

Ömrünü Tamamlamış Elektrikli Araç Bataryalarının Çevresel Yönetimi

Emine CAN GÜVEN^{1*}, Kadir GEDİK²

ÖZET: Araç sayısının artmasıyla hızla tükenen petrol kaynakları ve hava kirliliğindeki artış enerji sektöründe yeni arayışlara yol açarak alternatif enerji kaynaklarının kullanımı yönünde çalışmaları hızlandırmıştır. Bu amaçla geliştirilen elektrikli araçlar, kirletici emisyonlarının konvansiyonel araçlara göre düşük olması ve petrole bağımlılığı azaltması nedeniyle geleceğin teknolojisi olarak öngörülmektedir. Elektrikli araçların üretim, kullanım ve kullanım sonrası aşamaları ele alındığında, sıfır kirletici emisyonu mümkün olmamakla birlikte en önemli çevresel etkisi kullanılan bataryalardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, kullanım ömrünü tamamlamış elektrikli araç bataryalarının atık azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım bağlamındaki çevresel yönetimi değerlendirilmiştir. Tüm alternatifler incelendiğinde, yeniden kullanım, bataryaların faydalı kullanım ömürlerini arttırarak hem ekonomik hem de çevresel açıdan katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Atık batarya, Atık yönetimi, Hava kirliliği, Sıfır emisyon, Yeşil teknoloji

Environmental Management of End-of-life Electric Vehicle Batteries

ABSTRACT: The rapid depletion of petroleum reserves and increases in air pollution due to rising use of vehicles has accelerated efforts towards the use of alternative energy sources. Electrical vehicles, developed for this purpose, are projected to be the future technology in terms of lower pollutant emissions in contrast with conventional vehicles and reduction in petroleum dependency. Zero emission is not possible considering production, usage and end-of-life phases as well as batteries constitute the most significant environmental concern in electric vehicles. Accordingly, in this study, environmental management of end-of-life batteries from electric vehicles is evaluated within the context of reduce, reuse, recycle and recovery. Considering all alternatives, reuse will contribute to the economic and environmental aspects by increasing the useful life of the batteries.

Keywords: Waste battery, Waste management, Air pollution, Zero emission, Green technology

¹Emine CAN GÜVEN (Orcid ID: 0000-0002-3540-3235), Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Kadir GEDİK (Orcid ID: 0000-0002-1391-9265), Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Emine CAN GÜVEN, e-mail: ecguven@yildiz.edu.tr

GİRİŞ

Atmosfere büyük miktarda kirlilik salınımına neden olan ulaşım sektörünün, 2010 yılından itibaren küresel ısınmayı tetikleyen en önemli etken haline geldiği düşünülmektedir (Elker, 2011). Nüfus artışına bağlı olarak ulaşım yoğunluğunun artması, fosil yakıt kullanan motorlu taşıt sayısının da gün geçtikçe artmasına neden olmuş ve beraberinde artan sera gazı emisyonları, sera etkisi ve iklim değişikliği gibi sorunları gündeme getirmiştir (Akbaba, 2011). Ulaşım sektörünün yoğun olduğu Avrupa Birliği'nde bu sektör, azot oksit (NO_x) emisyonunun %39'u, karbonmonoksitin (CO) %36'sı, karbondioksitin (CO_2) %25'i ve partikül maddenin (PM) %18'ine neden olmaktadır (Messagie ve ark., 2014). Araç yoğunluğuna bakıldığında ülkemizde de benzer durum söz konusu olup Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2017 yılında trafiğe kayıtlı araç sayısını 22 218 945 olarak açıklamış, son 5 yılda araç sayısında yaklaşık %33'lük bir artış gerçekleşmiştir (TÜİK, 2018). Bir insanın günlük ihtiyacı olan 15 m^3 temiz havayı tek bir taşıtın 10 dakikada tehlikeli hale dönüştürmesi, taşıt yoğunluğunun artışına bağlı olarak ortaya çıkacak hava kirliliğinin boyutu hakkında fikir vermektedir (MEB, 2011).

