



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Alkali Göllerden Elde Edilen Trona Madeninden Soda Külü Üretimi: Van ve Arin Gölü Örnekleri, Van Gölü Havzası, Türkiye

Vural OYAN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Vural OYAN, ORCID No: 0000-0002-1566-9749

Sorumlu yazar e-posta: vuraloyan@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 03.03.2023
Kabul: 25.04.2023
Online Aralık 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1259551](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1259551)

Anahtar Kelimeler

Soda külü,
Trona,
Van Gölü Havzası

Öz: Bu çalışmada, Van Gölü havzasındaki Van ve Arin Göllerinin trona ve soda külü zenginliği araştırılmıştır. Sodyum ve karbon yönünden zengin bu göllerde doğal buharlaşma ile mevcut trona çökmesi gözlemlenmiş ve göl sularından kimyasal yöntemlerle trona ve soda külü elde edilmiştir. Göllerden alınan 400 ml su numunesi üzerinde buharlaştırma, kalsinasyon, liç ve santrifüjleme yöntemleri uygulanmıştır. Bu deneyler sonucunda Van ve Arin Gölü sularından sırasıyla 1 ve 3 gr trona ve soda külü elde edilmiştir. Bu veriler, 1 litre suda sırasıyla ortalama 2.5 ve 7.5 gr trona ve soda külü elde edilebileceğini göstermektedir. Nihai ürün olarak elde edilen soda külünün karakterizasyonunu belirlemek amacıyla X-ışınları kırınım (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX) ve X-ışınları floresans (XRF) analizleri yapılmıştır. Nihai ürün üzerinde gerçekleştirilen XRD ve XRF analizleri, örneğin tamamına yakınının Na_2CO_3 (sodyum karbonat; soda külü) içerdiğini ve %65 oranında Na_2O içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. SEM-EDX analizleri ham trona örneğine göre nihai ürünün Na ve C elementlerince zenginleştiğini ve nihai ürünün %57-65 arasında Na_2O içeriğine sahip olduğuna işaret etmiştir. Tüm bulgular, Van ve Arin göl sularının trona ve soda külü bakımından zengin olduklarını ve kimyasal yöntemlerle göl sularından soda külü elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

Soda Ash Production from Trona Mine Obtained from Alkaline Lakes: Lake Van and Lake Arin Samples, Lake Van Basin, Turkey

Article Info

Received: 03.03.2023
Accepted: 25.04.2023
Online December 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1259551](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1259551)

Keywords

Lake Van Basin,
Soda ash,
Trona

Abstract: In this study, the trona and soda ash richness of the Van and Arin lakes in the Lake Van Basin were investigated. In these lakes rich in sodium and carbon, current trona precipitation has been observed by natural evaporation and trona-soda ash was obtained from the lake waters by chemical methods. Evaporation, calcination, leaching, and centrifugation methods were carried out on 400 ml of water samples taken from the lakes. As a result of these experiments, 1 and 3 gr trona and soda ash were obtained from Van and Arin Lake waters, respectively. These data indicate that 2 and 10 g of trona and soda ash can be obtained, respectively, in water of 1 litre. X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), and X-ray fluorescence (XRF) analyses were performed to determine the characterization of soda ash obtained as the final product. XRD and XRF analyses performed on the final product showed that almost all the samples contained Na_2CO_3 (sodium carbonate; soda ash) and had a Na_2O content of 65%. SEM-EDX analyses indicated that the final product was enriched with Na and C according to the raw trona sample and the final product had a Na_2O content between 57-65%. All findings revealed that Van and Arin Lake waters are rich in trona and soda ash and that soda ash can be obtained from lake waters by chemical methods.

1. Giriş

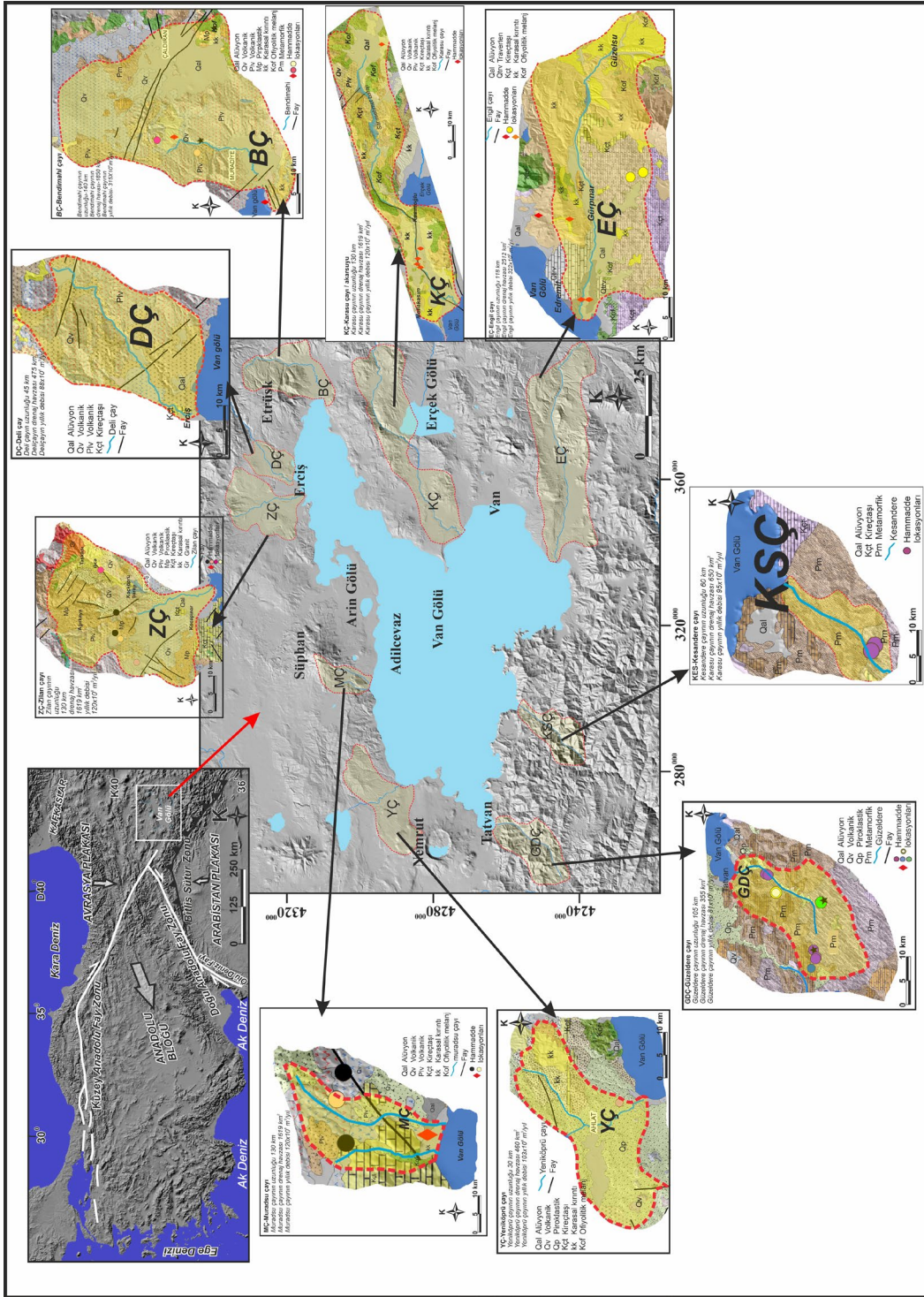
Trona ve tronadan elde edilen anorganik kimyasal yapılar, günümüzde birçok sanayi ve endüstri kolunda kullanılmakta ve elde edilen ürün yaklaşık %100 tüketilmektedir (DPT, 2007). Trona Tersiyer havzalarda ve özellikle sodalı göllerde yoğun olarak oluşmakta ve ciddi oranlarda rezervler teşkil etmektedir. Tronadan elde edilen en önemli hammadde bileşiği sodyum karbonat veya sodyumbikarbonat ile temsil edilen soda külüdür. Sodyum karbonat trona, natrit ve termonatrit şeklinde soda minerallerinden oluşmaktadır (DAKA, 2021). Trona cam, tekstil, kimya, tarım, zehirli gazların elenmesi vb. birçok alanda çok geniş bir kullanım alanına sahip endüstriyel bir hammadDEDİR (DPT, 2007). Van Gölü havzası içinde yer alan Van ve Arin Gölleri sodalı göllerdir ve yüksek miktarda trona ihtiva etmektedir. Havzada yapılmış olan volkanolojik, petrolojik ve jeokimyasal çalışmalar (Özdemir ve ark., 2006; Özdemir & Güleç, 2014; Oyan ve ark., 2016; Oyan ve ark., 2017) havzadaki volkanizmanın sodik karakterli olduğunu göstermektedir. Bu veri, göllerdeki yüksek soda içeriğinin Na'ca zengin-alkali karakterli volkanizmanın göl suyuna Na ve alkali getirimi sonucunda meydana geldiğine işaret etmektedir. Van ve Arin Göllerinin ortalama 100 gr dip çamuru numunelerinde H₂S miktarı ortalama 0.2 gram olarak ölçülmüş ve deniz suyuna göre karbonat ve bikarbonat bakımından zengin göller oldukları vurgulanmıştır (Öztürk & Görgün, 2004; Akyüz, 2008).

