

Kaynak Tahmini İçin Tuz Yataklarının Değerlendirilmesi



Mary Anderson
Kıdemli Jeolog
Mary.Anderson@dm-t-group.com

Dr Hakan Arden Kahraman
Teknik Müdür
Hakan.Ardens@dm-t-group.com

Giriş

Tuz, insanlığın antik çağlardan beri kullandığı en eski ve en çok ticareti yapılan minerallerden biridir. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Kurumu'na (USGS) göre, dünyadaki hemen hemen her ülkenin çeşitli boyutlarda tuz yatakları ya da güneş buharlaştırma operasyonları vardır (Bolen, 2024) ve 2023'te dünya çapında tuz üretiminin 270 Mt⁷ olması tahmin edilmektedir. Bu, tuzu dünyada en çok ticareti yapılan mineraller arasında dördüncü sıraya yerleştirmektedir³.

Tarihsel İstatistikler⁶, yıllar içinde tuz fiyatlarında yavaş ve istikrarlı bir artış olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, tuz üreticileri, diğer madencilik hammaddelerinde yaygın bir zorluk olan önemli fiyat oynaklığında gezinmektense, operasyonel verimliliği ve maliyet denetimini korumaya daha fazla odaklanabilirler.

Diğer cevherlerde olduğu gibi tuz yataklarının değerlendirilmesi de kaynakların kestiriminde, sürdürülebilir ve verimli çıkarmayı sağlamak ve uluslararası alanda tanınan standartlara uyumluluktan sorumlu nitelikli bir profesyonel olan yetkin bir kişinin uzmanlığını gerektirir. Ancak, tuz yataklarındaki teknik personelin rolü, diğer madencilik türlerine kıyasla bazı benzersiz yönleri sahiptir.

Türkiye, 2023 yılında yaklaşık 7,5 milyon ton tuz üreterek küresel olarak altıncı büyük tuz üreticisi durumuna gelmiştir¹. Türkiye'de tuz üretimi öncelikle iki ana yöntemle gerçekleşir: Güneş kaynaklı doğal buharlaştırma ve geleneksel kaya tuzu madenciliği. Türkiye'nin tuzunun çoğunluğu (%70 civarı) Tuz Gölü'nden doğal buharlaştırma ile üretilir; burada doğal işlemler kışın mineralleri göl suyuna eritir ve yaz sı-

cağı suyun buharlaşmasına neden olarak geride yoğun tuz bırakır. İzmir gibi kıyı bölgelerinden deniz tuzu çıkarımı yaklaşık %20 katkıda bulunurken, yer altı yataklarından kaya tuzu madenciliği kalan %10'u oluşturmaktadır⁴.

Yetkin Kişi ve Tuz Yatakları

Madencilikte, "Yetkin Kişi" (YK) terimi, mineral çıkarma projelerinin fizibilitesini, güvenliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmeye yetkili olan, genellikle bir jeolog, maden mühendisi ya da benzeri bir uzman olan sertifikalı bir profesyoneli anlatır. Birincil rolleri, kaynak ve rezerv tahminlerinin doğruluğunu sağlamayı, çevresel, sosyal ve yönetim (ESG/ÇSY) uyumluluğunu ve finansal uygulanabilirliği denetlemeyi, paydaşlar (şirketler, bankalar, finans kuruluşları, bireysel yatırımcılar vb.) ve düzenleyici otoriteler için ayrıntılı raporlar hazırlamayı içerir. Kaynak ve rezerv tahmin işlemlerinde hesap verebilirliği ve saydamlığı sağlamak için çoğu ülke yetkin kişilerin Avustralya'nın JORC Kodu ya da Kanada'nın NI 43-101 Standartları (CIM Kılavuzu kapsamında) gibi düzenleyici çerçeveler tarafından belirlenen yönergeleri izlemesini ister. Bu standartlar mineral kaynak raporlamasının açıklanması için katı zorunlulukları ana çizgileriyle belirtir. YK'ler, uzmanlaşmış bilgileri ve bu standartlara olan bağlılıklarıyla madencilik sektöründe güvenilir ve sorumlu kaynak yönetiminin temel taşıdır. Tuz yatakları söz konusu olduğunda, bir YK'nin görevleri görece olarak daha kolaydır. Çünkü tuz yatakları genellikle metaller ya da değerli mineraller içeren karmaşık cevher gövdelerine oranla jeolojik olarak çok daha basittir ancak bir YK yine de jeolojik ortamlara ve oluşumlara dikkat etmelidir.