Ulaşımında kullanılan araç sayısının artmasına bağlı olarak hızla tükenmekte olan petrol kaynakları, yüksek yakıt fiyatları, hava kirliliği ve sera gazı miktarındaki artış, enerji sektöründe yeni arayışlara yol açarak alternatif enerji kaynaklarının kullanımı yönündeki çalışmaları hızlandırmıştır. Günümüzde, petrol tüketimini azaltmak ve gelecekte oluşabilecek potansiyel enerji krizlerinin önüne geçmek için elektrik enerjisi ile çalışan otomobiller geliştirilmeye başlanmıştır. Ulaşım sektörü, dünyadaki toplam enerji tüketiminin %27'sine (Tie ve Tan, 2013) ülkemizde ise toplam enerji tüketiminin %20'sine karşılık gelmektedir (UDHB, 2011). Ülkemizde ulaşım sektöründe

tüketilen enerjinin %99'u petrol ürünlerinden karşılanmaktadır (UDHB, 2011). Trafikteki araçların tükettikleri enerji miktarı göz önüne alındığında elektrikli araçların yaygınlaşması ile bu enerji, elektrik enerjisinden karşılanacaktır (Birleştirici ve ark., 2015).

Enerji üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle yanma işleminde, yakıt olarak çoğunlukla fosil yakıtlar gibi ısı kapasitesi yüksek maddeler tercih edilmektedir. Artan enerji ihtiyacına bağlı olarak fosil yakıtların bu talebi karşılayamaması ve kaynakların hızla tükenmesi, bilim insanlarını ve yetkili kurum/kuruluşları alternatif yakıt arayışına yöneltmekte, ancak, mevcut sistemler ve altyapı olanaklarının getirdiği kısıtlamalar nedeni ile fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara geçilmesi beklenen hızda gelişmemektedir (Akbaba, 2011). Konvansiyonel araçlar günümüzde hala CO_2 , NO_x , karbon karası ve partikül madde emisyonları açısından temel kaynaktır (Buekers ve ark., 2014). Herhangi bir önlem alınmamış benzinli araçların egzoz gazında hacimsel olarak %0.85 CO , %0.08 NO_x , %0.05 hidrokarbonlar (HC) ve %0.005 katı parçacıklar bulunmaktadır. Dizel motorlarda ise benzinli motorlara göre daha az olmakla birlikte CO ve HC , benzinli motordan daha fazla oranda NO_x bulunmakta, en önemli parametre olarak ise partikül madde öne çıkmaktadır (Keskin ve Sağiroğlu, 2010). CO_2 ve N_2O gibi sera gazı emisyonlarının azaltılması bağlamında elektrikli araçların kullanımı çevresel açıdan olumlu bir gelişme olarak görülse de elektrikli araç bataryalarını şarj etmek için kullanılan elektrik enerjisinin konvansiyonel teknolojilerle üretilmesi nedeniyle elektrikli araçların %100 temiz bir teknoloji olmadığı öne sürülmektedir (Buekers ve ark., 2014). Elektrikli araçlar piyasaya girdiğinde kirliletiçi emisyonlarının, trafik emisyonundan enerji üretim tesislerinin olduğu yerlere kayması beklenmektedir (Buekers ve ark., 2014).

Elektrikli araçların emisyon avantajı göz ardı edilemez bir gerçektir. Ancak, tüm çevresel ve sağlık etkilerinin ortaya konması için elektrikli araç üretimi ve batarya şarjı için gerekli olan enerjinin üretim aşamasında gerçekleşen kirletici emisyonları da değerlendirilmelidir (Buekers ve ark., 2014). Yapılan çalışmalarda elektrikli araçlar emisyon açısından değerlendirilmekte ve konvansiyonel araçlara kıyasla daha düşük hava kirletici emisyonları olduğu belirtilmektedir. Öte yandan, diğer araçlarda olduğu gibi elektrikli araçların da üretim, kullanım, bakım/onarım süreci ve kullanım sonrası ortaya çıkacak atıkları da değerlendirilerek çevresel etkisi bir bütün halinde ele alınmalıdır. Ayrıca, bu araçların çevresel etkilerinin büyük bir kısmına karşılık gelen bataryaları da incelenmelidir.

