



Evaluation of Salt Tectonics Structures as Geological Storage Fields in the Sivas Basin

Yusuf Pençeçelik^{1,a,*}, Kaan Şevki Kavak^{2,b}

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Sanayi Teknolojileri ve Stratejileri Ana Bilim Dalı, 58140 Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

/

Received: 07/08/2024

Accepted: 09/08/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

In geological terms, the usability of underground salt tectonic structures as storage areas began to be revealed with studies conducted in the 1970s. In addition to the structural role of salt structures in the formation of hydrocarbons known to cause climate change and damage to nature, such as oil and natural gas, their usability in geological storage, one of the roles of countries in the current energy transition initiative, also reveals an irony in terms of salts and salt tectonics. The energy transition and therefore the concept of storage, which also holds a very important place in terms of the Sustainable Development Goals (SDGs), which the United Nations proposes to implement in all countries by 2030, has once again revealed the importance of salt and salt tectonics. Considering that although a significant portion of the salt tectonic structures in the world are generally observed under the sea, the salt tectonic structures, especially in the central part of the Sivas Basin, contain the best structures observed on land, the basin in question has a high potential for the safe storage of energy resources such as natural gas, hydrogen, carbon dioxide (CO₂) in Turkey, as well as for the storage of carbon and nuclear waste from an environmental perspective. When considered from this perspective, the existence of an 89 m salt layer cut in a 3643 m drilling conducted by the MTA in the central part of the basin for oil purposes in 1974 is an important data. Since it is located in the central inland part of Turkey, the geological conditions in the Sivas Basin stand out as a strategic location suitable for military purposes as well as energy and waste storage areas. In order to reveal the potential of oil, natural gas, mineral deposits and industrial raw materials, the basin has been studied for a long time by foreign researchers and companies, MTA, university earth science departments and state institutions such as State Hydraulic Works (DSİ) and General Directorate of Highways (KGM). The approximately 13,000 km thick stratigraphic thickness, drilling data and seismic sections in the basin should be revealed and examined in detail by earth scientists, especially geologists, geophysicists, environmental and mining engineers, from an integrated perspective.

Keywords: energy transition, geological storage, Sivas Basin, sustainable development goals, salt tectonics

Sivas Havzası'nda Jeolojik Depolama Alanları Olarak Tuz Tektoniği Yapılarının Değerlendirilmesi

Süreç

Geliş: 07/08/2024

Kabul: 09/08/2024

Öz

Jeolojik anlamda yer altındaki tuz tektoniği (salt tectonics) yapılarının depolama alanları olarak kullanılabilirliği, 1970'li yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konulmaya başlanmıştır. Tuz yapılarının petrol ve doğal gaz gibi iklim değişimi ve doğaya verdiği zarar bilinen hidrokarbonların oluşumundaki yapısal rolüne ek olarak, ülkelerin güncel enerji geçişi inisiyatifindeki rollerinden birisi olan jeolojik depolamada da kullanılabilirliği, tuzlar ve tuz tektoniği açısından bir ironiyi de ortaya çıkarmaktadır. Birleşmiş Milletler'in 2030 yılına kadar tüm ülkelerde hayata geçirilmesini önerdiği Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals, SDG) açısından da çok önemli bir yer tutan enerji geçişi ve dolayısıyla depolama kavramı, tuz ve tuz tektoniğinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Dünya üzerinde tuz tektoniği yapılarının önemli bir bölümünün genelde deniz altında gözlenmesine rağmen Sivas Havzası'nın özellikle orta kesimindeki tuz tektoniği yapılarının karada gözlenen en iyi yapıları barındırdığı dikkate alındığında, söz konusu havzanın Türkiye açısından doğal gaz, hidrojen, karbon dioksit (CO₂) gibi enerji kaynaklarının güvenli bir şekilde depolanmasına ek olarak çevresel açıdan da karbon ve nükleer atıkların depolanmasında kullanılabilmesinde yüksek bir potansiyeli de bulunmaktadır. Bu açıdan düşünüldüğünde, 1974 yılında petrol amaçlı olarak havzanın orta kesiminde MTA tarafından yapılan 3643 m'lik bir sondajda kesilen 89 m'lik bir tuz katmanının varlığı önemli bir veridir. Türkiye'nin orta iç kesiminde bulunması sebebiyle Sivas Havzası'ndaki jeolojik koşulların stratejik konum olarak askeri amaçlar yanında, enerji ve atık depolama alanları için uygun bir konuma sahip olabileceği ön plana çıkmaktadır. Petrol, doğal gaz, maden yatakları ve endüstriyel hammadde potansiyelinin ortaya çıkarılması amacıyla çok uzun süredir yabancı araştırmacılar ve şirketler, MTA, üniversitelerin yer bilimci bölümleri ve DSİ ve Karayolları Denel Müdürlüğü gibi devlet kurumlarınca da incelenen havzadaki yaklaşık 13.000 km'lik kalınlıktaki stratigrafik kalınlık, sondaj verileri ve sismik kesitlerin tümünün ortaya çıkarılması ve bütünlük bir bakış açısıyla başta jeologlar, jeofizikçiler, çevre ve maden mühendisleri olmak üzere yer bilimci tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir.

Anahtar Kelimeler: enerji geçişi, jeolojik depolama, Sivas Havzası, sürdürülebilir kalkınma hedefleri, tuz tektoniği

^a yusufpencecelik@gmail.com

^b 0009-0008-9927-6766

^a kaank@cumhuriyet.edu.tr

^b 0000-0002-8216-5890

How to Cite: Pençeçelik Y, Kavak KŞ (2024) Evaluation of Salt Tectonics Structures as Geological Storage Fields in the Sivas Basin, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 95-106

Giriş

Günümüzde enerji kullanımının büyük bir bölümü fosil yakıtlardan karşılanmakta olup söz konusu yakıtların kullanımının azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması enerji geçişi olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu geçiş yenilenebilir enerji geçişi olarak da nitelendirilebilir. Bu geçiş, mümkün olduğunca düşük karbonlu ve elektrik kullanılarak sera gazı emisyonlarını hızlı ve sürdürülebilir bir şekilde azaltmayı amaçlamaktadır.

Birleşmiş Milletler (BM), gezegenimiz için küresel bir eylem çağrısı olarak Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ni (Sustainable Development Goals-SDG) 2015 yılında kabul etmiştir. Bu eylem çağrısı 2030 yılına kadar sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için bir yol haritası olarak kabul edilmekte olup 17 küresel çaplı hedeften oluşmaktadır (Resim 1). Bunlar; yoksulluğa son, açlığa son, sağlıklı bireyler, nitelikli eğitim, toplumsal cinsiyet eşitliği, temiz su ve sıhhi koşullar,

