



Derleme Makalesi - Review Article

Lityum İyon Batarya Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin İncelemesi ve Türkiye'nin Batarya Üretim Potansiyelinin İrdelenmesi

An Assessment of The Raw Materials, as Well as Turkey's Potential in Lithium-ion Battery Production

Mehmet Feryat Gülcan^{1*}, Engin Alkan², Osman Çotuker³, Neslihan Yuca Dođdu⁴

Geliş / Received: 08/05/2023

Revize / Revised: 09/08/2023

Kabul / Accepted: 04/09/2023

ÖZ

Sürdürülebilir (Yeşil) bir dünya için gereken en önemli kısıtlardan biri de karbon ayak izinin azaltılmasıdır. Özellikle Sanayi Devriminden itibaren Dünyada karbon salınımı fosil enerji kaynakları ile enerji elde edilmesinden ötürü hızla artmaktadır. Fosil yakıtların ikamesi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanmaktadır. Ancak yenilenebilir sistemler üzerine yenilikçi çalışmalar yapılmasına karşın, ürettiği enerjinin yönetimi konusunda enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Her ne kadar yeni iyon teknolojileri araştırılsa da lityum iyon batarya teknolojisi özellikle 1991 yılında ilk defa ticarileşmesinden sonraki 15 yıl içerisinde neredeyse tüm taşınabilir araç/cihazlarda kullanılmaktadır ve kullanımına devam edilmektedir. Ayrıca karbonsuz enerji hareketinin en önemli parçalarından biride enerji depolama gereçleridir. Fakat kullanılan hammaddeler incelendiğinde lityum iyon bataryaların üretiminde tedarik problemlerinin yaşanacağı ön görülmektedir. Özellikle kobalt, lityum ve grafit gibi malzemelerin üretimlerinin belli başlı ülkelere ait olması sebebiyle darboğazların gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Özellikle yakın geçmişte gerçekleşen Covid-19 ve Rusya-Ukrayna Savaşı, tedarik zincirlerinde problem yaratmıştır. Bu noktada özellikle Türkiye jeopolitik konumu, insan gücü ve hammadde imkanları ile ön plana çıkmaktadır. Türkiye'de demir dışı metallerin üretimi mevcuttur. Fakat Türk Metal verileri ile Londra Metal Borsasının verileri kıyaslandığında aynı fiyattan ihracat yapıldığı görülmektedir. Buda satılan ürünlerin katma değerinin düşük olduğunun göstergesidir. Ancak katma değeri arttırabilmek adına yüksek teknoloji ürünlerinin üretilmesi yapılan ihracatın ekonomik hacmini de artırıp ülkenin potansiyeline ulaşmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler- Lityum İyon Batarya, Hammaddeler, Türkiye

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: fgulcan@enwair.com (<https://orcid.org/0000-0002-1224-5473>)

Enwair Enerji Teknolojileri AŞ, 34396 Sarıyer, İstanbul, Türkiye

²İletişim: engin.alkan@pomega.com (<https://orcid.org/0000-0002-5933-3147>)

Pomega AŞ, 06900 Polatlı, Ankara, Türkiye

³İletişim: osman.cotuker@kontrolmatik.com (<https://orcid.org/0000-0001-7486-1258>)

Kontrolmatik Teknoloji Enerji ve Mühendislik, 34396, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

⁴İletişim: nyuca@enwair.com; neslihan.yuca@pomega.com; nyuca@itu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4566-296X>)

Enwair Enerji Teknolojileri AŞ, 34396 Sarıyer, İstanbul, Türkiye

Pomega AŞ, 06900 Polatlı, Ankara, Türkiye

Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

ABSTRACT

Reducing the carbon footprint is one of the most important criteria for a sustainable (Green) world. Especially, since the Industrial Revolution, carbon emissions in the world have been increasing rapidly due to the consumption of fossil energy sources. The replacement of fossil fuels is based on renewable energy sources. However, despite the innovative studies on renewable systems, energy storage systems are needed for the management of the energy it produces. Although new ion technologies are being researched, lithium-ion battery technology has started to be used in almost all portable vehicles/devices, especially after it was commercialized for the first time in 1991. In addition, one of the most important parts of the carbon-free energy movement is energy storage devices. However, when the raw materials used are examined, it is predicted that there will be supply problems in lithium-ion batteries. It is foreseen that bottlenecks will occur, especially since the production of materials such as cobalt, lithium and graphite belong to the limited number of countries. Especially the recent Covid-19 and the Russia-Ukraine War have created problems in supply chains. At this point, Turkey comes to the fore with its geopolitical position, manpower and raw material opportunities. There are production of non-ferrous metals in Turkey. However, when Turkish Metal data and London Metal Exchange data are compared, it is seen that exports are made at the same price. This is an indication that the added value of the products sold is low. However, in order to increase the added value, the production of high-technology products will increase the economic volume of exports and help the country reach its potential.

Keywords- *Lithium Ion Battery, Raw Materials, Turkey*

I. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir dünya için karbon salınımının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Karbon salınımını azaltıcı önlemler olarak farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Alınan önlemler meskenlere, işletme büyüklüklerine vb. kaidelere göre değişmektedir [1,2]. Dünya da bulunan 160 ülke ilk önce Kyoto protokolünü imzalamış ve emisyon değerlerinin 1990'a nazaran 2012'de en az %5 azalmasını daha sonra da 2050'de %50'lik bir emisyonda azalış hedeflediklerini bildirmişlerdir [3,4]. Global çapta Kyoto protokolünden sonra, 170 ülke Paris Anlaşmasını 2015 yılında imzalayarak endüstri devriminden önceki küresel sıcaklığın 2°C ya da 1,5°C altına inmeyi hedeflediklerini beyan etmişlerdir [5]. 2015'te ülkelerin Paris Anlaşmasını beyan etmiş olmalarına karşın halen küresel sıcaklık ve emisyon değerlerinde artış görülmektedir [3]. Bunun bir sebebi şehirlerin beklenenden daha fazla nüfuslarının artarak, emisyon değerlerinin artmaya devam etmesi gösterilebilir. Bu sebepten ötürü şehirler özelinde de emisyon azaltma politikaları uygulanmaktadır [6]. Örneğin önce Kopenhag daha sonra tüm Danimarka'da 2025 yılında karbon nötrlüğü hedeflenmiştir [7]. Ancak kaynakların yönetim zorluğu gerekçesiyle Danimarka'nın hedefi 2050 yılında %100 yenilenebilir enerji kaynaklarından enerjinin sağlanması şeklinde değiştirilmiştir [7]. Tam bu noktada enerjinin üretildikten sonra depolanıp dağıtımı büyük önem arz etmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi büyük ölçüde enerji depolama gereçlerine bağlıdır.

Sanayi devrimi ile enerji ihtiyacının karşılanması için özellikle 19.yy. başlangıcında fosil yakıtların (özellikle kömürün) kullanımına başlanılmıştır [8]. 19.yy. ikinci yarısına gelindiğinde enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç ciddi bir biçimde artmıştır. Değersel olarak ifade etmek gerekirse 1800'de yaklaşık 12 milyon tonluk kömür üretimi varken bu değer 1850'de 40-45 milyon ton olmuş, 1870'lerde ise 200 milyon tonu geçmiştir [9]. Sömürgeleşme veya kaynakların bulunduğu havzalara olan ilginin artmasına sebep olmuştur [8,10]. Bir tezahürü olarak Kıta Avrupa'sında gerçekleşen Sedan savaşı, sadece siyasi sebeplerle başlamış olsa da savaş sonrasında Alsas-Loren bölgesinin Prusya'ya geçmesiyle enerji kaynakları üzerindeki yarışında Dünya çapında başladığının bir belirtisidir. Enerji kaynaklarına ve pazarlara duyulan ilgiden doğan gerilim 1.ve 2. Dünya savaşlarına sebep olmuş. Devamında ise Küba Krizi, Arap-İsrail savaşları gibi politik gelişmelerle devam etmiştir [10].

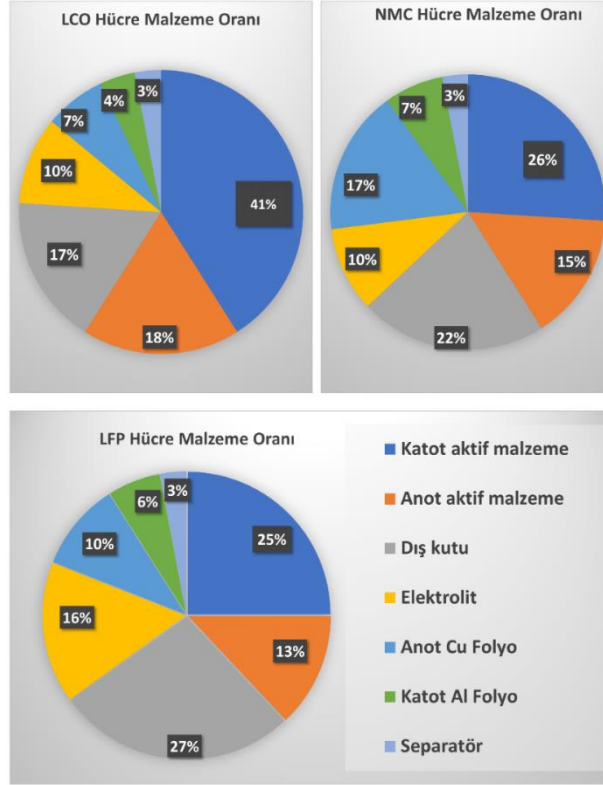
Yine benzer tarihlerde 19.yy'dan itibaren kimyasal olarak elektrokimyasal depolama sistemleri üzerine çalışmaların başladığı söylenebilir. 1970'lerin başında lityum metali ve MoS₂ elektrotların sulu bir sistem üzerinde denemeler gerçekleşmiş ve 1991 yılında ise LiCoO₂ katot, grafit anot ve organik bir çözücüye sahip elektrolit ile günümüzde kullanılan tipte bir batarya ticari olarak tanıtılmıştır [11].