Geleceğin teknolojisi olarak görülen ve birçok ülkede teşvik edilen elektrikli araçların gün geçtikçe sayısı artmakta ve 2020 yılında ulaşım sektöründeki araçların %7'den fazlasının elektrikli araç olacağı tahmin edilmektedir (WMW, 2011). Araç sayısının artması bu araçlarda kullanılan bataryaların sayısının da artmasıyla potansiyel atık oluşumu anlamına gelmektedir. Amerika'daki elektrikli araçların üçte birinin satıldığı Kaliforniya eyaleti özelinde yapılan bir çalışmada, elektrikli araçlarda kullanım ömrünü tamamlayan batarya potansiyelinin 620 000-890 000 ton yıl⁻¹ olduğu belirtilmektedir (Hendrickson ve ark., 2015). Dünya genelindeki elektrikli araç sayısı dikkate alındığında atık batarya potansiyelinin ciddi boyutlarda olduğu veya olacağı görülmektedir. Bu nedenle, araçlarda kullanım ömrünü tamamlayan bataryalara uygulanacak işlemlerin ekonomik ve çevresel boyutu incelenmelidir. Buradan hareketle, söz konusu bu çalışmada, elektrikli araçlarda kullanım ömrünü tamamlamış bataryaların kullanım sonrası akıbeti, uygulanan yeniden kullanım ve bertaraf

işlemlerinin çevresel açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar sistem konfigürasyonları ve enerji akışına göre tümü elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve bataryalı/bataryasız yakıt pilli araçlar olarak üç gruba ayrılmaktadır (Kerem, 2014). Elektrikli araçlar, elektrik motoru, elektronik kontrol modülü, pil, pil yönetim sistemi, akıllı akü şarj cihazı, kablolama sistemi, jeneratif fren sistemi, araç gövdesi, soğutma, fren gibi temel bileşenlerden meydana gelmektedir (Algül, 2015).

Elektrikli araçlar sera gazı ve kirli duman gibi kirletici emisyonların azaltılması için alternatif olarak öne çıkmaktadır (Vivanco ve ark., 2014). Elektrikli araçların kullanımı, CO₂ emisyonlarının azalmasını ve petrole olan bağımlılıktan kurtulmayı sağlayacaktır (Buekers ve ark., 2014). Elektrikli ve hibrit araçlar düşük sera gazı emisyonunun yanı sıra benzin ve dizele göre daha ekonomik olması nedeniyle "yeşil teknoloji" olarak değerlendirilmektedir. Ancak, güncel çalışmalar incelendiğinde elektrikli araçların enerji ihtiyaçlarının, özellikle yenilenebilir enerji kullanımının yaygın olmadığı ülkelerde, net sera gazı emisyonunda artışa neden olduğu belirtilmektedir. Aynı zamanda, bu araçlarda kullanılan donanım ve bataryaların, kullanım ömrünü tamamlaması sonucunda bertarafı ve/veya geri kazanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Elektrikli araçların çevresel etkisinin belirlenmesinde üretim, kullanım ve kullanım sonrası akıbetinin belirlenmesi önemlidir (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Bu araçların ve bataryalarının üretim aşamasında içten yanmalı motorlu araçlara göre daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir (Girardi ve ark., 2015).

2020 yılı itibarıyla dünyada yaklaşık 11 milyon elektrikli aracın kullanımda olabileceği tahmin edilmektedir (Ramoni ve Zhang, 2013).