Tuz Yataklarının Genel Özellikleri

Tuz, genellikle jeolojik tarihte önemli buharlaşma yaşayan kısıtlı iç havzalarda; büyük, homojen tortul yataklarda >>

bulunur. Genellikle iki tür tuz yatağı vardır: Göreli olarak düz ve katman benzeri olan "stratiform" ve tuz katmanlarının deforme olduğu ve tuz domları gibi daha karmaşık yapılar oluşturduğu "halokinetik". Tuz yatakları, basit, deforme olmamış katmanlarla daha karmaşık, yapısal olarak değiştirilmiş formlar arasında bir süreklilik boyunca bulunur.

Tuz katmanını etkileyen çökelme ortamını ve diyajenetik süreçleri anlamak çok önemlidir. Üstteki kayalardan daha az yoğun olan tuz, diapiroik olarak yükselerek tuz domları oluşturabilir. Bu yapılar, tuz yatağının geometrisini ve dağılımını önemli ölçüde etkileyebilir.

Mineraloji ve saflık, bir YK'nin dikkate alınması gereken diğer konulardır. Halit (NaCl), ilgi çeken birincil mineraldir. Ancak silvit, karnallit ve anhidrit gibi diğer mineraller de bulunabilir ve bu da yatağın genel saflığını ve ekonomik uygulanabilirliğini etkileyebilir. Kil mineralleri ve çözünmeyen kalıntılar gibi safsızlıkların varlığı, tuzun kalitesini ve işleme niteliklerini etkileyebilir.

Tuz yatakları genellikle tuzlu yer altı suyuyla ilişkilendirildiğinden, yer altı suyu akış düzenleri ve tuzluluk da olmak üzere hidrojeolojik koşulları anlamak, madencilik operasyonları sırasında olası su girişini değerlendirmek için önemlidir. Çözünürlük, tuzun suda oldukça çözünür olmasından ve çözünmesiyle yatağın geometrisinde ve dayanımında önemli değişikliklere yol açabileceğinden, tuz yataklarını değerlendirirken de önemlidir.

Tuz yataklarının ek özellikleri arasında geniş alanlar kaplaması, yüksek saflık, kararlı mineral bileşimi ve geniş alanlar üzerinde tutarlı bir derece sergilemesi ve bunları çeşitli uygulamalar için uygun duruma getirmesi yer alır. Genellikle diğer minerallere oranla aşınmaya ve bozunmaya karşı daha az duyarlıdır.

Tuz yataklarının jeolojik basitliği genellikle kaynakların haritalanmasını ve tahmin edilmesini görece olarak basitleştirir; daha az ve daha geniş aralıklı sondaj yapılmasına olanak tanır. Sonuç olarak, bu, yetkin kişinin geniş aralıklı sondajla daha yüksek bir kesinlik düzeyine sahip olabileceği mineral kaynak tahminlerinde önemli bir farktır. Sıklıkla bu kesinlik, genellikle yakın aralıklı 2B sismik kesitler ya da hatta geniş alanları kaplayabilen ve geniş aralıklı sondajı destekleyebilen 3B sismik kesitler gibi ikincil bir araştırma yöntemi kullanılarak desteklenir.

