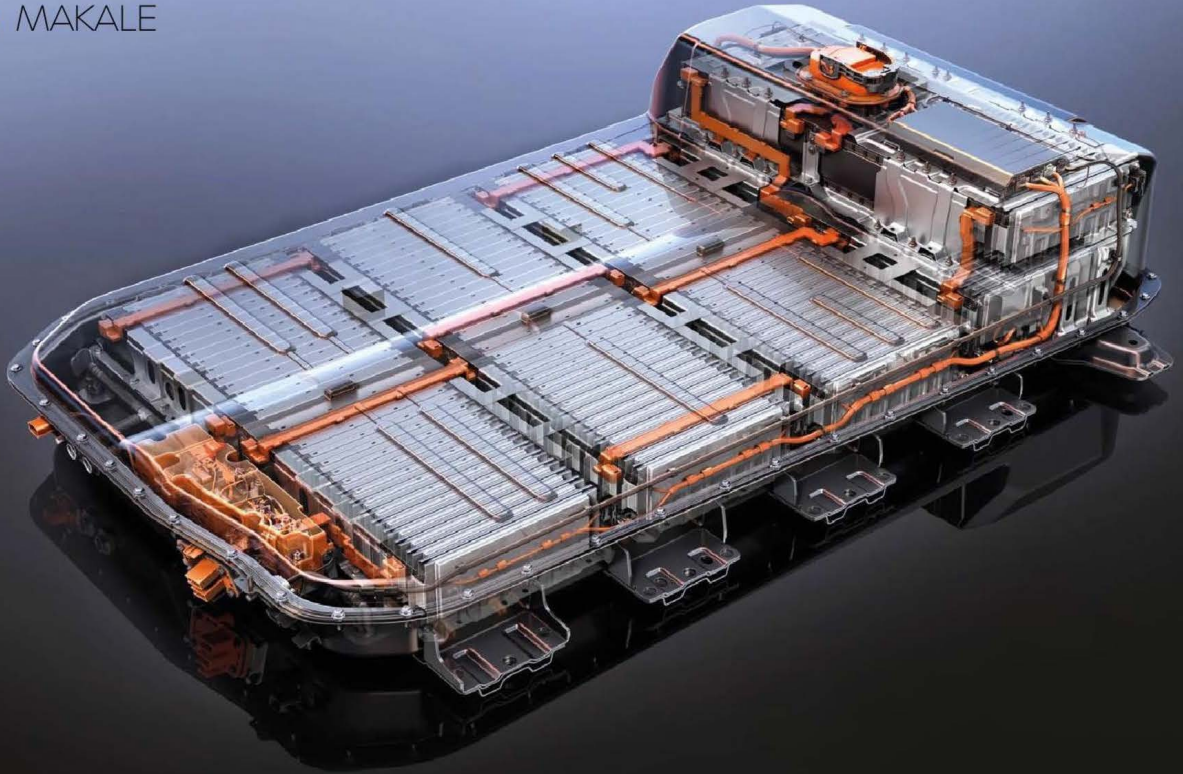


## MAKALE



# Lityum Madenciliği, Bataryalar, Elektrikli Araçlar ve TOGG

**PROF. DR. FEVZİ YILMAZ**  
FSM Vakıf Üniversitesi

## 1. GİRİŞ

Lityum ismi Yunanca'da taş anlamı taşıyan "lithos" isminden gelmektedir. Lityum metali ilk defa 1790'larda İsveçli bilim insanı Arfwedson tarafından, yakılan mineral petalit ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ) alevinin çözümlenmesiyle keşfedilmiştir. Saf lityum, 1880 yılında İngiliz Davy tarafından dekompoze edilmiş lityum karbonatın ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) kalsine ürünü olan sıvı lityum oksitini

( $\text{Li}_2\text{O}$ ) elektrolizi ile elde edilmiştir. Salamuralardan lityum elde edilmesi, bilinen yöntemlerden maliyeti en az olanı ve en az zahmetlisidir. Lityumun yoğunluğu  $0.53 \text{ g/cm}^3$  olup (sudan hafif), ergime ve buharlaşma sıcaklıkları sırasıyla  $1800 \text{ C}$  ve  $13400 \text{ C}$ 'dir. Lityumun ısı kapasitesi  $3.6 \text{ J/g.K}$  olup suya ( $4.2 \text{ J/g.K}$ ) yakındır ve bu özelliği ile diğer metallerden ayrılmaktadır. Yeryüzünde lityum konsantrasyonu yaklaşık  $\%0,006$  olup, deniz suyunda ise  $20 \text{ ppm}$ 'dir[1].

Lityum, elektrikli araçların şarj edilebilir bataryala-

rında, rüzgar enerjisinin ve güneş enerjisinin depolanmasında kullanılır. İlave olarak, roket yakıtlarında, Li-Mg gibi alaşımlar şeklinde uzay araçlarında, muhtelif hidrit formları (LiH veya LiAlH<sub>4</sub>) şeklinde hidrojen depolamada ve termonükleer soğutucularında kullanım potansiyeline sahiptir[1].