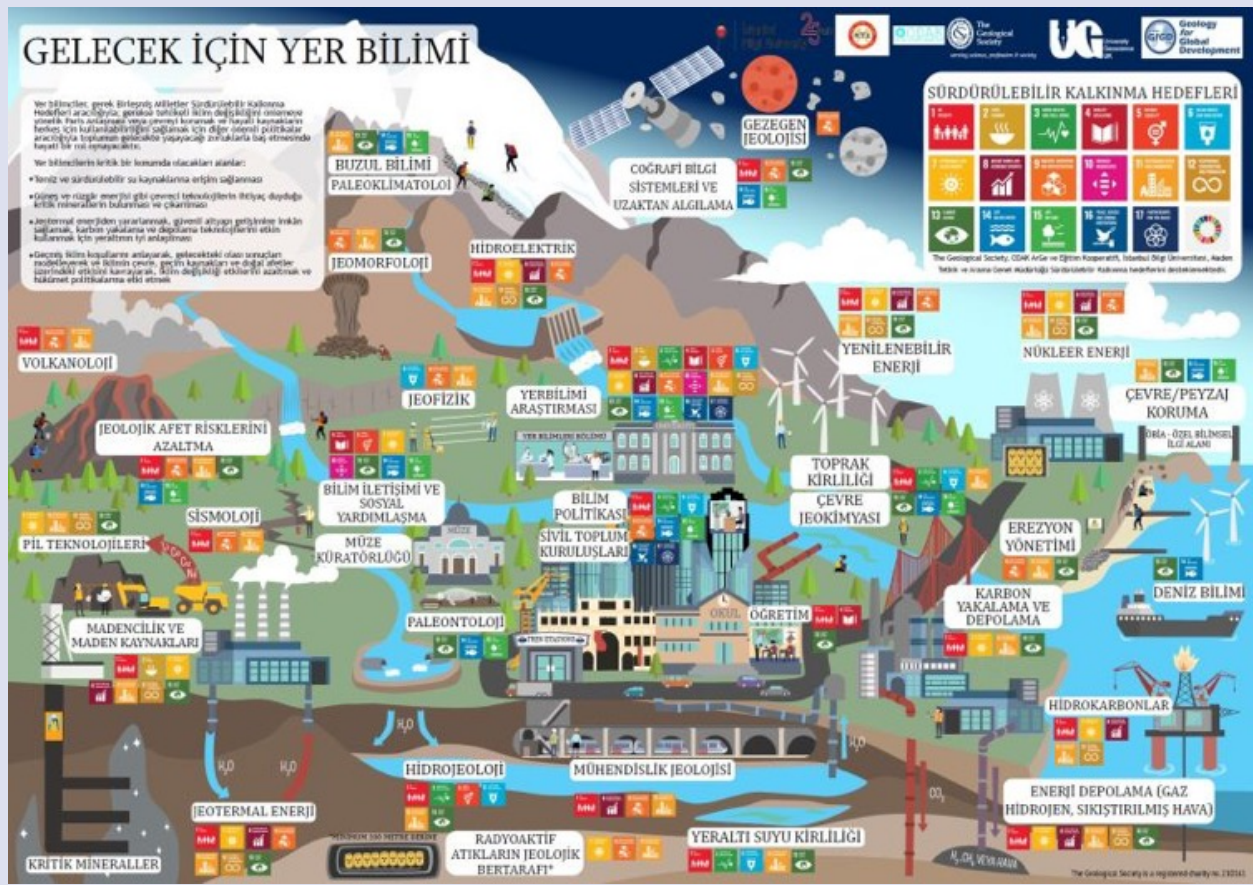
toplumsal cinsiyet eşitliği, temiz su ve sıhhi koşullar, erişilebilir ve temiz enerji, insana yakışır iş ve ekonomik büyüme, sanayi-yenilikçilik ve altyapı, eşitsizliklerin azaltılması, sürdürülebilir şehir ve yaşam alanları, sorumlu tüketim ve üretim, iklim eylemi, sudaki yaşam, karasal yaşam, barış-adalet-güçlü kurumlar ve hedefler için ortaklıklardır (Resim 1).

Jeoloji dahil jeofizik, çevre, maden, coğrafya, atmosfer, deniz bilimleri dahil olmak üzere tüm yer bilim dallarının, SDG içindeki yeri ve katkısı ayrıntılı bir şekilde Resim 2'de görülmektedir. Resim 2 incelendiğinde jeolojik depolamanın da bunlar içerisinde yer aldığı açıkça görülür. Tümünün birbiriyle ve söz konusu hedeflerle etkileşimine bakıldığında, küresel anlamda hedeflere ulaşmak için yapılması gereken çok iş olduğu ve bunların tümünün yönetiminin BM başta olmak üzere ülkeler arasında başlı başına bir eş zamanlama ve çaba gerektirdiği görülmektedir.



Resim 1. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (<https://turkiye.un.org/tr/sdgs>)

Figure 1. Sustainable development goals (<https://turkiye.un.org/tr/sdgs>)



Resim.2: Yerbilimlerinin sürdürülebilir kalkınma hedefleri içerisindeki önemi

(<https://www.geolsoc.org.uk/~media/shared/documents/education%20and%20careers/Resources/Posters/Geoscience%20for%20the%20Future%20poster.pdf?la=en>)

Figure 2. The importance of geosciences in sustainable development goals

(<https://www.geolsoc.org.uk/~media/shared/documents/education%20and%20careers/Resources/Posters/Geoscience%20for%20the%20Future%20poster.pdf?la=en>)

Depolama, tarih boyunca insanlığın önemli ihtiyaçlarından birisi olmuştur. Günümüzde ise bu ihtiyaç toplumsal, bilimsel ve teknolojik gelişmelerle daha da artmaktadır. Gıda, enerji ve atıklar gibi birçok maddenin depolanması için uygun koşul ve alanların belirlenmesi gerekmektedir. Birçok depolama yöntemi bulunmakta olup, özellikle enerji geçişi sürecinde, jeolojik depolama da bu önemli yöntemlerden biridir. Jeolojik depolama alanları, petrol-doğal gaz, hidrojen, karbon dioksit (CO₂), atık, mühimmat vb. ürünlerin depolanmasını mümkün kılar. Jeolojik depolamaya olan ilgi giderek artmakta olup fosil yakıtlardan başlayarak hidrojen gibi daha temiz yakıtlara geçişte depolama alanlarına olan ihtiyaç da giderek artacaktır. Bu doğrultuda SDG "Sorumlu Tüketim ve Üretim" hedefi, doğal kaynakların kullanımının düzenlenmesi ve etkin bir atık yönetiminin oluşturulması bağlamında önemlidir. Atık üretiminin azaltılması yoluyla doğaya verilen zararı yönetmek bu hedef kapsamındadır. Jeolojik depolama alanlarında atık depolama da bu hedefle doğrudan ilgilidir. Diğer önemli konu başlığı ise iklim eylemi hedefi olup, küresel bir kriz olan iklim değişikliği ile mücadele için Türkiye'nin de acilen harekete geçmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla, iklim değişikliği için gerekli

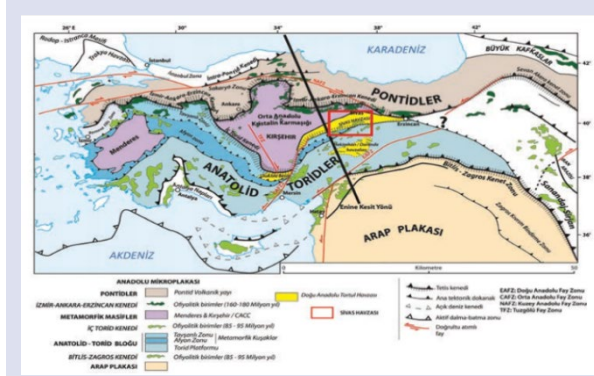
önlemler alınarak ülkeler ulusal politika ve stratejilerini düzenlemelidir. İklim odaklı riskleri yönetebilme kapasitesinin tüm ülkelerde geliştirilmesi, etkili bir iklim krizi yönetimi için gerekli görülmektedir. Öte yandan karbon salınımı her geçen gün giderek artmaktadır. Jeolojik depolama alanlarında gerçekleştirilebilecek olan karbon dioksit depolanması ile karbon artışının önüne geçilebilecek ve jeolojik depolama alanları iklim eylemi hedefine de doğrudan katkı sağlayacaktır. Günümüzde savunma sanayinin önemli unsurlarından birisi de depolamadır. Mühimmat, hammadde, gıda gibi ürünlerin uygun koşullarda depolanması önemli unsurlardandır. Tuz tektoniği içinde tanımlanan boşlukların keşfi ile gerçekleştirilecek alanlar savunma anlamında doğal depolama alanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanların keşfi ile çok daha uygun maliyetlerle depolama alanları elde edilebilecektir.

Sivas Havzası ve Jeolojik Özellikleri

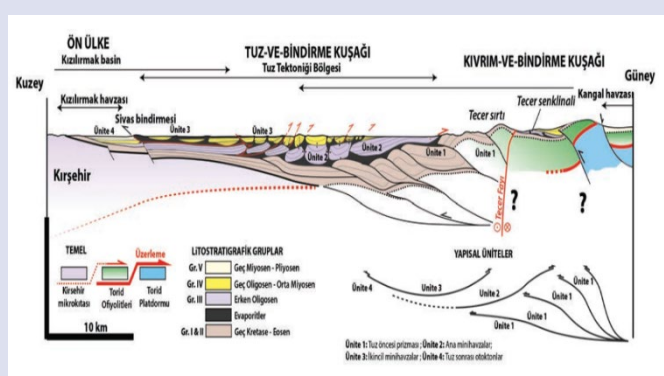
Türkiye anakarası; jeolojik açıdan kabaca kuzeyde Karadeniz Dağları'na karşılık gelen ve Pontidler olarak bilinen Avrasya'nın güney parçası ve güneyde ise Afrika

kitasına ait Toridler adı verilen ve Toros Dağları olarak da bilinen karbonat-kireçtaşı kaya kütlelerinden oluşur (Resim 3.A). Bölgesel jeolojik anlamda düşünüldüğünde Anatolid-Torid Bloğu Türkiye'nin güneyinin büyük bir kısmını oluşturur ve Pontid kıtasal parçalarının aksine, Arap Platformuna ve dolayısıyla Gondwana'ya benzer bir Paleozoyik stratigrafi gösterir. Geç Kretase-Paleosen'deki üzerleme (obdüksiyon), dalma ve kıtasal çarpışma olayları

sırasında Anatolid-Torid Bloğu taban konumundadır ve bu nedenle Pontid zonunda gözlenenlerden çok daha güçlü Alpid deformasyonuna ve bölgesel metamorfizmaya maruz kalmıştır. Senoniyen sırasında, Anatolid-Torid Bloğu üzerine devasa bir ofiyolit kütle ve yığılma kompleksi yerleşmiştir [1,2]. Sivas Havzası, Anatolid-Torid Bloğunun İç Torid Okyanusu ile olan sınırında ve Kırşehir Masifi üzerinde yer alır (Resim 3.A).



