

GELECEĞİN ÖNEMLİ MADENİ: LİTYUM

Lityum sembolü Li atom numarası 3 olan kimyasal elementtir. Periyodik tabloda 1. grupta alkali metal olarak bulunur ve yoğunluğu en düşük olan metaldir. Adını Yunancada “taş” anlamına gelen “*lithos*” kelimesinden alır. Lityum doğada saf halde bulunmaz. Yumuşak ve gümüşümsü beyaz metaldir. Havada bulunan oksijenle reaksiyona giren lityum, lityum oksit (Li_2O) oluşturur. Bu oksitlenme reaksiyonunu engellemek için yağ içinde saklanır. Lityum ilk olarak 1817 yılında Johan August Arfwedson tarafından keşfedilmiştir. İlk saf olarak izolasyonu ise William Thomas Brande ve Humphrey Davy tarafından lityum oksitten elektroliz yolu ile gerçekleştirilmiştir.

Çoğu jeolojik ortamda, lityum yalnızca eser element olarak bulunur ve milyonda bir (ppm) olarak ölçülür. Dünyanın mantosu 1,6 ppm lityum içerir ve okyanus kabuğu 4,3 ppm içerir.¹ Üst kıtasal kabuk (yani, tipik olarak karada Dünya yüzeyinde bulunan kayalar) ortalama 20 ppm lityum içerir.² Bu bollukta, lityum elementler arasında bakırın arkasında, ancak kurşun, kalay ve gümüşün önünde 30. sırada yer alır. Lityum, büyük iyonlu bir litofil element olarak sınıflandırılır: soğutma magmanın soğuma sırasında mineraller kristalleşmeye başladığında, lityum sonuna kadar kalan eriyik içinde kalmayı tercih eder yani uyumsuz bir elementtir.

Lityum son derece çözünürdür bir elementtir. Kayaların ayrışması sırasında, çözelti halinde çıkarılma ve nehirler tarafından denize taşınma eğilimi gösterir. Bu nedenle, lityumun okyanusları tuzlu hale getirmesi gibi, okyanuslarda da aynı şekilde birikmiş olması beklenir. Yine de deniz suyunun 1 ppm'den daha az lityum içermesi dikkat çekicidir. Bu durum deniz suyu lityumunun eser miktarlarda kil mineralleri tarafından taşınması ve deniz tabanındaki sızıntılarda birikmesi şeklinde açıklanabilir.

Dünya çapındaki mevcut ve potansiyel lityum kaynakları, kaynak türüne göre şu şekilde ayrılır: kapalı havza tuzlu suları, % 58; pegmatitler (lityumla zenginleştirilmiş granitler dahil), %26; lityum killeri (hektorit), %7; ve petrol sahası tuzlu suları, jeotermal tuzlu sular ve lityum-zeolitler (jadarit), her biri %4.³ Grafik 1'de lityum rezervinin dünya çapındaki dağılımlarını göstermektedir.



Ülkemizde ekonomik değere sahip lityum kaynağı bulunmamaktadır. Ancak, Yozgat-Sorgun bölgesinde pegmatitler içinde lepidolit varlığı bilinmesine rağmen yapılan çalışmalardan önemli sonuçlar elde edilememiştir. Ülkemizdeki bazı gollerde yapılan çalışmalarda lityum içeriğinin 40 ppm'i aşmadığı görülmüş olup, Tuz Gölü'nde 325 ppm lityum tespit edilmiştir. Ancak

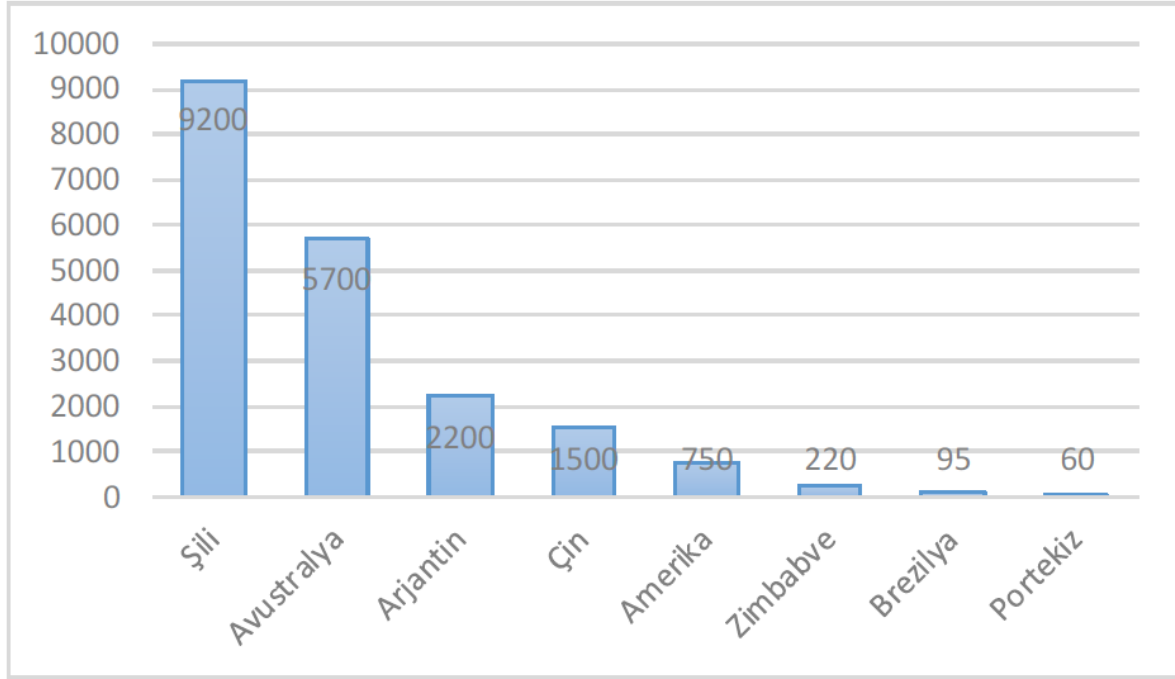
¹ SUN S.S., McDONOUGH W.F., “Chemical And Isotopic Systematics of Oceanic Basalts—Implications for Mantle Composition and Processes”, Geological Society Special Publications, 1989, 42, 313–345.

² McLENNAN S.M., “Relationships Between the Trace Element Composition of Sedimentary Rocks and Upper Continental Crust”, Geochemistry Geophysics Geosystems, 2001, 2, 2000GC00010.

³ EVANS R.K., “An Overabundance of Lithium?”, Lithium Supply & Markets Conference. 4th, Buenos Aires, Argentina, January 23–25, 2012, Presentation, unpaginated.