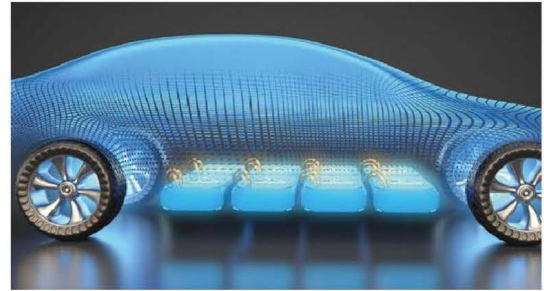
Küresel lityum rezervlerinin % 66'sı tuzlu su rezervuarlarındadır. Kıtasal, jeotermal ve petrol olmak üzere üç farklı tipte tuzlu su rezervuarı vardır. Lityumlu tuzlu su rezervuarları ağırlıklı olarak Şili, Arjantin, Bolivya, Çin ve Tibet'te yer almaktadır. Şili, Bolivya ve Arjantin'de yer alan ve And Dağları ile çevrili olan çok zengin lityum rezervlerinin yer aldığı bölgeye lityum üçgeni adı verilmiştir. Dünyada lityumun %50'sinden daha fazlası göllerden alınan çözeltilerden üretilmektedir. Lityumlu salamuralar ise, kayalarındaki lityumun çözülerek yeraltı sularında toplanması sonucu oluşur. Zenginleştirme işlemi için salamura havuzları inşa edilerek buralara pompalanır, zenginleşmiş çözeltiler doğada kendi halinde buharlaşmaya bırakılır. Buharlaşma sonrası lityum çökelti içinde kahr (% 1-2 arasında lityum konsantrasyonu). Lityumun su obur enerji obur üretiminde ekosistemi zorlayan ve tahribat yapan olumsuz yüzü ve itirazlar göz ardı edilmemelidir. Günümüzde yeşil dönüşüm ile maskelenen yenikolonizasyon büyük şirketler ve devletler tarafından fakir ulusların topraklarının yağmalanması ve yer yüzeyinin tahrip edilmesi şeklinde sürmektedir. Lityum madenciliği de bu eğilimden kendine düşen payı almaktadır. Bundan dolayı gelen günlerde çevreye saygı ve çevresel adalet bağlamında birçok husus gündemde olacaktır. Enerji dönüşümü hakkıyla yapılmalıdır, geçmiş hatalar tekrarlanmamalıdır. Pahalı ve karmaşık üretim yanında enerji dönüşümünün neden olduğu yüksek talep, son bir yılda lityum fiyatını %400 artırmıştır. Lityum üretimiyle ilgili olarak teknoloji geliştirme ve çevre koruma esaslı çalışmalar sürmektedir[2,3].

Yeşil dönüşüm sistemi, ürün ve malzeme için toplam yaşam boyu emisyonu dikkate alır. Örneğin Çin bataryası (Üretiminde kirlenici kömür elektriği kullanılır) AB tarifelerine göre ithalinde maliyetinin %5-8'i kadar ilave karbon vergisi yükü getirir. Bu, elektrikli araçtaki (EV) pil paketi başına ilave 500 \$ para vermek/almak anlamı taşır (Şekil 1). Northvolt Start Up'ı bataryası (Üretimde Nordic Hydroelectricity elektriği kullanır) hiçbir ilave karbon yükü getirmez. Lityum yanında kobalt, nikel, mangan, alüminyum ve bakır diğer önemli girdi metallere sahiptir. Elektrikli araçların en önemli unsurlarından biri olan kobaltın geri dönüşümü konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Tesla Model S pili (2012) 11kg ve Model 3 pili (2019) 5 kg kobalt içerir. Endonezya nikel rezervlerinin %37'sine ev

sahipliği yapmaktadır. Endonezya nikel düşük kaliteli olduğundan batarya kullanımı sırasında, yüksek kaliteli nikel (Kanada, Yeni Kaledonya, Rusya orijinli) 3 kat fazla emisyon salar[3-6].

Kaliteli lityum rezervine sahip Şili'de referandum baskısı, Avusturalya'da ise darboğazlar vardır. Kongo (DRC) ve Endonezya zengin kobalt yataklarına sahiptir. Rafinasyon kapasitesi en yüksek olan ülke Çin'dir, oranlar lityum için %70, nikel için %84 ve kobalt için %85'dir. Çin rafinasyonda kirlenmiş kömür elektriği kullanır[5]. Ülkemizde tuzlu-acı göllerde ve volkanik oluşumların olduğu bölgelerde lityum madenciliği çalışmaları MTA ve üniversitelerimiz tarafından yürütülmektedir. Ayrıca, Eti Maden, tamamen yerli araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyeti ile Lityum Karbonat Üretim Tesisini 2020 yılının Aralık ayının sonunda açmıştır. Rafine bor üretimi esnasında ortaya çıkan sıvı atıklardan lityum ürettiği rapor edilmiştir[7].

Yeşil metaller olarak da adlandırılan enerji metallilerinin maden işletmesinde tam kapasite oluşturma süresi 5-25 yıl arasındadır. Büyük işletmeler karar almada ağır kalırken, küçük işletmeler risk alırlar ve etkisizdirler. Batının an itibarıyla tedarik zincirini genişletmesi gerekir ve bu ancak 2027'de başarılabilecektir. Lityumun eldesi için tuzlu çökeltilerin geleneksel yolla buharlaştırılması en çok tercih edilen yoldur. Doğrudan Lityum Kazanma (DLE) olarak anılan yeni teknoloji daha çevreci olup iyon değişimini kapsamaktadır. Diğer muhtemel gelişmeler: Toksik yan ürün salmayan ötektiksiz ergimiş tuz banyosu tasarımı yoluyla lityum üretimi. Okyanus rüzgarı ve su dalgası ile yerinde gece-gündüz lityum üretme. Doğal süreç ve bakteriler yardımıyla ve yüksek verimle (%99,2) lityum metali eldesi. Artan lityum talebinin karşılanması için atılması gereken adımlar: I) Yeni maden yataklarına erişim, II) Daha iyi madencilik teknolojileri, III) Akıllı batarya kimyası ve IV) Performans için fedakarlık.



Şekil 1. Araç Tabanına Monte Edilmiş Lityum-İyon Batarya Hücreleri Tasarımı /Solway (Ref. <https://www.solway.com/en/chemical-categories/specialty-polymers/batteries/li-ion-battery-cells> Kasım 2022)



## MAKALE

Bu makalede lityum metalinin elektrikli araçlarda ve enerji depolamada kullanımı ve rolü verilecektir. İlav olarak, Arjantin Katamarca Eyaleti göl yataklarındaki yeni lityum madencilik teknolojisi, vaka çalışması şeklinde ele alınacaktır.