3.A



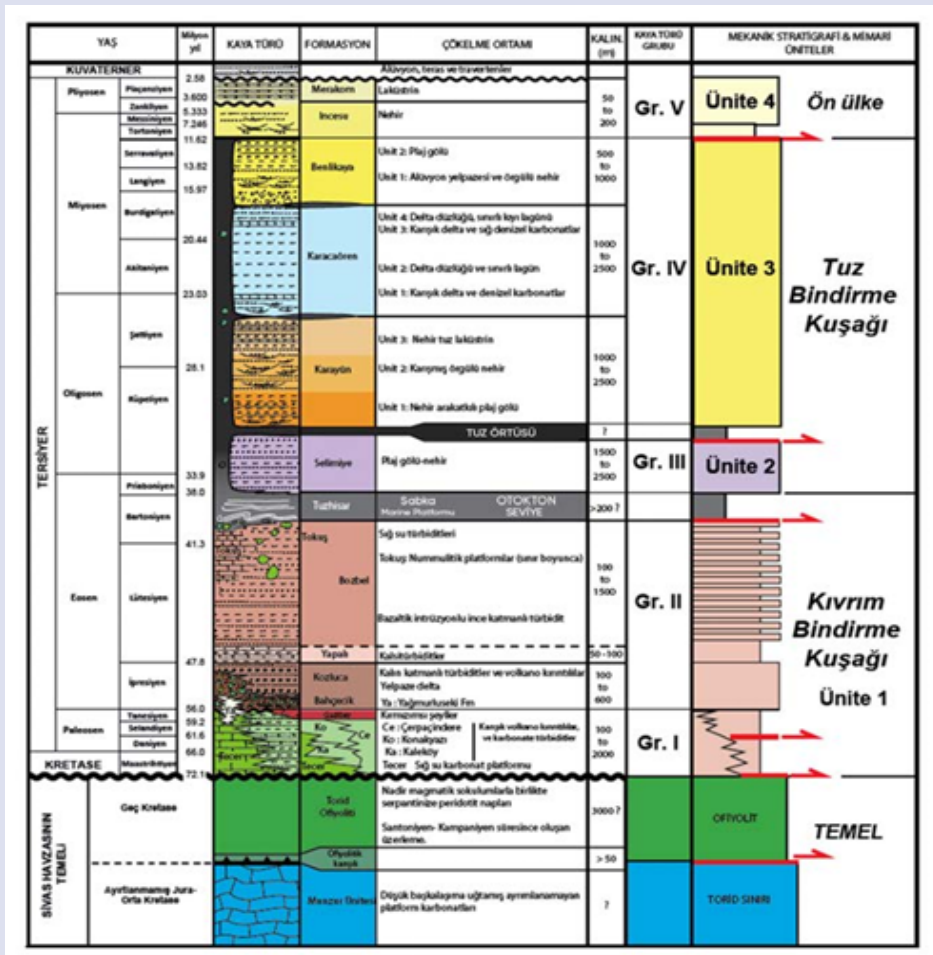
3.B

Resim.3.A Anadolu'nun tektonik taslak haritası [2]'den değiştirilmiştir. Sivas Havzası'nın konumu, Sivas Havzası'nın ana yapısal alanları ve değiştirilip tamamlanmış enine jeolojik kesiti [3]'den değiştirilmiştir [4]
Figure 3.A. Tectonic sketch map of the Anatolian domain (modified 3), and location of the Sivas Basin. 3.B. Cross-section of the Sivas Basin which presents the main structural domains, modified and completed from [3], [4].

Değişik metamorfik, yapısal ve stratigrafik özellikler gösterse de tüm bu zonlarda ortak olan ve Anatolid-Torid Bloğu'nu tek bir tektonik varlık olarak ayıran bazı stratigrafik unsurlar vardır. Bunlar, Prekambriyen kristalli bir temel, silisli klastik kayaların hâkim olduğu Kambriyen'den Devoniyen'e kadar süresiz bir istif, ara katkılı kireçtaşı, şeyl ve kuvarsitten oluşan Permo-Karbonifer dizisi ve kalın bir Üst Triyas-Üst Kretase karbonat seviyesidir. Öte yandan Sakarya Zonu'nun karakteristik özellikleri olan Hersiniyen deformasyon veya metamorfizma ve Triyas dalma-batma-yığılma birimleri Anatolid-Torid Bloğunda görülmemektedir. İzotop yaşlarına göre başlıca Kretase yaşlı metamorfik ve granitik kayalardan oluşan Kırşehir Masifi, tartışmalı İç Torid Keneti [1] boyunca Anatolid-Torid ile dokanak halindedir. Kırşehir Masifi'ndeki yüksek sıcaklık-düşük basınç ve granitik magmatizma karakterli bölgesel metamorfizmanın olası nedeni Kretase ortalarında İç Torid Okyanusu'nun Kırşehir Masifi altına kuzeye doğru dalmasıdır [2, 3].

Sivas il sınırlarının önemli bir kısmı genel olarak jeolojik açıdan yer kabuğunda çökellerle doldurulmuş çukurluk alanlar da olarak bilinen "havza" kavramı içinde tanımlanır [4,5]. Havza, doğuda İmranlı ilçesinden başlayıp, güneybatıda Gemerek ilçesine kadar olan bir bölgede

yaklaşık 200-250 km uzunluğa ve 50 km genişliğe sahiptir (Resim 3.A). Sivas Havzası; güneyde bir ofiyolitik temel üzerinde Maestrihtiyen-Eosen tortullarını içeren kuzeye eğimli bir kıvrım ve bindirme kuşağı; onun kuzeyinde ise "tuz tektoniği" tarafından şekillendirilmiş ve mini havzaların yer aldığı Oligo-Miyosen yaşlı bir tuz ve bindirme kuşağı ve en son olarak da en kuzeyde Kırşehir başkalaşım kayalarının üzerinde gelişmiş yaklaşık 2.5-5.3 milyon yıl öncesi döneme ait Pliyosen yaşlı bir çökel alanından oluşan Kızılırmak ön ülke (foreland) havzasından oluşur. (Resim 3.B). Havza içinde, tortullar yanal kalınlık değişimleri ve muhteşem açılı uyumsuzluklar göstermektedir. Gözlenen bu geometriler, tuz tektoniğinden fazla etkilenmiş petrol havzalarından (Meksika Körfezi, Hazar öncesi havza, Angola kenarı) alınan sismik verilerle benzerlikler göstermektedir. Havzaya ait stratigrafik kesit ve dolayısıyla tuz depolama alanlarının genel kaya birimi olarak nitelendirilebilecek tuzları da içeren ve genel olarak evaporitik kayaları temsil eden Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar Formasyonu'nun bulunduğu seviyeler Resim 4'de görülmektedir. Sivas Havzası Erken Tersiyer'de şekillenmeye başlayan bir havzadır. Güney ve kuzeyde yer alan temel kayaları birbirinden farklı litolojik ve yapısal özelliklere sahiptir.



Resim.4. Sivas Havzası'nın orta kesiminin stratigrafik kesiti ve jeolojik depolamaya uygun olan ve tuzları temsil eden Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar Formasyonu'nun yeri [4]

Figure 4. Stratigraphic section of the central part of the Sivas Basin and the location of the Upper Eocene-Oligocene Tuzhisar Formation, which is suitable for geological storage and represents salts [4].