Van Gölü, yüz ölçümü (3712 km²) olarak Türkiye'nin en büyük sodalı gölü olma özelliğine sahiptir. (Şekil 1). Van gölünün suyu, tuzlu ve yüksek derecede alkali iyonları içerdiğinden dolayı sodalıdır. Yüksek soda oranı ve tuzluluğa bağlı olarak dünyadaki en büyük sodalı göl olarak bilinir. Arin Gölü Van Gölü'nün batı kuzeybatısında yer alır ve hem su kimyası hem de suyun fiziksel özellikleri bakımından Van gölünün minyatür bir türevidir (Şekil 1).

Van ve Arin Göllerinin çevresinin alkali volkanizma karakteristikleri sunan kayaçlar ile çevrili olması ve yukarıda sunulan veriler ışığında göl sularının karbonatça zengin olmaları, bu göl sularının trona ve ayrıca sodyum karbonat ve sodyumbikarbonat bileşikleri bakımından zengin olabileceğini ve ekonomik olarak üretilip endüstriyel anlamda kullanılabilmesine işaret etmektedir. 1930 yıllarında ekonomik olarak görülen ve yılda 3000 ton civarında trona ve soda külü üretimi Sümerbank tarafından yapılan tesislerde sadece doğal evaporasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Doğal evaporasyonun yılın belirli aylarında gerçekleşmesi ve sadece göllerin sığ kesimlerinde göl suyunun tamamının buharlaşması ile çökelen malzemenin kullanılması sınırlı düzeyde trona ve soda külü elde edilmesine neden olmuştur (Kardaş, 2017). Van ve Arin Göllerinden trona ve kimyasal yöntemlerle soda külü elde edilmesi üzerine literatürde hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışmada Van Gölü havzasındaki sodalı göller olan Van ve Arin Göllerinde trona ve soda külü elde edilebilirliği jeolojik, jeokimyasal ve kimyasal yöntemler ile ortaya konulmuş ve ekonomik olup olamayacağı irdelenmiştir.

2. Van Gölü Havzası Jeolojisi

Van Gölü havzasının tam merkezinde yer alan Van Gölü, yaklaşık 600 bin yıl önce gölün güneybatısındaki Nemrut stratovolkanının faaliyete geçmesi ile lav ve piroklastik malzemeleri püskürtmesi (Karaoğlu ve ark., 2005; Özdemir ve ark., 2006) sonucunda şekillenmeye başlamıştır. Bu volkanik faaliyetlerin ilerlemesi ve özellikle Nemrut kalderasının çökme evresinde yoğun piroklastik malzeme çıkışı Van Gölü ve Muş havzası arasındaki bağlantıyı kesmiş ve sonuç olarak Van Gölü oluşmuştur. Tektonik kontrollü olarak çökmüş bir havza olarak şekillenen Van Gölü (Şekil 1) 607 km³'lük hacmi ile dünyanın dördüncü büyük kapalı gölü ve kapladığı 3570 km²'lik yüzey alanı ile dünyanın en büyük sodalı gölüdür (Landmann ve ark., 1996a ve 1996b). Van Gölü havzasının jeolojisi, havzanın içerdiği kayaç grupları göz önüne alındığı zaman göl sularının kimyasını doğrudan etkilemektedir.



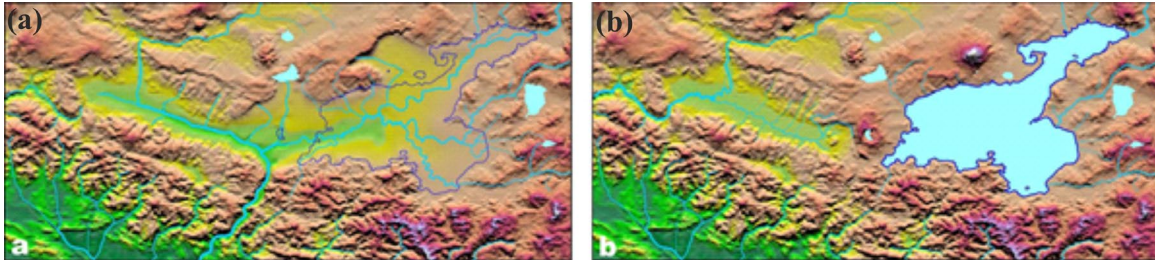
Şekil 1. Van ve Arın Gölleri ile Van Gölü havzasını gösteren kabartı rölyef haritası. Van Gölü' nü besleyen farklı akarsuların jeolojî haritaları MTA 1/150000 ve 1/100000 ölçekli jeolojî haritalarından değiştirilerek alınmıştır. Kısaltmalara ait bilgiler metin içinde verilmiştir.