Tuz Gölü'nün magnezyum içeriği 38.000 ppm'dir. Yine yapılan çeşitli araştırmalar bor sahalarında killer içerisinde 2000 ppm'e yaklaşan lityum içeriğini göstermiştir. Bor madeni çıkarılan Kestelek, Emet, Kırka ve Bigadiç sahalarında yapılan çalışmalar sonucunda, Bigadic ve Kırka bölgesindeki lityum içeriğinin Kestelek ve Emet bölgesine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sahalarda, bor içeriği ile lityum içeriği arasında ters bir ilişki olduğu görülmüş ve tane boyutu azaldıkça lityum içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Bu killere uygulanan XRD analizleri ise hektorit kilinin varlığı hakkında net bir bilgi vermemiştir.⁴

Grafik 1: Dünya Lityum Rezervi (ton)⁵



Lityum son iki yıldır, dünyada en çok artış gösteren emtia olarak karşımızda. 2021'deki %442,8 artıştan sonra, geçen sene de %72.5'lik inanılmaz artışla en çok talep edilen metal olmuştur. ABD Enerji Bakanlığı'nın Kritik Malzemeler Stratejisinde lityum 16 temel unsurdan biri olarak yer almaktadır. Lityum rezerv olarak bol olmasına rağmen, lityumun çıkarılması ve işlenmesi kolay değildir. Çoğu lityum madenciliği Latin Amerika ve Avustralya'da yoğunlaşırken, Çin işleme kapasitesinin çoğunu kontrol etmektedir. Yalnızca Avustralya, dünyadaki en büyük 10 lityum rezervinden beşine sahiptir fakat lityum işletmelerinin %60'tan fazlası Çin'de gerçekleştirilmektedir.

Lityum, elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin önemli bir parçasıdır. Elektrikli araçlara yönelik küresel talep son birkaç yılda hızla artmıştır. Bu talep 2030 yılına kadar trafikte bulunan araçların yaklaşık %30'unun elektrikli arabalardan oluşacağı varsayımı ile lityum iyon pillerine olan talebin hızlanarak artacağı bilinmektedir. Lityum, günlük hayatımızda kullandığımız şeylerin çoğunda kritik bir rol

⁴ MTA, "Dünya'da ve Türkiye'de Lityum", 2017, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 25 s.

⁵ <https://www.statista.com/statistics/268790/countries-with-the-largest-lithium-reserves-worldwide/> (Erişim Tarihi 14.04.2022).

oynuyor. Elektrikli araçlara ek olarak lityum, cep telefonlarına, bilgisayarlara, elektrikli aletlere, rüzgâr ve güneş enerjisinden üretilen enerjinin pil depolamasına güç sağlayan teknolojinin önemli bir parçasıdır. Ayrıca lityum, bipolar bozukluğun tıbbi tedavisinde, demans ve alzheimer tedavisi için kullanımı konusunda çalışmalar devam etmektedir. Lityum, kısmen elektrikli araçlardan geniş formatlı lityum-iyon pillere dayanan yenilenebilir enerji sistemlerine kadar gelişen bir dizi teknoloji nedeniyle kritik bir enerji malzemesidir.⁶

LİTYUMUN KULLANIM ALANLARI

Kimyasal element lityumun birçok kullanımı vardır, ancak en önemlisi pillerde, zihinsel sağlık tedavisinde ve piroteknikte kullanılır. Bu gümüşü beyaz alkali metal ilk olarak 1855 yılında Augustus Mattiessen ve Robert Bunsen tarafından izole edildi. Lityum dünya çapında yaygın olarak bulunur, ancak yüksek reaktivitesi nedeniyle doğal olarak elemental formunda oluşmaz. Şili ve Avustralya, sırasıyla dünyadaki birinci ve ikinci en büyük lityum rezervlerine sahiptir.

Lityum ve bileşikleri, elektrikli araçlar ve elektronik ürünler için şarj edilebilir piller aracılığıyla ve düşük erime noktalı camlarda ve yağlayıcılarda temel bileşenler olarak temiz enerji ve ulaşım sağlar. Lityum bileşikleri, lityum karbonat (Li) dahil olmak üzere çeşitli formlarda üretilir. Bu formlar yaygın olarak Lityum oksit (Li₂O) ve lityum hidroksit (LiOH)'dir.

Tablo 1: Lityumun Kullanım Alanları⁷

Son kullanım	Lityum Tüketimi 2010 (%)	Lityum Tüketimi 2021 (%)
Pil	23%	74%
Seramik ve cam	31%	14%
Yağlama gresleri	10%	3%
Klimalarda	5%	1%
Sürekli döküm	4%	2%
Diğer	27%	6%
Toplam	100%	100%

2010 yılında, seramik ve cam sektörü %31 ile lityum tüketiminin en büyük payını oluşturmaktaydı. Seramik ve cam eşyalarda, lityum karbonat mukavemeti artırır ve modern cam-seramik ocaklar için genellikle gerekli olan termal genişlemeyi azaltır. Lityum ayrıca taşımacılık, çelik ve havacılık endüstrileri için yağlayıcı greslerin yanı sıra daha az bilinen diğer kullanımları da bulunmaktadır.

Günümüzde ise elektronik, elektrikli araçlar ve şebeke depolaması için şarj edilebilir pillerin üretimi, toplam talebin %74'ü oluşturmaktadır. Kanada Hükümeti, lityumu kritik bir mineral olarak tanımlamıştır. Çünkü yenilenebilir enerji geçişinde kilit bir malzemedir ve Kanada bir tedarikçi olma potansiyeline sahiptir. Kanada şu anda lityum üretmemektedir, ancak büyük sert kaya spodümen yataklarına ve tuzlu su bazlı lityum kaynaklarına sahiptir.

⁶ ERTÜRK M.A., YALÇIN C., "Geleceğin Enerji Kaynağı: Lityum", <https://www.researchgate.net/publication/361073307>, Er.Tar. 01.03.2023.

⁷ MTA, "Dünya'da ve Türkiye'de Lityum", 2017, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Lityum elementinin en yaygın kullanım alanı olan lityum piller, yüksek enerji yoğunluğu ve döngü başına düşük maliyeti nedeniyle diğer pil kimyalarından ayrılır. Bununla birlikte, "lityum pil" belirsiz bir terimdir. Lityum pillerin yaklaşık altı yaygın kimyası vardır, bunların hepsi kendi benzersiz avantaj ve dezavantajlarına sahiptir. Yenilenebilir enerji uygulamaları için baskın kimya Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄). Bu bileşim, mükemmel termal stabilite, yüksek akım değerleri, uzun çevrim ömrü ve kötüye kullanıma karşı tolerans ile mükemmel güvenliğe sahiptir.

Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄), hemen hemen tüm diğer lityum kimyalarına kıyasla son derece kararlı bir lityum bileşimidir. Pil, doğal olarak güvenli bir katot malzemesi (demir fosfat) ile monte edilmiştir. Diğer lityum kimyalarıyla karşılaştırıldığında, demir fosfat, aşırı şarj koşullarına dayanan, döngü ömrünü uzatan ve birçok döngü boyunca kimyasal bütünlüğü koruyan güçlü bir moleküler bağı teşvik eder. Bu pillere mükemmel termal kararlılıklarını, uzun çevrim ömürlerini veren şey budur. LiFePO₄ piller aşırı ısınmaya eğilimli değildir ve "termal kaçağa" maruz kalmazlar ve bu nedenle zorlu yanlış kullanım veya zorlu çevre koşullarına maruz kaldıklarında aşırı ısınmaz veya tutuşmazlar.

Su basmış kurşun asit ve diğer pil kimyalarının aksine, Lityum piller hidrojen ve oksijen gibi tehlikeli gazları tahliye etmez. Ayrıca sülfürik asit veya potasyum hidroksit gibi kostik elektrolitlere maruz kalma tehlikesi yoktur. Çoğu durumda, bu piller patlama riski olmadan kapalı alanlarda saklanabilir ve uygun şekilde tasarlanmış bir sistem aktif soğutma veya havalandırma gerektirmemelidir.

Lityum piller genellikle kurşun-asit akülerin doğrudan yerini almak için kullanılır, çünkü çok benzer şarj voltajlarına sahiptirler. Dört hücreli bir LiFePO₄ batarya (12.8V), tipik olarak 14.4-14.6V arasında bir maksimum şarj voltajına sahip olacaktır. Bir lityum bataryaya özgü olan şey, bir emme yüküne ihtiyaç duymamaları veya önemli süreler boyunca sabit bir voltaj durumunda tutulmalarıdır. Tipik olarak, pil maksimum şarj voltajına ulaştığında artık şarj edilmesine gerek yoktur. LiFePO₄ pillerin deşarj özellikleri de benzersizdir. Deşarj sırasında, lityum piller tipik olarak yük altında olacak kurşun-asit pillerden çok daha yüksek bir voltaj koruyacaktır. Bir lityum pilin tam şarjdan% 75'ine kadar bir voltun sadece onda birini düşürmesi nadir değildir.



Bu, pil izleme ekipmanı olmadan ne kadar kapasite kullanıldığını söylemeyi zorlaştırabilir.

Lityumun kurşun-asit akülere göre önemli bir avantajı, açık döngüsünden muzdarip olmamalarıdır. Temel olarak, bu durum, ertesi gün tekrar deşarj edilmeden önce pillerin tam olarak şarj edilemediği zamandır. Bu, kurşun-asit akülerle ilgili çok büyük bir sorundur ve bu şekilde tekrar tekrar çevrime alındığında önemli plaka bozulmasını teşvik edebilir. LiFePO₄ pillerin düzenli olarak tam olarak şarj edilmesi gerekmez. Aslında, tam şarj yerine hafif bir kısmi şarj ile genel yaşam beklentisini biraz iyileştirmek mümkündür.

Güneş enerjisi sistemleri tasarlanırken verimlilik çok önemli bir faktördür. Ortalama kurşun asit akünün gidiş-dönüş verimliliği (doludan boşa ve tekrar doluya) yaklaşık % 80'dir. Diğer kimyasallar daha da kötü olabilir. Bir Lityum Demir Fosfat pilin gidiş-dönüş enerji verimliliği %95-98'in üzerindedir. Bu tek başına kış aylarında güneş enerjisinden yoksun kalan sistemler için önemli bir gelişmedir, jeneratör şarjından kaynaklanan yakıt tasarrufu muazzam olabilir. Kurşun-asit akülerin absorpsiyon şarj aşaması özellikle verimsizdir ve verimlilik %50 veya daha az verimlilik sağlar. Lityum pillerin emilim şarjı yapmadığı göz önüne alındığında, tamamen boşalmadan tamamen doluya kadar şarj süresi iki saat kadar kısa olabilir. Bir lityum pilin, önemli olumsuz etkiler olmadan derecelendirildiği gibi neredeyse tamamen boşalabileceğini de belirtmek önemlidir. Bununla birlikte, bireysel hücrelerin aşırı boşalmadığından emin olmak önemlidir. Bu, entegre Akü Yönetim Sistemi'nin (BMS) işidir.

Lityum pillerin güvenliği ve güvenilirliği büyük bir endişe kaynağıdır, bu nedenle tüm montajların entegre bir Pil Yönetim Sistemi (BMS) olmalıdır. BMS, hücreleri "Güvenli Çalışma Alanı" dışında çalışmaktan koruyan, değerlendiren, dengeleyen ve koruyan bir sistemdir. BMS, bir lityum pil sisteminin temel bir güvenlik bileşenidir, batarya içindeki hücreleri aşırı akıma, düşük/aşırı voltaja, düşük/aşırı sıcaklığa ve daha fazlasına karşı izler ve korur. Bir LiFePO₄ hücresi, hücrenin voltajı 2.5V'un altına düşerse kalıcı olarak hasar görür, hücrenin voltajı 4.2V'den fazla artarsa da kalıcı olarak hasar görür. BMS her hücreyi izler ve düşük/aşırı voltaj durumunda hücrelerin zarar görmesini önler.

BMS'nin bir diğer önemli sorumluluğu, şarj sırasında paketi dengelemek ve tüm hücrelerin aşırı şarj olmadan tam şarj olmasını sağlamaktır. LiFePO₄ pilin hücreleri, şarj döngüsünün sonunda otomatik olarak dengelenmeyecektir. Hücreler boyunca empedansta hafif değişiklikler vardır ve bu nedenle hiçbir hücre %100 aynı değildir. Bu nedenle, döngüye alındığında, bazı hücreler diğerlerinden daha erken tamamen şarj edilecek veya boşaltılacaktır. Hücreler arasındaki varyans, hücreler dengeli değilse, zamanla önemli ölçüde artacaktır.⁸

Kurşun-asit akülerde, bir veya daha fazla hücre tamamen şarj olduğunda bile akım akmaya devam edecektir. Bu, batarya içinde gerçekleşen elektrolizin, suyun hidrojen ve oksijene bölünmesinin bir sonucudur. Bu akım diğer hücreleri tamamen şarj etmeye yardımcı olur, böylece doğal olarak tüm hücrelerdeki yükü dengeler. Bununla birlikte, tam yüklü bir lityum hücre çok yüksek bir direnç sahip olacak ve çok az akım akacaktır. Bu nedenle geciken hücreler tam olarak şarj edilmeyecektir. Dengeleme

⁸ <https://www.solar-electric.com/learning-center/lithium-battery-technology.html/>, Er. Tar. 01.03.2023.

sırasında BMS, tam yüklü hücrelere küçük bir yük uygulayacak, aşırı şarj olmasını önleyecek ve diğer hücrelerin yetişmesine izin verecektir.