1-2 kilometrelik sondaj kuyuları büyük, görece olarak homojen yataklar için yeterli olabilirken, daha küçük ve karmaşık yataklar için 500-1000 metrelik aralıklar gerekebilir. Sondaj kuyuları, kaynak tahminini etkileyebilecek alta ya da üstte bulunan oluşumlar da olmak üzere ideal olarak tüm tuz yatağını kesmelidir. Bazı durumlarda, tuzun kalınlığını ve kapsamını belirlemek için stratigrafik sondaj yeterli olabilir.

Karot boyutu, analiz için temsili örnekler elde etmek için yeterli olmalıdır. Genellikle NQ ya da HQ'luk bir karot çapı yeterlidir. Örnekler düzenli aralıklarla, örneğin her 5-10 metrede bir ya da yüksek değişkenlik bölgelerinde 3-5 metre ya da daha sık toplanmalıdır.

Analitik testler genellikle majör ve minör elementler için XRF, iz elementler için İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometrisi (ICP-OES), mineral taneciklerinin ve dokularının görsel incelemesi için polarize ışık mikroskobu, mineral yüzeylerinin ve kapanımlarının ayrıntılı incelemesi için Taramalı Elektron Mikroskobu içermelidir.

Madencilik Yöntemleri

Tuz yataklarında kullanılan madencilik yöntemleri arasında geleneksel madencilik ve çözelti madenciliği yer alır. İki, tuzun geleneksel madencilik teknikleri kullanılarak kazanılmasını içerir. Sığ, yüksek dereceli yataklar için daha uygundur. İkinci yöntem, tuzun suyla çözülmesini ve elde edilen tuzlu suyun yüzeye pompalanmasını içerir. Genellikle derin, kalın tuz yatakları için kullanılır. Madencilik yönteminin seçimi, kaynak tahmin yöntemini, verim etkenleri ve madencilik kayıpları hakkında yapılan varsayımları etkileyecektir.

Kaya tuzu madenciliği, delme ve patlatma ya da kesintisiz kazıcı (*continuous miners*) aracılığıyla yer altı halit yataklarının kazılmasını içerir. Başlangıçta, tuz yatağına dek dikey bir shaft ya da desandre açılır. Daha sonra, oda-topuk ya da uzun ayak madenciliği kullanılarak tuz yatağına erişmek için shafttan yatay galeriler oluşturulur. İlk yöntemde, tuz bir kareyaj biçiminde çıkarılır ve tavanı desteklemek için tuz kolonları/topukları bırakılırken, uzun ayak madenciliğinde, tavan çökmesini denetlemek için hidrolik desteklerle uygun ekipman kullanılarak tuz uzun bir ayak boyunca çıkarılır. Her iki yöntemde de tuz, kesintisiz kazıcı gibi madencilik ekipmanları kullanılarak ya da delme ve patlatma yoluyla çıkarılır. Çıkarılan tuz, konveyör bantları ya da ray sistemleri aracılığıyla yüzeye taşınır. Tuz daha sonra belirli piyasa >>



gereksinimlerini karşılamak için kırılabilir, elenebilir ve saflaştırılabilir. Bu yöntem, oldukça esnek ve farklı yatak geometrilerine ve derinliklerine uyarlanabilir olduğu için çeşitli uygulamalar için uygun yüksek saflıkta tuz üretebilir. Ancak yöntem altyapı ve ekipman için önemli sermaye yatırımı gerektirir. Ayrıca, yer altı madenciliğiyle ilişkili kazalar ve mesleki tehlikeler için tipik güvenlik risklerini de içerir. Dolayısıyla hava kalitesini ve işçi güvenliğini korumak için tavan desteği ve havalandırma üzerinde iyi bir denetim gereklidir. Yöntem ayrıca yüzey çökmesine ve yüzey görüntüsünün bozulmasına da yol açabilir.