Tuz ve Tuz Tektoniği

Tuzların da içinde yer aldığı evaporitler; sedimanter kayaların kimyasallar grubu içerisinde karbonatlı kayalardan sonra en yaygın olanlarıdır. Genellikle deniz veya göl suyunun buharlaşmasıyla oluşurlar ve kurak iklim kuşaklarında yaygındır. Çoğu zaman buharlaşma (evaporasyon) kimyasal çökelimleri tetikleyen mekanizmadır. Genellikle bu şekilde çökelen mineraller yemek tuzu olarak da bilinen kaya tuzunun ana bileşeni olan tuz (halit, NaCl, sodyum klorid) ve kaya olarak sulu kalsiyum sülfat olarak da bilinen jipstir (alçıtaşı, CaSO₄.2H₂O). Bazı evaporit mineralleri denizel, bazıları karasal ve bazıları da hem karasal hem de denizel ortamlarda oluşurlar. Evaporitik bir ortamda sıcaklık artıp buharlaşma başlangıcı olan evaporasyonda başlıca üç çökelim evresi vardır. Bunlar sırasıyla; 1) Karbonat çökelim fazı, 2) Sülfat çökelim fazı ve 3) Klorür çökelim fazıdır. Bu nedenle, evaporitik kayalar başlıca sülfat ve klorür grubu olarak ikiye ayrılırlar. Bunlardan sülfatlar (SO₄²⁻) grubuna örnek olarak; anhidrit (CaSO₄), jips (CaSO₄.2H₂O), sölestin (SrSO₄) ve barit (BaSO₄) verilebilir. Klorür (Cl⁻) grubuna ise halit yani tuz (NaCl) ve silvin (KCl) örnek verilebilir.

Tuzlarda yan kayaya göre düşük yoğunluğundan dolayı yükselme eğilimi gösteren ve plastik davranış gösterebilen jips, anhidrit, halit gibi evaporitik mineraller söz konusudur. Tuz kütleleri değişik miktarda evaporitik malzemeyi de içerebilir (anhidrit ya da hidrat formundaki jips). Bazı durumlarda evaporitik olmayan kayalar da tuz içerebilir [6].

Halk dilinde vurulduğunda çabuk parçalanan, yumuşak taş veya alçıtaşı anlamında kullanılan pur (jips, anhidrit) terimi havzadaki yaygın evaporitik kayalar için kullanılmakta olup Sivas ilindeki tarım ve su potansiyelini olumsuz yönde etkileyen bir çökel kayadır ve halokinetik özelliğiyle tuzu niteler. Jips alçının ana hammaddesi olup, duvar kaplaması ve siva için inşaat endüstrisinde sıklıkla kullanılır. Evaporitlerden olan ve öz direnci yüksek ve mekanik direnci düşük olan jipsler, içerdikleri stronsiyum minerali yardımıyla buldukları ortam ve oluştuğu jeolojik zamanın bulunmasına da yardımcı olur. Söz konusu birimlerden elde edilen kaya tuzu, halen Sivas il merkezine yakın Bingöl köyüyle, Zara, İmranlı ve Hafik civarındaki ocaklardan çıkarılmaktadır. Sivas Havzası'nın genel stratigrafik kesitine bakıldığında tuz içeren bu evaporitik

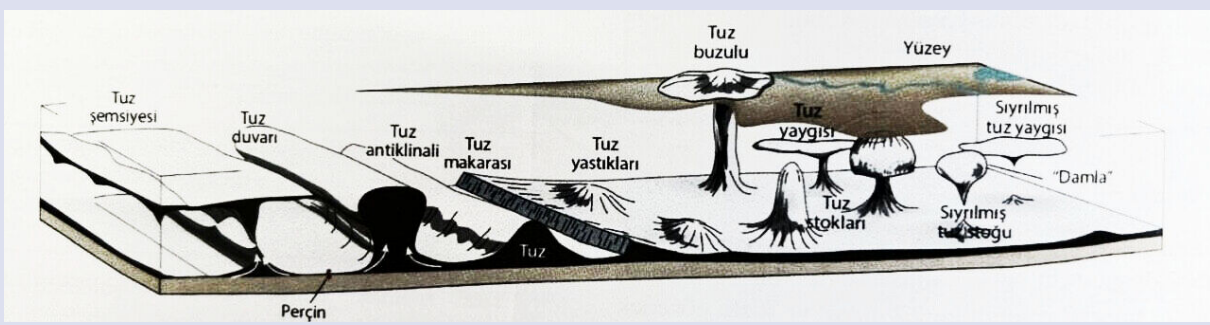
seviyelerin Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar Formasyonu'nun içinde yer aldığı görülmektedir [4].

Tuzun yemeklerde ve besinlerin baharatlanmasında kullanıldığı herkes tarafından bilinir. Tuz genellikle doğada tuz göllerinden, denizel tuzlalardan ve gömülü kaya tuzu mağaralarından edilir [7]. Ayrıca, kaya tuzunun yollardaki buzun çözünmesinden hidroklorik asit elde etmeye kadar çok sayıda kullanım alanı da vardır. Tuzlar genellikle sedimanter havzaların en yaygın bileşenlerinden birisidir. Mekanik olarak zayıf olan tuzun yoğunluğu düşük ve geçirgenliği azdır (2.160 g/cm^3) ve yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir. Neredeyse sıkıştırılmaz yapıda ve geçirimsiz olup akışkan yapıdadır ve sıvı gibi davranır. Geniş alanlarda deformasyona neden olur. Yapısal olarak da sıvı kapanları oluşturur. Tuzların yaşlarının İran Zagros Dağları'nda 500-800 milyon yıl Meksika Körfezi'nde ise 175 milyon yıl olduğu saptanmıştır. Tuz çoğunlukla rift havzalarında, yarı grabenlerde, düşmüş bloklarda ve pasif kıta kenarları boyunca oluşur. Akdeniz'de geçmiş jeolojik dönemlerden Messiniyen'de olduğu gibi deniz seviyesindeki değişikliklerle ilgili olarak evaporasyonla da oluşabilir. Kendilerine özgü reoloji (akış özelliği) sunan tuzlar jeolojik zaman olarak örneğin ay gibi kısa zaman ölçeğinde bile plastik olarak akar ve viskoz olarak da deforme olur. Basınç altında su gibi davranan tuzlarda deformasyon tuzun

kendisi tarafından sürdürülemez. Tuz öncelikle pasif olarak yer çekimi gibi dış kuvvetlerden, sedimantasyon ve erozyonla da doğrudan ilişkili durumlardan etkilenir. Tuzun yoğunluğu derinliğe bağlı olarak basınçla birlikte değişir.

Sivas Havzası'nın orta kesiminde yer alan ve petrol belirteci olabileceği düşünülerek Celalli Antiklinali'nde 1974 yılında yapılan 3643 m'lik sondajda 2111-2200 m'ler arasında, 89 m'lik bir tuz tabakası (Tuzhisar formasyonu) kesilmiştir (Resim 4) [7]. Sivas Havzası'ndaki tuz yapıları ise Üst Eosen-Oligosen yaşlı olup yaklaşık olarak 35 milyon yaşlı olduğu öngörülmektedir[5].

Tuz tektoniği kavramı; bölgede tuzun akışı etkisiyle gelişen deformasyon ve buna bağlı olarak gelişen yapılar bütünüdür. Tuz tektoniği sonucu oluşan yapılar Resim 5'te görülmektedir. Bölgede gelişen karmaşık yapıların tipi, geometrileri, konumları göz önünde bulundurularak ifade edilir. Tuz tektoniği yapıları depolama alanları olarak oldukça verimli kullanılabilen depolama alanlarıdır. Tuz tektoniği alanları askeri teçhizat, doğal gaz, petrol, hidrojen, karbon dioksit ve atık depolama alanları olarak kullanılmaktadır. Tuz tektoniği petrol ve doğalgaz endüstrisinde önemli yere sahiptir ve ayrıca bu yapılar karbon dioksit, atık depolama alanları için de uygun koşullar sağlamaktadır.



Resim.5. Genel tuz tektoniği yapıları [7]

Figure 5. General structures of salt tectonics [7]

Kendilerine has şekilleriyle tuz domları (tuz içeren kubbeler) son zamanlarda jeologların dikkatlerini üzerlerinde toplamıştır. Jeologlar, bu domlardaki yarıklar ve çöküntülerin dünyanın çeşitli bölgelerinde aynı tipte olduklarını kaydetmişlerdir. Öte yandan tuzlar radyoaktif atıkların depolanmasında da kullanılabilir. Tuzlardaki kabarmanın yarattığı düşük basınca birlikte örtü yükü içerisinde tuz akışına bağlı olarak tuz antiklinalleri bu yolla oluşur ve antiformal kapanlar meydana getirerek istifin kıvrımlanmasına da sebep olur. Sivas Havzası'nda olduğu gibi tuz tabakasını üzerleyen sedimanter seriler bölgesel bir sıkışmanın etkisiyle (tektonik ya da gravitasyonel) ve tuzun etkisiyle kabarmaya başlar. Sivas Havzası'na ek olarak tuz tektoniği ve sıkıştırılmalı tektonik rejimdeki önemli bölgelere İran ve Meksika'dan La Popa bölgesi örnek verilebilir.