Lityum piller, diğer pil kimyalarına göre birçok avantaj sunar. Bunlar, diğer lityum pil türlerinden önemli bir olasılık olan termal kaçak ve / veya yıkıcı erime korkusu olmadan güvenli ve güvenilir bir pil çözümüdür. Bu piller son derece uzun çevrim ömrü sunar ve bazı üreticiler pilleri 10.000 döngüye kadar garanti eder. C/2 sürekliliğinin üzerinde yüksek deşarj ve şarj oranları ve %98'e varan gidiş-dönüş verimliliği ile bu pillerin sektörde çekiş kazanması şaşırtıcı değildir. Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄) mükemmel bir enerji depolama çözümüdür.

DÜNYA LİTYUM MADENCİLİĞİ

9 milyon tonu geçkin rezervi ile Şili, dünyanın bilinen en büyük lityum rezervlerine sahiptir. Bu, Güney Amerika ülkesini Avustralya (4,7 milyon ton), Arjantin (2 milyon ton) ve Çin (1,5 milyon ton) ile takip etmektedir. Avrupa içinde, Portekiz bu değerli hammaddenin daha küçük bir miktarlarına sahiptir. Toplam küresel rezervlerin 21 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakam ise 1965'deki üretim hacminin 2000 katına karşılık gelmektedir.

55.000 ton ile Avustralya, 2021'de Şili (26.000 ton), Çin (8.000 ton) ve Arjantin'in (6.200 ton) önünde en önemli lityum tedarikçisiydi. Bu rakamlar, USGS'den (Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları) elde edilen araştırmaların sonuçlarıdır. Adı geçen bu dört ülke uzun zamandır dünya lityum piyasasına hakim durumdadır. Ancak üretim bazında bir değerlendirme yapıldığında Avustralya'da üretilen lityum cevher madenciliğinden gelirken, Şili ve Arjantin'de üretilen lityum, sallar olarak adlandırılan tuz çöllerinden gelmektedir. Hammaddelerin sallarından çıkarılması şu şekilde işlev görür: yeraltı göllerinden lityum içeren tuzlu su yüzeye çıkarılır ve büyük havzalarda buharlaşır. Kalan tuzlu su çözeltisi, lityum pillerde kullanım için uygun olana kadar birkaç aşamada daha fazla işlenir.



Bu nedenle tahmini küresel lityum kaynaklarının yarısından fazlası Bolivya, Şili ve Arjantin'in tuz düzlüklerinde, çoğu sadece Bolivya'da bulunmaktadır. Sosyopolitik koşullar Bolivya'nın kaynaklarına erişimi etkilerken, büyük küresel şirketlerin bulunduğu Şili ve Arjantin, kanıtlanmış rezervler için birinci ve üçüncü sırada yer almaktadır. Avustralya, kanıtlanmış rezervler için dünyada ikinci sırada ve üretim için ilk sırada yer almaktadır.

Tablo 2 ; Ükelere göre dünya lityum rezervleri, 2020

Sıra	Ülke	Lityum İçeriği (ton)	Toplamın Yüzdesi
1	Şili	9,200,000	43.7%
2	Avustralya	4,700,000	22.3%
3	Arjantin	1,900,000	9.0%
4	Çin	1,500,000	7.1%
5	ABD	750,000	3.6%
6	Kanada	530,000	2.5%
7	Zimbabve	220,000	1.0%
8	Brezilya	95,000	0.5%
9	Portekiz	60,000	0.3%
10	Diğer	2,100,000	10.0%
Dünya Toplamı		21,055,000	100%

Lityum bu durumu ile günümüzde en çok aranan ve gelişmeye en açık maden olarak görülmektedir. Telefonlarımıza, dizüstü bilgisayarlarımıza ve elektrikli arabalarımıza güç veren lityum, pille çalışan dünyamız için çok önemlidir. Son yıllarda küresel pazarın yıllık tüketimi yıllık % 8,9 oranında arttığı lityum için dünya çapında talep hızla artmaktadır. Bu talep, hibrit ve elektrikli araçlar, enerji depolama sistemleri ve taşınabilir elektronikler giderek yaygınlaştıkça yoğunlaşacaktır. Lityum, altı yerleşik kıtanın her birinde bulunurken, Şili, Arjantin ve Bolivya "Lityum Üçgeni" olarak adlandırılmaktadır. Dünyadaki arzın % 75'inden fazlası tuz düzlüklerinin altından sağlanmaktadır.

Lityum Üçgeni, lityum üretimini zorlaştıran dünyadaki en kurak yerlerden biridir. Madenciler, tuzlu, mineral bakımından zengin tuzlu suyu yüze pompalamak için tuz düzlüklerinde delikler açmak zorundadır. Daha sonra suyun bir seferde aylarca buharlaşmasına izin verirler, potasyum, manganez, boraks ve lityum tuzlarının bir karışımını oluşturur ve daha sonra filtrelendir ve bir kez daha buharlaşmaya bırakılır. 12 ila 18 ay sonra, filtreleme işlemi tamamlanır ve lityum karbonat ekstrakte edilebilir. Lityum ekstraksiyonu nispeten ucuz ve etkili olsa da, sürdürülebilirlik ve uzun vadeli etki sorusunu da akla getirmektedir. Başka bir deyişle, lityum madenciliği bu uygulama ile birlikte bölgede ciddi bir toplumsal ve çevresel zararlara yol açacağı öngörülmektedir.

Kârlı küresel lityum madenciliğini elinde bulunduran büyük ve önemli şirketler bulunmaktadır. Arz temelinde, Albemarle dünyanın önde gelen lityum şirketidir. Bununla birlikte, piyasa değerine dayanarak, Jiangxi Ganfeng Lityum, 2020'de önde gelen lityum üreten şirketlerden biri olmuştur. Geleceğe baktığımızda, lityum üreticilerinin güçlü bir görünümü bulunmaktadır. Çünkü dünya çapındaki toplam lityum talebinin önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde artması beklenmektedir.

1990'larda ABD, günümüzden tam tersine en büyük lityum üreticisiydi. Aslında, ABD 1995 yılında küresel lityum üretiminin üçte birinden fazlasına sahipti. O zamandan itibaren 2010 yılına kadar, Şili, dünyanın en zengin lityum tuzlu su yataklarından biri olan Salar de Atacama'daki rezervi ve üretimi ile dünyanın en önemli üreticisi durumundaydı.

Tablo 3: Dünya lityum üretimleri, 2021⁹

Sıra	Ülke	Üretim (ton)	Toplam %
1	Avustralya	55,416	52%
2	Şili	26,000	25%
3	Çin	14,000	13%
4	Arjantin	5,967	6%
5	Brezilya	1,500	1%
6	Zimbabve	1,200	1%
7	Portekiz	900	1%
8	ABD	900	1%
9	Diğer	102	0.1%
10	Toplam	105,984	100%

Avustralya tek başına dünyadaki lityumun %52'sini üretmektedir. Lityumun tuzlu sulardan çıkarıldığı Şili'nin aksine, Avustralya lityumu mineral spodumene için sert kaya madenlerinden gelir. Üçüncü en büyük üretici olan Çin, lityum tedarik zincirinde güçlü bir dayanağa sahiptir. Yerli madenler geliştirmenin yanı sıra, Çinli şirketler son on yılda Şili, Kanada ve Avustralya gibi ülkelerden yaklaşık 5,6 milyar dolar değerinde lityum satın almışlardır. Ayrıca Çin, piller için dünyadaki lityum rafine etme kapasitesinin %60'ına ev sahipliği yapmaktadır.