Buna karşılık çözelti madenciliği; tuz, potasyum ve trona gibi suda çözünen mineralleri yer altı yataklarından çıkarmak için yeterince kalın ve geçirgen yataklar için kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikte, çökmeyi önlemek ve tuz yatağına denetimli sıvı akışı sağlamak için borularla kaplı bir kuyu delme işlemi kullanılır. İlk kuyu açıldıktan sonra, genellikle çözünürlüğü artırmak için ısıtılan su, tuzu çözmek için kuyuya enjekte edilir. İşlem, çözünme için önemli miktarda su gerektirebilir. Çözünmüş tuz içeren doymuş tuzlu su, ayrı bir borudan yüzeye pompalanır. Daha sonra tuzlu su, safsızlıkları gidermek ve tuzu geri kazanmak için işlenir. Bu genellikle buharlaştırma ya da kristalleştirme tekniklerini içerir. Tuz eridikçe bazen doğal gaz, petrol ya da diğer maddelerin depolanması için yeniden kullanılabilen bir yer altı boşluğu oluşturur. Çözelti madenciliği, geleneksel madencilik yöntemlerine oranla en az yüzey bozulması ve atık üretimi nedeniyle çevre dostu olarak kabul edilebilir. Ayrıca yüksek çıkarma oranlarına ve sürekli çalışmaya sahiptir ve yer altı madenciliğiyle ilişkili kaza ve mesleki tehlike riskini azaltır. Ancak özellikle sıg örtü tabakasının olduğu bölgelerde boşluk oluşumu nedeniyle çökme riski söz konusu olabilir.



Kaya Tuzu Madenciliği ve Güneş Kaynaklı Doğal Buharlaştırma Karşılaştırması

Kaya tuzu madenciliği, cevher gövdesinin jeolojik ve yapısal kararlılığına, kalitesine ve sürekliliğine dikkat etmeyi gerektirirken, güneş kaynaklı doğal buharlaştırma su yönetimi, çevre koruma ve mevsimsel üretim denetimini içerir. Her iki üretim yöntemi de güneş havuzlarında su kullanımına da madencilik alanlarında çöküntüler gibi benzersiz çevresel etki-

ler taşır ve bu da yetkin kişinin sürdürülebilir uygulamaları ve düzenleyici uyumluluğu sağlama sorumluluğunu vurgular.

Diğer hammaddelerde olduğu gibi YK, jeolojik verileri analiz ederek ve kaynak miktarlarını tahmin ederek tuz rezervlerini değerlendirir. Tuzun saflığını belirlemek ve jips ya da kil gibi safsızlıkların hedeflenen piyasa için kabul edilebilir sınırlar içinde olduğundan emin olmak için karot örneklerini ve üretim verilerini değerlendirirler. Ekonomik uygulanabilirlik, çıkarma maliyetleri, yerel talep ve piyasa fiyatlarının dikkate alınmasıyla belirlenir. Ayrıntılı rezerv tahminleri, şirketlerin kaynaklarını korurken çıkarmayı optimize etmelerine yardımcı olarak üretim planlamasına dayanak oluşturur. Ancak bu jeolojik basitliğe karşın, su girişi tuz madenciliği operasyonlarında önemli bir kaygı olmayı sürdürmektedir. Suyun varlığı tuz yataklarının çözünmesine, boşluklar oluşmasına ve zeminin dengesizliği ya da çökmesi riskinin artmasına yol açabilir. Denetimsiz su girişi madencilik etkinliklerini aksatabilir, personel için güvenlik tehlikeleri oluşturabilir ve potansiyel olarak çevredeki yer altı suyunun kirlenmesi gibi çevresel sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, tuz üretiminde bu riskleri azaltmak için kapsamlı hidrojeolojik değerlendirmeler ve etkili su yönetimi stratejileri temeldir. Bu, yetkin kişinin güvenli ve sürdürülebilir operasyonları sağlamak için değerlendirmesi gereken en önemli risklerden biridir.

