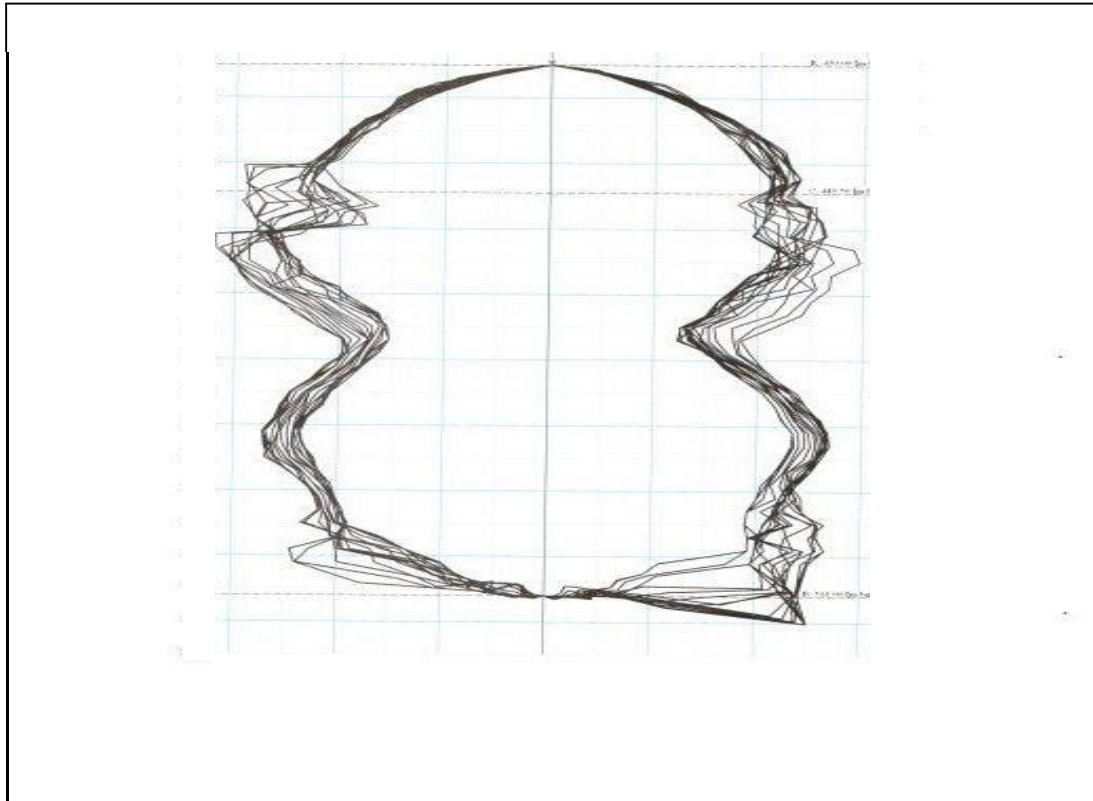
Şekil 4.10. Echolog ölçümü ile alınmış üç boyutlu kaverna kesit örneği



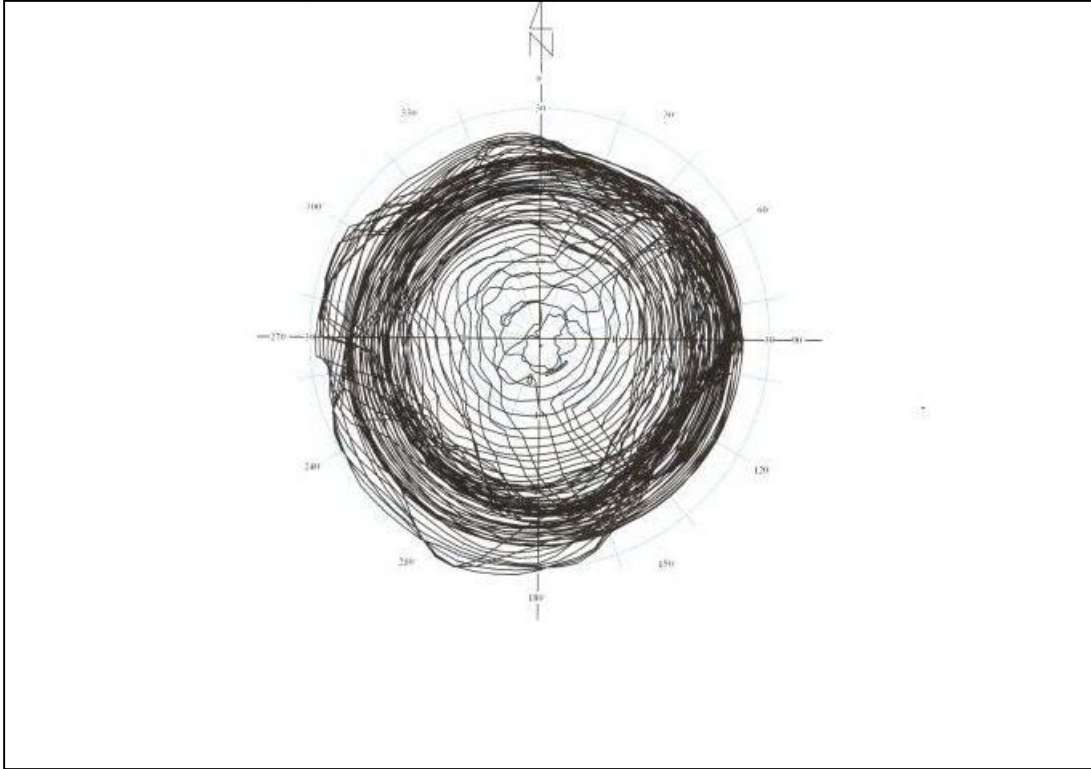
Şekil 4.11. Echolog ölçümü ile alınmış üç boyutlu kaverna kesit örneği