Lityum kobalt oksit katotlar (LiCoO₂) yüksek teorik kapasiteye sahip olmalarına rağmen hem insan sağlığına zararlı etki içermesi hem tedarikinin zor olması hem de kapasite kaybı problemi göstermektedir. Bu sebeple alternatif malzemeler üzerine yönelim artmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda lityum nikel oksit (LiNiO₂), spinel lityum mangan oksit (LiMn₂O₄), lityum nikel mangan oksit (NMC), lityum nikel kobalt alüminyum oksit (NCA) ve lityum demir fosfat (LFP) katotlar geliştirilerek gerek performans olarak gerek ticari olarak bir açıklık kapatılmaya çalışılmıştır (Tablo 1) [12].

Şekil 1'de lityum iyon bataryalarda bulunan temel bileşenler görülmektedir. Ticari olarak en yaygın 3 temel batarya kimyasının katot aktif malzeme hariç hemen hemen aynı bileşime sahip olduğu görülmektedir [13]. Ancak kimyasal yapıdaki farklılıklar, batarya hücrelerinde kullanılan malzeme miktarlarının değişmesine yol açmaktadır.

Tüm hücreler incelendiğinde dış kutu ve katot aktif malzemenin ağırlıkça en yüksek bileşenler olduğu görülmektedir. Ağırlıkça en yüksek paydayı alan diğer bileşenler ise bakır folyo ve alüminyum folyo olarak dikkat çekmektedir [14].

Katot malzemelerdeki bu varyasyon çeşidinin fazlalığına karşın, anot malzemesi olarak her ne kadar farklı kompozisyonlar akademik çalışmalarda denense de piyasada grafit, silisyum ve lityum titanat (LTO) anot malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Çünkü batarya performansında belirtilen katot malzemeleri sınırlayıcı etmemdir. Bu sebeple genel olarak ucuz ve maliyetleri az olan grafit anot olarak tercih edilmektedir. Bazı elektrikli araçlarda daha hızlı şarj imkânı için LTO anotlar veya yüksek menzil için Si anotlar kullanılmaktadır. Sadece elektrokimyasal performans olarak değil ayrıca lityum iyon bataryalarda %51 ile en yüksek maliyet kalemi katot malzemelerine aittir, bunu üretim maliyetleri, anot ve separatör izlemektedir [15]. Katot malzemelerin hem performans hem de ekonomik olarak geliştirilmesi üzerine durulmaktadır.



Şekil 1. Bazı temel lityum iyon pillerin bileşenleri ve ağırlıkça oranları [13].

Kısacası bataryalar özellikle elektrikli araçlar ve portatif gereçler için yüksek önem arz etmektedir. İklim krizi ve fosil enerji kaynaklarının hem çevresel etki oluşturması hem de tedarik sorunu yenilenebilir kaynakların kullanımına insanları sevk etmektedir. Yenilenebilir kaynaklarda enerjinin dağıtımı konusunda depolama sorunu göze çarpmaktadır. Bu noktada yüksek spesifik kapasiteleri sebebiyle lityum iyon bataryalarla çözüm aramaktadır. Lityum iyon bataryalar için gerekli elementlerin tedariği konusunda araştırmacılar ve sektör paydaşları farklı çözümler aramaktadır. Bunun yanı sıra ortalama batarya maliyetlerinin 2013 yılından (668 \$/kWh) 2020'de de (137 \$/kWh) düşmesine karşın bu yönde de çalışmalara devam edilmektedir [16].

Lityum iyon bataryaların tedariği üzerine yapılan çalışmalar üzerinde özellikle bir bataryanın yaşam döngüsü üzerine irdelemeler literatürde bulunmaktadır. Bu irdelemelerde katot malzemesinin içerdiği metallere geri dönüşürülmesinin önemi vurgulanır [17]. Geri dönüştürmenin yanı sıra global kaynaklara yakınlıkta mesafelerin kısılmasıyla tedariği kolaylaştırarak etmenlerden biridir. Bu noktada hem Asya hem Avrupa hem de Afrika'ya yakınlığı ile Türkiye ön plana çıkabilir. Türkiye jeopolitik konumu sebebiyle asırlardır kıtalar arasında bir geçiş köprüsü olmuştur. İpek ve Baharat yolları gibi ticaret yolları geçmişte Türkiye toprakları üzerinden geçmekteydi. Akdeniz ve Karadeniz'de limanları, Süveyş Kanalına yakın olması sayesinde deniz taşımacılığı konusunda da elverişlidir. Türkiye ayrıca çeşitli maden yataklarına sahip bir ülkedir. Tüm bu avantajların yanı sıra Türkiye sahip olduğu genç nüfus, yatırıma duyduğu ilgi ve verdiği teşvikler ile lityum iyon batarya üretimi için çeşitli avantajlara sahiptir.

Tablo 1. Farklı kimyaya sahip lityum iyon bataryaların özellikleri[18,19]

Lityum iyon batarya kompozisyonu	Hücrenin spesifik kapasitesi [Wh kg ⁻¹]	Nominal gerilim [V]	Çevrim ömrü [Çevrim]	Raf ömrü [Yıl]	Çalışma sıcaklığı [°C]	Isıl sürüklenme [°C]	kWh başına ücret (1 düşük; 5 çok yüksek)	Öncelikli kullanım alanı	Başlıca Üreticiler	Öne çıkan kompozisyonlar
NMC-Grafit	140–200	3,7	2000+	8–10	0–55	210	3-4	Güç ekipmanları, EV	CATL, Sanyo, Panasonic, Samsung, LG Chem, SK	NMC-111, NMC-532, NMC-622, NMC-811
NCA-Grafit	200–250	3,6	2000+	8–10	0–55	150	3	EV	Innovation Tesla/Panasonic	
LFP-Grafit	90–140	3,2	3000+	8–12	0–55	270	2	EV, sabit şebeke tipi	BYD, K2, Lishen, Saft, GS Yuasa, A123, Valence, BAK	
LFP-LTO	≤80	2,7	5000+	10+	-40–55	>270	5	Tüketici elektroniği, bazı Evs	Altairnano, Toshiba, Yabo	
LMO-Grafit	100–140	3,7	1000-2000	6-11	0–55	250	2	Güç ekipmanları, EVs (Typ)	Hitachi, Samsung, LG Chem, Toshiba, NEC	Tabakalı spinel

Bu çalışmada lityum iyon bataryalardaki hammaddeler ortaya konan prosesler ile beraber irdelenecektir. Aktif malzeme prosesleri incelenerek, lityum iyon bataryalar için gereken malzemeler belirtilecektir. Aktif malzemelerin yanı sıra akım toplayıcı ve dış hazneler için gerekli hammaddeler ortaya konulacaktır. Gereken hammaddeler ortaya konulduktan sonra uygunluğu Türkiye özelinde tartışılacaktır. Ayrıca Türkiye'nin sahip olduğu diğer etmenlerden ötürü lityum iyon batarya üretimine elverişi tartışılacaktır. Literatürde ilk defa Türkiye'nin batarya üretim potansiyeli tartışılacaktır.

II. HAMMADELER VE KAYNAKLARI

OECD'in 2020 yılında yayınladığı rapora göre 2060 yılında tüm uygulamaların üretimi için gereken malzeme talebi 167 milyar ton olacağı ön görülmektedir [20]. Bu değer 2020 yılı için 79 milyar ton olduğu göz önüne alınırsa hammaddelerin kaynaklarının ve tedarik şekillerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Benzer şekilde Avrupa Parlamentosu 2060 yılı için 2020'e nazaran %250 metal kaynaklarının kullanımının artmasını ön görmektedirler [20]. Üretim büyük ölçekte tedariki mümkün olan malzemelere bağlıdır.

Lityum iyon bataryaların üretiminde kullanılan gerekli malzemelerin içerdiği elementler Tablo 2'deki gibi görülebilir. Tablo 2'den anlaşılacağı üzere yer kürede yüksek miktarda bulunan Al, Fe, Cu gibi metallerin tedariki konusunda problem yaşanması düşünülmez iken ana bileşen olan lityumun tedariki konusunda ilerleyen dönemde problemlerin yaşanabileceği ön görülmektedir. Bunların dışında yer alan kobalt ve nikel her ne kadar tedarik problemi belirtilmese de toksik ve alerjen özellik göstermeleri sebebiyle çekinilen malzemelerdendir [21,22]. Bunun yanı sıra 2020'de kobalt üretiminin %69'unu karşılayan Kongo'da yaşanan gelişmeler piyasalara ve tedarige yansımaktadır [23,24].