Van gölüne dökülen akarsular, bu havza içinden doğan ve farklı jeolojik litolojiye sahip kayaç gruplarının içinden geçerek suyun kimyasını etkilemektedirler. Van Gölü havzası ve dolayısıyla Van Gölünün çevresi magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçların tümünü barındırmaktadır. Havzanın ve gölün güneyi tamamen metamorfik kayaçlardan, batısı ve kuzeyi volkanik kayaçlar ile örtülüdür ve batısı sedimanter ve ofiyolitik kayaçlar ile karakteristiktir. Van Gölü havzası ve dolayısıyla Van Gölü, yaklaşık Erken Miyosen-Geç Oligosen (Karaoğlan ve ark., 2016; Oyan, 2018) zaman aralığında (25-30 milyon yıl önce) Doğu Anadolu bölgesindeki neotektonik olayların başlangıcı olarak verilen Arabistan ve Avrasya plakaları arasındaki kıta-kıta çarpışmasının sonucunda (Şengör & Kidd, 1979) şekillenmiş

ve bugün yaklaşık deniz seviyesinden 2 km yüksekte (Şengör & Kidd, 1979) bir plato halini almıştır. Bu çarpışmanın etkisiyle bölgede çökme havzalarının gelişimi, kıvrımlı dağ silsileleri ve doğrultu atımlı faylar ile normal ve ters atımlı birçok fay gelişmiştir (Yılmaz ve ark., 1987).

Van ve Arin göllerinin içinde bulunduğu Van Gölü havzası Paleozoik döneminden günümüze kadar değişen yaş konaklarında meydana gelmiş olan kayaç gruplarını içermektedir. Van gölü havzasının barındırdığı kayaç gruplarını, alansal olarak 3 farklı coğrafik sınırlama ile tanımlamak mümkündür. 1) havzanın güneyini Bitlis Metamorfik masifi olarak adlandırılan başkalaşım kayaçlarına ait düşük-orta metamorfizma süreçlerine maruz kalmış kayaçlar oluşturmaktadır. 2) havzanın batısı ve kuzeyini Geç Miyosen'den tarihsel dönemlere kadar etkili olan volkanik aktivitenin lav ve piroklastik kayaçlarıyla kısmen karbonatlı kayaçlar oluşturmaktadır. 3) havzanın doğusunu ise ofiyolitik melanja ait kayaç grupları, sedimanter kireçtaşı ve kumtaşları ile güncel göl ve akarsu çökelleri oluşturmaktadır (Şekil 1).

Bu jeolojik ve tektonik geçmiş içerisinde, Van Gölü suyunu besleyen akarsular, yeraltı suları ve jeotermal akışkanlar bu kayaçların kimyasını göle taşımış ve gölün kimyasını şekillendirmişlerdir. Bu nedenle gölü çevreleyen ve Van Gölü havzasını besleyen 8 büyük akarsu gölün jeolojisi, sediman içeriği ve kimyası ile doğrudan birebir olarak ilişkilidir. Bu akarsular Karasu çayı (KÇ), Bendimahi çayı (BÇ), Deli çay (DÇ), Zilan çayı (ZÇ), Muradsu çayı (MÇ), Yeniköprü çayı (YÇ), Güzeldere çayı (GDÇ), Kesandere çayı (KSÇ) ve Engil çayıdır (EÇ). Bu çayların çoğunluğu, alkali volkanik alanlardan doğmakta ve özellikle alkali volkanizma ile örtülü alanları kat ederek göle boşalmaktadırlar. Bu durum göl sularının Na alkali elementlerce zenginleşmesine yol açmakta ve böylece gölün sodalı bir karakter kazanmasına önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 1).



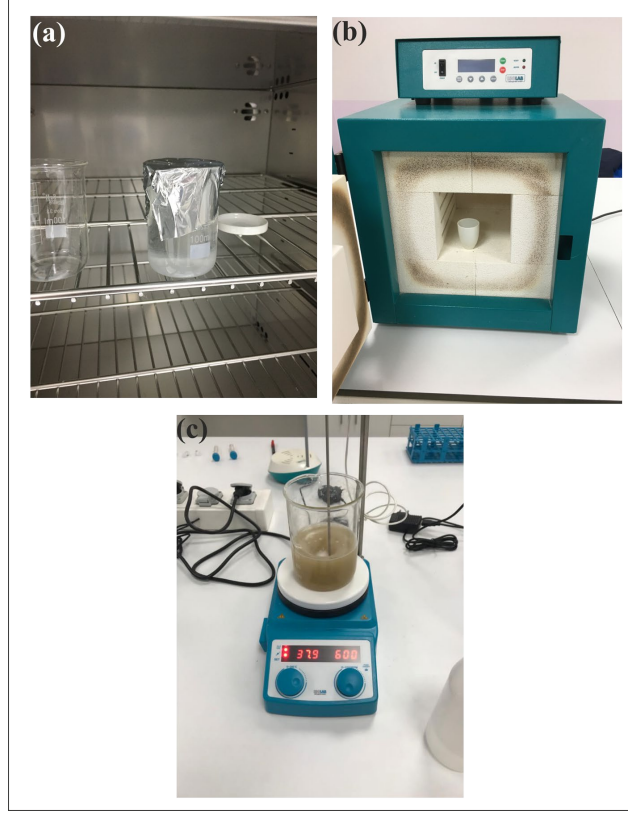
Şekil 2. (a) Yaklaşık 2.5 milyon yıl önce Muş-Van birleşik havzası ve (b) günümüzde Muş ve Van havzaları (Köse, 2004).

3. Materyal ve Yöntem

Arazi çalışmaları ile Van gölü havzasındaki Van Gölü ve Arin Göllerinden iki farklı örnekleme yapılmıştır. İlk olarak doğrudan göl suyundan örnekleme gerçekleştirilmiştir. İkinci örnekleme ise hem göllerin sığ kesimlerindeki dip sedimanlarından hem de göllerin kıyı şeritleri boyunca doğal olarak çökelen trona oluşumlarından yapılmıştır. Su ve trona örneklerinde evaporasyon, kalsinasyon ve su ile liç deneyleri yapılarak tronanın suda ne ölçüde zenginleştiği ve tronadan ne kadar soda külü (Na karbonat veya sodyumbikarbonat) elde edilebileceği belirlenmiştir. 1500 mlt olarak alınan göl suyu örneklerinin 400 mlt'lik kısmı 100 °C de yaklaşık 2 gün süreyle etüvde bekletilmiş ve evaporasyon sağlanmıştır. 400 mlt suyun buharlaşması ile trona dibe çökmüştür. Elde edilen trona, daha sonra 200 °C'de kül fırınında kalsinasyon işlemine tabi tutularak CO₂ uzaklaştırılmıştır. Bu işlemlerden sonra, örnek 200 mlt suda ve 80 °C manyetik karıştırıcı kullanılarak liç edilmiştir. Bu işlemler hem Van hem de Arin Göllerinden alınan su örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

Nihai ürün olarak elde edilmiş olan malzemenin karakterizasyonları ve kimyasal bileşimi SEM, XRF ve XRD analizleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, doğal evaporasyon ile araziden alınan ve etüvde evaporasyon ile elde edilmiş olan saf trona örneklerinde de aynı analizler gerçekleştirilmiş ve örneklerden soda külü elde edilip edilemeyeceği belirlenmiştir. SEM analizleri hem evaporasyonla hem de soda külü süreci ile elde edilen nihai trona örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. SEM analizlerinde hem petrografik görüntüler ile malzemenin fiziksel özellikleri belirlenmiş hem de belirli alanlar ile noktalarda EDX ile kimyasal yapısı ortaya konmuştur. SEM analizleri ZEISS sigma 300 cihazında ve EDX analizleri EDAX markalı detektör ile Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Merkezi laboratuvarında yürütülmüştür.