Bölgesel sıkışmaya bağlı olarak gelişen kabarma ve ters faylanma, tuz diyapirleşmesinin başlayabilmesinin bir yoluken, sıkıştırmanın egemen olduğu bölgelerde bulunan çoğu büyük ölçekteki diyapirlerin bir kısmı açılma/uzama rejimlerinin egemen olduğu bölgelerde de oluşarak, sıkışmanın etkisiyle güçlü bir şekilde gelişerek son halini alır. Bunun

sonucunda, Sivas Havzası'nın orta kesiminde farklı boyut ve türde tuz tektoniği yapıları sıklıkla görülmektedir. Bunlara örnek olarak Resim 6.A ve 6.B örnek verilebilir [8]). Kırıntılılarla evaporitik birimlerin dokanağında gözlenen tuz duvarları Resim 6.A' daki gibi Emirhan mini havzasında tuz duvarı (salt wall), kanca (hook) ve perçin (weld) olarak adlanan tuz tektoniği yapılarını oluşturur.

Sismik yansıma kesitlerinden Sivas Havzası'nın orta kesimindeki yeraltı tuz yapılarının ortaya çıkarılmasında önemli veriler sağlanmıştır (Resim 7). En üstteki sismik yansıma kesiti yaklaşık 25 km'lik bir uzaklığa sahip ve kuzey-güney yönlü olup, araştırma derinliği ise yaklaşık 40 km'dir. Bu sismik yansıma kesit Transatlantik Petrol Şirketi tarafından Sivas Havzası'nda petrol amaçlı olarak elde edilmiştir (Kergaravat, 2016). Resim 7'de aslında havzanın orta kesiminden kuzey-güney yönünde alınmış bir sismik kesitle ondan çıkarılan enine jeolojik kesit görülmektedir. Buna göre en alttaki jeolojik kesitte, depolanmanın yapılabileceği tuz formasyonlarının farklı seviyelerde kendisiyle ve diğer jeolojik birimlerle ilişkisi ve bölgedeki mini havzaların konumu görülmektedir. Ayrıca bu tür

kesitlerden tuz yapılarının türüne dair sonuçlar da ortaya çıkarılabilmektedir (Resim 7).

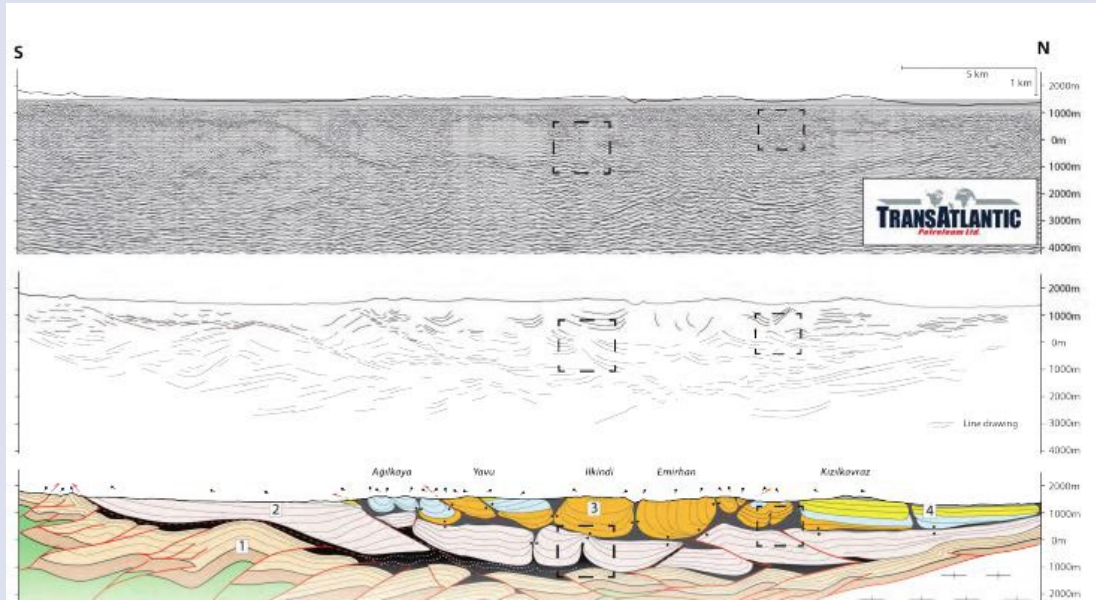
Benzer şekilde, depolama yeri belirleme için kullanılabilecek diğer bir yöntem ise jeolojik yöntemlerde araç olarak kullanılan ve sıklıkla tercih edilen önemli yöntemlerden biri olan uydu görüntülerine uygulanan sayısal görüntü işleme yöntemleridir. Bu yöntemle uydu görüntülerinden tuz ve evaporitik birimler orta çıkarılabilmektedir. Resim 8, görüntü işleme çalışmaları

sonucunda ASTER 631 (RGB) görüntü kombinasyonundan elde edilmiş olup kızılötesi ve görünür bantların birlikteliğini temsil etmektedir [9]. Bu analizde Sivas Havzası'nın orta-kuzey kesimlerindeki kaya türlerini oluşturan diğer jeolojik birimlerden depolamada etkin olarak kullanılabilen tuzları ve evaporitleri ifade eden birimler turkuaz mavi renkle ortaya çıkarılmıştır (Resim 8).



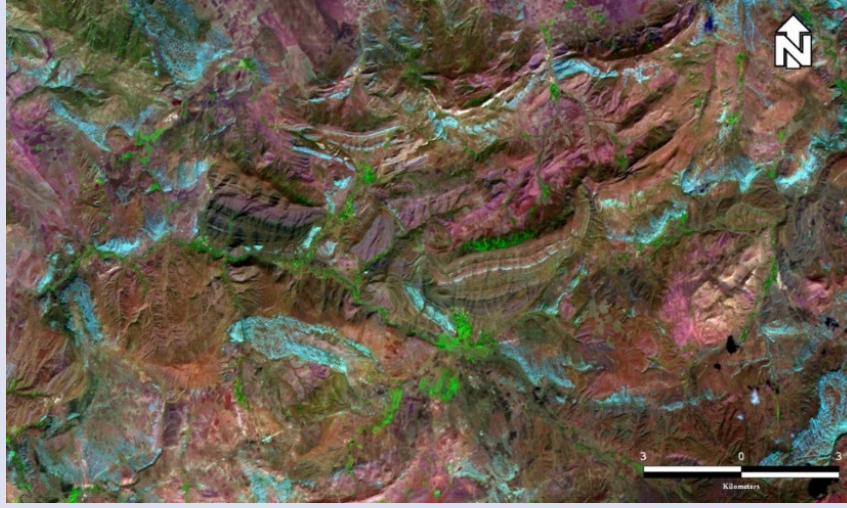
Resim. 6.A.ve B: Sivas Havzası içindeki Emirhan mini havzasında tuz ve detritik birimlerin dokanaklarındaki tuz duvarı, kanca (a) ve perçin (weld) yapıları [8]

Figure. 6.A.and B: Salt wall, hook (a) and weld structures at the contacts of salt and detrital units in the Emirhan mini basin within the Sivas Basin [8]



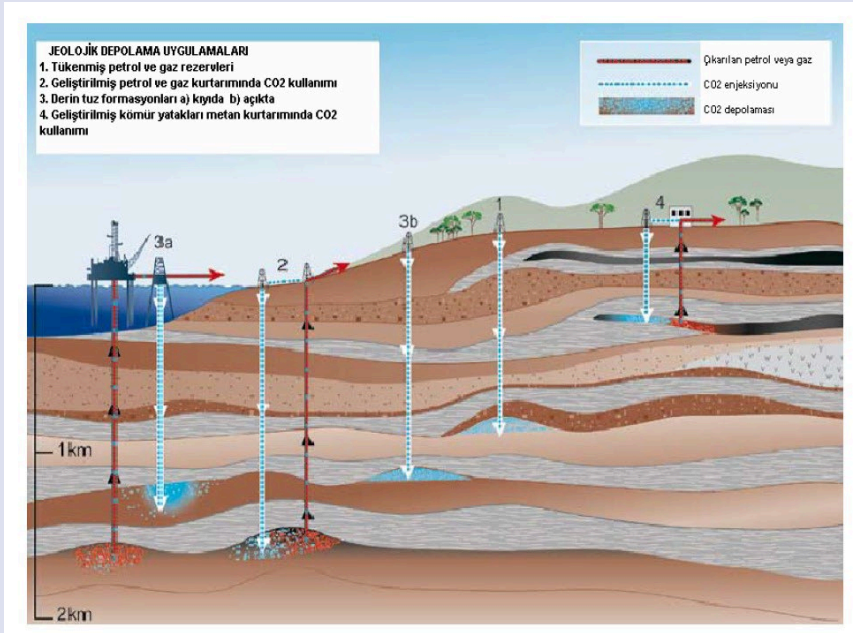
Resim. 7. Sivas Havzası'nın orta kesiminde jeolojik depolama yapılabilecek Üst Eosen-Oligosen yaşlı Tuzhisar formasyonunun bulunduğu seviyeler ve tuz tektoniği yapılarıyla birincil, ikincil mini havzaların genel görünümü [8].