Laboratuvar ölçekli birçok çalışma bulunmasına rağmen ticari olarak yapılan üretimler daha farklı adımlar içermektedir. Bu sebeple alınmış patentler incelenerek kullanılan hammadde ve kaynakların tespiti mümkündür. Tablo 3'de alınmış patentler ve kullanılan hammaddeler görülebilir.

Tablo 2. Lityum iyon bataryaların üretiminde kullanılan elementlerin tedarik riskleri [25,26]

Elementler	Görevi	Birincil kullanım alanı	EU komisyonuna göre tedarik durumu	RSC göre tedarik durumu	Kaynakça
Li	Elektrot aktif malzemesi	Batarya	Gelecekte kritik	Yüksek (6,7)	[27]
Cu	Akım toplayıcı	Çatı malzemesi olarak	Belirtilmemiş	Düşük (4,3)	[28]
Al	Akım toplayıcı	Ulaştırma	Belirtilmemiş	Düşük (4,8)	[29]
Mn	Elektrot aktif malzemesi	Demir-Çelik	Kritik değil	Orta (5,7)	[30]
Co	Elektrot aktif malzemesi	Demir-Çelik	Kritik değil	Yüksek (7,2)	[31]
Ni	Elektrot aktif malzemesi	Demir-Çelik	Kritik değil	Orta (6,2)	[32]
Fe	Elektrot aktif malzemesi	Demir-Çelik	Belirtilmemiş	Orta (5.2)	[26]
P	Elektrot aktif malzemesi	Gübre	Belirtilmemiş	Orta (5)	[26]
Grafit	Elektrot aktif malzemesi	Demir-Çelik	Belirtilmemiş	Orta (4,5)	[26]

Tablo 3'deki incelendiğinde katot üretiminde kullanılan hammaddeler genel olarak metal veya metal tuzları (sülfat, klorür vb içeren), lityum tuzları (lityum hidroksit, karbonat ağırlıklı) ve eğer olivin tarzında bir ürün üretiliyorsa fosfat kaynağıdır (fosforik asit ve amonyum dihidrojen fosfat ağırlıklı). Anot üretiminde ise lityum titanat (LTO) anotlar için titanyum oksit ve lityum tuzu, silisyum içeren anotlar için silisyum ve silisyum oksitler kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 3. Alınan bazı patentler ve kullanılan/belirtilen hammaddeler

Patent no	Patent adı (-ing)	Kullanılan/belirtilen hammaddeler	Kaynakça
JP6789688B2	Substituted metallic lithium manganese phosphate	Metal kaynağı olarak metal fosfat, metal klorür, metal oksit ve metal organik tuzları. Lityum kaynağı olarak lityum hidroksit, lityum oksalat, lityum karbonat ve lityum oksit. Fosfat kaynağı fosforik asit, amonyum dihidrojen fosfat ve hidrojen fosfat	[33]
KR101334050B1	Lithium Manganese Phosphate Positive Material for Lithium Secondary Battery	Lityum ve metal asetat tuzları. Fosfat kaynağı olarak amonyum dihidrojen fosfat	[34]
JP5976026B2	Lithium manganese phosphate / carbon nanocomposite as cathode active material for secondary lithium battery	Metal kaynağı olarak metal fosfat, metal hidroksit, metal klorür, metal oksit ve metal organik tuzları. Lityum kaynağı olarak lityum hidroksit, lityum oksalat, lityum karbonat, lityum dihidrojen fosfat ve lityum oksit. Fosfat kaynağı fosforik asit, amonyum dihidrojen fosfat, lityum dihidrojen fosfat ve hidrojen fosfat	[35]
JP5817963B2	Method for producing lithium manganese iron phosphate particle powder, lithium manganese iron phosphate particle powder, and nonaqueous electrolyte secondary battery using the particle powder	Metal sülfat tuzları kullanılarak gerçekleştirilmiş	[36]
US9564636B2	Stoichiometric lithium cobalt oxide and method for preparation of the same	Metalik kobalt, lityum karbonat ve farklı indikatörler.	[37]
US9236610B2	Cathode active material for lithium secondary battery	Metal tuzları	
KR102142200B1	Composite silicon anode material, manufacturing method and use	Silisyum veya silisyum oksitler	[38]
US9553304B2	Method of making silicon anode material for rechargeable cells	Silisyum yada alüminyumca zengin Al-Si alaşımı	[39]
CN103682278B	The preparation method of the coated lithium titanate anode material of a kind of nanometer carbon	Titanyum oksit ve farklı lityum tuzları	[40]
WO2021015679A1	Production method for li-rich cathode material	Metal sülfat, metal asetat ve metal nitrat tuzları	[41]

Lityum iyon bataryaların üretimi için hammadde tedarigi üzerine birçok yöntem ve yol önerilmektedir. Ancak tedarik zincirinde sürdürülebilirlik için 6R (İndirgeme, Yeniden kullanım, Geri dönüşüm, Yeniden tasarım, Yeniden üretim) yöntemi [39] hem atık malzemelerin tekrar kazandırılması hem de yeni malzemelerin tedarigi esnasında yaşanacak olan karbon emisyon değerini azaltması sebebiyle üzerinde durulmaktadır. Bu tedarik yöntemine göre atık bataryalar yeni üretilecek lityum iyon bataryalar için hammadde kaynağı olarak görülmektedir. Atık bataryalar ya kullanılan elektrot malzemelerinin rejenerasyonu ile ya elektrotların tekrar kullanımı ile ya da bataryada kullanılan tüm malzemelerin geri dönüşümü ile tekrar kullanım döngüsüne alınmaktadır. Belirtilen seçenekler için alınan patentler ve bazı çalışmalar Tablo 4'teki gibidir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde batarya üretiminde kullanılacak hammaddelerin kullanım ömrünü tamamlamış bataryalardan elde etmek doğrudan geri dönüşüm, hidrometalurjik, pirometalurjik vb. yöntemlerle mümkündür [17]. Yeniden üretim/tasarım, geri kazanım süreçlerinde işlemin yapılacağı tesise alındığı zaman gerçekleşecek olan işlemlerden önce ön işlemler maliyet yaratabilmektedir [42]. Bu konu üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Tablo 4. Literatürde yer alan bazı geri kazanım üzerine yayınlar ve daha önce alınmış bazı patentler

Yayın/patent	Kazanılan elementler veya bileşikler	Kaynakça
Method and apparatus for recycling lithium iron phosphate batteries	Grafit, karbon ve demir fosfat	[43]
A kind of method of waste and old lithium ion battery recycling production NCM salt	Bakır folyo, mangan ve alüminyum pul	[44]
Waste battery recycling method	Mangan, nikel, kobalt ve lityum oksit	[45]
Method of recycling a battery	Tüm bileşikler	[46]
A method of regenerating positive active material from waste lithium iron phosphate battery	Lityum demir fosfat rejenerasyonu	[47]
Method for recycling and preparing lithium iron phosphate cathode material	Kullanılmış lityum demir fosfat tekrar üretimi	[48]
A kind of method and regeneration positive electrode of recycling waste lithium ion cell anode material	Katot aktif malzemesi rejenerasyonu	[49]
A laboratory-scale lithium-ion battery recycling process	Alüminyum ve bakır folyo, karbon ve kobalt hidroksit	[50]
Comparison of the effects of incineration, vacuum pyrolysis and dynamic pyrolysis on the composition of NMC-lithium battery cathode-material production scraps and separation of the current collector	Kobalt oksit, nikel oksit, mangan oksit ve lityum karbonat	[51]
Chemical Transformations in Li-Ion Battery Electrode Materials by Carbothermic Reduction	Metalik kobalt, kobalt oksit, metalik nikel, nikel oksit, metalik mangan, mangan oksit, lityum oksit ve lityum karbonat	[52]
Solvent extraction of cobalt from spent lithium-ion batteries: Dynamic optimization of the number of extraction stages using factorial design of experiments and response surface methodology	Kobalt ve nikel çözeltileri	[53]

Birincil hammaddeler incelendiğinde ise, ilk olarak lityum periyodik cetvelde hafif elementlerden biri olması sebebiyle son kullanıcı ürünlerde maliyete en az etkiyen girdi olarak Bridge ve Faigen tarafından tanımlanmıştır [54]. Her ne kadar farklı irdeleme çalışmaları gerçekleşse de lityumun diğer metallerden de üretimi ve deniz tuzlarından da üretilme olasılığı lityum kaynaklarının tedarigi konusunda net bir fikir elde edilmesine olanak tanımamaktadır [55]. Ancak genel olarak lityum bileşiklerinin üretimi hidrometalurjik prosesler ile spodumene ve birne'den karşılanmaktadır [56]. Dünyadaki lityum kaynağı miktarının 65 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir[57]. Bunun yanı sıra okyanuslardan da lityum elde etmek mümkündür, Sonoc ve Jeswiet[57] 5 milyon m³ okyanus suyundan 1 ton lityum elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Lityum karbonata ait fiyatlandırma grafiğı 2015/Ocak-2022/Temmuz arasında incelendiğinde, 2019 yılına kadar bir artış ve azalış trendi görülmektedir[55]. Ancak Kovid-19 sırasında taban değerine ulaşmış ve Rusya'nın Ukrayna'ya başlatmış olduğu müdahale ile beraber tavan noktasına ulaşmış ve takip eden çeyrekte

düşmemiştir [55]. Tablo 5'te genel olarak hem akademik hem de ticari olarak kullanılan lityum kaynaklarının üretim yüzdesi görülmektedir. En çok ticari olarak üretilen ürün olarak %60'lık paya sahip olan lityum karbonat göze çarpmaktadır[56]. 2017 yılı piyasasında lityum tüketiminin en çok olduğu endüstri %59 ile batarya sektörüdür, bunu cam ve seramik sanayi izlemektedir [56]. 2017 yılında yüksek olarak batarya sektörü gözükse de 2004 yılında bu oran %19'dur[58]. En büyük etkisinin lityum iyon bataryaların 1991 yılında gelişme başlarken aynı zaman diliminde gelişmekte olan taşınabilir cihazlara (telefon, bilgisayarlar vb.) bir çözüm oluşturması gösterilebilir[59].