Evaporasyon ve soda külü süreci ile elde edilen trona örneklerinin mineralojik bileşimlerini saptamak amacıyla MTA ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi laboratuvarlarında XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu örneklerin ana element kimyasal analizleri ise XRF yöntemi ile Rigaku marka XRF cihazı kullanılarak Karabük Üniversitesi merkezi laboratuvarında ve ACME analitik laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. (a) etüvde evaporasyon işlemi, (b) Kül fırınında kalsinasyon işlemi ve (c) 200 ml suda liç işlemi.

3. Bulgular

3.1. Van Gölü ve Arin Gölü trona zenginleşmesi

Van ve Arin gölleri kapalı bir havzada oluşmuş sodalı göllerdir. Bu nedenle, trona açısından zenginleşmiş olan bu göller, sodyum karbonat (soda külü) üretimi için elverişlidir. Van Gölü'nü besleyen akarsuların alkali volkanik ve Na'ca zengin metamorfik kayaçları aşındırarak ve çeşitli elementleri çözerek sedimanlar ile birlikte göle taşınması, göl çevresindeki jeotermal suların göle boşalması ve yeraltı su kaynaklarının gölü beslemesi gölün Na'ca zenginleşmesini sağlamıştır.

Van Gölü'nün ortalama derinliğinin 171 m olması tronanın asılı halde kalmasına sebep olabileceğinden dolayı veya suyun trona ya göre daha yoğun bulunmasından dolayı göl suyunda asılı trona miktarının azalmasına sebep olabilecektir. Fakat gölün farklı noktalarda sığlaşması ile (özellikle Erciş, Muradiye burnu veya gölün farklı kesimlerinde oluşan sığ koylar gibi) trona çökelinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4'de görüleceği üzere, Muradiye burnunda gölün en sığ seviyelerine gelmesi ile özellikle evaporasyonun fazla olduğu dönemlerde beyaz ve krem renkli güncel trona çökelleri oluşmaktadır. Bu durum Van Gölü suyunda tronanın güncel olarak çökeldiğini göstermektedir.

Maximum 7 m ve ortalama 5 m derinliğe sahip olan (Kamar, 2018) Arin Gölü, Van Gölü'ne nazaran oldukça sığ ve kapalı bir havza olduğundan ve yalnızca Süphan volkanının püskürtmüş olduğu lav ve piroklastik ürünler ile Adilcevaş kireçtaşından beslendiğinden dolayı Van Gölü'ne nazaran daha yüksek oranda trona, natrit ve dolayısıyla sodyum karbonat minerallerini içermektedir. Ph değeri yaklaşık 11 olan Arin Gölü'nün çevresi 15.2 km ve yüzey alanı 15.1 km²'dir. Bu gölün Van Gölü ile

olan sınırı iki göl arasındaki 5 m'lik bir sırt ile kapanmıştır. 75 milyon m³ su hacmine sahip olan göl, Van Gölü'nün minyatür bir görüntüsü şeklindedir (Şekil 1).

Arin Gölü ve çevresindeki küçük göletlerin kıyı şeritleri boyunca ve kuruyan göl tabanlarında güncel trona çökelişi evaporasyon dönemlerinde gerçekleşmektedir (Şekil 4c-f). Arin Gölü ve Van Gölü arasında su geçişlerinin gözlemlendiği çok sığ kesimlerde özellikle Van Gölü'nden beslenen küçük göletlerde evaporasyon döneminde güncel trona çökelişi gözlenmektedir (Şekil 4c-f). Bu göletler büyük göllere göre çok durgun ve sığ olduklarından dolayı, bir nevi trona çökelişi için küçük havuzlar oluşturmuşlardır. Yaz aylarında evaporasyon döneminin en yoğun olduğu zamanlarda, bu göletlerdeki suyun hemen hemen tamamının buharlaşması ile göllerin tabanında güncel trona birikimleri oluşmakta ve yerel halk bu çökelleri geleneksel olarak elle toplayarak temizlik, baca gazı temizlenmesi gibi çeşitli amaçlarla kullanmaktadırlar. Arin Gölü sığ olması ve etrafında küçük göletler oluşması ile trona çökelişi açısından daha iyi koşulları sağlasa da su derinliğinin ve yüzölçümünün düşük olmasından dolayı Van Gölü'ne göre rezerv bakımından daha elverişsizdir.



Şekil 4. Van ve Arin Göllerinde gözlenen güncel trona çökelleri. (a, b) Van Gölü kıyısında gözlenen trona çökelleri. (c-f) Arin Gölü kıyı şeridi ve doğal olarak oluşmuş küçük gölet birikintilerindeki trona çökelişi.

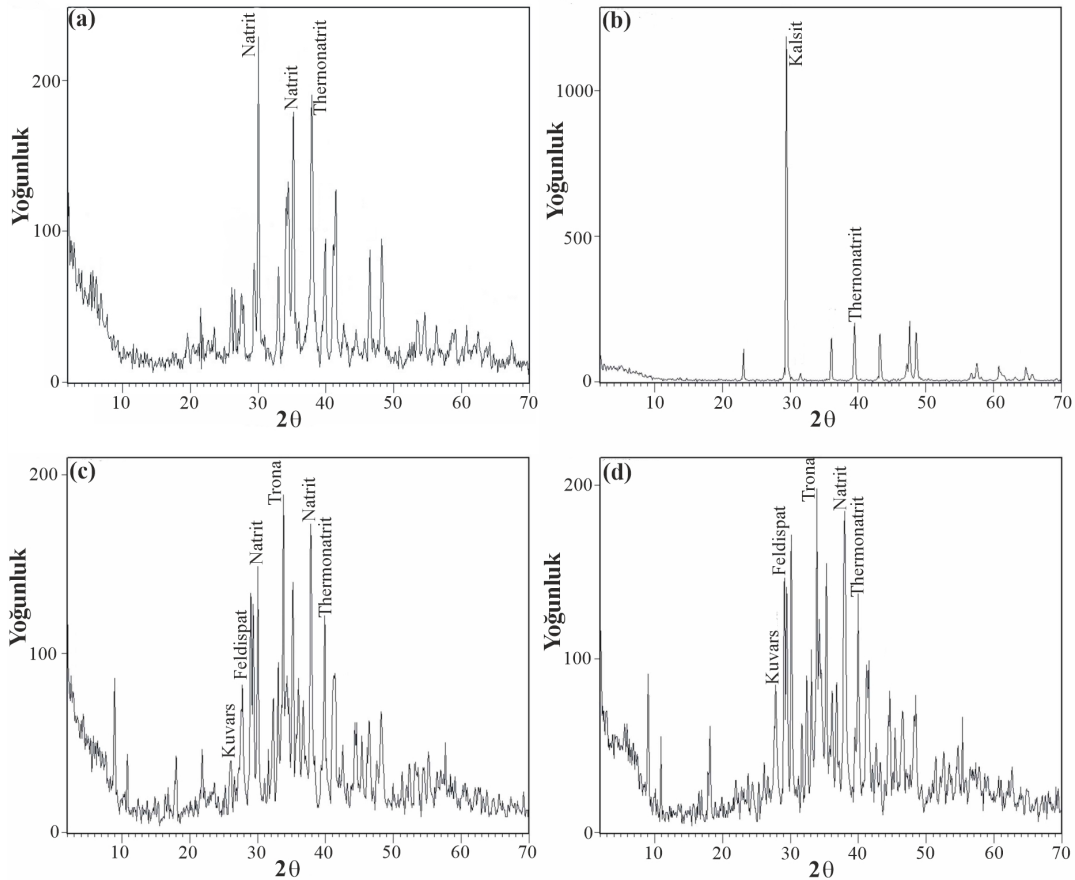
3.2. Mineralojik ve petrografik analizler