## 2. BATARYALAR VE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Şili Atakama Çözü alındaki alan, Arjantin Katamarca Eyaleti göl yatakları ve Macaristan'daki tuzlu yeraltı sıvı plakaları lityum üretimi için örnek verilebilir. Çin'in Macaristan'daki lityum yataklarının işletilmesine dönük girişimi dikkat çekicidir. Çin CATI madencilik şirketi Macaristan'da 7,3 milyar dolarlık yatırımla pil fabrikası kuracaktır. 2022'de EV pil bileşenleri için yapılan yatırım zirve yapmıştır. Bunun sonucu olarak 2027'de EV satın alma ve sürme ile fosil yakıtlı araç satın alma ve sürme eşitlenecektir. AB, 2035'te yeni karbon yakan (fosil yakıt) araç satışına yasak getirecektir.

Döngüsel ekonominin pil ve batarya üretimindeki karşılığı döngüsel imalatır. Döngüsel imalat ile bataryalar yeşillendirilmelidir ve adımlar da atılmaktadır. AB, Temmuz 2024'ten itibaren EV'lerde lityum bataryalar (LiBs) dahil aracın toplam karbon ayak izini bildirmelerini şart koşmaktadır. 2030'da bataryalarda geri dönüşüm malzeme kullanımı zorunlu olacak ve içeriklerde asgari değerler sağlanacaktır. Günümüzde bataryalar iki tarzda üretilmektedir. İlki başta lityum olmak üzere çok sayıda batarya girdi malzemesinin ayrı ayrı kaynaklardan temini ve montajlanmasıdır. Giderek yayılan ikinci tarz ise bataryanın temiz, steril mekanlarda, beyaz önlüklü çalışanlar ve robotlarla döngüsel imalat anlayışı ile üretilmesidir. Bu ikinci tarzda döngüsel ekonomi kurallarına uyularak her türlü girdi iç kaynak esaslı olarak tekrarlı şekilde kullanılmaktadır. İş çevreleri bu işlerin yürütüldüğü model fabrikalara "gigafabrika-gigafactory" demektedir. İsveç Vasteras'taki Northvolt batarya fabrikası TESLA yöneticilerince model gigafabrika olarak gösterilmiştir. Bataryalar gigawatt-saat (GWh) ile ölçülen yıllık depolama kapasitesi ile tanımlandığından fabrikanın önüne konan giga takısı doğrudur. Northvolt gigafabrikası 2030'da 2 milyon EV'ye montajlanacak bataryaların toplam 150 GWh dolun kapasiteli olacağını planlamıştır.

Lityum iyon bataryada bulunan elektrotların kalitesi çok önemlidir. İz orandaki katışkılar iyon akışını bozar ve depolama kapasitesini düşürür. Bu lityum iyonlar bir elektrot bölgesinden, anot, kopar ve sıvı elektrolit içinden ikinci elektrotta, katot, akar. Elektron akışı ise dış iletken vasıtasıyla katottan anota doğrudur, doğal olarak tersi yön motora güç yükler. Şarja takılıncaya kadar iyonlar ve elekt-

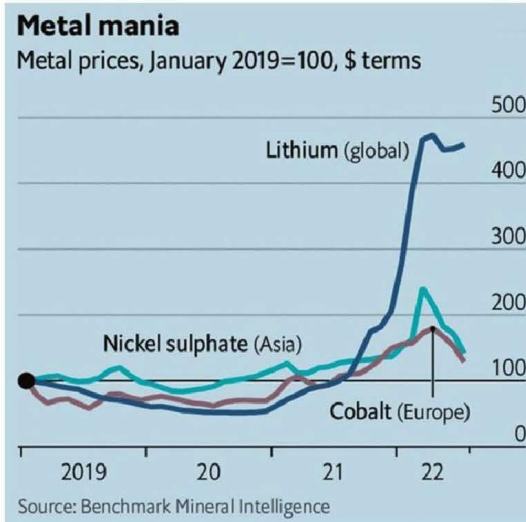
ronlar katotta bekler, şarja bağlama bunları anota doğru ters yüz eder. Katotlar, EV batarya maliyetinin %40'ına yakındır, muhtelif malzeme ve kimyasalların kombinasyonundan oluşur. Katot kimyası çok önemlidir ve bileşim araç türüne (yarış aracından SUV'a kadar) göre değişir. Nikel, manganez ve kobalt ana bileşenlerdir. Alüminyum ve bakır iletkenler genellikle iletken tel ve folyo şeklinde kullanılır. Anot yüksek saflıkta grafitten oluşur ve bakır sargı ile çevrilir, katot ise alüminyum ile sargılanır. Batarya üretimi, membran (ayırıcı) yerleştirme, fırın kurutma, presleme ve rulo oluşturma süreçleri ile devam eder. Üçüncü boyut anot ve katot kümeleri içeren batarya hücrelerinin sandviç modüller gibi montajlanmalıdır. Modüllere şarj/deşarj testi uygulanır. Uygun olanlar araba üreticisine veya endüstriyel şebeke birimine (örneğin yenilenebilir enerjinin depolanması için) sevk edilir. Şarj/deşarj testinde başarısız olanlar geri dönüşüme alınır.