Şekil 4.12. Echolog ölçümü ile alınmış örnek kaverna dikey kesitleri (çakıştırılmış)



Şekil 4.13. Echolog ölçümü ile alınmış örnek kaverna dikey kesitleri (çakıştırılmış)



Şekil 4.14. Echolog ölçümü ile alınmış örnek kaverna yatay kesitleri (çakıştırılmış)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında “Çözelti Madenciliği” literatüründeki eksikliğin doldurulması amaç edinilmiştir. 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.

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 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 madenciliği metodu ile madencilik faaliyetinde bulunmayı cazip kılmaktadır.

Metodun bu denli olumlu yönleri olmasına rağmen uygulama alanlarının kısıtlı olması ve spesifik bir prosese sahip olmasından dolayı, konuyla ilgili somut bir literatür ve uygulama çalışmasına ulaşamamaktadır. 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 sekteye

uğramaması, kesintisiz kullanımın sağlanması için “enerji kaynaklarının depolanması” konusu bilim ve sanayide odak nokta haline getirilmelidir.

KAYNAKLAR

- BAAR, C.A.,1997. Applied Salt-Rock Mechanics. I. The in-situ Behavior of Salt Rocks, Amsterdam-Oxford-New York, Elsevier Scientific Publishing Company.
- BRANKA, S., MACIEJEWSKI, A., 1998. Smri Fall Meeting, Rome, Italy.
- BRITISH PETROL (BP), 2009
- BUJAKOWSKI, S., 1984. Otwory wiernicze przeznaczone do budowy i eksploatacji podziemnych magazynow gazu (PMG) w zlozach soli. Proc. of Symp., Krakow.
- CHARYSZ, W., GARLICKI, A., ZIABKA, Z., 1977-1979. Kryteria Rozpoznawania i Dokumentowania Zloz Soli na Potrzeby Budowy Zbiornikow Podziemnych, Proc. Of Symp. Zbiorniki Podziemne Weglowodorow w Zlozach Soli, OBRGShem CHEMKOP, Krakow, Wydawnictwa Geologiczne.
- DEEP-KBB, 2009. Official Company Presentation Magazine, Germany.
- <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Special%3ASearch&search=zeytinli>
(Eriřim tarihi Ocak 2009).
- <http://maps.google.com/> (Eriřim tarihi: 19 Haziran 2010).
- GÜRBÜZ, K., 1993. Identification and evolution of Miocene submarine fans in the Adana Basin, Turkey, Ph.D. Thesis, University of Kele, 327 sayfa.
- İLKER, S., 1975. Adana Baseni Kuzey Batısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları: TPAO arşiv, no:973, 63 s., Ankara (yayınlanmamış).
- KUNSTMAN, A., S., MAZUR, M., M.,2000. Cavern Development and Leaching Simulation cz. IV. An Introduction to the Technology of Solution Mining, Manuel of SMRI Spring 2000 Tecnicl Class. The Hague, The Netherlands.
- KUNTSMAN, A., POBORSKA, K., URBANCZYK, K., 2007. Solution Mining In Salt Deposits, Uczelniane wydawnictwa naukowo-dydaktyczne, Krakow.
- KUNSTMAN, A., S., SLIZOWSKI, J., 1990. KPMG Mogilno. Budowa Daswiaczalnej Komory Magazynowej Z-2. Badania Laboratoryjne Rdzenia Glebokiego Otworu Badawczo-zhiornikowego Z-2. Czes V-Synteza i