Van ve Arin Göllerinde gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında göllerin kıyı şeritleri boyunca çökelmiş olan güncel trona örnekleri üzerinde mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla örneklerin XRD çekimleri gerçekleştirilmiştir.

Trona örneklerinin XRD analizleri başta trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) olmak üzere kil ve kalsit gibi minerallerin varlığını göstermiştir (Şekil 5). Sadece göl suyunun doğal evaporasyonu ile elde edilen bu üründe dahi sodyum karbonat minerallerinin yüksek oranda bulunması göl suyundan ekonomik olarak trona veya sodyum karbonat elde edilebileceğine işaret etmektedir. XRD sonuçlarına göre, trona olarak çökelen malzemenin aynı zamanda feldispat ve kalsit bileşikleri de içerdiği tespit edilmiştir.

Arin Gölü'nün kıyı şeridi boyunca veya tamamen kurumuş göl tabanlarından alınan trona çökelleri üzerinde gerçekleştirilen XRD analizleri (Şekil 5) Arin Gölü kıyı çökellerinde ve özellikle sığ derinlikli su birikintilerinde güncel olarak trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum karbonat bileşikleri olan natrit (Na_2CO_3) ve thermonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) gibi minerallerin çökeldiğini ve bunların buharlaşma ile elde edilebileceğine işaret etmektedir. Arin Gölünün su, kıyı şeridi ve kurumuş göl tabanı örneklerinde gerçekleştirilen XRD analizleri örneklerin içinde aynı zamanda kalsit, bir miktar kuvars ve feldispat minerallerinin de var olduğu ortaya koymaktadır.

Van ve Arin Gölleri sularından evaporasyon ile elde edilen örnekler ile doğal olarak bu göllerin sığ kesimlerindeki kıyı şeridi boyunca ve küçük göletlerin kurumuş tabanından alınan örneklerin XRD çekimleri, yoğun olarak trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum karbonat bileşikleri olan natrit (Na_2CO_3) ve thermonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) minerallerinden oluştuklarını göstermiştir. Bunun yanı sıra, bu örneklerde kuvars, feldispat ile kalsit ve klorit grubu minerallerde mevcuttur. Bu durum saf soda külü elde etmek için bir dizi kimyasal işlemin gerekliliğini ortaya koymuştur.



Şekil 5. Van ve Arin Göllerinden elde edilen trona çökellerinin XRD çekimleri. (a, b) Van Gölü örnekleri. (c, d) Arin Gölü örnekleri.

3.3. Jeokimyasal analizler

Van ve Arin Göllerinden alınan trona örnekleri ile suların buharlaştırılması ile elde edilen trona örnekleri üzerinde jeokimyasal element analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları örneklerin çoğunluğunun Na₂O bakımından zengin olduklarını ve sodyum karbonat bileşikleri oluşturabilecek düzeyde trona (Na₂CO₃.NaHCO₃.2H₂O) ve soda külü (Na₂CO₃; sodyum karbonat ve Na₂HCO₃; sodyum bikarbonat) bileşenleri içerdiklerini göstermiştir (Çizelge 1). Bu örneklerde ölçülen yüksek LOI içerikleri H₂O ve CO₂ gibi yüksek ısıda uçucu olabilecek elementlerin zengin olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, sodyum oksit konsantrasyonunun da yüksek düzeyde olması örneklerin sodyum karbonat içeriği bakımından zengin olduklarına işaret etmektedir.

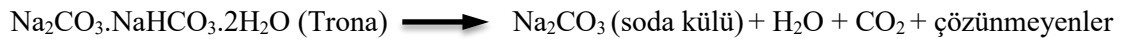
Çizelge 1. Trona örneklerine ait seçilmiş bir grup örneğin ana oksit element analiz sonuçları (%)

Örnek No	AR-1	AR-2	AR-3	AR-4	AR-5	AR-6	AR-7	AR-8
SiO ₂	6.8	5.1	3.2	6.2	5.5	6.5	6.4	5.4
Al ₂ O ₃	1.74	1.98	1.78	1.55	1.98	1.78	1.72	0.72
Fe ₂ O ₃	0.53	0.65	0.45	0.78	0.89	0.45	0.45	0.38
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Na ₂ O	40.04	43.76	36.6	37.2	38.5	40.2	39.2	40.2
K ₂ O	2.53	2.45	2.34	2.02	2.01	1.75	1.55	1.59
MgO	10.78	8.76	6.76	6.06	5.02	5.98	5.68	7.68
CaO	4.51	3.43	5.43	5.22	6.02	6.74	6.22	7.22
LOI	34.05	34.05	42.7	40.5	39.1	37.2	40.2	36.2

3.4. Tronadan soda külü elde edilmesi

Van ve Arin göllerinden alınan örneklerin XRD ve XRF sonuçları bu örneklerin Na bakımından çok zengin olduklarını ve esas olarak tronadan oluştuklarını göstermiştir. Hem XRD hem de XRF sonuçları bu örneklerin Na elementi yanında bir miktar K, Cl, Ca, Mg ve Si gibi tronanın saflığını etkileyecek elementleri de içerdiğini ve sodyum karbonat olarak kullanılabilirliği için bazı kimyasal işlemlere tabi tutulması gerekliliğini ortaya koymuştur. Söz konusu göllerin sığ kesimlerinde ve göle göre oldukça kapalı bir koy şeklinde olan bölümlerinde hem suyun durağan olması hem de evaporasyonun yoğun olduğu aylarda, suyun tamamen buharlaşmasıyla güncel olarak trona çökeldiği bilinmektedir. Fakat hem evaporasyonun çok az gerçekleşmesi hem de bölgesel iklimin soğuk olması nedeniyle sadece 2 aylık bir zaman diliminde trona çökeltmekte ve bu da fazla ekonomik olmamaktadır. Bu amaçla, çalışmanın ana amaçlarından biri olarak göl suyundan trona ve sodyum karbonat elde edilebilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Van ve Arin Göllerinden alınan su örnekleri bir dizi deneye tabi tutulmuş ve monohidrat prosesi ile göl sularından elde edilecek tronadan sodyum karbonat (soda külü) kazanımı denemiştir. Göllerden alınan su örneklerinin yaklaşık 400 mlt'lik bölümü çökelen maddeyi ayırabilmek amacıyla 100 °C'lik etüvde iki gün süreyle buharlaştırmaya tabi tutulmuştur. Buharlaştırma sonrasında Van Gölü suyunda 400 mlt suda 1 gram, Arin gölü suyunda ise 400 mlt suda 3 gr çökelti elde edilmiştir. Çökeltilen malzeme göl suyunda güncel olarak çökelen trona ile aynı özellikleri göstermiştir. Suların evaporasyon işlemine tabi tutulduktan sonra elde edilen çökelti trona örneklerinden sodyum karbonat (Na₂CO₃; soda külü) elde etmek amacıyla örnekler kalsinasyon, su ile liç ve tekrar evaporasyon ve santrifüj işlemlerine tabi tutulmuştur. Van ve Arin Gölü sularından sırasıyla elde edilen 1 gr ve 3 gr trona çökelleri 200 °C sıcaklıktaki kül fırınında kalsine edilmiş ve soda külü ile yan ürün olarak su ve karbondioksit ortaya çıkmıştır.