Figure 7. General view of the primary and secondary mini basins with salt tectonic structures and levels of the Upper Eocene-Oligocene aged Tuzhisar formation, which can be used for geological storage in the central part of the Sivas Basin [8]



Resim. 8. ASTER 631 (RGB) kombinasyonu Sivas Havzası'nın orta kesiminde yüzeyleyen ve turkuaz renginde gözlenen evaporitik kayalar ve tuzların görünümü [8]

Figure 8. The appearance of evaporitic rocks and salts exposed in the central part of the Sivas Basin and observed in turquoise color by the ASTER 631(RGB) combination [8]



Resim 9: Yer altında jeolojik depolama olanakları [10]

Figure 9: Underground geologic storage possibilities [10]

Jeolojik depolama

Karbon dioksit başta olmak üzere jeolojik depolama, sedimanter (tortul) havzalarda başta olmak üzere jeolojik ortamlar içerisinde yapılabilmektedir (Resim 9). Bu havzalar içerisinde petrol sahaları, tükenmiş gaz sahaları, derin kömür yatakları ve tuz formasyonları önemli depolama alanlarıdır. Jeolojik depolama karada ve denizde uygulanabilir; enerji depolama maksatlı olarak petrol, doğal gaz, hidrojen depolanabilir. Çevre kirliliğini azaltmak ve karbon salınımını azaltma adına atık ve karbon dioksit depolama (Carbon

Capture Usage and Storage, CCUS) gerçekleştirilebilir. Savunma sanayinde ise savaş araçlarının ve patlayıcı maddelerin güvenliğinin sağlanması önemli bir gerekliliktir. Jeolojik depolama alanları askeri amaçlı da kullanılabilir.

Jeolojik depolama alan ihtiyacı söz konusu hedeflerden "Sürdürülebilir Kentler ve Yaşam Alanları", "Sorumlu Tüketim ve Üretim" ve "İklim Eylemi" ile oldukça ilgilidir. Bu hedeflerden ilkiyle kentlerin daha sürdürülebilir bir yapıya sahip olması hedeflenmekte herkesin uygun fiyatlı konutlara ve temel hizmetlere eriştiği kapsayıcı ve güvenli sürdürülebilir

kentlerin inşa edilmesi amaçlanmaktadır. Şehirlerdeki nüfus artışı enerji artışını da doğurmaktadır. Enerji talebindeki bu artış enerjinin depolanması ihtiyacında artışa neden olmuştur. Jeolojik depolama alanları sürdürülebilir kentler ve topluluklar hedefine katkı sağlayacaktır. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden erişilebilir temiz enerji ile ilgili olarak herkes için uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimin garanti altına alınması önemli bir faktördür.

Yer kabuğunda jeolojik depolama, karada ve denizde uygulanabilir. Derin-deniz sedimanter havzaları, denizdeki muhtemel depolama sahalarıdır. Terk edilmiş doğalgaz, petrol ve maden sahaları, tuz formasyonları başlıca depolama yapılabilecek alanlar olarak görülmektedir (Resim 9). Ülkemizde BOTAŞ (Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi) tarafından Tuz Gölünün altında yaklaşık 1500 m derinlikte doğal gaz depolama tesisi yapılmış olup halen kullanılmaktadır.

Petrol, doğal gaz ve maden sahalarının jeolojik yapısı ve fiziksel özellikleri, kapsamlı bir şekilde çalışılmış ve tanımlanmıştır. İlgili sahaların alt yapılarının tamamlanmış olması ise depolama alanı oluşturmak için gerekebilecek maliyeti de düşürecektir. Tuz yatakları gerek kullanılabilir endüstriyel hammaddelerin ve stratejik önem taşıyan enerji hammaddelerinin, tehlikeli gaz ve atıkların depolanması için en uygun yapıya sahiptir [10;11;12]. Tuz yataklarının geçirimsiz olması, depolanan maddelerle reaksiyona girmemesi, yeterli kalınlığa sahip olmaları ve düşük maliyetlerle elde edilebilmesinden ötürü oldukça verimli depolama alanları olarak gözümüze çarpmaktadır.

Genellikle savaş endüstrisinde ileri bir teknolojiye sahip ülkelerde savaş araçlarının ve patlayıcı maddelerin üretimi için gerekli ham maddenin sağlanması ve bunun güvenliği, dünyada bilinen maden yataklarının da sınırlılığı nedeniyle bazı sorunlar yaratmaktadır. Günümüzde darlığı duyulan birçok petro-kimyasal, metalürjik ve endüstriyel ham maddenin savaş anında sağlanması ve yüksek düzeyde işlenmesinin büyük zorluklar doğuracağı açıktır. Gerekli mühimmatın depolanması güvenliğinin sağlanması büyük önem arz etmektedir. Tuz boşluklarında depolanan ürünlerin reaksiyona girmemesi, geniş depolama alanları sunabilmesi ve maliyetin düşük olması sebebiyle tuz boşluklarında depolama imkanlarının geliştirilmesi askeri amaçlı kullanımı artırabilecektir.

Dünyanın birçok bölgesinde gaz depoları dahil olmak üzere yoğun doğal gaz boru hattı şebekeleri bulunmaktadır. Depolama hacimlerinin sırasına göre, jeolojik yer altı oluşumlarındaki bu gaz depoları neredeyse tamamen tükenmiş gaz alanlarında, akifer oluşumlarında veya yapay olarak inşa edilmiş tuz mağaralarında bulunmaktadır. Çok nadir durumlarda ise kullanılmış petrol sahalarında, terk edilmiş madenlerde veya kaya mağaralarında da depolar inşa edilmektedir. Kaya mağaraları, gaz depoları oluşturma amacıyla madencilik teknikleri kullanılarak kasten kazılan yer altı çalışmaları olarak tanımlanmaktadır.

Madencilikten arta kalan veya özel olarak inşa edilmiş tuz mağaraları, yüksek enjeksiyon ve çekme oranları sağlayan depolama alanları olarak kullanılır. Bu özel olarak inşa edilmiş mağaralar 100 ila 200 m genişliğinde ve 600

ila 1.000 m yüksekliğindedir. Tuz mağaralarında hafif hidrokarbonlar depolanabilir.

Tuz mağaraları ayrıca düşük seviyeli hastane atıklarından nükleer reaktör yakıtı ve kullanılmış yakıt çubuklarının yeniden işlenmesinden kaynaklanan yüksek seviyeli atıklara kadar radyoaktif atıkların jeolojik depoları olarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve bunların yüz binlerce yıl boyunca da izole edilmesi gerekir. Örneğin çoğunlukla plütonyumla kirlenmiş olan atıklar, New Mexico'daki Chihuahua Çölü'ndeki Atık İzolasyon Pilot Tesisi'nde yataklı tuzda depolanır. Almanya'daki Gorleben ve Asse diyapirlerindeki diğer pilot tesisler, düşük seviyeli ve orta seviyeli nükleer atıkları geçici olarak depolarken, yüksek seviyeli nükleer atıkları kalıcı olarak depolamak için tartışmalı durumlar da vardır. Tuz mağaraları, ultra yüksek enerjili nötrino saçılması ve karanlık madde etkileşimleri (örneğin, Saltdome Shower Array) gibi son derece nadir nükleer reaksiyonları incelemek amacıyla tuzun istenmeyen parçacıkları filtrelediği gözlemleri için de düşünülmüştür [13].