Ülkemizde, elektrikli araçların kullanımına yönelik teşvikler bulunmakla birlikte özellikle hibrit araçlara getirilen ÖTV düzenlemesi ile 2017 yılında hibrit araç satışlarında büyük artış yaşanmıştır (TEHAD, 2018). Ancak %100 elektrikli araçlar ülkemizde yeterli ilgiyi görememiş ve satışları dünya ortalamasının çok gerisinde kalmıştır (TEHAD, 2018). Hibrit elektrikli araçlar için MTV teşviği sağlanmaması, tamamen elektrikli araçların performansının düşük olması ve ülkemizdeki şarj istasyonu sayısının yetersiz olması elektrikli araç kullanımının düşük olmasına yol açmaktadır. Ülkemizde küçük büyük tüm elektrikli araç şarj istasyonlarının sayısı 2016 yılında 1000 olarak belirtilmiş olup bunun sadece 400 tanesinin kullanıma açık olması elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasını sınırlandıran başka bir etkidir (TEHAD, 2017).

Elektrikli araçların piyasaya girmesi sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde büyük bir fırsat olarak görülebilir ancak, sıfır emisyon hiç bir durumda mümkün değildir (Girardi ve ark., 2015). Elektrikli araçlardaki en önemli çevresel etki, elektrik ihtiyacı ve bu ihtiyacın karşılanması için kullanılan teknolojidir (Girardi ve ark., 2015). Elektrikli araçların çevresel ve sağlık etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, elektrikli araçların insanlara yönelik toksik etkisinin %45-47 oranında bataryalarından kaynaklandığı belirlenmiştir (Girardi ve ark., 2015). Elektrikli araçların avantajlarından bahsedebilmek için üretim, kullanım ve kullanım sonrası çevresel etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılabilir en uygun yöntem "yaşam döngüsü analizi" yaklaşımıdır (Samaras ve Meisterling, 2008; Girardi ve ark., 2015). Bir ürün ya da hizmetin üretimi için kullanılan ham madde ve enerji aşamasından itibaren ilgili tüm üretim, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertarafını kapsayan bu yaklaşım ile

elektrikli araç ve bataryalarının değerlendirilmesi, konunun bir bütün olarak ele alınması açısından önem arz etmektedir.

Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar

Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bünyesinde depolayan cihazlar pil, çoğunlukla aynı kimyasal yapıya, ölçüye ve elektrik kapasitesine sahip pillerin bir araya getirilerek oluşturdukları gruplara da batarya adı verilir (TAP, 2015). Sıkça birbirinin yerine kullanılan batarya ve akümülatör terimleri çalışma prensibi olarak aynı olmakla birlikte akümülatör kurşun asit bataryalara karşılık gelmektedir (ÇŞB, 2006). Elektrikli araç bataryaları, üreticilerine bağlı olarak farklı kompozisyon ve miktarda metaller, organik kimyasallar ve plastikler içerebilir (Ramoni ve Zhang, 2013). Bataryalar kimyasal yapısına göre aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (Algül, 2015; Manzetti ve Mariasiu, 2015). Sıklıkla tercih edilen batarya çeşitlerinin yapılarındaki maddeler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Kurşun asit bataryalar (Pb-asit); En eski tip bataryadır. En önemli çevresel etkisi yapısında bulunan asidin ve kurşunun işlenmesi ve kullanım sonrası bertaraf edilmesidir. Yaklaşık olarak 20 yıla kadar ömürleri vardır. Verimlilikleri de %95-%99 arasında değişkenlik gösterir.

Nikel-kadmiyum bataryalar (NiCd); En fazla kullanım ömrüne sahip bataryadır. Yapısında bulunan kadmiyum nedeniyle çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğundan kullanımı sınırlandırılmıştır.

Nikel-metal-hidrit bataryalar (NiMH); Üretim ve işleyiş açısından NiCd bataryalara benzemektedir. Düşük depolama özelliği nedeni ile yüksek güç ihtiyacında çok büyük pillerin kullanılması gerekmektedir.