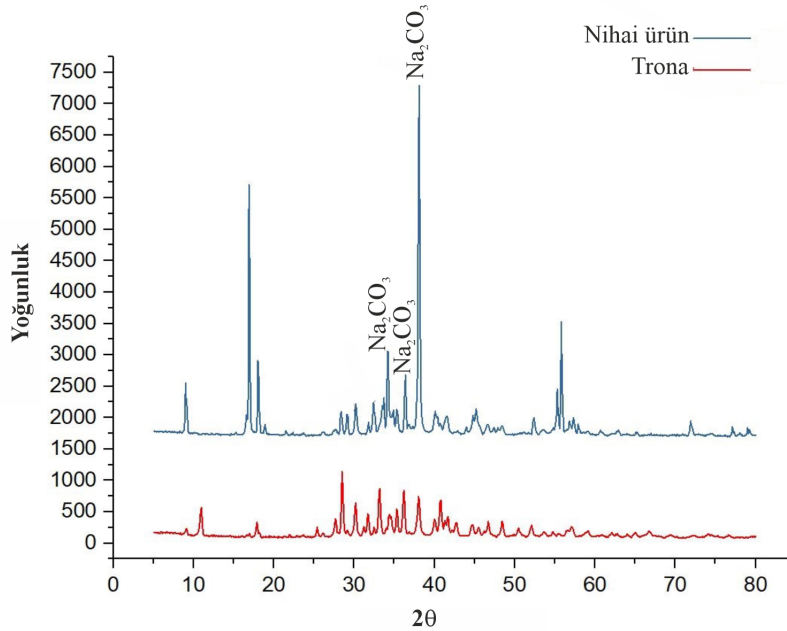


Bu süreçte elde edilen çökelti malzeme su, karbondioksit, Ca ve Cl gibi çözünmeyen elementleri de içermektedir. Kalsinasyon süreci ile elde edilen ürün yaklaşık 80 °C'lik sıcak su ile manyetik karıştırıcıda liç işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemde amaç, suda çözünmeyen kil, kum ve kompleks tuzları ayırmak ve ham soda külü cevherinden uzaklaştırmaktır. Bu yöntem ile uzaklaştırılan çözünmeyen ve soda külü hammaddesinde istenmeyen tuzlardan sonra, konsantre edilmiş cevher kaba ve ince taneli istenmeyen imprutelerin ayrılması için santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Nihai ürün son

olarak, tekrar 200 °C'lik etüvde buharlaştırılarak kristallendirilmiş ve böylece su ve karbondioksitini kaybetmesi sağlanmıştır. Bu şekilde, anorganik kimyasal bir yöntem ile nihai ürün soda külü elde edilmiştir. Van ve Arin Göllerinden 400 ml sudan elde edilen 1 gr ve 3 gr çökelti üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilen bu deney şeması ile kazanılan nihai ürünlerde kütle kaybı olmadığı veya ihmal edilebilir bir düzeyde (0.1 mgr'dan az) olduğu gözlenmiştir. Bu veri, suların evaporasyonu ve zenginleştirilmesi ile nihai ürün olarak Van Gölü'nde 1 litrede 2.5 gr ve Arin Gölü'nde 1 litrede 7.5 gr soda külü elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

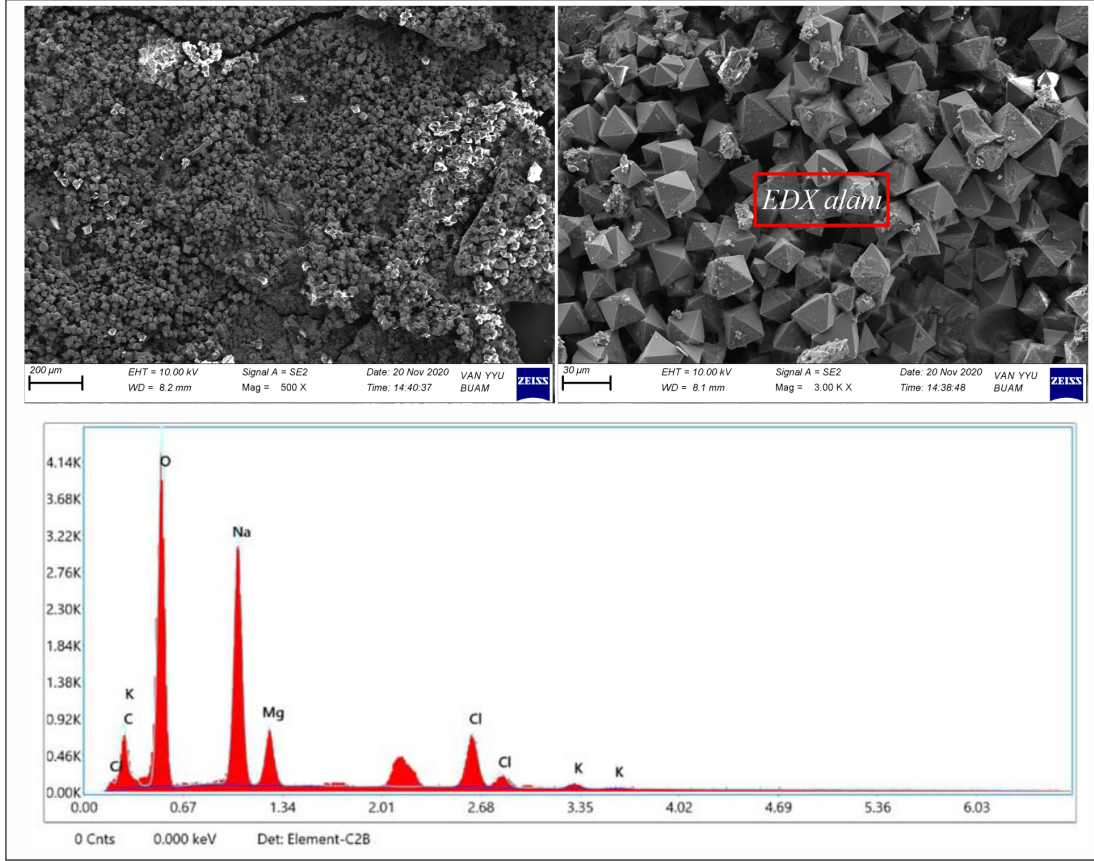
3.5. Nihai ürün XRD, XRF ve SEM analizleri