Yer altı gaz depolaması, üretim ve aktarımda aksamalar olması durumunda arz güvenliği sağladığından stratejik olarak önemli bir yere sahiptir. Doğal gaz satış fiyatındaki değişimlere veya siyasi/teknik sebeplerden ötürü yaşanan kesintilere bağlı olarak gaz temininde aksaklıklar yaşanabilmektedir. Yer altında gaz depolaması, tüketimdeki mevsimsel değişimleri dengelemek için de kritik bir öneme sahiptir. Bunlara ek olarak gazın kullanıldığı yerde yerel olarak depolanabilme imkânı sağlayacağından gazın nakliyesi ile ilgili yaşanabilecek olumsuzluklar ortadan kaldırılmış olacak ve üretimin etkinliğini arttıracaktır. Üç ana yer altı depolama yöntemi var olup bunlar sırasıyla tükenmiş petrol veya gaz rezervuarları, akiferler, tuz mağaralarıdır.

Türkiye doğal gaz arz talep dengesi dikkate alındığında yıllık gaz talebinin karşılanmasında herhangi sorun yaşamamaktadır. Ancak, talebin yoğun olduğu kış aylarında ve talebin en üst noktaya çıktığı dönemlerde kaynak ülkelerdeki veya güzergâh ülkelerdeki aksamaların neden olabileceği dönemsel arz talep dengesizliklerini ortadan kaldırmak için çalışmalar devam etmektedir. Kuzey Marmara ve Değirmenköy Sahası, Tuz Gölü Doğal Gaz Yer Altı Depolama Projesi, Yüzer LNG Depolama ve yeniden Gazlaştırma Tesisi (FSRU)'ları Aliğa/İzmir ve Dörtöy/Hatay'da işletmeye alınmıştır. Üçüncü Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Ünitesi (FSRU)'ya Sistemine yönelik çalışmalar ise devam etmektedir.

Endüstriyel uygulamalarda, taşımacılıkta ve güç üretim sistemlerinde fosil yakıt bazlı enerji kaynaklarının kullanımı küresel ısınma ve hava kirliliğine sebep olan toksik gazların atmosfere salınımına sebep olmaktadır. Özellikle şehir içi taşımacılıkta fosil yakıt kullanımı ciddi sağlık problemlerine sebep olmakta ve günlük hayatta yaşamsal konforu olumsuz etkilemektedir. Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklı enerjilerin kimyasal olarak depolanmasında ve sıfır-atık ile güç üretilmesinde hidrojen teknolojisinden yararlanılabilir. En basit anlamda güneş panellerinden veya rüzgâr türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisi suyun elektrolizi yoluyla hidrojenin elde edilmesinde kullanılabilir. Elde edilen hidrojen, uygun

depolama teknikleri kullanılarak sıvı veya gaz formunda üretildiği yerde saklanabilir veya farklı bir yerde tüketilmek üzere taşınabilir. Yakıt pilleri hidrojen elektrik elde edilmesinde kullanılmaktadır. Yakıt pilinde hidrojen elektrığe dönüşürken yalnızca su açığa çıktığından çevreye ve insan sağlığına olumsuz yan etkiler içermemektedir. Hidrojen teknolojisi bu nedenle üretiminden tüketime kadar bütünüyle çevre dostu olarak işletilebilmektedir. Hidrojenin yakıt olarak ulaşım, güç üretim tesisleri veya endüstriyel uygulamalarda yaygınlaşması için verimli, güvenli ve ekonomik depolama sistemlerinin tasarımı çok önemlidir [13].

Günümüzde artan nüfus ve tüketim sebebiyle atıkların bertaraf edilmesi önemli çevre sorunlarından birisi haline gelmiştir. Bu tür bir çevre sorununun giderilmesi için tercih edilen yöntemlerden birisi de uygun ortamlarda atıkların depolama alanlarında toplanmasıdır. Yeraltında, çoğunlukla sıvı ve gazlara karşı geçirimsiz olan yeterli kalınlıktaki evaporitik tuz yatakları (kaya tuzu, tuz domları vb.), potansiyel olarak aranan jeolojik engel özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu depolama ortamlarının genellikle geçirimsiz killi birimler ile çevrilmiş olması da uzun süreli güvenlik açısından oldukça olumlu etki yaratmaktadır. Bu açıdan, özellikle suya karşı hassas olan tuz yatakları ve dolayısıyla yeraltı tuz madenlerinde (kaya tuzu, vb.) üretim çalışmaları sonucunda ortaya çıkan açıklıklar, endüstriyel atıkların depolanabilmesi için önemli bir potansiyel teşkil etmektedir.

Günümüzde fosil yakıtların (petrol ve türevleri, kömür ve doğal gazın) sanayide kullanılması sonucu atmosfere yoğun miktarda karbon dioksit karışmaktadır. Bu yolla atmosfere karışan karbondioksit gazı, toplam karbon dioksit emisyonlarının % 80-85'ini oluşturmaktadır. Geriye kalanı (% 15-20) canlıların solunumundan ve organik maddeleri ayrıştırmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıt kullanımının hızla artması ve fotosentez için tonlarca karbon dioksiti harcayan ormanların ve bitkisel alanların tahribi, atmosferdeki karbon dioksit miktarını son yılların en yüksek seviyesine ulaştırmıştır. Günümüzde, karbon dioksiti depolayacak alanlar sınırlıdır. Açığa çıkan karbon dioksitin büyük miktarı sera etkisinin azaltılabilmesi için depolanmak zorundadır. Bu gaz, tüketilmiş petrol ve doğal gaz rezervuarlarında, derin tuzlu formasyonları ve işletilemeyen tuz damarları gibi jeolojik yapılarda sıkıştırılarak yüksek miktarlarda depolanabilmektedir.

Gelişmiş olan ülkelerde, yeraltı madenlerinde endüstriyel atık depolama seçeneği atık yönetimi sistemleri içerisinde yerini almaktadır. Gelecekte yer üstünde depolama alanlarında yaşanacak azalmalara ve güçleşen izin sorunlarına paralel olarak, uygun yeraltı tuz boşluklarında depolanan endüstriyel atık miktarında artış olabilecektir.

Gelişmekte olan ülkelerde atık yönetimi sistemlerinde yeraltında atık depolama faaliyetlerin yer alabilmesi için, öncelikle tuz boşluk alanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Depolama alanlarının tespiti, açıklıkları, faydalanabilir boşluk hacimleri ve özellikleri jeolojik ve jeofiziksel yöntemlerle belirlenip, uygulanabilecek depolama yöntemine göre sınıflandırılmalıdır. Tüm bu

bilgilerin ışığında, hukuki ile teknolojik ölçütlerin belirlenmiş olması ve faaliyetin ekonomik olarak gerçekleştirilebilmesi koşuluna bağlı olarak, yeraltında depolama olanakları değerlendirilmelidir.

Tuz yatakları gerek kullanılabilir endüstriyel hammaddelerin ve stratejik önem taşıyan enerji hammaddelerinin, gerekse tehlikeli atıkların depolanması için uygun bir yapıya sahiptir. Bu uygunluğun başlıca nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- 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.

Günümüzde büyük değişiklikler gösteren ülkeler arasındaki kuvvet dengesi savunmada gerekli bilimsel önlemlerin alınmasını zorunlu kılabilmektedir. Yer bilimlerinin askeri hareketlerde önemli derecede rol oynaması çok eski tarihlere dayanırsa da bilinçli şekilde ilk incelemeler 2. Dünya Savaşı sırasında gerçekleşmiştir. Yakın tarihe göz atıldığında askeri bütünlüğe karşı arazisini ve bölgesinin doğal koşullarını iyi tanıyan birliklerin savaştan zaferle çıktıkları görülmüştür. Daha önceleri yeterince tanınmayan ve doğal engel olarak kabul edilen topografya ve morfoloji bugün uydu ve hava fotoğrafları ile ayrıntılı olarak incelenmektedir. Bu nedenlerle yer bilimlerinde yapılan araştırmaların, yurt savunmasını yüklenmiş olan silahlı kuvvetlerce, yer altına gizlenme ve gerekli hammadde güvenliği gibi amaçlarla kullanılması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Genellikle savaş endüstrisinde ileri bir teknolojiye sahip ülkelerde savaş araçlarının ve patlayıcı maddelerin üretimi için gerekli hammaddenin sağlanması ve bunun güvenliği, dünyada bilinen maden yataklarının da sınırlılığı nedeniyle bazı sorunlar yaratabilmektedir. Savaş araçlarının yapımı sivil, askeri endüstri ile sıkı bir ilişki içerisinde yürütülmektedir. Günümüzde sık sık darlığı duyulan bir çok petro-kimyasal, metalürjik ve endüstriyel hammaddenin savaş anında sağlanması ve yüksek düzeyde işlenmesinin büyük zorluklar doğuracağı öngörülmektedir. Bu nedenle maden ve hammadde sahalarının ileri yöntemlerle ve daha ayrıntılı bir şekilde jeolojik ve jeofizik etütlerinin yapılması zorunludur. Öte yandan gelişen teknoloji gerek atom ve nötron bombalarının yapımında gerekse enerji kaynağı olarak kullanılan radyoaktif minerallerine olan ihtiyacın oldukça fazla olduğu büyük bir gerçekliktir. Ülkemiz ise, jeolojik yapısı göz önüne alındığında uranyum ve toryum bakımından şanslı olduğu görülmektedir.