LİTYUM ÜRETİCİSİ ŞİRKETLER

Elektrikli arabalar, mobil cihazlar ve her türlü teknolojik cihaz üzerindeki küresel büyüme, lityum-iyon piller için artan bir talebe yol açmıştır. Bu durum özellikle elektrikli araçlar için geçerlidir, çünkü dünya küresel sera gazı emisyonlarını azaltmak için yakın gelecekte fosil yakıtları kullanmayı bırakmaya çalışmaktadır. 2025 yılına kadar, lityum talebinin yaklaşık 1,3 milyon metrik ton LCE'ye (lityum karbonat eşdeğeri) yükselmesi bekleniyor. Bu, bugünkü seviyelerin beş katıdır. Bu durumun nedeni özellikle elektrikli arabaların üretim artışıdır.

Bu gelişmelerin haricinde, lityum talebindeki artış, Çin'in 2015 yılında yaptığı ve beş yıllık planının bir parçası olarak elektrikli araçlara öncelik veren bir duyuruyla da ilişkilendirilebilir. 2016'dan 2018'e kadar olan dönemde, lityum fiyatları iki kattan fazla arttı ve talep genişledikçe büyümeye devam etmesi bekleniyor.¹⁰

⁹ <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-25-years-of-lithium-production-by-country/> Er.Tar. 01.03.2023.

¹⁰ <https://www.zmescience.com>, Er. Tar. 01.03.2023

Dünyanın en büyük lityum üreticisi Albemarle şirketi, pil metali için yüksek fiyatların arzını genişletmek amacıyla çalışmalar içinde olmuş ve dünyadaki en büyük lityum üreticisi durumundadır. Lityum pazarı, 2018 ve 2020 yılları arasında aşırı arz nedeniyle önemli bir üretim artışı yaşanmış ve elektrikli araçlar için sübvansiyonlardaki kesintilerden sonra talep etkilenmiştir. Bu süre zarfında fiyatlar, Benchmark Mineral Intelligence'in verilerine göre, ton başına 25.000 dolardan 6.000 doların altına düşmüştür.

Albemarle, piyasa değerine göre dünyanın en büyük lityum üreticisidir ve bu yıl Şili, ABD ve Avustralya'daki varlıklarından 130.000 ila 140.000 ton lityum karbonat eşdeğeri üretmesi ve bu üretimin Çin'de işlenmesi beklenmektedir.

ŞİRKET	PİYASA DEĞERİ	TARIF
Albemarle	\$ 26.0 milyar	Dünyanın en büyük lityum tedarikçilerinden biri.
Ganfeng Lityum	\$ 20.6 milyar	Çin'in en büyük lityum üreticisi.
Sociedad Quimica y Minera de Chile	\$ 22.8 milyar	Çeşitlendirilmiş kimyasallar ve baz malzeme üreticisi ve büyük lityum üreticisi.
Livent	\$ 3.5 milyar	Lityum saflığında bir iş yaratmak için 2019'da FMC'den ayrıldı.
Lithium America	\$ 2.6 milyar	Şu anda Arjantin'de Ganfeng Lityum ile bir lityum üretim tesisi geliştiriyor.

Kaynak: YCharts. 6 Ocak 2023 itibarıyla piyasa değeri.

Madencilik ve kimya üreticisi Albemarle, küresel lityum üretiminde başı çekmektedir. Şirketin en büyük müşterileri arasında, küçük tüketici elektroniğinden elektrikli araçlara kadar her şey için lityum pil üreten Panasonic bulunmaktadır.

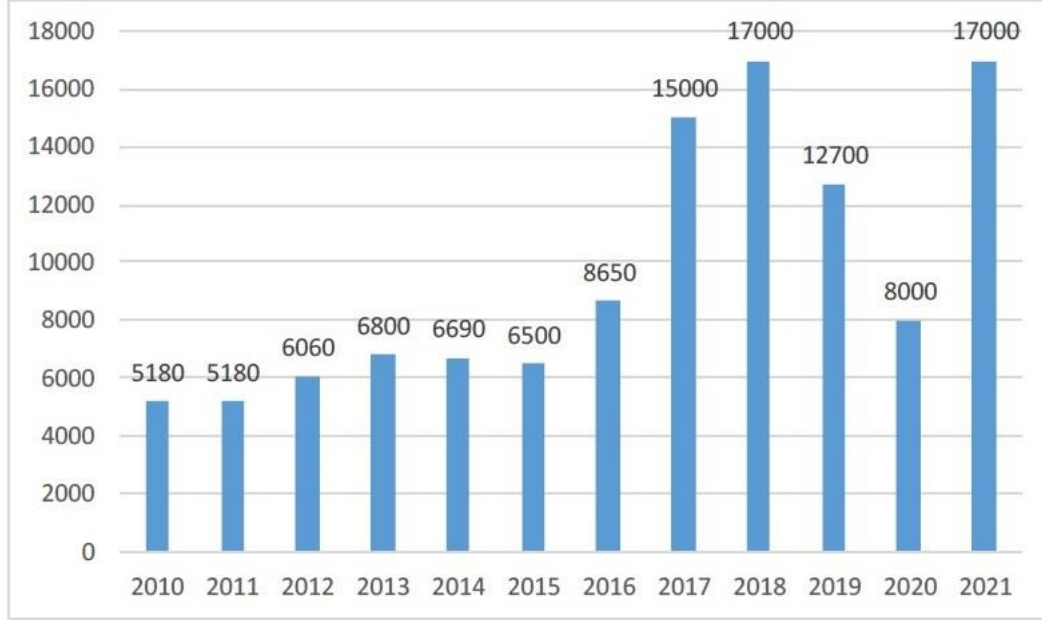
Lityum fiyatları değişken olabilese de, Albemarle yıllar içinde dayanıklı bir madencilik operasyonu olduğunu kanıtlamıştır. Yeni projeleri finanse etmek için minimum uzun vadeli borca ve bol miktarda nakde sahiptir ve düşük ila orta gençlerde tutarlı faaliyet karı marjları üretir. Uzun süreli lityum kullanımına bahis oynayabileceğiniz bireysel hisse senetleri arıyorsanız, Albemarle aramaya başlamak için harika bir yerdir

Pasifik'in diğer tarafında, Ganfeng Lityum, lityum pil üretimi için Çin'in en büyük temel malzeme üreticisi olarak bilinmektedir. Çin nüfusunun büyüklüğü (1,4 milyar) ve elektrikli araçların satışlarındaki hızlı artış göz önüne alındığında, Ganfeng, Çin merkezli elektrikli araçların üreticilerinin yanı sıra Tesla gibi ABD ev üreticilerinin en iyi tedarikçisi olarak konumlandırılmıştır. Şirket, nakit ve yönetilebilir borçluluk ile iyi kapitalize edilmiştir ve sağlıklı kar marjları yaratmıştır.