- Kompleksowa Ocena Wynikow Badan Laboratoryjnych. CHEMKOP, Krakow (yayınlanmamış).
- KUNSTMAN, A., S., URBANCZYK, K., M., 1997. Computer Modelling of Salt Cavern Leaching Process. Manuel of SMRI. Tecnicall Class. Crakow, Poland, Spring 1997.
- LAGAP, H., 1985. Kiralan-Karakılıç-Karaisalı (NW Adana) alanının ltostratigrafik-kronostratigrafik incelemesi, Ç.Ü. Fen Bil. Enst. Master tezi, Adana, 77.
- LEFOND, S.J., 1969. Handbook of Word Salt Resources. New York, Plenum Pres, p.384.
- LORENZ, J., HAAS, JR., J., L., CLYNNE, M., A., POTTER, II, R., W., SCHAFER, C., M., 1981. Geology, Mineralogy and Some Geophysical and Geochemical Properties of Salt Deposits. Physical Properties Data For Rock Salt. US National Bureau of Standards, Ed. E.T. Gevantman.
- MOGİLNO, 1998. kawernowy podziemny magazyn gazu, Polski Gaz i Nafta, nr 9 (32).
- POBORSKI, J., 1959. Skaly Salne Na Tle Ogolnej Klasyfikacji Skal. Krakow, Zesz. Nauk. AGH, Geologia, z. 3, nr 22.
- POBORSKI, J., SLİZOWSKY K., 1985. Geological Prediction of the Mining Feasibility Within Salt Domes at Upper Permian Zechstein, Central Poland.
- POBORSKI, J., 1964. Zloza ewaporacyjne. [in:] Krajewski R., Smulikowski K. (ed.), Zarys nauki o zlozach kopalin uzytecznych, Warszawa, Wyd. Geol.
- RICHNER, D.R., SHOCK, D., AHLNESS, J.K., 1995. In: Solution Mining: In Situ Techniques. [in:] Hartman H.L. (Senior Editor), SME Mining Engineering Handbook, vol 1,2, Society for mining, metallurgy and exploration inc.
- SAALBACH, B., 1997. New Development in Solution Mining Tecnology, Proc. of SMRI Spring 1997 Meeting, Krakow, Poland.
- SLIZOWSKI, K., 1983. Warunki Geologiczna Gornicze w Cechsztynskieh Zlozach soli w Polsce dla Wyonywania Podziemnych Zhiornikow Cieczy i Gazu. Krakow, Kwartalnik AGH. Gornictwo, nr 121.
- SODA SANAYİİ A.Ş., 2006. Arabali Tuz İşletmesi tanıtım sunumu.
- SODA SANAYİİ A.Ş., 2010. Şirket tanıtım sunumu.

- SODA SANAYİİ A.Ş., 1982, 2002, 2003, 2007, 2008. Şirket arşiv bilgileri.
- STEPHEN, B., STONE, C.M., HOLLAND, J.F., 2008, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA, SMRI Spring 2008 Technical Conference, Porto, Portugal.
- TESTA, S.M., 1994. Geological Aspects of Hazardous Waste Management. Boca Raton, Lewis Publishers.
- THOMS, R., L., GEHL, R., M., 1993. Feasibility of Controlled Solution Mining From Horizontal Wells. SMRI Fall 1993 Meeting Paper, Lafayette, Louisiana.
- TMMOB, 2008. Makine Mühendisleri Odası Enerji Raporu.
- ÜNLÜGENÇ, U., 1986. Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının jeoloji incelemesi, Ç.Ü, Fen. Bil. Enst. Master tezi, Adana, 77.
- ÜNLÜGENÇ, U., 1993. Controls on Cenozoic Sedimentation, Adana Basin southern Turkey, PhD thesis, University of Keele, England.
- ÜNLÜGENÇ, U. ve DEMİRKOL, C., 1988. Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının stratigrafisi, Jeolojisi Mühendisliği, 32-33, 17-25.
- WAGNER, R., 1988. Ewolucja Basenu Cechszrynskiego w Polsce. Kwart. Geol., t.XXXII, nr 1.
- WARREN, J., 1999. Evaporites. Their Evolution and Economics. London, Blackwell Science, p.438.
- YETİŞ, C., 1987. Adana Baseni Burdigaliyen-Tortoniyen istifinin sedimentolojik gelişimi: Türkiye 7. Petrol Kongresi, Bildiriler, Ankara, 232-233.
- YETİŞ, C., DEMİRKOL, C., 1986. Adana Baseni Batı Kesiminin detay etüdü: M.T.A. rap: 8037, 187s., Ankara (yayınlanmamış).
- YILMAZER, D., 2002. Adana Baseni evaporitli serilerinin (neojen) mineralojisi, petrografi.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Mersin’de doğdu. İlköğrenimini Mersin Barbaros İlkokulunda, orta öğrenim ve liseyi İçel Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Lisans öğrenimini İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda 2004 yılında tamamladı. 2004-2005 yılları arası madencilik üzerine serbest meslekle uğraştıktan sonra 2006 yılında Soda Sanayii A.Ş.’de Maden Mühendisliği görevine başladı. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Soda Sanayii A.Ş.’deki görevine halen devam etmektedir.