2031'de 282 EV pili ve pil metalleri üreten gigafabrika sayısına erişilecektir. İsveç'teki Northvolt gigafabrikasındaki imalat ve montaj yeşil dönüşüme uygundur. Bazı ham maddeler, madencilik dahil, yüksek karbon ayak izine sahiptir. Şirket tedarik zincirine müdahale etmekte ve yeşil dönüşüm ilkelerini uygulamaktadır. Lityum metali Avusturalya, Şili ve Çin'den gelmektedir. Malzeme ve bataryanın gidim mesafesini düşürmek ve ara bölgede (Lizbon) lityum üretim fabrikası (Galp firması ile) kurmak yeni seçenek olmuştur. Kullanılan enerji yenilenebilir (Hidro-Güç), enerji tasarrufu ve üretimi iyileştirme faaliyetleri sürmektedir. Döngüsel ekonomi gereği batarya geri dönüşüm malzemeleri ve oranları yüksek tutulmaktadır. Geri dönüşüm grafit (şu filtrasyonunda kullanılabilir) için uygun düşmemektedir. 2030'da bilinen metallerde geri dönüşüm payı %25 olabilecektir. Pilde geri dönüşüm risk oluşturabilir (düşük performans gibi). Kobalt için %25'e varan geri dönüşüm öngörülmekte ise de pil verimine olumsuz etkisi olabileceği bilim çevrelerinde tartışılmaktadır. Lityum tartışmasız ana pil malzemesi olarak kalacaktır. Lityum karbonat bataryanın tonu 35 bin \$'dır. Şekil 2 batarya metallerinin son 5 yıl içindeki fiyat artışlarını vermektedir. İlk defa 2022'de batarya fiyatları zirve yapmıştır[2,5].

İstatistikler, 2021'de %10 olan elektrikli araç (EV) satışlarının oranının giderek artacağını ve 2030'da %40'lara ulaşacağını vermektedir. Bu, yılda 25-40 milyon EV üretimi anlamı taşır. 2030'daki 31 milyon EV üretiminin 5 milyonu ABD, 15 milyonu Çin ve 8 milyonu AB ülkelerinde olacaktır. Günümüz pil (batarya) üretiminde Çin'in payı %80 (On yıl sonra %70 olabilir), ABD'nin payı %12'dir. Çin (Envision, BYD ve CATI firmaları), Güney Kore (I.G, Samsung, SK Innovation firmaları), Japonya (Pana-

## MAKALE

sonic firması) başlıca pil (batarya) üreten kuruluşlardır. Çin CATI, dünyanın en büyük batarya üreticisi, döngüsel ekonomiyi önemsemekte, Almanya, Macaristan ve Kuzey Amerika'da gigafabrika kurmayı planlamaktadır. Çin Envision, İngiltere'de gigafabrika kuracaktır. TESLA'nın eski üst düzey yöneticisi Jeffrey Straubel tarafından, Nevada'da dünyanın en büyük batarya malzemesi geri dönüşüm tesisi kurulmaktadır[5].



**Şekil 2.** Batarya Metallerinin Son 5 Yıl İçindeki Fiyat Hareketleri (Ref: The EV revolution, The Economist, August 20th 2022, 53-55)

Lityum-iyon, kurşun-asit, nikel-kadmium, nikel-kobalt ve alüminyum-iyon gibi türleriyle bataryalar (aküler, piller) elektrikli araçların en önemli öğeleridir. Bugün, yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen elektriği kullanan ulaşım sistemleri ve araçları ana kulvarı oluşturmaya başlamıştır. Demir-hava bataryası ucuzluğu ve elverişliliği ile yenilenebilir enerji fosil yakıtlı termik enerji santrallerine en etkili alternatif yapacaktır. Konuyla ilgili ABD Startup'ı Form Enerji araştırmaları dikkat çekicidir[8].

Hükümetimizin yerli araç konusunda özel sektöre verdiği destek sonuç vermiştir ve yerli otomuz TOGG 29 Ekim 2022'de görücüye çıkmıştır. Ulusal elektrikli otomobil markamız TOGG'u, Cumhuriyetimizin yüzüncü yılında (29 Ekim 2023) yollarda göreceğiz. Üretim tesisi Gemlik'te olan otomobilimizin en önemli öğesi pil, dünya devi Farasis Şirketi (ABD-Çin) işbirliği ile üretilmektedir. 3 küresel Ar-Ge merkezi ve 4 binden fazla çalışanıyla BEV (elektrikli araç pili) pazarının büyükleri arasında yer alan Farasis, yerli Siro'nun (Gebze Bilişim Vadisi) da çözüm ortağıdır. Elektrikli otomobilimizin beğeni kazan-

ması, küresel marka olması için aşağıda verilen hususların da çalışılması ve atlanmaması önemlidir: Şarj süresinin kısaltılması, tam doluluğun sağlayacağı sürüş mesafesinin (menzil) artırılması, batarya dolum istasyon zincirlerinin iyi yönetilmesi, dolumda kullanılan bakır kabloların ve donanımların çalınma riskinin azaltılması, döngüsel ekonomi gereği ömürlerini dolduran bataryaların geri dönüştürülmesi, hareket halinde şarj ve süper batarya konularının araştırılması, bulut veri toplama, otonom-yarı otonom araç düzeni geliştirme, sürücü yardım komutları donanımı, sensör ve ikaz bileşenleri[6].

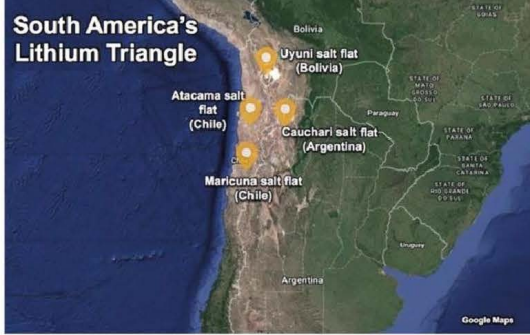
### 3. LİTYUM MADENCİLİĞİ VAKA ÇALIŞMASI [3]

Arjantin Katamarca Eyaletindeki Ekogirişimler, yeni lityum madencilik teknolojisi ile arjantin'de sürdürülebilir altına koşma olgusu benzeri durumu yaşatacaktır. Yerler ve kişiler:

Puna: Arjantin Andes Dağları Kıyısındaki düzlük alan şehri, nüfus 50,000, Katamarca: Arjantin Eyaleti Tropiche, Los patos: Katamarca nehirleri, Hombre Muerto: Tropiche nehrinin beslediği tuz gölü Promnitz: Madencilik Şirketi, Kachi: Arjantin'in maden şehri, Lilac Solutions: Kaliforniya-merkezli start-up, Antofagasta de la Sierra, El Penon: Kachi kasabaları, Livent: Filadelfiya merkezli lityum şirketi, Stephen Promnitz: Avustralyalı madencilik direktörü, Florentín Vasquez: Puna çiftçisi 38-yaş David Snyder: Lilac CEO'su, Stu Crow: Lake Resources Başkanı, Patricia Marconi: YUCHAN Vakfının Katamarca'daki araştırmacısı, Roman Guitian: Hombre Muerto gölü yakınında yaşayan yerli Raúl Jalil: Katamarca Eyalet Valisi, Juan Carrizo: STK lideri (Eco-Conciencia Foundation)

2016 yılı Katamarca stepleri ve yerlileri için bir dönüm noktasıdır. Bu tarih, step yüzeyinin hemen altından çıkarılan lityum hammaddesinin yeni metotla beyaz lityum metal bileşiğine dönüştürme kararının verildiği tarihtir. Güney Amerika'da Arjantin, Şili, Bolivya ve Peru arasında yer alan bu stepler 30 yıl boyunca bakır, çinko, gümüş ve lityum metal rezervleriyle dünya ihtiyacının %59'unu karşılamışlardır (Şekil 3). Buraları yabancı madencilik şirketlerinin çoğlendiği yer olmuştur. Bu bölge, yıllarca yağmur almaz ve dünyanın en kuru ekosistemine sahiptir. Burada yaşayan yerliler seyrek bulunan nehirlerden ve tuz göllerinden su ihtiyacını karşılar. 1990'lardan bu yana Kuzey Şili'deki madenciler tuzlu su göllerindeki suyu dışarı pompalayıp alttaki saklı lityum tabakasına eriştiler. Madenciler, binlerce yıllık yeraltı su tabakalarını hareketlendirdiler, hidrosistemi bozdular. Şili mahkemeleri ve cemiyetleri bu eylemlerin yeraltı su seviyesini düşürdüğünü ve buralardaki köy yaşamını tehdit ettiğini ileri sürmektedir.





**Şekil 3.** Güney Amerika Lityum Üçgeni (Ref: <https://www.mining.com/uranium-one-to-buy-controlling-stake-in-wealth-minerals-chilean-lithium-project/south-america-lithium-triangle/>)

Arjantin, küresel lityum pazar kapma yarışında önlere sahiptir. Dünya rezervlerinin %21'i bu ülkede olup an itibarıyla 2 şirket faaliyette ve onlarca şirket te planlama içindedir. Enerjide küresel dönüşüm, 2040 yılında günümüzden 40 kat fazla lityum ihtiyacı doğacağını işaret etmektedir. Uluslararası enerji ajansı (IEA) ve madencilik şirketleri tedarik güvenliği için çalışmaktadır. Arjantin'deki madenciler Puna'daki lokal cemiyetlerden korkmakta ve Şili'de yaşananlardan ürkmektedir. Bugün yapılan kaynakların yağmalanması ve toprak yüzeyinin tahrip edilmesi gerçeği yeni kolonizasyonu andırmaktadır. Yeni kolonizasyon çoğu kez yeşil dönüşümle maskelenmektedir. Stephen Promnitz Puma'daki sakinlere, "Lityumu çevreye zarar vermeden çıkaracağım." demiştir. O kişinin çok nazik olduğunu söyleyen Bayan Florentin Vasquez, Onun "Yeni proje diğer projeler gibi fazla su kullanmayacak. Arjantin'de daha önce denenmeyen yeni metodu kullanacağım" dediğini nakletmiştir.

Madencilik şirketi Promnitz, Vasquez kardeşlerin çiftliğinden birkaç mil uzaktaki göl kaynaklarından lityum çıkarmak için 6 yıl önce kurulmuştur. Şirket, Kachi'deki bu maden alanında yüzey çalışmasına başlanmış olup Kaliforniyalı Lilac Solutions desteği ile burada 2024'te lityum karbonat (batarya üreticilerin satın aldıkları bileşik) üretmeye başlayacak ve 2025'te 50.000 ton hedefini yakalayacaktır. Geleneksel lityum madenciliği basit iki yıl süreli buharlaştırma işlemini kapsar, lityumu tuzlu bulamaçtan ayırır ve büyük su kitlesi kaybedilir. Bu işlem Lilac teknolojisinde birkaç saate iner ve 2 kat fazla lityum eldesini mümkün kılar; ayrıca bütün işlem gören tuzlu suyu gözenekli kayaca (aquifer) geri verir (Şekil 4). Promnitz Madencilik'e göre beklenti ve süreç budur.

Doğrudan Lityum Kazanma (DLE) olarak anılan yeni teknoloji henüz geniş kabul görmemiştir. Uzmanlar labo-



**Şekil 4.** Kachi Lityum İşletmesi (Ref: *Lithium mining's next frontier*, TIME August 8/August 15, 2022, 54-57)

ratuvardan sahaya geçmek için çabalamaktadır. Kachi deneme alanı olup bazı yatırımcılar gölün boyut olarak bu çalışmaya uygunluğunu şüphe ile karşılamaktadır. Şirket içinden de itirazlar yükselmiş ve Haziran 2022'de Stephen Promnitz aniden istifa etmiştir. Promnitz, liderlik değişiminin Kachi yatırımını hızlandıracağını belirtmiştir. Lake Resources Başkanı Stu Crow ayrılmanın tamamen kişisel olduğunu vurgulamıştır.