Tablo 5. Lityum ürünleri ve üretilme yüzdeleri[53]

Kaynaklar	Üretim yüzdeleri (2017)
Lityum hidroksit	23
Lityum karbonat	60
Metalik lityum	5
Butyllithium	4
Lityum klorür	3
Diğer	5

Lityum haricinde diğer metaller katot aktif malzemenin üretimi için önem arz etmektedir. Burada demir, kobalt, nikel ve mangan kullanılmaktadır. Demir aktif malzeme olarak ve dış kasa yapımında kullanılmaktadır. Dünya üzerinde en çok bulunan 4. element demirdir[60]. Demirin üretiminde birincil kaynak olarak manyetit veya hematit genel olarak kullanılmaktadır. Ancak global ölçekte ikincil kaynaklar olan hurdalar demir çelik endüstrisi özelinde giderek yüksek miktarda kullanılmaya başlanmıştır ve Dünya Çelik Birliğinin 2022 verilerine göre 109,5 milyon demir-çelik hırdası dünya genelinde ithal edilmiştir [61]. Bu özelliği ile demir bazlı ürünlerin üretiminde pek fazla bir risk ön görülmemektedir.

Kobalt ise ilk ticari katot olarak sunulan bataryadan başlayarak piyasadaki birçok kimyadaki bataryada tercih edilen bir üründür. Fakat demir gibi doğada bulunma miktarı fazla değildir[60]. Genelde kompleks sülfürlü cevherlerden kobalt elde edilir [62]. Özellikle Zambiya ve Kongo'dan bakır cevherinin ekstrüzyonunun bir ürünü olarak kobalt çıkarılmaktadır ve Dünyadaki kobalt temini bu ülkelerden sağlanmaktadır[63]. Zambiya ve Kongo'nun yanı sıra Kanada Rusya ve Avusturalya'da da kobalt madenleri bulunmaktadır [60]. Kobalt dikkat çekici bir element olsa da dalgalı bir fiyatlandırmaya sahip olması sebebiyle güven vaat etmemektedir. Mangan ise hem spinel lityum mangan oksit hem de lityum nikel mangan kobalt oksit hem lityum nikel mangan oksit katotlarda kullanılmaktadır. Mangan ayrıca kuru bataryalarda da tercih edilmektedir. Nikel (78,36 milyon ton), kobalt (6,994 milyon ton) gibi elementlere kıyasla mangan, daha fazla rezerv sahiptir (68,6 milyon ton)[63]. Bunun yanı sıra farklı elementlerin bulunduğu kompozisyonlarda da geri kazanımı mümkün olan bir elementtir[64]. Tüm bunlar demirden sonra en rahat tedariki sağlanabilecek ürün olduğunu göstermektedir.

Bakır negatif elektrot için akım toplayıcı olarak kullanılmaktadır. Batarya uygulamalarında folyo şeklinde kullanımı mevcuttur ancak akademik uygulamalarda köpük şeklinde de kullanıldığı görülmüştür[65]. Bakır üretimi günümüzde ikincil ve birincil kaynaklardan devam etmektedir. 2016 yılında yayınlanan rapora[66] göre 23,4 milyon ton üretimi mevcuttur. Elshkaki ve ekibinin[67] gerçekleştirdiği çalışmaya göre 2050 yılında 2010 yılına kıyasla %275-350 arasında bakıra duyulan arz artacaktır[67]. Aynı çalışmada yapılan hesaplamalara göre bu arz artışının var olan kaynaklardan dolayı bir probleme sebebiyet vermeyeceği belirtilmiştir. Bu açıdan düşünöldüğünde bakır tedariginde küresel bir sorun yaşanacağı ön görülmemektedir.

Alüminyum, lityum iyon bataryalarda akım toplayıcı, dış koruyucu veya aktif malzeme üretiminde kullanılabilir. Yer kabuğunda en çok bulunan 2 element olan alüminyum, demir-çelikten sonra en çok üretimi olan metaldir[60]. Alüminyum boksit cevherlerinden Bayer prosesi ve Hall-Herold prosesleri sırası ile uygulanarak üretilir ve bu esnada yüksek miktarda enerji harcaması gerçekleşmektedir. Ancak alüminyum kolay geri dönüşüm imkânı sağladığı için neredeyse tüm ülkelerde uygulanmaktadır[68]. Üretimi esnasında gereken yüksek enerji tüketimi haricinde alüminyum tedariki konusunda küresel çapta bir sorun yaşanacağı söylenemeyebilir.

Nikel, farklı stokiyometrilere de katot aktif malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Akademik olarak akım toplayıcı olarak ya da aktif malzeme üretiminde köpük ve folyo şeklinde kullanımı mevcuttur[69,70]. Nikel diğer elementlere kıyasla doğada daha az bulunan bir metaldir, bulunma sıklığı sıralamasında 26.sıradadır ve yer kabuğunda %0,008 miktarında bulunur[71,72]. Genel olarak laterit ve sülfittik cevherlerden üretimi gerçekleştirilir. Nikelin en çok kullanıldığı uygulama ferronikel üretimidir (%60), bunu %12 ile demir dışı alaşımlarla %7 ile kaplama sektörü izler[71]. En yüksek rezerv ise Avusturalya'ya aittir. Ancak nikelin uluslararası olarak geri dönüşüm organizasyonlarını gerçekleştirebilen çeşitli firmalar vardır[73]. Şu anda end-life döngüsü içerisinde nikel %57 oranında geri dönüşürölmektedir[73]. Bu oranın artmasıyla ve değişen malzeme tüketimi alışkanlıkları ile ileride tedariki için dar boğaz oluşturmama potansiyeline sahip olabileceği söylenebilir.

Silisyum yer kabuğunda en çok bulunan elementtir. O yüzden tedarik problemi yaşanmayacağı söylenebilir. Bataryalarda silisyum anot aktif malzemesi olarak kullanılmaktadır. Silisyum üretimi kuartzdan başlanarak gerçekleştirildiğinde karbotermal redüksiyonla metalurjik saflıkta ürün elde edilir. Elektronik safiyette ürün elde edebilmek için farklı kimyasalla işlendikten sonra Czochralski metodu ile elektronik safiyette silisyum alttaş (wafer) elde edilebilir. Dünyadaki 2019 yılına ait silisyum üretimi 7 bin ton civarındadır[74].

Son olarak titanyum bataryalarda LTO anotların üretiminde kullanılmaktadır. Normalde Kroll Prosesi ile metalik titanyum üretilir ve bu üretim yüksek enerji tüketimi gerektirir. Ancak LTO sentezi sırasında TiO_2 'de kullanıldığı için daha az enerji harcaması ile üretim gerçekleştirilebilir. İlmenit ve rutil temel olarak titanyum üretimin de kullanılan cevherlerdir, çünkü diğer cevherlerin aksine ekonomik olarak işlenebilirliğe sahiptirler [75]. Dünyada tahmin edilen titanyum rezervi 650 milyar tondur[75].

Bataryada kullanılan malzemeler incelendiğinde tedarik zinciri, yer altı veya açık ocak madenlerinden cevherlerinin çıkarılmasıyla başlar. Cevher daha sonra pirometalurjik, hidrometalurjik ve elektrometalurjik prosesler dahil olmak üzere çeşitli teknikler kullanılarak metalini çıkarmak için işlenir. Metal çıkarıldıktan sonra, çeşitli endüstriyel uygulamalar veya Tablo 2'de belirtilen malzemeleri için üretimine geçilir.

Üretimden sonra, metal ürünleri tipik olarak malzemeyi bitmiş ürünler yapmak için kullanan üreticilere veya distribütörlere satılır. Metal tedarik zinciri karmaşıktır ve madencilik şirketleri, izabe tesisleri, rafineriler, üreticiler ve distribütörler dahil olmak üzere çok sayıda paydaşı içerir. Özellikle çalışma standartlarının ve çevresel düzenlemelerin o kadar katı olmayabileceği gelişmekte olan ülkelerde, metal madenciliği ve üretimiyle ilgili çevresel kaygılar ve insan hakları sorunları gündeme gelmektedir. Malzemelerin etik ve çevreye duyarlı bir şekilde üretilmesini sağlamak için izlenebilirlik ve sertifikasyon programlarının kullanımı da dahil olmak üzere, endüstride sürdürülebilirliği ve sorumlu kaynak kullanımı uygulamalarını iyileştirmek için çaba gösterilmesi gerekmektedir.