Güney Amerika'nın en önemli temel malzeme ve kimya şirketlerinden biri olan Sociedad Quimica y Minera (SQM), pillerde ve diğer enerji depolama teknolojilerinde kullanılan dünyanın en büyük lityum üreticilerinden biridir. Albemarle ve Ganfeng gibi diğer çeşitlendirilmiş ve köklü madencilik operasyonlarından bazıları gibi, SQM de sağlıklı çift haneli işletme karı marjları üretir, genişlemeyi finanse etmek için bol miktarda nakde sahiptir ve minimum borç taşır. SQM, lityum talebinin 2022'de arzı geçeceğini tahmin ediyor, bu nedenle üretim kapasitesini artırmak için yatırım

yapıyor. Son gelişmelerin tamamlanmasıyla şirket, özellikle elektrikli araç pilleri için lityum tedarikindeki pazar payını artırabilmeyi ummaktadır.

Grafik 2: Lityumun Ton Başına Dolar Bazında Fiyat Değişimi



Lityum karbonat spot fiyatları, artan talep ve buna yanıt olarak gelişen yeni lityum gelişiminin fazlalığı nedeniyle son on yılda oldukça değişken olmuştur. Lityum karbonat spot fiyatları 2021'de tekrar yükseldi ve arz kısıtlamaları ve elektrikli araçlara olan talebin devam etmesi nedeniyle artmaya devam etmektedir.

Temel metal olan lityum, bugünlerde sıcak bir emtiadır. Batarya üretiminde kullanıldığından, elektrikli araç satışlarının artması, birçok yatırımcının temel unsuru üreten şirketler hakkında iyimser hissetmesine neden olmaktadır. Lityum yaygın bir madde olmasına rağmen, malzemenin fiyatları 2021'de yaklaşık %400 arttı ve 2022'de şimdiye kadar yükselmeye devam etti. 2017'de ulaşılan önceki tüm zamanların en yüksek seviyelerini kolayca aştı.¹¹

Herhangi bir temel malzemeye ve metale yatırım yapmak gibi, lityuma yatırım yapmak da bu şirketler açısından oldukça karlı bir durum oluşturmaktadır. Bir ürünün üretiminde kullanılan bir malzemeye olan talebin artması, otomatik olarak bir şirket için daha yüksek satışlara ve karlara eşit değildir. Arz aynı zamanda temel malzemenin piyasa fiyatında da bir rol oynar, bu nedenle arz talebi aştığında, fiyatlar düşer ve genel talep genişlese bile, malzeme üreticisinin satışları da düşebilir. Tüm madencilik operasyonlarında olduğu gibi, yeni lityum projelerini kurmak ve çalıştırmak maliyetli bir çaba olabilir.

LİTYUM MADENCİLİĞİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Bolivya, Arjantin ve Şili'deki lityum ekstraksiyonu, ton lityum başına yaklaşık 500.000 galonla önemli miktarda su gerektirir. Şili'nin Salar de Atacama bölgesinde, çeşitli

¹¹ <https://www.fool.com/investing/stock-market/market-sectors/materials/metal-stocks/lithium-stocks/>

şirketler tarafından gerçekleştirilen lityum ekstraksiyonu, bölgenin su kaynağının %65'ini tüketmektedir. Bu sadece aşırı su kıtlığı yaratmakla kalmamış, aynı zamanda yerel çiftçilerin mahsul yetiştirme ve hayvancılığı sürdürme yetenekleri üzerinde de önemli bir etkiye sahip olmuştur.

Bolivya, Arjantin ve Şili'de bulunan salarlardan lityum çıkarılması konusunda her zaman kritik sonuçlar bulunmaktadır. Bazı bölgelerde, yerel halk, örneğin hayvancılığı tehdit eden veya bitki örtüsünün kurumasına neden olan artan kuraklıklardan şikayet etmektedir. Uzmanların bakış açısından, kuraklığın aslında lityum madenciliği ile ne ölçüde ilişkili olduğu hala belli değildir. Lityum üretiminin kendisi için içme suyuna ihtiyaç duyulmadığı tartışmasızdır. Öte yandan, tartışmalı olan, tuzlu suyun çıkarılmasının tatlı su akışına ne ölçüde yol açtığı ve böylece suların kenarındaki yeraltı suyunu ne ölçüde etkilediğidir. Bunu değerlendirmek için, örneğin Şili'deki Atacama Çölü'ndeki yeraltı suyu akışları henüz yeterince araştırılmamıştır. Lityum madenciliğine ek olarak, olası etkileyen faktörler arasında bakır madenciliği, turizm, tarım ve iklim değişikliği bulunmaktadır.

Lityum madenciliğinin ek bir çevresel etkisi, toprağa zarar vermesi ve havayı ve zaten sınırlı olan su kaynağını kirletmesidir. Örneğin Tibet'te, Çin lityum madenciliği, Liqi Nehri'ne hidroklorik asit gibi kimyasallar sızdırmış ve bu durum da balıkların zehirlenmesine ve hayvanların öldürülmesine neden olmuştur. Benzer sonuçlar şimdiden Lityum Üçgeni olarak adlandırılan Bolivya, Arjantin ve Şili de görülüyor. Şili'de yerel halk, madencilik şirketlerini sularını kirlettikleri için eleştirmektedir. Arjantin'de, Salta ve Catamarca eyaletlerinin yerlileri, lityum madenciliği şirketlerinin operasyonlarının, insanlar ve hayvancılık tarafından ve mahsul sulaması amacıyla kullanılan akarsuları kirlettiğini iddia etmektedir.

Bununla birlikte, lityum madenciliğinin savunucuları, lityum-iyon pillerin küresel ısınmanın olumsuz etkilerine karşı mücadelede gerekli olduğunu iddia etmektedir. Şarj edilebilir pil, daha uzun süre daha fazla enerji depolamasını sağlayan nispeten yüksek bir güç yoğunluğuna sahiptir. Tesla gibi elektrikli otomobil üreticileri, sürücüleri içten yanmalı motorlar için temiz, pille çalışan araçlarla değiştirmeleri gerektiğini savunuyorlar. Yollardaki daha fazla elektrikli otomobil, daha az sera gazı ve emisyon üreterek iklim değişikliğiyle mücadele etmenin güçlü bir yolu olacaktır. Enerji Bakanlığı, elektrikli araçların karbon kirliliğinin benzinle çalışan otomobillerden %60 daha düşük olduğunu tahmin etmektedir. Bununla birlikte, gezegeni kurtarmak, kırılgan ekosistemleri yok etme pahasına gelmemelidir. Lityum madenciliği, su tükenmesine ve hava kirliliğine katkıda bulunuyorsa, uzun vadeli veya adil bir çözüm olarak kabul edilemez; bu, zaten birçok yönden mücadele eden yerel topluluklar için ciddi ve farklı etkilere sahiptir.