DLE'nin geliştirilmesi ekonomik zorlama ile ilgilidir. Lityum olmadan elektrikli araçları süremezsiniz ve yenilenebilir enerjileri depolayamazsınız. Lityum karbonatın fiyatı geçen 12 ay içinde %500 artmış olup, analistlere göre yeni yatırımlar durumu kolaylaştıracaktır. DLE'nin hızlı ve daha etkili yapısı lityum üretimini arttıracak enerji geçişindeki rahatsızlık veren darboğazları önleyecektir. U.S. Enerji Sekreteri Jennifer Granholm DLE metoduna "oyun değiştiren" demiştir. David Snyder, Lilac'ın CEO'su, "Geleneksel oyuncular elektrikli araçlar için yeni ilaveler yapamayacaklardır. 2030'da elektrikli araç piyasasında ya darboğaz olacaktır ya da lityum endüstrisi tamamen dönüşecektir.

Çevresel adalet bağlamında birçok husus gündemde olacaktır. Yeşil metallerin madenciliği dekarbonizasyonda önemli oldukları kadar çok tahribat da yaparlar. Bundan dolayı gelen günlerde çevreye saygı ve çevresel adalet bağlamında birçok husus gündemde olacaktır. Lityum pilinin en önemli girdisinden kobalt madenine Kongo'lu insan hakları aktivistleri "kanlı kobalt" demişlerdir. Şili'de bakır ve lityum madenciliğinin yapıldığı toprak yüzeyi bozulmuş yere STK'lar "kurban edilmiş alan" adı vermişlerdir. Eğer

## MAKALE

Kachi işletmeleri başarılı olursa, Arjantin'de lityum için böyle kısa takma adlı kötülükler olmayacaktır. Promnitz, "Eğer biz enerji dönüşümünü hakıyla yaparsak, geçmiş hataları tekrarlamamalıyız. Daha iyi yapmalıyız." demektedir. Lityum eldesi için Kachi gibi projeler, taze su kaynaklarını çok tüketmemeli ve ekosistemi fazla değiştirmemelidir. Belirsizlik Vasquez kardeşleri haklı yapar. Dışardaki insanlar gelirler ve size, "Merak etmeyin, bir şey olmayacak." derler. Kardeşlerden Florentin, "Fakat biz risk altındayız." der. Güney Amerikadaki lityum madeni işletmesini tanımak için buharlaşma havuzlarına bakmak gerek: büyük alana yayılmış devasa, kaba, mavi-yeşil tuzlu su havuzu. Şili Atakama Çölündeki dikdörtgen havuzlar onlarca mil kare alan kaplar. Arjantin'de havuzlar şimdilik az olarak göze çarpar ve Kachi farklı görünür.

Siyah volkanın ayağında beyaz tuz gölü hemen fark edilir, mavi gökyüzü, portokal ve pembe renkli dağlar öne çıkar. Bir büyük kırmızı boru göle batıp dipteki tabanı delip tuzlu yapıyı emer (Şekil 5). İki yıl içinde inşaat bittiğinde daha çok emme kuyusu ortaya çıkacak, üstü örtülü tanklar hızlı şekilde üç saatlik iyon değişimi yoluyla lityumu ayıracaklardır. Metal küçük özel tasarlanmış yatağa tutunur. Yatak lityumu almak için asitle yıkanır, arkasında tuzlu su geri bırakılır, kısaca aquifere geri verilir. Bu proses Lilac Solutions Start-up'ı tarafından geliştirilmiş olup BMW ve Breakthrough Energy Ventures tarafından desteklenmektedir. Yatırım, Bill Gates ve Jeff Bezos tarafından fon-

lanmaktadır. Ford ve Japon Hanwa, Lake Resources ile bağlayıcı olmayan anlaşmalar yaparak yılda 25.000'er ton lityum karbonat eşdeğeri (LCE) ürünü Kachi'den almaya karar vermişlerdir.

Çok etkili dolayısıyla karlı bir lityum kazanım sistemi (DLE) sayesinde daha az enerji tüketilecek ve geleneksel yöntemle göre daha az su ayak izi oluşacaktır. Kachi Lityum Kuzey Batı Arjantin'in lityum üretim merkezi olacak ve yüksek saflıkta lityum patentlenmiş iyon değişim teknolojisiyle üretilmektedir. Mutlu bir rastlantı beklentisiyle Arjantinli çevreciler su kullanımının azalacağı konusunda konforsuz bir merak içindedirler. YUCHAN Vakfı Bölgesel Koruma Gurubunun Katamarca'daki araştırmacısı Patricia Marconi büyük miktarda tuzlu suyun aquifere geri basılmasının yeraltı jeolojik formasyona etkisini çalışmaktadır. Onun 2018 Makalesi, tuzlu oluşum asitliğinin değişmesini ve iz oranda yabancı maddenin ekosisteme etkisini tartışmıştır. Şirketler harcanmış kitlenin çıktıkları yerin uzağındaki noktadan aquifere geri verilmesinin daha doğru olduğunu bilmelidirler.

Marconi son kademedeki lityum klorürden lityum karbonata dönüşümde ne kadar taze suyun kullanılacağını da tartışmaktadır. O, bu suyun yeraltında binlerce yıl beklemiş fosil su olması gerektiğini ve bunun taneçikli çökelek oluşumu için şart olduğunu düşünmektedir. Tuzlu su gölleri üzerine yapılan az sayıda çalışma ile ekosisteme jeolojik etkileri anlayamayız. Marconi, "Çevre etkilerini



Şekil 5. Yüzlerce Metre Derinliğe İnen Lityum Sondajı (Ref: <https://www.bbc.com/news/business-54900418>)



ciddiye alsaydık bu gün Katamarka'da üretimle ilişkili 20 şirket yerine 20 araştırma gurubunu görürdük. Çünkü çevresel hasar geri döndürülmezdir ” demiştir. DLE işleminin çevreye dönük olumlu mesajları Katamarka'lıların şüphe ile karşılamaları doğrudur. Kachi'nin 3 saatlik kuzey bölgesinde Puna'nın nam salmış yeşil ve sarı yaz bitkilerinden şimdi eser yoktur, tarlalar siyah kahverengi toprağa dönmüşlerdir. Burası Hombre Muerto tuz gölünü besleyen Tropiche nehrinin vadisidir. Filadelfiya merkezli lityum üretim şirketi Livent, Tesla ve BMW'nin ana tedarikçisi olup 1997'de Katamarka'da nehrin gölle birleştiği yerde bir baraj inşa etti ve taze suyu madende kullanmak üzere konsantre etti. TIME'm[3] Mart 2022 ziyaretinde barajın yanından kavrulmuş çayıra doğru onlarca santimetre genişliğinde ince bir su akıntısı görülmüştür.