Tuz üretiminde YK için tuz çıkarmada gereksinim duyulan teknik denetim, metal madenciliğinde gerekli olan kapsamlı çıkarma ve işleme adımlarını koordine etmekten çok üretim verimliliğini optimize etmeye ve çevresel etkileri yönetmeye odaklanır.

Tuz üretimi, özellikle güneş tuzu, su kullanımı, atık yönetimi ve ekosistem koruma ile ilgili sıkı çevre düzenlemeleri kapsamına girebilir. Bu düzenlemeler, birincil odak noktasının arazi restorasyonu ve hava kalitesi olabileceği diğer bazı madencilik endüstrilerine kıyasla, YK tarafından çevresel uyumluluğun daha odaklı bir şekilde denetlenmesini gerektirebilir. Bu ayırım, YK'nin özellikle kıyı bölgeleri ya da yüksek biyolojik çeşitliliğe sahip alanlar gibi çevresel açıdan duyarlı alanlarda verimli üretimi sürdürülebilir uygulamalarla dengelemedeki rolünü vurgular. Örneğin, Türkiye'deki Tuz Gölü, birkaç endemik bitki türüne ev sahipliği yapan ve büyük flamingoların önemli kolonileri de dahil olmak üzere göçmen kuşlar için önemli bir yaşam alanı görevi gören yaşamsal bir biyolojik çeşitlilik merkezidir. Türkiye'nin tuz üretiminin önemli bir bölümünü oluşturan gölün tuz madenciliği faaliyetleri, benzersiz ekosistemini korumak için dikkatli bir yönetim gerektirir⁵. Çevresel sürdürülebilirliğe yönelik küresel ilgi yoğunlaştıkça, tuz üretim operasyonları ekolojik ayak izlerini en aza indirmek için giderek daha fazla baskı altına girmektedir. Örnekler arasında madencilikle ilişkili ekolojik riskleri yönetmek için güneş havuzlarında su kullanımını azaltmak yer alır. JORC Kodu'nda önerilen >>

güncellemelerde (henüz kesinleştirilmedi ve yayınlanmadı) çevresel, sosyal ve yönetim (ESG/ÇSY) etkenlerine daha fazla odaklanılması ve sürdürülebilirlik konularını doğrudan kaynak ve rezerv raporlamasına katılması beklenmektedir.

Benzer şekilde, Kanada'nın CIM'i yakın zamanda yetkin kişinin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik uygulamalarını değerlendirme ve açıklama rolünü vurgulayan yeni ESG/ÇSY yönergeleri tanıtmıştır. Bu gelişen standartlar, yetkin kişilerin ESG/ÇSY ilkelerini denetimlerine dahil etmeleri ve tuz üretiminin daha geniş sürdürülebilirlik hedefleri ve düzenleyici beklentilerle uyumlu olmasını sağlamaları gereksinimini vurgulamaktadır.

Tuz değerlendirmelerinde, YK'nin rolü daha basit jeoloji, doğrudan çıkarma yöntemleri ve istikrarlı piyasa dinamikleri nedeniyle diğer hammaddelerden farklıdır. Diğer hammaddelerdeki yetkin kişiler karmaşık jeolojik modellemeye ya da önemli fiyat dalgalanmalarını yönetmeye odaklanırken, tuz üretimindekiler genellikle çevresel yöneticiliğe, operasyonel verimliliğe ve gelişen ESG/ÇSY standartlarına uyuma vurgu yapar. Sürdürülebilirliğe yönelik küresel ilgi yoğunlaştıkça, YK'nin rolü bu öncelikleri vurgulayacak şekilde genişlemektedir. İleride, yetkin kişiler tuz endüstrisini daha sürdürülebilir ve yenilikçi uygulamalara yönlendirmeye

de etkili olacak ve tuz üretiminin uzun ömürlülüğünü ve çevresel sorumluluğunu sağlayacaktır.