Göl sularından soda külü elde edebilmek amacıyla gerçekleştirilen proseslerden sonra Arin Gölü'nden kazanılan nihai ürünün karakterizasyonunu belirlemek amacıyla bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Nihai ürünün XRD analiz sonucunda, örneklerin natrit ve thermonatrit bakımından oldukça zenginleştiklerini buna karşın kalsit, kuvars ve klor gibi mineraller bakımından fakir olduğu saptanmıştır (Şekil 6). Nihai ürünün natrit (Na_2CO_3) ve thermonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) minerallerini içerdiği ve sodyum karbonat bakımından zenginleştiği görülmüştür. Bu ürün üzerinde element ve majör oksit içeriklerini belirlemek amacıyla XRF analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Zenginleştirme ile elde edilen nihai ürünün XRD analizi. Nihai ürün; göl suyunun evaporasyonu ve bunun sonucunda elde edilen çökelin kalsine, liç, santrifüj ve son aşama evaporasyonu sonucunda elde edilen ürünü temsil etmektedir. Trona; göl suyunun evaporasyonu sonucu elde edilen örneği temsil etmektedir.

XRF analiz sonuçlarına göre, nihai ürünün %65.60 Na_2O , %0.75 Fe_2O_3 ve %4.05 CaO içerdiği saptanmıştır. Bu veri nihai ürünün Na bakımından, ham örneğe göre oldukça zenginleştiğine işaret etmektedir. Nihai ürün ve ham trona örneğini hem fiziksel hem de kimyasal olarak karşılaştırmak amacıyla SEM ve EDX analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 7, 8). Saf trona örneğinin SEM görüntüleri, örneklerin kristal yapısının düzgün prizmatik şekilli olduğunu ve düzenli kristal yapılarının farklı boyutlarda olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 7). EDX analiz sonuçları ise, %29.70 Na, %34.74 O ve %13.86 C içeriğine işaret etmekte (Çizelge 2) ve trona örneğinin %40.04 Na_2O ve %40.31 CO_2 içerdiğini göstermektedir. Bu kimyasal veriler, örneğin trona çökellerinin doğal bileşeni olan sodyum karbonat mineralleri olduklarını ve Na bakımından zenginleştiklerine işaret etmektedir.

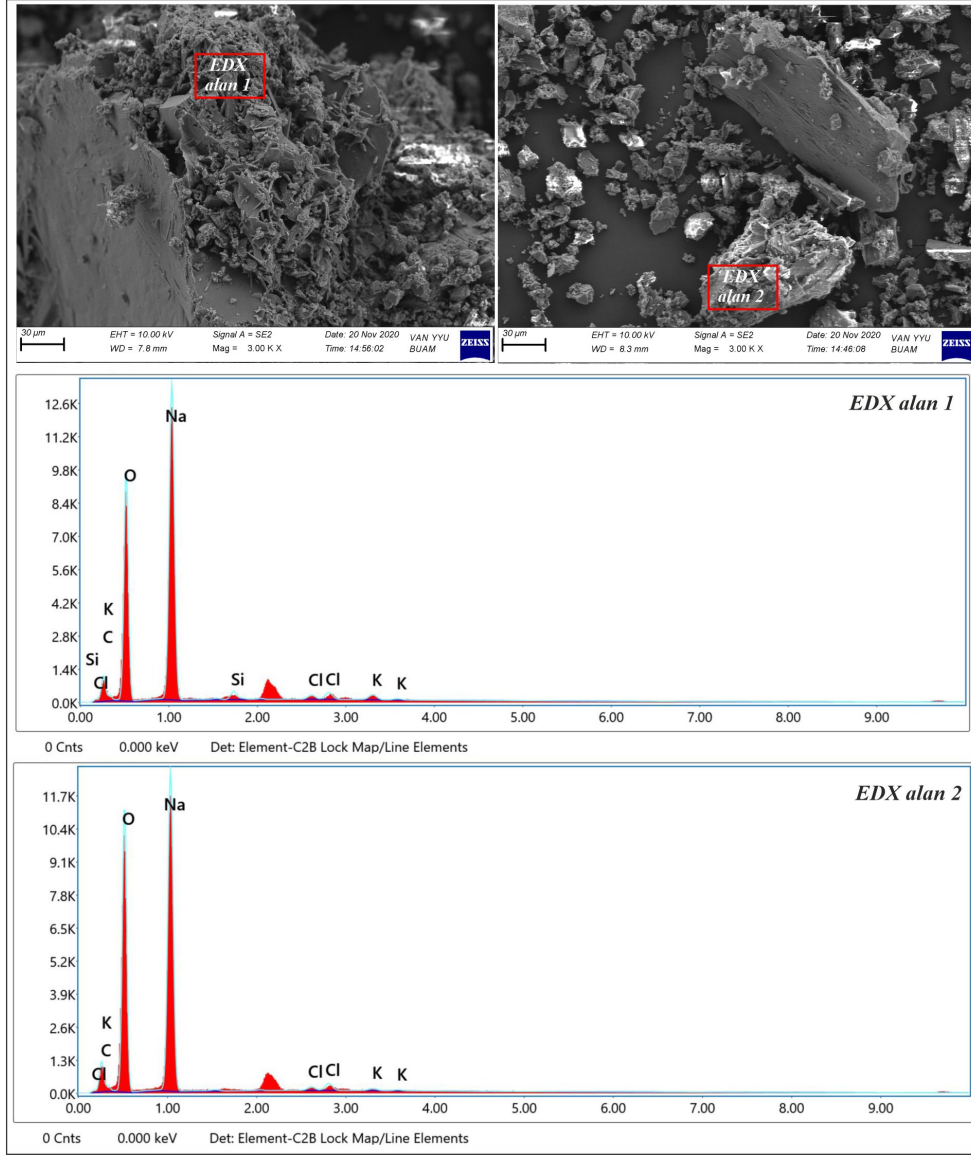


Şekil 7. Van ve Arin Göllerindeki saf trona örneklerinin SEM görüntüleri ve AR-1 nolu örnekte seçilmiş EDX alanında belirlenen elementlerin piklerini gösteren grafik.

Nihai ürüne ait SEM görüntüleri Şekil 8’de ve EDX analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. SEM görüntüleri, Şekil 6’da verilen saf trona örneğine göre nihai ürünün kristal sisteminin bozulduğunu ve düzensiz şekilli bir kristal yapısının geliştiğini göstermektedir. Bu veri, ham trona madeninin soda külüne dönüşerek, fiziksel ve kimyasal olarak değişime uğradığını ortaya koymaktadır. EDX analiz sonuçları trona örneğine göre nihai ürünün Na bakımından zenginleşerek % Na değerinin 45 ile 57 arasında değiştiğine ve bu oranın da oksit cinsinden %60 ile %57 arasında Na_2O içeriğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra trona örneğinde gözlenen Ca, K, Cl gibi istenmeyen elementlerin, nihai üründe çok düşük değerlerde elde edilmesi örneğin %95’e yakın sodyum ve karbonattan oluştuğuna işaret etmekte ve bu da nihai ürünün soda külü bakımından zenginleştiğini göstermektedir.