Kachi Projesi, Arjantin'in en eski lityum maden projesi olup batı yarımkürede DLE yöntemini uygun ölçekte kullanan yegane işletmedir. Proses melez olup, önce lityum içeren tuzlu çökelek havuzlarda buharlaşmaya bırakılır. Livent kayıtları, buharlaşma süresinin geleneksel göre daha kısa sürdüğünü vermiştir. Çökelek takiben DLE prosesine verilir ve tuzlu suyun büyük bölümü doğaya geri verilmiş olur. Sonra, Tropiche Nehrinin taze suyu lityumu ayırmak için kullanılır. Şirket hiç çökelek kaybetmez, sahada tuzlu su ve su kaybı görülmez.

Roman Guitian vadiyi tahrip ettiği için Livent'i suçlamıştır. Guitian, nehrin kıyısında küçük yerleşim bölgesinde büyümüştür. 17'sinde iken Hombre Muerto gölünden tuz çıkarır, lama, keçi ve koyun otlatırdı. Tuzlu gölün kenarında durarak “O çok güzeldi. Fakat bugün hiç hayvan yok, o tamamen kurudu.” dedi. Livent ve bölgesel STK Eco-Conciencia Vakfı işbirliği ile vadi restorasyonu başlamıştır. Livent fabrikaların sayısını 2'ye katlamak istemektedir. 2023 sonu itibarıyla 40.000 ton LCE üretimi planlanmaktadır. Livent'in 2030'da ise artırılmış toplam kapasitesi 100.000 ton olacaktır. İşçiler Hombre Muerto fabrikasından 10 mil ötedeki Los Patos Nehrine boru hattı açmışlardır. “Onlar bir nehri tahrip ettiler, şimdi öbürünü tahrip edecekler.” diyen Atacameños del Altiplano adlı STK'nın bir üyesi, “Suyumuz olmadığı gün gelince, biz göç edeceğiz.” diye devam etmiştir. Livent Şirketi yetkilileri ise ısrarla, gelecekte taze su kullanmayı azaltmak adına “tekrar kullanım” ve “geri dönüşümü” öne çıkartacaklarını belirtmiştir. Halbuki, Livent'in genişleme planında geleneksel havuzda buharlaştırma-esaslı yöntem önerilmiştir.

Katamarka Valisi Raúl Jalil, Trapiche Nehri bize çok şey öğretti diyerek, “Şirketler aylık çevre bilgilerini topluyorlar, problem görülürse proje durdurulacaktır” sözünü vermiştir. Trapiche ve Los Patos nehirlerindeki



kayıt istasyonu verileri bizim suyu sürdürülebilir şekilde kullanmamızı sağlayacaktır demektedir. Vali Jalil maden şirketi sayısını sınırlamayacaklarını ve su-yoğun lityum madenciliğini yasaklamayacaklarını söylemektedir. “Ziraatten turizme bütün projelerin çevresel etkisi vardır. Biz küresel enerji sistemini, madensizleştirerek dönüştüremeyiz.” demiştir. Vali, “İlerleme, çevre etkilerini azaltmakla, daha çok azaltmakla ve inovasyonla olur.” demiştir. O, Kachinin, “bir öncü vaka” olmasını istemektedir.

2020'de Livent 1 ton LCE için 72,9 ton taze su kullanmıştır. Lilac metodunda kullanılan su 4 kez daha azdır (18 ton taze su/1 ton LCE). Kachi'deki Promnitz Maden İşletmesinde az su, geri dönüşüm su ve acı suda tasarruf öngörülmektedir. Deneyimli jeolojist Promnitz çevrecilerin endişelerine katılmamakta ve geri basmalı tuzlu suyun oluşturacağı riskin düşük olduğuna inanmaktadır. Jalil ve Katamarka'daki diğer görevliler madenciliğinin sağlayacağı ekonomik faydayı, oluşturacağı riskten daha çok önemsemektedirler. Buenos Aires yönetiminden az destek alan kuzey batı Arjantin bölgesi, ümidini lityum madenciliğine bağlamıştır. Livent dahil şirketler yol ve köprü için cömert harcamalarda bulunurlar. Kachi'nin iki yakın El Peñón ve Antofagasta de la Sierra kasabası belediye başkanları madencilerin bölgesel iş yaşamına olumlu katkılarını aldıklarını belirterek “Şirketler büyürse, kasaba da büyür.” demektedirler. STK lideri Juan Carrizo, “İnterneti, yolu, gazı ve ulaşımı yerli yerinde olan Buenos Aires gibi yerlerde çevreyi savunabilirsiniz. Ama burada toplumun gelişmesi de hep masadadır.” diyor.

Çiftliği Kachi'de olan Bayan Florentin'in kafası karışık, eğer projeden çevre problemi çıkarsa ne yapaca-

## MAKALE

ğını bilmemektedir. “Çevremden birçok kişi iş taleplerini bana söylüyorlar. Ben köşeye sıkıştığımı hissediyorum.” demektedir.