III. TÜRKİYE'NİN DURUMU VE POTANSİYELİ

Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir. Ayrıca fosil kaynaklar açısından yetersiz bir ülkedir. Bu sebeple hem ekonomik açıdan hem ekolojik olarak yenilenebilir kaynaklar ve daha az karbon salınımında bulunan sistemlere ilgisi oldukça yüksek olacaktır. Bu doğrultuda literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Gönül ve ekibi[76] Türkiye'de kamuoyunun, 2022'de piyasaya çıkması beklenen yerli marka elektrikli araca odaklanmış olduğunu belirtmiştir. Gönül ve ekibi yaptıkları çalışmada tüketicilerin EV'ler konusundaki farkındalığını ve görünürlüğünü artırmak için bilgilendirme kampanyaları artırılması, vergi indirimi veya teşvikler sağlanması ve elektrikli araçlar için şarj istasyon alt yapısının geliştirilmesi yönünde görüş bildirmişlerdir[77].

Türkiye gelişmekte olan ve genç nüfusa sahip bir ülke olması ile yatırımcılara ve yatırımlara önem vermektedir. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi Bakanlığı yatırım gerçekleştirecek olan yatırımcılara çeşitli vergilerde indirim ve çalışan sigortalarını karşılama gibi desteklerde bulunmaktadır[78]. Desteklerde öncelikli alanlar belirleyerek desteğin miktarını ve şeklini arttırmaktadır. Öncelikli alanlar arasında madencilik, savunma sanayi, enerji verimliliği, elektrik ile çalışan araçlar ve ulaştırma sektörleri bulunmaktadır[78]. Belirtilen sektörler batarya üretimine yönelik olması Türkiye'nin batarya üretimine olan desteğini göstermektedir. Tübitak gibi devlete bağlı kurumlarda da enerji teknolojileri üzerine çağrılar açılarak hem akademik hem sanayiye yönelik destekler verilmektedir.

Elektrikli araçlar Türkiye'de kullanım miktarı yıllar geçtikçe artmaktadır[79]. İncelendiği zaman anlaşılacağı üzere, Türkiye'de yüz ölçümü açısından elektrikli araçların menziline uygun birçok il vardır. Örneğin Yılmaz ve Dinçer'in gerçekleştirdiği çalışmada Kilis ilinde fotovoltaik-dizel-bataryalı bir hibrit sistemde fotovoltaik ile gerekli enerjinin karşılanacağı ve artan enerjinin bataryalarda depolanıp yıllık tüketiminde geriye kalan tarafı karşılayabileceğini belirtmişlerdir[80]. Ayrıca bu sayede zararlı gazların salınımında yüksek miktarlarda azalım görüleceği de hesaplanarak ispatlanmıştır[80]. Buda Türkiye'de üretilecek/tedarik edilecek olan elektrikli araçların çok güçlü bir batarya talep ile karşılaşacağı şeklinde yorumlanabilir. Türkiye'de bir diğer batarya talebini arttıracak kalem ise yenilenebilir enerji altyapılarıdır. Altun ve Kılıç'ın gerçekleştirdiği hibrit enerji sistemleri üzerine çalışmada Türkiye'nin farklı bölgeleri için hesaplamalar yapılmıştır[81]. Gerçekleştirilen çalışma neticesinde yenilenebilir alt yapıların birçok bölgede uygunluk gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat sistemlerin ihtiyaçları karşılaması için enerji depolamanın gerekliliğine vurgu yapılmıştır[81].

Yenilenebilir kaynakların ve elektrikli araçların kullanımını ve uygulanabilirliği için yüksek potansiyeli olan Türkiye'de batarya üretimi 21.yüzyılın ilk çeyreğinin sonlarında başlamıştır. Lakin üretimdeki hammaddelerin çoğunluğu ithal edilmektedir. Bu noktada bir önceki bölümde lityum iyon pillerde kullanıldığı belirtilen ürünlerin bir kısmının Türkiye'de üretimleri mevcuttur. Özellikle demir hammaddeleri [82] ve lityum karbonatın Türkiye'deki üretimi, 0,3 GWh'lik bir üretimi karşılayacak kadar malzeme üretimine elvermektedir. Potansiyel olarak Türkiye'de lityum, borat cevherinde, göllerde ve brine cevherinde de bulunmaktadır[82,83] [78,79]. Bu kaynaklardan farklı yöntemler ile lityum içeren bileşikler üretmek mümkündür[83]. Fakat ekonomik

olarak Türkiye’de mevcut kaynaklar şu anlık üretime elverişli değildir[84]. Ancak Türkiye’de lityum iyon bataryaların üretiminde kullanılmak üzere farklı lityum ürünlerinin üretim geliştirme çalışmalarına devam edilmektedir [85]. Başlıca kullanılan diğer kaynaklardan olan demir de ise Türkiye’de MTA tarafından verilen 164 ruhsatlı demir sahası mevcuttur ve üretilen miktar 2021 yılı için 16,051 milyon tondur [86]. Ayrıca Türkiye’de farklı demirli bileşiklerin üreticileri mevcuttur. Bu özellikle LFP ve dış paket üretimi için avantaj sağlamaktadır.



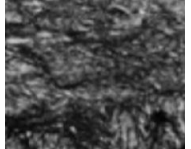

Katot aktif malzemede kullanılan manganezin üretiminde Türkiye 21.yüzyılı başında neredeyse varlık göstermezken günümüze yaklaşıldığında özellikle zenginleşmiş manganez ve manganez cevheri satışında yaklaşık 49 bin ton rakamına (2018 yılı için) ulaşmıştır[87]. Sahip olduğu görünür han cevher rezervi 62 milyon ton olduğu düşünöldüğünde Türkiye mangan tedariki konusunda bir sıkıntı yaşamayacağı düşünölmektedir. Ayrıca Türkiye’de manganez tuzların üretimi mevcuttur. Nikel ise, Türkiye’de ekonomik işlenebilirliği açısından Manisa-Çaldağ- Turgutlu, Manisa-Gördes ve Eskişehir-Mihalıççık-Yunus Emre’de bulunmaktadır[71]. Manisa’daki cevherlerden üretime başlanmıştır, bu işlenen maden yatağının 29,7 milyon ton ham cevhere ve 400 bin ton nikel sahip olduğu tahmin edilmektedir[71]. NMC tarzı yahut yeni nesil nikelce zengin katotların üretimi konusunda Türkiye’nin potansiyelli olduğu söylenebilir. Kobalt madeni küresel olarak sorun teşkil etmekte iken, Türkiye’de nikelle beraber Manisa-Çaldağ-Turgutlu, Manisa-Gördes ve Eskişehir-Mihalıççık-Yunus Emre’de bulunmaktadır[88]. Türkiye Kobalt üretimi sınırlı miktarda olarak 2016 yılında başladığı söylenebilir[88]. Kobalt tabanlı aktif malzemelerin geçerliliğini yitirdiği ve NMC kimyasında az miktarda kullanıldığı göz önüne alındığında Türkiye’de olası bir üretim sayesinde tedariki kolay olarak görölmektedir. Diğer girdileri inceleyecek olursak elektronik kalite silisyum Türkiye’de geçtiğimiz son 10 yıl içerisinde üretilmektedir[89]. Grafitin ise yüksek safiyette olmasa da yaklaşık 50000 tona yakın üretimi Kütahya’da gerçekleşmektedir [90]. Titanyum ise Türkiye’de TiO₂ şeklinde üretilmekte olup 2016 yılında Dünyadaki pazarın %0,07’ine sahiptir[91].

Türkiye’de grafit madeni Şekil 2’de göröleceği üzere birçok ilde mevcuttur. Türkiye doğal grafit açısından oldukça zengin yataklara sahiptir. Ancak Türkiye’de çıkarılan grafitin saflık derecesi, batarya uygulamalarında kullanıma elverişli değildir. Bu bakımdan grafitin bazı saflaştırma işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir[92]. Grafit malzemesi lityum iyon bataryalarda negatif aktif malzeme olarak kullanılmaktadır. Grafit aynı zamanda yağlayıcı olarak, motor gömleklerinde, nükleer reaktörlerde, refrakter malzeme olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır türlerine göre grafitin kullanım alanları Tablo 6’da verilmektedir. Tablo 6’da Lityum iyon pillerde en sık kullanılan grafitin sentetik grafit olduğu görölmektedir. Aynı zamanda doğal grafit olarak, yüksek saflıktaki Flake tipi grafitin de Lityum iyon pillerde kullanım yaygındır. Grafit, başlıca Çin olmak üzere Hindistan, Brezilya, Kanada ve Güney Kore gibi ölkelerde üretilmektedir.