Ünlü otomobil üreticisi Volkswagen, tedarik zincirinde sürdürülebilir şekilde çıkarılan lityumun kullanılmasını sağlamak için pil tedarikçileriyle çok yakın bir şekilde çalışmaktadır. Geçen yıl Volkswagen, Çinli lityum tedarikçisi Ganfeng ile ilk Mutabakat Zaptını imzaladı. Ganfeng, hammaddeyi diğerlerinin yanı sıra Avustralya'daki çeşitli madenlerden elde etmektedir. Şili'den gelen lityum, Volkswagen'in elektrikli modellerinde de kullanılmakta.

Lityum madenciliği açısından hammadde tedariki uzun vadede önemini korumaktadır. Örneğin, bir zamanlar bugün kullanılan pillerin bilimsel temellerini atan Nobel Ödülü

sahibi M. Stanley Wittingham; “Önümüzdeki 10 ila 20 yıl lityumun yılları olacak” diyor. Aynı zamanda, elektrikli otomobillerin sayısının iklim koruma çıkarları doğrultusunda keskin bir şekilde artması beklenebilir. Sadece Volkswagen Grubu, 26 yılına kadar yaklaşık 2 milyon saf elektrikli aracı yollara çıkarmayı planlıyor. Uzun vadede, kullanılan hammaddelerin büyük bir kısmı geri dönüştürülecek, bu da “yeni” lityum ihtiyacını azaltacaktır. Bununla birlikte, kullanılmış pillerin büyük miktarlarda iade edileceği 2030 yılına kadar bunun kendini hissettirmesi pek olası değildir.

DÜNYANIN NE KADAR LİTYUMA İHTİYACI VAR?

Son yılların en popüler metali lityum için küresel pazar hızla büyüyor. Sadece 2008 ve 2018 yılları arasında, büyük üretici ülkelerdeki yıllık üretim 25.400’den 85.000 tona yükseldi. Önemli bir büyüme sürücüsü, elektrikli araçların akülerinde kullanılması ile hızla artıyor. Bununla birlikte, lityum ayrıca dizüstü bilgisayarların ve cep telefonlarının pillerinde, ayrıca cam ve seramik endüstrisinde de kullanımı son derece hızla gelişiyor.

Bu artan taleple, dünya gelecekteki lityum arzı konusunda endişelenmeli mi? 2020 yılında 0,41 milyon metrik tonun biraz üzerinde LCE üretildi. 2021’de üretim 0,54 milyon metrik tonu aştı (yıllık bazda % 32’lik bir artış). Mevcut baz durumu analizi, lityum talebinin 3,3 milyon metrik ton veya bileşik % 25’lik bir büyüme oranı olduğunu görüyor. Yeni lityum üretimi ile ilişkili kısa teslim süreleri nedeniyle, 2 yılında sadece 7,2030 milyon metrik ton lityum arzının görünürlüğüne sahibiz; talebin geri kalanının yeni açıklanan yeşil alan ve kahverengi alan genişletmeleri ile doldurulmasını bekliyoruz.

Şu anda, neredeyse tüm lityum madenciliği Avustralya, Latin Amerika ve Çin’de gerçekleşiyor (98’de üretimin toplam yüzde 2020’ini oluşturuyor). Açıklanan bir proje boru hattı, Batı ve Doğu Avrupa, Rusya ve Bağımsız Devletler Topluluğu’nun (BDT) diğer üyeleri de dahil olmak üzere lityum madenciliği haritasına yeni oyuncular ve coğrafyalar kazandıracak. Bu bildirilen kapasite tabanı, arzın 20 yılına kadar 2,7 milyon metrik tonun üzerinde LCE’ye ulaşması için yıllık yüzde 2030 oranında büyümesi için yeterli olmalıdır.

Avustralya, Şili, Çin ve Arjantin gibi köklü lityum üreten ülkelere, Meksika, Kanada, Bolivya, Amerika Birleşik Devletleri ve Ukrayna gibi yakın zamanda haritalanmış kaynaklara ve rezervlere sahip ülkelere, Sibiryaya, Tayland, Birleşik Krallık ve Peru gibi tipik olarak lityumla ilişkili olmayan yerlere, geleneksel “beyaz altın” yatakları için sondajlar ve araştırmalar küresel çapta sürdürülüyor. Bu erken aşamadaki projelerden bazıları uygulanabilir hale geldiğinden, 2022’de yeni potansiyel rezervler hakkında açıklamalar yapılacaktır. Bu yeni potansiyel, milyonda 200 ila 2.000 parça (ppm) arasında konsantrasyonlara sahip geleneksel tuzlu suların yanı sıra, % 0,4 ila 1,0 lityum oranında olması bekleniliyor.



Günümüzde en çok merak edilen bir diğer konu da, lityum-iyon pillerin geri dönüştürülüp dönüştürülemeyeceğidir. Binek araçlar için yaklaşık 10 ila 15 yıllık beklenen pil ömrü ve enerji depolama sektöründe kullanım yoluyla elektrikli araçlar pil ömrünü uzatma olasılığı ile batarya geri dönüşümünün mevcut on yılda artması, ve daha önemli seviyelere yükselmesi bekleniyor. Kullanılan geri dönüşüm sürecine bağlı olarak, ömrünü tamamlamış pillerde bulunan lityumun % sıfır ila 80'ini geri kazanmak mümkündür. 2030 yılına kadar, bu tür ikincil arzın toplam lityum üretiminin % 6'sından biraz fazlasını oluşturması bekleniyor.¹²

Ortaya çıkan bir başka soru da, lityumun ikame edilip edilemeyeceğidir. Çoğu şebeke depolama uygulaması, görevi yerine getirebilecek az ya da çok gelişmiş teknolojilerden oluşan bir sıraya sahiptir. Vanadyum redoks akışı, çinko havası, sodyum kükürt, sodyum nikel vb. Bununla birlikte, şu anda mobilite sektörünün taleplerini karşılamak için lityumun yerini alacak bir element mevcut değildir. Tek potansiyel alternatif, kullanıma tamamen hazır olduğunda, yalnızca düşük performanslı uygulamalarla başa çıkabilecek olan sodyum iyonudur. Bu durum göz önüne alındığında, lityum talebinin 2030 yılına kadar azalması riski çok azdır.