Çizelge 2. Şekil 7 ve 8’de verilmiş olan EDX alanlarında belirlenen elementlerin konsantrasyonları (% ağırlık). Trona 1 nolu örnek Şekil 7’deki EDX alanını, soda külü 2 ve soda külü 3 nolu örnekler sırasıyla Şekil 8’deki EDX alanı 1 ve 2’yi temsil etmektedir.

Örnek No	Trona 1	Soda külü 2	Soda külü 3
C	13.86	10.53	11.24
O	34.74	34.06	37.26
Na	29.70	51.54	50.15
Si	-	1.29	-
Cl	13.10	0.97	0.73
K	2.10	1.61	0.61
Mg	6.50	-	-



Şekil 8. Nihai ürüne ait SEM görüntüleri ve seçilmiş EDX alanlarında belirlenen elementlerin piklerini gösteren grafikler.

4. Tartışma ve Sonuç

Van Gölü suyunun 607 km³ hacme sahip olduğu göz önüne alındığında, bu suyun daha sığ alanlardan alınarak evaporasyon, kalsinasyon ve liç yöntemleri ile zenginleştirilebileceği görülmüştür. 607 km³ hacimdeki su, 582 milyar 720 milyon ton suya karşılık gelmektedir. 1 litreden 2.5 gr trona elde edildiği durumda, 0.96 ton sudan 2.5 kg trona kazanılacağı ve göl suyundan toplam 1 milyar 517 milyon ton trona hammaddesi üretilebileceği hesap edilmiştir. Bu durumda elde edilecek tronadan yaklaşık olarak 1 milyar 214 milyon ton sodyum karbonat üretilebilecektir.

Arin Gölü suyunun 75 milyon m³ hacme sahip olduğu düşünülürse, suyun alınarak evaporasyon, kalsinasyon ve liç yöntemleri ile zenginleştirilebileceği görülmüştür. 75 milyon m³ hacimli suyun 72 milyon ton suya karşılık geldiği bilinmektedir. 1 litrede 7.5 gr trona elde edilebilirliği düşünüldüğü zaman 0.96 tonda 7.5 kg trona elde edilebileceği ve toplam göl suyundan yaklaşık 586 bin ton trona hammaddesi üretilebileceği hesap edilmiştir. Bu durumda elde edilecek tronadan yaklaşık olarak 586 bin ton sodyum karbonat üretilebileceği hesap edilmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, Van ve Arin göl sularının borular ile belirli alanlara (depo, havuz vb.) alınıp, filtrelenmesi ve evaporasyonda su kaybı olabileceği ihtimalidir. Bunun giderilmesi için buharlaştırılan suyun damıtma yöntemiyle tekrar göllere drene edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, her yıl göllerde meydana gelen buharlaşma nedeniyle göl sularında doğal olarak azalma olmakta ancak yağışlar, akarsular ve yeraltı suları ile beslenen göl suyunun sürekli dengede olduğu da bilinmektedir (DAKA, 2021). Bu nedenle, burada verilen rezervler göllerin şu andaki mevcut suyunun rezerv miktarıdır. Suyun sürekli olarak beslenmesi, suyu besleyen kaynakların sürekli olarak alkali Na iyonları ve karbonat getiriminin olduğu düşünüldüğünde, bu rezervler çok daha yüksek bir miktara ulaşacak ve tükenmesi zor bir kaynak olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Van yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FBA-2018-7558 nolu proje çalışması ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Akyüz, D. E. (2008, Ağustos). *Data mining technique to analysis of Van Lake water level*. Van Gölü Hidrolojisi ve Kirliliği Konferansı, Van.
- DAKA. (2021). *Van Gölü suyunun ekonomik yönleri "Trona-soda külü üretimi*. Van, Türkiye: DAKA Yayınları.
- DPT. (2007). *Endüstriyel Hammaddeler ve Madencilik Alt Komisyon Raporu*. Ankara, Türkiye: Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı.
- Kamar, G. (2018). Palynology of Lake Arin (Eastern Anatolia, Turkey) deposits and its relation with water level change of Lake Van: Preliminary findings. *Quaternary International*, 486, 83-88. doi:10.1016/j.quaint.2017.05.020
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Hejl, E., Neubauer, F., & Klötzli, U. (2016). The temporal evolution of the active margin along the Southeast Anatolian orogenic belt (SE Turkey): evidence from U–PB, Ar–Ar and fission track chronology. *Gondwana Research*, 33, 190-208. doi:10.1016/j.gr.2015.12.011
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A. Ü., Karabıyıkoglu, M., Köse, O., & Froger, J. L. (2005). Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut Caldera: Implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 123-143.
- Kardaş, A. (2017). *Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Van'da Madencilik Çalışmaları*. Ankara, Türkiye: Gazi kitapevi.
- Köse, O. (2004, Eylül). *Van Gölü yakın çevresinin coğrafyası*. DAJEO 2002 Kongresi, Van.
- Landmann, G., Reimer, A., Lemcke, G., & Kempe, S. (1996a). Dating Late Glacial abrupt climate changes in the 14.570 yr long continuous varve record of Lake Van, Turkey. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 122, 107-118. doi:10.1016/0031-0182(95)00101-8
- Landmann, G., Reimer, A., & Kempe, S. (1996b). Climatically induced lake level changes at Lake Van, Turkey, during the Pleistocene/Holocene transition. *Global Biogeochemical Cycles*, 10, 797-808. doi:10.1029/96GB02347
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., & Sharkov, E.V. (2016). Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Lithos*, 256–257, 88–108. doi:10.1016/j.lithos.2016.03.017
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V. A., Chugaev, A. V., Sharkov, E. V., & Ünal, E. (2017). Petrology and geochemistry of the quaternary mafic volcanism in the northeast of Lake Van, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Journal of Petrology*, 58, 1701–1728. doi:10.1093/petrology/egx070
- Oyan, V. (2018). Ar/Ar dating and petrogenesis of the Early Miocene Taşkapı–Mecitli (Erciş–Van) granitoid, Eastern Anatolia Collisional Zone, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 158, 210–226. doi:10.1016/j.jseae.2018.03.002
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A. Ü., & Güleç, N. (2006). Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226, 189-211. doi:10.1016/j.chemgeo.2005.09.020
- Özdemir, Y., & Güleç, N. (2014). Geological and geochemical evolution of Süphan Stratovolcano Eastern Anatolia, Turkey: Evidence for the lithosphere-asthenosphere interaction on post collisional volcanism. *Journal of Petrology*, 55, 37-62. doi:10.1093/petrology/egt060

- Öztürk, H., & Görgün, M. (2004). Van Gölü bahar dönemi hidrografisi ve göl suyu homojenizasyonuna ait bulgular. *Turkish Journal of Aquatic Life*, 2, 380-389.
- Şengör, A.M.C., & Kidd, W.S.F. (1979). The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376. doi:10.1016/0040-1951(79)90184-7
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., & Güner, Y. (1987). Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199. doi:10.1016/0040-1951(87)90256-3