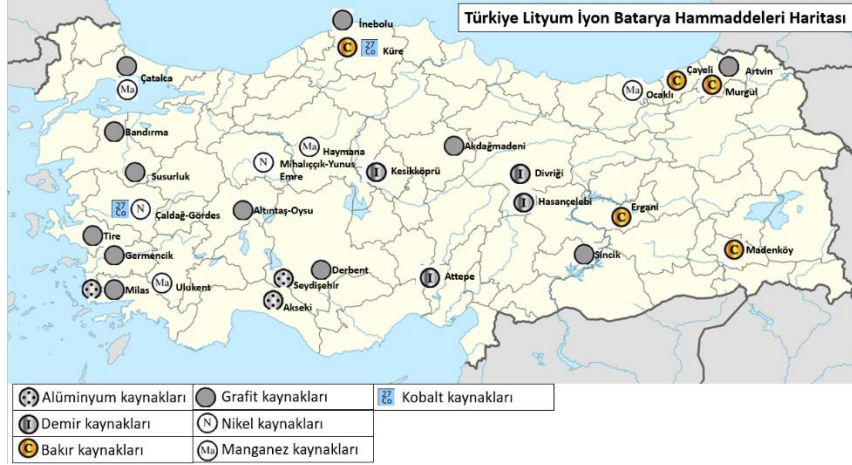
Grafitin saflaştırılmasında kullanılan yöntemlerden ilki hidrometalurjik saflaştırma olarak dikkat çekmektedir. Bu yöntemde kendi arasında 3 farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Grafitin yüzdürülebilirliği kullanılarak yapılan en düşük maliyetli yöntemle, grafiti saflaştırmak mümkündür. İkinci olaraksa grafit alkali çözelti (Sodyum hidroksit, NaOH) ile işleme tabi tutulmaktadır. Burada grafit içinde yer alan impüriteler yüksek sıcaklıkta NaOH ile tepkimeye girerek çözelti fazına geçer. Böylece impüritelerin bir kısmından kurtulunur. Üçüncü yöntem ise HF gibi kuvvetli bir asitle muamele edilerek impüritelerden kurtulmaktadır[93].

Grafitin saflaştırılmasında kullanılan genel yöntemlerden ikincisi ise pirometalurjik saflaştırma. Bu yöntemde grafit 2600°F’de yüksek sıcaklıklı fırınlarda tutulmaktadır[94]. Böylece bu sıcaklıkta buharlaşan impüriteler uzaklaştırılabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı yüksek maliyete sahip olmasıdır. Bir diğer pirometalurjik yöntem ise klorlamadır. Belli sıcaklıkta tutulan grafit üzerinden klor gazı geçirilerek içindeki impüritelerin klor gazıyla tepkimeye girmesi sağlanmaktadır. Daha sonra su içinde çözdürülerek impüriteler çözelti fazına geçirilmiş böylece safsızlıklardan arındırılmaktadır[95].

Tablo 6. Grafit türlerinin temel özellikleri[92]

	Vein Grafit	Flake Grafit	Amorf Grafit	Sentetik Grafit
Grafit Türü				
Tanımlama	Ağırlıklı olarak % 98’den fazla karbon Ton başına fiyat bazında en nadir ve en değerli form.	%80-95 arasında kristalliğe sahiptir Orta ölçekli fiyata sahiptir.	Karbon oranı %85’den küçüktür. Ton başına en düşük fiyata sahiptir	İmpürite oranı oldukça düşük Üretim sırasında enerji harcaması yüksektir
Kullanım alanları	Refrakterler, potalar, kalıplar, dökümler	Refrakterler, potalar, kalıplar, dökümler, lityum-iyon piller	Refrakterler, potalar, kalıplar, dökümler	Lityum iyon piller

Yukarıda bahsedilen hammaddelerin ülke haritası üzerinde dağılımı Şekil 2’de görülebilir. Türkiye’de grafit İstanbul-Çatalca, Balıkesir Bandırma-Susurluk, İzmir-Tire, Aydın-Germencik, Muğla-Milas, Kütahya-Altıntaş, Konya-Derbent, Adıyaman-Sincik, Yozgat-Akdağmadeni, Kastamonu-İnebolu ve Artvin’de bulunmaktadır. İşlenebilir değerinde manganez, Trabzon-Ocaklı, İstanbul-Çatalca, Denizli-Ulukent ve Ankara-Haymana’da bulunmaktadır. Şu an da işletilen ve işletilebilir bakır yatakları Kastamonu-Küre, Rize-Çayeli, Artvin-Murgül, Elâzığ-Ergani ve Siirt-Madenköy’de bulunmaktadır. Demir işlenebilir olarak Sivas-Divriği, Malatya-Hasançelebi, Kırkkale-Kesikköprü ve Adana-Attepe’de bulunur. Kobalt ekonomik olarak Manisa-Çalıdağ ve Kastamonu-Küre’de bulunmaktadır.



Şekil 2. Türkiye lityum-iyon batarya hammaddeleri haritası

Belirtildiği üzere Türkiye kendisine yetebilecek ve ihracat gerçekleştirebilecek imkanlara sahiptir. Ekonomik olarak kullanılabilir olan batarya elementlerine Türkiye’nin ulaşabilmesi jeopolitik konumundan ötürü kolaydır. Türkiye konumu itibarı ile Kuzey Afrika’ya güney limanları ile Akdeniz’den, karasal bağlantıları ile Avrupa’ya ve yine karasal olarak Asya’ya bağlantısı vardır. Zaten tarihi ticaret yolları göz önüne alındığı zaman İpek ve Baharat Ticaret yolları Türkiye’nin mevcut konumu üzerinden geçmiştir.

Türkiye son yıllardaki yerli lityum-iyon batarya üretimini artırmayı ve elektrikli araçların benimsenmesini teşvik etmeyi amaçlayan bir politika izlemektedir. Türkiye’de ilk defa Aspilsan’ın 2022 yılında hatlarını devreye almaları ile NMC kimyasına sahip lityum-iyon batarya üretimine başlanmıştır[96]. Ayrıca Özdemir’in gerçekleştirdiği çalışmada [96] belirttiği üzere Kontrolmatik firmasının Omega işbirliği 2023 yılında LFP kimyasına sahip lityum-iyon batarya üretimine başlayacaklardır. Yine Özdemir’in çalışmasında belirtildiği [96] üzere kendi araçları için batarya üretimi gerçekleştiren firmalarda Türkiye’de mevcuttur. Gerçekleşen gelişmeler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Lityum-iyon batarya üretim tesisi kurulması: Türkiye’de, ülkede yılda 3 gigawatt-saat (GWh) kapasiteli bir lityum-iyon batarya üretim tesisleri kurmayı planlamaktadır. Kurulacak olan fabrikaların istihdam yaratması ve ülke ekonomisine katkı sağlanması beklenmektedir.

2. Elektrikli araç üretimi için teşvikler: Türkiye hükümeti, ülkede elektrikli araç üretimini teşvik etmek için çeşitli teşvikler sunmaktadır. Bunlar arasında vergi indirimleri, şarj istasyonları için daha düşük elektrik fiyatları ve araştırma ve geliştirme için hibeler yer almaktadır. Şu an üretilen TOGG bunlardan faydalanmaktadır.

3. Şarj altyapısının geliştirilmesi: Türkiye, elektrikli araçların benimsenmesini desteklemek için kapsamlı bir şarj altyapısının geliştirilmesine yatırım yapmayı planlamaktadır. Türkiye, 2023 yılına kadar ülke genelinde 1000 şarj istasyonu kurmayı hedeflemektedir.

4. Yerli üretimin teşvik edilmesi: Türkiye, elektrikli araç ve bataryaların imalatında yerli olarak üretilen bileşenlerin kullanılmasını teşvik etmektedir. Bu, hammaddeler ve bileşenler için yerel tedarik zincirlerinin geliştirilmesini içermektedir.

IV. SONUÇ

Karbon emisyonunu azaltıcı önlemlerin alındığı günümüz dünyasında yenilebilir enerji kaynakları ve dolayısı ile enerji depolama gereçleri yadsınamaz biçimde önem kazanmaktadır. Enerji depolama gereçleri özelinde lityum-iyon bataryalar farklı kimyalara sahip olması, uzun çevrim ömrü, yüksek kullanılabilir kapasite, şarj verimi gibi özelliklere sahip olmaları sebebiyle ön plandadır. Hem ticari olarak hem akademik olarak lityum-iyon bataryaların üretiminde birçok yöntem bulunmuştur ve buna bağlı olarak farklı hammaddelerin kullanımı söz konusudur. Kaynakların yönetiminin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Kaynaklar her ne kadar sınırlı olarak gözükse de Türkiye jeopolitik konumu, potansiyeli ve mevcut altyapısı sayesinde avantajlara sahiptir. Akım toplayıcı olarak kullanılan bakır ve alüminyum folyolar, çeşitli metal kaynakları (kobalt, nikel, mangan, demir) ve fosfat kaynakları hali hazırda Türkiye de üretilmektedir. Tüm bu maddi kaynaklara kendisi sahiptir. Ayrıca lityum bileşenlerinin yüksek miktarda üretildiği Asya ülkelerine ve grafit madenleri bulunan Avrupa ülkelerine aynı mesafede konumlanmıştır. Tüm bunların yanında genç ve dinamik nüfusu ile insan kaynağında sahiptir.