Biz bugün küresel mineral-madencilik patlaması yaşıyoruz. Rüzgar türbinleri, güneş panelleri, ve elektrikli araçlar gibi karbon-azaltma teknolojileri daha yüksek miktarlar ve daha farklı malzeme setlerine ihtiyaç gösterir. IEA'nın 2010 sonrası dönem için belirlemesi, her yeni birim enerji üretim kapasitesi artışı yenilenebilir enerjinin pay artışı nedeniyle, mineral talebini %50 arttırır şeklindedir. Bu gerçeklik küresel madencilik endüstrisine kendini yeniden tanımlama fırsatı verecektir:

Çevre hasarcısı kimliği yerine iklimi koruyuculuk! Bugün artan çevre bilinci çağında STK'lar birçok madencilik projesinin durdurulmasını sağlamaktadır. 2022 yılı başında STK'ların kitlesel itirazları, Sırbistan Hükümetine 2,4 milyar \$'lık lityum üretim projesini iptal ettirmiştir. Bu proje, AB ülkeleri lityum ihtiyacının %90'ını karşılayacaktı. Proje yüklenicisi madencilik devi Rio Tinto firması yönünü Arjantin'e döndürmüştür.

Bir kısım çevreciler, emisyon azaltmanın yolunu tüketimde radikal dönüşüme bağlamışlardır. Döngüsel ekonomi ve az tüketim! Az sayıda elektrikli araç alırsak az lityuma ihtiyaç duyarız anlayışı. Toplu ulaşımı önceler ve az seyahat edersek doğru yapmış oluruz. Enerji ve çevrede sürdürülebilirlik modern toplumların hedefidir. Bu hedef için temiz enerji teknolojilerinin ve verimli üretim/tüketim süreçlerinin öne çıkartılması gerekmektedir. Bu vizyon ile madenciler ve bütün endüstriler “yeşil mutabakata” bağlı kalmalıdır. Bağlı kalmazlarsa iklim değişikliğine karşı savaş sekteye uğrar, sele ve sıcaklık dalgalanmalarına karşı mücadele aksar. Katamarkalı Guitián'ın söylediği gibi: “Gelecekte lityumumuz ve elektrikli aracımız olur ama içecek su bulmakta zorlanırsınız. Aynı yerde yaşama özgürlüğünü kaybederiz.”

## 4. SONUÇLAR

Enerji ve çevrede sürdürülebilirlik modern toplumların hedefidir. Bu hedef için temiz enerji teknolojilerinin ve verimli üretim/tüketim süreçlerinin öne çıkartılması gerekmektedir. Geçen birkaç on yıl içinde, Nobel Ödülü (2019) de kazandıran uygulamasıyla, lityum bataryalar (LiBs) temiz enerjinin model sistemi olmuştur. Günümüzde, LiBs performansı teorik seviyeyi yakalamış olup bazı yetersizlikler de ortaya çıkmıştır. LiBs üstünde çalışmalar yoğunlaştırılmış yeni nesil batarya çalışmaları başlamıştır. Diğer yandan, kurşun-asit, nikel-kadmiyum, nikel-kobalt, alüminyum-iyon ve demir-hava bataryası gibi türleriyle bataryalar (aküler-piller) pazar kapma ve büyüme yarışını sürdürmektedirler. Cumhuriyetimizin 100. yılında (29 Ekim 2023) yollarda göreceğimiz yerli oto TOGG'un cazip özellikleriyle pazarda tutunması beklentimizdir. Daimler'in (Mercedes-Benz) de stratejik ortağı olan Farasis'le işbirliği yapmamız çevre dostu ve kullanıcı arkadaşı pil ve elektrikli otomobil yatırımlarımızın kontrollü olarak büyümesine yol açacaktır. Madenciler ve bütün endüstriler “yeşil mutabakata” bağlı kalmalıdır. Bağlı kalmazlarsa iklim değişikliğine karşı savaş sekteye uğrar, sele ve sıcaklık dalgalanmalarına karşı mücadele aksar. Arjantin Eyaleti olan Katamarka'lı yöneticiler “Ziraatten turizme bütün projelerin çevresel etkisi vardır.” diyerek lityum üretiminin çevre ve ekosisteme etkisini azaltma amaçlı yeni projelere ümit bağlamışlardır. Kachi'de devreye alınacak olan Doğrudan Lityum Kazanma (DLE) yönteminin “bir öncü vaka” olmasını dilemektedirler. Katamarka'lılar yaşanmışlıklardan ders çıkarılsın, yeter sayı ve miktarlarda lityumumuz, elektrikli aracımız ve de kirlenmemiş içecek suyumuz da olsun diyorlar. Sonuç olarak elektrikli araç kullanıcıları, sürdürdükleri araba malzemelerinin çoğunun duman yüklü olduğunu hatırlayacak ve zaman zaman yerküreyi koruma eyleminden uzaklaştıkları hissine kapılacaklardır. Enerji Çevre

## KAYNAKLAR

- [1] X. Zhang, A. Han, Y. Yang, “Review on the production of high purity lithium metal”, Journal of Materials Chemistry A, 2020, 8, 22455-22466.
- [2] “The EV revolution”, The Economist August 20th 2022, 53-55
- [3] “Lithium mining's next frontier”, TIME August 8/August 15, 2022, 54-57
- [4] J.Joly, “D.R. Congo”, The Guardian Weekly, 10 January 2020, 28
- [5] “Battery-making Inside the gigafactory”, The Economist October 29th 2021, 74-75
- [6] F. Yılmaz, “Elektrikli otomobil, küresel rekabet ve gelişmeler”, Dünya Gazetesi Serbest Kürsü, 24 Aralık 2017
- [7] <https://www.ntv.com.tr/galeri/teknoloji/turkiyede-lityum-uretimi-basladi,WtyYLbn9Q0egaakn9ai3qA> (Kasım 2022)
- [8] <https://formenergy.com/technology/battery-technology/> (Kasım 2022)