Çizelge 1. 25 kWh kapasiteye sahip bazı bataryaların özellikleri ve yapısında bulunan maddeler

Batarya çeşidi	Ağırlık (kg)	Yapısında bulunan maddeler	Kaynak
Pb-asit	500	Kurşun, kurşun-oksit, asit (%22-26 H ₂ SO ₄), cam elyaf keçe, çelik veya polipropilen dış kaplama	(Gaines ve Singh, 1995)
NiCd	439	Cd (% 15), Ni (% 22)	(Gaines ve Singh, 1995)
NiMH	330	KOH elektrolit, çelik, eser elementler (%33), geçiş metalleri (%60), diğer metaller (% 7)	(Gaines ve Singh, 1995)
Li-ion	167.5	Batarya tipi ve kullanım alanına göre farklı lityum bileşikleri (LiCoO ₂ , LiMn ₂ O ₄ , LiNiMnCoO ₂ , LiFePO ₄ , LiNiCoAlO ₂ , Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)	(BU, 2016; ULTRALIFE, 2016)

Lityum-ion bataryalar (Li-ion); Yüksek enerji depolama kapasitesine sahip ancak maliyeti yüksek, ısınması fazla ve kullanım ömrü kısadır.

Lityum-ion polimer bataryalar; Li-ion bataryaya göre daha uzun ömürlü ancak aşırı yüklenme hali ve şarjı kritik seviyenin altına düştüğü durumlarda fonksiyonel açıdan daha kararsız yapıdadır.

Sodyum nikel klorür bataryalar (NaNiCl); Zebra batarya olarak da bilinir. Yüksek depolama kapasitesine sahip olup işletme ve uzun süre depolanması konularında dezavantajlıdır.

NiMH bataryalar daha yakıt dostu ancak Li-ion bataryalar daha düşük işletme maliyeti ve Pb-asit bataryaya göre daha düşük sera gazı emisyonuna sahiptir (Shahi ve Wang, 2010). NiMH bataryalar sera gazı emisyonu, tatlı su ekosistemine toksik etkisi, ötrofikasyon ve insanlar üzerindeki toksik etkisi gibi parametreler dikkate alındığında en fazla etkiye sahip batarya çeşididir (EC, 2011). Bataryanın tasarımı, şarj durumu, sıcaklığı, önceki çevrim geçmişi ve kullanımı gibi etkenler bataryaların şarj ve deşarj olma durumlarını belirlemektedir. Yüksek güç yoğunluğu gerektiren durumlarda Li-ion veya NiMH bataryalar tercih edilmektedir (Kerem, 2014). 100 km'den fazla sürüş mesafesi için elektrikli araçların enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için 20 kWh'ten daha fazla kapasiteye sahip bataryaya ihtiyaç