Türkiye lityum iyon batarya üretimi için oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin sürekli gelişmekte olan yapısı buna destek olmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları ve yönetimi üzerine çalışmalar ve teşvikler oldukça yüksektir. Bunların yanı sıra bataryaların kullanımı için gereken elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji sistemleri üzerine pazarlar gelişmektedir. Özellikle son 10 yılda açılan lityum iyon batarya tesisleri buna işaret etmektedir. Hem akademik hem ticari olarak Türkiye'de faaliyet gösteren kuruluşlar, yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye'de mevcut olarak bulunan madenler geliştirilen teknolojiler göz önüne alındığında batarya ekipmanı üretiminde kullanılmaya uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, X. & Wang, Y.(2017). How to reduce household carbon emissions: A review of experience and policy design considerations. *Energy Policy* 102:116–24.
- [2] Yao, X., Huang,R. & Song, M.. (2019) How to reduce carbon emissions of small and medium enterprises (SMEs) by knowledge sharing in China. *Prod Plan Control* 2019;30:881–92..
- [3] Ibrahim, N., Sugar, L., Hoornweg, D. & Kennedy, C. (2012) Greenhouse gas emissions from cities: Comparison of international inventory frameworks. *Local Environ* 2012;17:223–41.
- [4] Global Temperature | Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet n.d. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>, (09.08.2023).
- [5] Wei, T., Wu, J. & Chen, S., (2021). Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide. *Front Sustain Cities* 2021;3:1–13.
- [6] Københavns Kommune. Climate Plan Roadmap(2016) 2017–2020 2016:64.
- [7] Mathiesen, B.V., Lund., R.S., Connolly, D. & Ridjan-Nielsen S.(2015) Copenhagen Energy Vision 2050: A sustainable vision for bringing a capital to 100% renewable energy.
- [8] Franta B. & Supran G. (2017) The fossil fuel industry's invisible colonization of academia. *Guard* 2017:5–8.
- [9] Black, B.C. (2020). Burning Up: A Global History of Fossil Fuel Consumption by Simon Pirani. *Technol Cult* 2020;61:700–2.
- [10] Williams S.J.(2022). Sustainability and the New Economics. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78795-0>.
- [11] Rajender B. & Inamuddin, R.P. (2020). Rechargeable Batteries History, *Progress, and Applications*. 2020.
- [12] Li ,M., Lu J., Chen, Z.,& Amine, K.(2018) 30 Years of Lithium-Ion Batteries. *Adv Mater* 2018;30:1–24.
- [13] Golubkov, A.W., Fuchs, D., Wagner, J., Wiltsche, H., Stangl, C. & Fauler, G., (2014) Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. *RSC Adv* 2014;4:3633–42.
- [14] Berckmans, G., Messagie, M., Smekens, J., Omar, N., Vanhaverbeke, L., Mierlo J.V. (2017) Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030. *Energies* 2017;10.
- [15] Nitta, N., Wu, F., Lee, J.T., Yushin, G.(2014). Li-ion battery materials: Present and future. *Mater Today* 2015;18:252–64.
- [16] Gonzalez, A.L., Guerra, A.M., Pinzon, J.D. (2021) Regulatory and market challenges for battery energy storage systems worldwide. 2021 IEEE PES Innov Smart Grid Technol Conf - Lat Am ISGT Lat Am 2021 2021.
- [17] Thompson, D.L., Hartley, J.M., Lambert, S.M., Shiref, M., Harper, G.D.J., Kendrick, E., (2020). The importance of design in lithium ion battery recycling-a critical review. *Green Chem* 2020;22:7585–603.
- [18] Kang, H. (2020) The Application analysis of electrochemical energy storage technology in new energy power generation side. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2020;558.
- [19] Houache, M.S.E, Yim, C.H., Karkar, Z. & Abu-Lebdeh, Y. (2022) On the Current and Future Outlook of Battery Chemistries for Electric Vehicles—Mini Review. *Batteries* 2022;8.
- [20] (2021). The New Industrial Strategy for Europe. *Intereconomics* 2021;56:132–132.
- [21] Saito, M., Arakaki, R., Yamada, A., Tsunematsu, T., Kudo, Y., Ishimaru, N. (2016). Molecular mechanisms of nickel allergy. *Int J Mol Sci* 2016;17:1–8.
- [22] Paustenbach, D.J., Tvermoes, B.E., Unice, K.M., Finley, B.L. & Kerger, B.D. (2013) A review of the health hazards posed by cobalt. *Crit Rev Toxicol* 2013;43:316–62.
- [23] Gulley, A.L. (2022) One hundred years of cobalt production in the Democratic Republic of the Congo. *Resour Policy* 2022;79:103007.
- [24] The EV boom is being fueled by exploited cobalt miners - The Verge <https://www.theverge.com/2022/2/15/22933022/cobalt-mining-ev-electriv-vehicle-working-conditions->

- congo, (05.05.2023).
- [25] Periodic Table – Royal Society of Chemistry n.d. <https://www.rsc.org/periodic-table/>, (05.05.2023).
- [26] Bartlett, N.J. (2011). Critical materials strategy for clean energy technologies. *Crit Mater Strateg Clean Energy Technol* 2011:1–170.
- [27] Yıldız, N. (2016). Lityum. *Maden Mühendisleri Odası*.
- [28] Wang, M., Liang, Y., Yuan, M., Cui, X., Yang, Y. & Li, X.(2018). Dynamic analysis of copper consumption, in-use stocks and scrap generation in different sectors in the U.S. 1900–2016. *Resour Conserv Recycl* 2018;139:140–9.
- [29] Aluminium Market https://www.aluminiumleader.com/economics/world_market/, (05.05.2023).
- [30] U.S. Department of the Interior (2022) *U.S Geological Survey*. Mineral Industry Surveys: manganese 2022.
- [31] (2021). Cobalt in December 2021, *Mineral Industry Surveys* 2021:1–7.
- [32] Stanković, S., Kamberović, Ž., Friedrich, B., Stopić, S.R., Sokić, M. & Marković, B. (2022). Options for Hydrometallurgical Treatment of Ni-Co Lateritic Ores for Sustainable Supply of Nickel and Cobalt for European Battery Industry from South-Eastern Europe and Turkey. *Metals* (Basel) 2022;12.
- [33] Johnson Matthey PLC (2020), Substituted metallic lithium manganese phosphate (Patent no: JP6789688B2). *Japonya Patent Ofisi*.
- [34] (2006) Lithium Manganese Phosphate Positive Material for Lithium Secondary Battery (Patent no:KR101334050B1). *Güney Kore Patent Ofisi*.
- [35] (2016) Lithium manganese phosphate / carbon nanocomposite as cathode active material for secondary lithium battery (Patent no: JP5976026B2). *Japonya Patent Ofisi*.
- [36] Toda Kogyo Corp (2015). Method for producing lithium manganese iron phosphate particle powder, lithium manganese iron phosphate particle powder, and nonaqueous electrolyte secondary battery using the particle powder (Patent no: JP5817963B2). *Japonya Patent Ofisi*.
- [37] Paulsen, M.J., SHIN, S.S.& Park H. (2017). Stoichiometric lithium cobalt oxide and method for preparation of the same (Patent no: US9564636B2 2). *Amerika Birleşik Devletleri Patent Ofisi*.
- [38] (2020). Composite silicon anode material, manufacturing method and use (Patent no: KR102142200B1). *Güney Kore Patent Ofisi*.
- [39] Rayner P.J. (2017). Method of making silicon anode material for rechargeable cells (Patent no: US9553304B2). *Amerika Birleşik Devletleri Patent Ofisi*.
- [40] Shandong Goldencell Electronics Technology Co Ltd(2016). The preparation method of the coated lithium titanate anode material of a kind of nanometer carbon (Patent no: CN103682278B). *Çin Patent Ofisi*
- [41] Yuca, N., Çetin B.,& Taşkın, O.S. (2021). Production method for li-rich cathode material (Patent no: WO2021015679A1). *Dünya Patent Ofisi*.
- [42] Hua, Y., Zhou, S., Huang, Y., Liu, X., Ling, H., Zhou, X., Zhang, C. & Yang, S. (2020). Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 478(June), 228753.
- [43] Wang Y (2020). Method and apparatus for recycling lithium iron phosphate batteries (Patent no: US10741890B2). *Amerika Birleşik Devletleri Patent Ofisi*
- [44] Hubei Bituo New Material Technology Co.,Ltd. (2019). A kind of method of waste and old lithium ion battery recycling production NCM salt (Patent no: CN107768763B). *Çin Halk Cumhuriyeti Patent Ofisi*
- [45] (2015). Waste battery recycling method (Patent no: JP5745348B2). *Japonya Patent Ofisi*
- [46] Hashimoto Z (2011). Method of recycling a battery (Patent no: US7964299B2 2). *Amerika Birleşik Devletleri Patent Ofisi*
- [47] Central South University (2019). A method of regenerating positive active material from waste lithium iron phosphate battery (Patent no: CN106910889B 23). *Çin Halk Cumhuriyeti Patent Ofisi*
- [48] Contemporary Amperex Technology Co Ltd (2021). Method for recycling and preparing lithium iron phosphate cathode material (Patent no: CN109721043B 17). *Çin Halk Cumhuriyeti Patent Ofisi*
- [49] Guangdong University of Technology (2019). A kind of method and regeneration positive electrode of recycling waste lithium ion cell anode material (Patent no: CN109309266A 05). *Çin Halk Cumhuriyeti Patent Ofisi*
- [50] Contestabile, M., Panero, S. & Scrosati, B. (2001). Laboratory-scale lithium-ion battery recycling process. *Journal of Power Sources*, 92(1–2), 65–69.
- [51] Lombardo, G., Ebin, B., Steenari, B. M., Alemrajabi, M., Karlsson, I. & Petranikova, M. (2021). Comparison of the effects of incineration, vacuum pyrolysis and dynamic pyrolysis on the composition of NMC-lithium battery cathode-material production scraps and separation of the current collector. *Resources, Conservation and Recycling*, 164(August 2020), 105142.
- [52] Lombardo, G., Ebin, B., St Foreman, M. R. J., Steenari, B. M. & Petranikova, M. (2019). Chemical Transformations in Li-Ion Battery Electrode Materials by Carbothermic Reduction. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(16), 13668–13679.
- [53] Vieceli, N., Ottink, T., Stopic, S., Dertmann, C., Swiontek, T., Vonderstein, C., Sojka, R., Reinhardt, N., Ekberg, C., Friedrich, B. & Petranikova, M. (2023). Solvent extraction of cobalt from spent lithium-ion