Türkiye'nin ülke genelinde dağılmış çok çeşitli tuz ve evaporit yatakları olduğundan, bunları JORC ve NI43-101 (CIM aracılığıyla) hatta UMREK gibi iyi bilinen standartlar altında uluslararası raporlama düzeyine getirmek, ülkeye daha fazla yatırım çekmek için küresel rakiplere karşı stratejik bir avantaj sağlayacaktır.

Kaynaklar

1. Bolen, W. P. (2024). Salt; Mineral Commodity Summaries. U.S. Geological Survey. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2024-salt.pdf>
2. British Geological Survey. (2023). Salt. In World Mineral Production 2018-2022. Nottingham: British Geological Survey.
3. Idoine, N E., Raycraft, E R., Price, F., Hobbs, S F., Deady, E A., Everett, P., Shaw, R A., Evans E J and Mills, A J. World Mineral Production: 2017-2021. 2022. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham. Accessed in September 2023. <https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldStatistics.html>
4. News, H. D. (2023, August 13). Tuz Lake Drives Türkiye's Salt Exports to Over 50 Countries. Retrieved from Hürriyet Daily News: <https://www.hurriyetdailynews.com/tuz-lake-drives-turkiyes-salt-exports-to-over-50-countries-200908>
5. One Earth. (2024, 11 11). Central Anatolian Steppe. Retrieved from One Earth: <https://www.oneearth.org/ecoregions/central-anatolian-steppe/>
6. USGS. (2024, 11 11). Salt - Historical statistics (Data Series 140). Retrieved from U.S. Geological Survey; U.S. Department of the Interior: <https://www.usgs.gov/media/files/salt-historical-statistics-data-series-140>
7. Worldwide Salt Production. (2024, 11 08). Retrieved from Statista: <https://www.statista.com/forecasts/237162/worldwide-salt-production>.

DMT

Yapabiliriz.
Neyi?

Madencilik için her şeyi!

1737'den beri madencilikte ustalaşmadığımız hiçbir konu kalmadı. Ne tür bir hammadde olduğu, ne tür bir maden olduğu ya da dünyanın neresinde bulunduğu bizim için önemli değil! Hangi arama, geliştirme ve madencilik şirketi, banka ve yatırımcı, hükümet ya da sigorta şirketi olduğu da önemli değil! DMT GROUP, temel mühendislik danışmanlığından sürekli maliyet -lendirmeye kadar madencilik yaşam döngüsü boyunca tüm teknik hizmet yelpazesinde uzmandır.

Size şu konularda destek sunuyoruz:

- Keşif ve kaynak/rezerv kestirimi (UMREK, JORC, CIM, SAMREC, ESMA, PERC, NI 43-101, SK-1300)
- Bankalara uygun fizibilite çalışmaları ve ayrıntılı maden ve zenginleştirme tesisi tasarımı
- Hidrojeolojik ve jeoteknik modelleme
- Şaft, galeri ve desandre tasarımı
- Maden kurulumu denetimi ve proje yönetimi (İşveren'in Mühendisi ve Kredi Kurumları Bağımsız Mühendisi)
- Mühendislik danışmanlığı, maden optimizasyonu ve teknik eğitim
- Durum Saptama, Şirket Birleşmesi ve Satın Alma Desteği, Borsalarda İlk Halka Arz Desteği ve finans ve sigorta sektörleri için Değerleme
- Mühendislik Destek Aygıtları (Ancorelog, CoreScan3, Gyromat, Shaft Scanner)

Sizin için hangi soruları yanıtlayabiliriz?

DMT TÜRKİYE - Kozyatağı Mah. Şehit Mehmet Fatih Öngül Sk. Odak Plaza Blok No: 5 İç Kapı No: 4 TR 34742, Kadıköy, İstanbul
İletişim: +90 216 361 26 98 / +90 535 206 71 75 - Mail: turkey@dm-group.com

dm-group.com



TUVNORDGROUP