SONUÇ YERİNE

Günümüzde lityum pillerle çalışan bir dünyada yaşıyoruz. Aslında, bu çalışmayı okuduğunuz cihaz, bir telefon, dizüstü bilgisayar veya masaüstü bilgisayar olsun, neredeyse kesinlikle lityum-iyon teknolojisine dayanıyor. Ve piller geleceğimiz için de çok fazla umut vaat ediyor. Sadece bilgisayarlarımız, elektrikli el aletlerimiz, gemilerimiz ve uçaklarımız için hala ihtiyaç duyulmayacak, aynı zamanda elektrikli araçlarımıza, tıbbi cihazlarımıza, dronlara ve şebeke ölçeğindeki depolamamıza da güç sağlayacaklar. Yüksek performansları, şarj edilebilir yetenekleri ve nispeten düşük maliyetleri sayesinde, lityum pillerin sürdürülebilir enerji geçişimizin anahtarı olacağı konusunda yaygın bir fikir birliği var.

Ancak bu durum hiçbirimizi rahatlatmamalı. Lityum piller bir dizi yeşil teknolojiye güç sağlama potansiyeline sahip olsa da, gerçek sürdürülebilirlik ancak pillerin kendileri sürdürülebilir bir şekilde üretilirse mümkündür ve bunların hepsi pil yapım sürecinin hemen başında başlamaktadır. Lityumun verimli bir şekilde madenciliği ve işlenmesi, zenginleştirilmesi sırasında lityum mineralleri için hem daha iyi izleme hem de maksimum geri kazanım oranları sağlamak için hızlı mineral karakterizasyonuna bağlıdır. Ancak X-ışını floresan (XRF) teknikleri lityum için uygun olmadığından, bunun yerine zaman alıcı kimya teknikleri kullanılır.

Yerleşik, hızlı ve hassas bir mineralojik ölçüm tekniği olarak XRD, lityum minerallerinin kantitatif analizi için ideal bir çözümdür. Çünkü madencilik süreci boyunca daha doğru analiz, daha verimli cevher sınıflandırması (daha yüksek cevher kalitesi için) ve daha düzenli proses optimizasyonu sağlar. Aynı zamanda süreçte daha az atık yaratıldığı anlamına gelir. Ayrıca, XRD, madenlerdeki yüksek ve düşük dereceli cevherleri tanımlamada da yararlıdır, şirketlerin madencilik operasyonlarını daha dikkatli

¹² <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-25-years-of-lithium-production-by-country/>, Er. Tar. 01.03.2023.

planlamalarına ve süreçte değerli zaman ve enerjiden tasarruf etmelerine yardımcı olur.¹³

Makalede bahsedilen kullanım alanları her geçen gün araştırmalar ile genişlemektedir. Özellikle yüksek teknolojik her ürünün imalatında lityum vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Bu alanların ortaya çıkmasındaki temel neden ise endüstrideki ihtiyacın ne olduğunun ortaya konulması ve sonrasında ise lityumun bunu karşılamadaki kabiliyetinin belirlenmesidir. Örneğin seramik ve cam endüstrisinde, malzemenin sertliğinin ve kimyasal direncinin artırılmasında kullanılan lityum, ileri teknolojik uygulamalarda ise malzemelerin viskozitesinin, erime sıcaklığının ve termal genleşme katsayısının düşürülmesinde kullanılmaktadır.¹⁴ Ayrıca alüminyum endüstrisinde elektrik iletkenliğini artırmak ve erime sıcaklığını düşürmek amacıyla da lityum kullanılmaktadır. Bunların yanında alüminyum alaşımlı malzemelere lityum ilave edilerek malzemenin elastik modulu artırılarak malzemenin sertliği ve mukavemeti artırılır.

Lityum katkılı malzemelerde termal genleşmeye ve oksidasyona karşı direnç oluşmasının yanında mekanik stabilitesinin de artması stratejik alanlarda kullanılmasına da sebep olmaktadır. Bunlar askeri, otomotiv ve nükleer enerji sektörleridir.

Günümüzde ise popüler kullanım alanı lityum iyon pillerinin üretilmesidir. Hafif olması ve düşük yoğunluğa sahip olması ile beraber yüksek elektrokimyasal potansiyelinin olması sebebiyle de yüksek enerji yoğunluklu şarj edilebilir lityum iyon pillerin üretiminde tercih edilmektedir. Artan teknolojik gelişmeler ve talebe bağlı olarak iklim değişikliğinin de etkisi ile insanlar yeni nesil yeşil enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bunların başında ise otomotiv sektöründe elektrik ve hibrit araçların üretilmesi gelmektedir. Bu araçların enerji ihtiyaçlarının elektrikten sağlanması için piller kullanılmaktadır. Bu pillerin geliştirilmesi için de lityum kullanılmaktadır. Dünya çapında elektrikli arac üretiminin 2011-2012 aralığında başlamasıyla birlikte lityum kullanımının 2020'den 2025'e kadar kademeli olarak %3 ile %10 arasında artacağı öngörülmüştür.¹⁵

Sürdürülebilir enerji geçişimizin sorunsuz bir şekilde ilerlemesini sağlamak için önümüzde uzun bir yol olabilir, ancak üretiminizi güçlendirmenize yardımcı olacak araçlara sahibiz. Önümüzdeki yıllarda hem çevreci hem de yeni teknolojik gelişmeler sağlayabilecek yeni maden kaynakları ve madencilik metotları ile karşılaşacağız.

Nadir AVŞAROĞLU
Maden Mühendisi
Mart - 2023

¹³ Sürdürülebilir bir gelecek neden daha iyi lityum madenciliğine bağlıdır - Materials Talks (materials-talks.com), Er. Tar. 01.03.2023.

¹⁴ PEERAWATTUK I. BOBICKI ER. "Lithium extraction and utilization: A historical perspective, extraction". 2018.

¹⁵ GOONAN T.G., "Lithium use in batteries circular", US Geological Survey, 2012.

KAYNAKLAR

ERTÜRK M.A., YALÇIN C., “Geleceğin Enerji Kaynağı: Lityum”, <https://www.researchgate.net/publication/361073307>, Er.Tar. 01.03.2023.

<https://www.solar-electric.com/learning-center/lithium-battery-technology.html/>, Er. Tar. 01.03.2023.

MTA, “Dünya’da ve Türkiye’de Lityum”, 2017, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

MTA, “Dünya’da ve Türkiye’de Lityum”, 2017, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

PEİRÓ LT, VÍLLALBA Méndez G., AYRES RU., “Lithium: Sources, production, uses, and recovery outlook”, The Journal of The Minerals, 2013;65: 986-996.

SUZUKÍ T. TACHÍBANAA Y. MATSUMOTOA K. PUTRAA A.R. AİKAWAA F. SANDUÍNJUDA U.M.T. “Lithium isotope separation using cation exchange resin with high cross-linkage”. Energy Procedia, 2017, 131:146–150.