- batteries: Dynamic optimization of the number of extraction stages using factorial design of experiments and response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 307(November 2022).
- [54] Bridge, G. & Faigen, E. (2022). Towards the lithium-ion battery production network: Thinking beyond mineral supply chains. *Energy Research and Social Science*, 89(May), 102659.
- [55] Sun, X., Hao, H., Geng, Y., Liu, Z. & Zhao, F. (2023). Exploring the potential for improving material utilization efficiency to secure lithium supply for China's battery supply chain. *Fundamental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.12.008>
- [56] Meng, F., McNeice, J., Zadeh, S. S. & Ghahreman, A. (2021). Review of Lithium Production and Recovery from Minerals, Brines, and Lithium-Ion Batteries. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 42(2), 123–141.
- [57] Sonoc, A. & Jeswiet, J. (2014). A review of lithium supply and demand and a preliminary investigation of a room temperature method to recycle lithium ion batteries to recover lithium and other materials. *Procedia CIRP*, 15, 289–293.
- [58] Ebersperger, A., Maxwell, P. & Moscoso, C. (2005). The lithium industry: Its recent evolution and future prospects. *Resources Policy*, 30(3), 218–231.
- [59] Liang, Y., Zhao, C. Z., Yuan, H., Chen, Y., Zhang, W., Huang, J. Q., Yu, D., Liu, Y., Titirici, M. M., Chueh, Y. L., Yu, H. & Zhang, Q. (2019). A review of rechargeable batteries for portable electronic devices. *InfoMat*, 1(1), 6–32.
- [60] Tan, L. & Chi-Lung, Y. (2009). Abundance of chemical elements in the earth's crust and its major tectonic units. *International Geology Review*, 12(7), 778–786.
- [61] World Steel in Figures 2022 - worldsteel.org. (n.d.), from <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/#world-trade-in-ferrous-scrap-by-area-2021>, (07.05.2023).
- [62] Gunn, G. (2013). Critical Metals Handbook. In *Critical Metals Handbook*.
- [63] Mayyas, A., Steward, D. & Mann, M. (2019). The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, 19, e00087.
- [64] Hagelstein, K. (2009). Globally sustainable manganese metal production and use. *Journal of Environmental Management*, 90(12), 3736–3740.
- [65] Li, Q., Hu, S., Wang, H., Wang, F., Zhong, X. & Wang, X. (2009). Study of copper foam-supported Sn thin film as a high-capacity anode for lithium-ion batteries. *Electrochimica Acta*, 54(24), 5884–5888.
- [66] (2017). Non-ferrous metals industry : Building the future. (2017). <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/in/pdf/2017/09/non-ferrous-metals.pdf>, (09.08.2023).
- [67] Elshkaki, A., Graedel, T. E., Ciacci, L. & Reck, B. (2016). Copper demand, supply, and associated energy use to 2050. *Global Environmental Change*, 39, 305–315.
- [68] Pahlevan, S. M., Hosseini, S. M. S. & Goli, A. (2021). Sustainable supply chain network design using products' life cycle in the aluminum industry. *Environmental Science and Pollution Research*.
- [69] Varghese, B., Reddy, M. V., Yanwu, Z., Lit, C. S., Hoong, T. C., Rao, G. V. S., Chowdari, B. V. R., Shen Wee, A. T., Lim, C. T. & Sow, C. H. (2008). Fabrication of NiO nanowall electrodes for high performance lithium ion battery. *Chemistry of Materials*, 20(10), 3360–3367.
- [70] Feng, N., Hu, D., Wang, P., Sun, X., Li, X. & He, D. (2013). Growth of nanostructured nickel sulfide films on Ni foam as high-performance cathodes for lithium ion batteries. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15(24), 9924–9930.
- [71] Akgök, D. (2018). Dünyada ve Türkiyede Nikel. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, 1–19.
- [72] Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö. & Timur, S. (n.d.). Metallerin Çevresel Etkileri -II.
- [73] Henckens, M. L. C. M. & Worrell, E. (2020). Reviewing the availability of copper and nickel for future generations. The balance between production growth, sustainability and recycling rates. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121460.
- [74] National Minerals Information Center, U. (2020). Silicon data sheet. 703, 148–149.
- [75] El Khalloufi, M., Drevelle, O. & Soucy, G. (2021). Titanium: An overview of resources and production methods. *Minerals*, 11(12).
- [76] Gönül, Ö., Duman, A. C. & Güler, Ö. (2021). Electric vehicles and charging infrastructure in Turkey: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143(January).
- [77] Şahin, M. (2021). Tam Elektrikli ve Hibrit Otomobillerde Vergi ve Vergi Dışı Kamusal Teşvikler. *Vergi Sorunları Dergisi*, 388, 0–2.
- [78] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). Yatırım Teşvik Uygulamaları.
- [79] Ustabaş, A., Simav, O.. (2018). Transformation in Automotive Industry and Turkey. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Uluslararası Sos Bilim Derg* 2018;3:211–31.
- [80] Yilmaz, S. & Dincer, F. (2017). Optimal design of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated lands: A case study for Kilis, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(May 2016), 344–352.
- [81] Altun, A. F. & Kilic, M. (2020). Design and performance evaluation based on economics and environmental impact of a PV-wind-diesel and battery standalone power system for various climates in Turkey. *Renewable*

- Energy*, 157, 424–443.
- [82] Helvacı, C., Mordogan, H., Çolak, M. & Gündogan, I. (2004). Presence and distribution of lithium in borate deposits and some recent lake waters of west-central turkey. *International Geology Review*, 46(2), 177–190.
- [83] Cetiner, Z. S., Dogan, Ö., Özdilek, G. & Erdogan, P. Ö. (2015). Toward utilising geothermal waters for cleaner and sustainable production: Potential of Li recovery from geothermal brines in Turkey. *International Journal of Global Warming*, 7(4), 439–453.
- [84] Akgök, Y. Z. & Şahiner, M. (2017). Dünyada Ve Türkiye’de Lityum. *Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı*, 1–22.
- [85] Karakaş A.V.& Yılmaz M. (2022) Türkiye’de Bulunan Bor Rezervlerinin Stratejik Açidan Değerlendirilmesine Yönelik Akademik Algi. *Ankara Üniversitesi Sos Bilim Derg* 2022;13:10–25.
- [86] Tuncel, S., Ari, N., Yoleri, B. & Şahiner, M. (2017). Dünyada ve Türkiye’de Demir. *MTA*.
- [87] Eroğlu, G. & Şahiner, M. (2019). Dünyada ve Türkiye’de Manganez. 1–18.
- [88] İMİB. (2019). Kobalt yataklarının durumu, işletmeciliği ve geleceği.
- [89] Kalyon PV Teknoloji (n.d.) <https://kalyonpv.com/teknolojimiz.html#2>, (09.08.2023).
- [90] Karabacak Madencilik – (n.d.). <https://www.karabacakmaden.com.tr/>, (07.05.2023).
- [91] Yücel, M. B. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Titanyum. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı*, Ankara.
- [92] Jara, A. D., Betemariam, A., Woldetinsae, G. & Kim, J. Y. (2019). Purification, application and current market trend of natural graphite: A review. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(5), 671–689.
- [93] Rao, R. B. & Patnaik, N. (2004). Preparation of high pure graphite by alkali digestion method. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 33(5), 257–260.
- [94] Cançado, L. G., Takai, K., Enoki, T., Endo, M., Kim, Y. A., Mizusaki, H., Speziali, N. L., Jorio, A. & Pimenta, M. A. (2008). Measuring the degree of stacking order in graphite by Raman spectroscopy. *Carbon*, 46(2), 272–275.
- [95] Lu, X. J. & Forssberg, E. (2002). Preparation of high-purity and low-sulphur graphite from Woxna fine graphite concentrate by alkali roasting. *Minerals Engineering*, 15(10), 755–757.
- [96] Özdemir, A. (2023). Türkiye’de Lityum İyon Pil Üretimi Yatırımlari. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilim Derg* 2023;10:79–86.