Stok olarak bulunması gerekli petrol, petrolden elde edilen ürünler, çeşitli gazlar gibi hayati önem taşıyan maddelerin yeraltında ya da deniz tabanında da depolanarak saklanması önem taşımaktadır. Genellikle yüzey şekillerinin özel biçimleri, yer altındaki mağaralar ve gözenekli tuz tabakaları, terk edilmiş büyük maden galerileri ve tuz mağaraları (kavern) gibi yerler ayrıntılı jeolojik bilgilere dayanılarak depo olarak kullanılabilir. Sivas Havzası'nda ve özellikle Sivas kent merkezi civarında evaporitik kayaçlar olan jips ve anhidritlerde bu yönde bir depolama olabileceğine dair değerlendirme yapmak yanlış olmaz.

Sonuçlar

Tuz formasyonlarında bulunan boşlukları kullanılarak birçok alanlarda depolama faaliyeti gerçekleştirilebilmektedir. Sivas Havzasında yapılan araştırmalar neticesinde, özellikle havzanın orta kesimi olan Emirhan yöresinde tuz tektoniği yoğun olarak gözlenmektedir. Tuz tektoniği alanları askeri teçhizat, doğal gaz, petrol, hidrojen, karbon dioksit ve atık depolama alanları olarak kullanılabilir. Sivas'ta jeopolitik konumu itibarıyla güvenli bölge içinde yer alması sebebiyle askeri, enerji ve atık depolama alanlarına ihtiyacın yoğun olabileceği bir konumdur. Dünyada ve ülkemizde depolama alanlarına rastlanmaması Sivas'ta tespit edilecek tuz alanlarında askeri, enerji ve atık depolama maksatlı alanların tespitine de oldukça ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır.

Depolamalar için tuz mağaralardan (cavern) ve tuz boşluklarından yararlanılabilir. Fakat bunların teknik bakımdan güvenceli olabilmesi için aşağıdaki noktaların iyi araştırılması gerekmektedir;

1. Kaya tuzu içindeki mağaraların çevresinin sağlamlığının saptanması gerekmektedir.
2. Kayaç çevresinin sıkışma yeteneğinin ve kaymaya karşı direncinin saptanması gerekmektedir.
3. Sıvı ve gaz halindeki malzemenin akmasına, veya çevresine sızmasına karşı kayacın geçirgenliği, gözenekliliği, dokusu ve mineralojik özelliklerinin bilinmesi gereklidir.
4. Yer sarsıntılarında etkilenmemeleri için gerekli jeolojik ve jeofizik araştırmalar yapılmalıdır.
5. Radyoaktif etkenlerden ve artıklardan etkilenmemesi için gerekli emniyet uygulamaları göz önüne alınarak gerekli tedbirler alınmalıdır.
6. Tuz ve jips gibi kayaçların suyla çözülerek, mağara oluşturma yetenekleri incelenmelidir. Depolama sonrası ilerleyen zamanlarda depolama alanlarında meydana gelebilecek değişimler tespit edilmelidir.
7. Tuz tektoniği yapılarında gerçekleştirilecek depolamalarda, depolanacak malzemelerin tuz ile tepkimeye girebilecek malzeme olmamasına özen gösterilmelidir.

Petrol içerebilecek bir sedimanter havza olması dolayısıyla 1960 yıllardan itibaren MTA ve TPAO, üniversiteler ve yabancı petrol şirketleri tarafından ayrıntılı olarak incelenen Sivas Havzası'nda yapılmış sismik kesitler ve sondajlarla ilgili tüm veriler ortaya çıkarılmalı ve yer bilimciler tarafından bütüncül ve çok disiplinli yaklaşımlarla değerlendirilmelidir. Özellikle Sivas Havzası'nda MTA, TPAO ve yerli/yabancı petrol şirketleri tarafından yapılan jeolojik çalışmalar, sondaj verileri ve sismik kesitlerin tümü ortaya çıkarılmalı ve bütünlük bir bakış açısıyla başta jeologlar, jeofizikçiler olmak üzere yer bilimci araştırmacılar tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir.

Sonuç olarak bu makalenin konusu olan çalışmada kullanılan jeofizik yöntemlerden sismik yansıma yöntemi tuz domu belirlemede ve derin araştırmalarda tercih edilen önemli bir yöntemdir. Sivas'ın jeopolitik konumu ve jeolojik yapısı geniş tuz tektoniği yapıları sebebiyle savunma ve enerji amaçlı depolama alanlarının, ayrıntısı yukarıda verilen Sivas Havzası'nda geniş alanlarda bulunabileceği düşünülmektedir. Jeolojik, jeofizik yöntemlere ek olarak görüntü işlem yöntemleriyle tuz ve evaporitleri arazideki yüzlemlerde tespit etmek mümkündür. Jeolojik depolamada özellikle sismik kesitlerle başta tuz tektoniği olmak üzere tuz domları ve mağaralarının kısa sürelerde ortaya çıkarılmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. ve Ketin, t., 1982 Remnants of a pre-late Jurassic ocean in northern Turkey * Fragments of Permian - Triassic Paleo - Tethys? Reply : Geol. Soc. America Bull., 93,932 - 936.
- [2] van Hinsbergen, D. J. J. et al. Tectonic evolution and paleogeography of the Kırşehir Block and the Central Anatolian Ophiolites, Turkey. Tectonics 35, 983-1014, doi:10.1002/ (2016).
- [3] Okay, A.I. ve Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth ve M. Séranne), Geological Society of London, Special Publication 156, 475-515.
- [4] Legeay, E., Pichat, A., Kergaravat, C., Ribes, C., Callot, J.P., Ringenbach, J.C., Bonnel, C., Hoareau, G., Poisson, A., Mohn, G., Crumeyrolle, P., Kavak, K.Ş., Temiz, H., 2019, Geology of the Central Sivas Basin (Turkey), 2018, Journal of Maps, Cilt 15, Sayı 2, s. 406-417
- [5] Kurtman , F., (1973), Sivas- Hafik -Zara ve İmranlı Bölgesinin Jeolojik ve Tektonik Yapısı: MTA Derg. , 80, s.1-33.
- [6] Hudec, M and Jackson, M.P.A. Michael R. Hudec, Martin P.A. Jackson, 2007, Terra infirma: Understanding salt tectonics, Earth-Science Reviews, Volume 82, Issues 1–2, p. 1-28

[7] Fossen, H. (2010) Structural Geology. Cambridge University Press, Cambridge, 463.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511777806>

[8] Kergaravat, C. (2016). Dynamique de formation et de déformation de minibassins en contexte compressif: exemple du bassin de Sivas, Turquie-Approche terrain et implications structurales multiéchelles (PhD Thesis). University of Pau, France.

[9] Cicekliyurt, S. B., Kavak, K. S., Callot, J., & Ringenbach, J., (2016). Detection and discrimination of complex thrust and salt tectonics structures using field data and RASAT images around the Emirhan region (Sivas, Turkey) . 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU) (pp.2225-2228). Zonguldak, Turkey

[10] Cook, P.J., 1999, Sustainability and nonrenewable resources. Environmental Geosciences, 6(4), 185-190

[11] Anıl M, Bastacioğlu B (2013). Tuz Tabakalarında Çözelti Madenciliği ve Oluşan Boşlukta Doğalgaz Depolama İmkanlarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 149 - 160

[12] Kahraman, B., Arslan, A. T., Koca, M. Y., Pamukçu, Ç., Pamukçu, O., & Gök, E., (2013). Oligosen Miyosen Yaşlı Jipslerin Yeraltı Doğalgaz Depolama Amaçlı Kullanılabilirliği. Türkiye 19. Uluslararası Doğal ve Petrol Gaz Kongre ve Sergisi 15-17 Mayıs 2013 Ankara

[13] Bektaşoğlu İ.(2016). Tuz Gölü havzasında doğal gaz depolama amaçlı yer altı açıklıklarının oluşturulmasında kayaç özelliklerinin çözünme hızına etkisinin incelenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2016