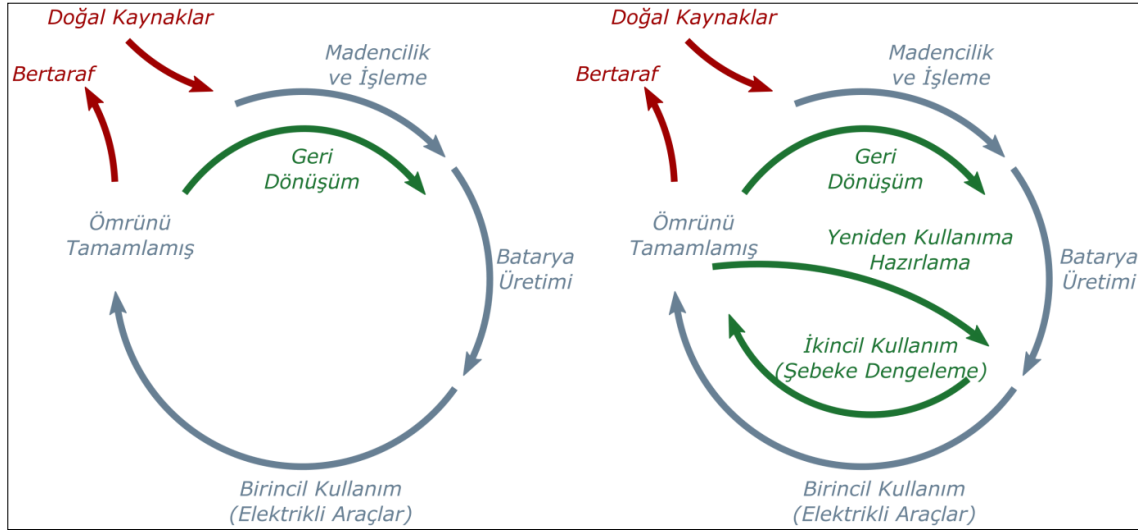
duyulmaktadır (Hacker ve ark., 2009). Elektrikli araçların üretim ve bertarafından kaynaklanan ekonomik etkileri nedeniyle elektrikli araç fiyatlarındaki en önemli faktör bataryadır (Hacker ve ark., 2009; Neubauer ve Pesaran, 2011). Elektrikli araçların en pahalı parçası olan bataryaların maliyeti 2014 yılında ortalama 380\$ kWh⁻¹ mertebesindedir (Kerem, 2014). Günümüz elektrikli araçlarında genellikle 10-85 kWh kapasiteli Li-ion bataryalar tercih edilmekte, gelecek nesil elektrikli araçlarda da en fazla bu bataryaların kullanılacağı öngörülmektedir (Hacker ve ark., 2009; Faria ve ark., 2014).

Kullanılmış Bataryaların Çevresel Akıbeti

Bir elektrikli aracın ömrü yaklaşık 200 000 km (Faria ve ark., 2014) veya 15 yıl (Ramonı ve Zhang, 2013) olarak kabul edilirken kullanılan bataryanın ömrü 8-10 yıl olarak kabul edilmektedir (Hacker ve ark., 2009). Diğer bir yaklaşım ise bataryanın depolama kapasitesinin başlangıç kapasitesine göre %20-30 düşmesi durumunda ömrünü tamamladığı şeklindedir (Ramonı ve Zhang, 2013; Ahmadi ve ark., 2014). Bataryaların ömrünü ve kullanım süresini etkileyen parametreler; fazla şarj etmek, şarjını tamamen boşaltmak, hızlı şarj etmek, kullanım sırasında yüksek sıcaklığa maruz kalması olarak belirtilmektedir (Ahmadi ve ark., 2014). Elektrikli araçlarda ömrünü tamamlamış bataryaların kullanım sonrası geri dönüşümü ve

geri kazanımı, yapısında bulunan değerli metallerin yeniden kullanımı açısından çevresel ve ekonomik öneme sahiptir (Olapiriyakul ve Caudill, 2008). Bataryaların yapısında bulunan toksik maddelerin (Pb, Cd, Ni, Li, sülfürik asit) çevreye zarar vermeyecek şekilde geri kazanım prosesleri uygulanması hem ekonomik açıdan

hem de çevresel açıdan fayda sağlamaktadır (Olapiriyakul ve Caudill, 2008). Ömrünü tamamlamış bataryalar doğrudan bertaraf edilebileceği gibi yeniden kullanım süreci ile faydalı kullanım ömrünün arttırılabileceği bildirilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kullanım sonrası doğrudan bertaraf ve yeniden kullanım akış şeması (Ahmadi ve ark., 2014)

Bazı araştırmacılar bataryaların kullanım sonrası için geri dönüşümün en uygun yöntem olduğunu düşünmekle birlikte bazıları da bu bataryaların yeniden üretim sürecine dâhil edilmesinin yeni bir batarya üretmekten daha ekonomik ve avantajlı olduğunu belirtmektedir (Ramoni ve Zhang, 2013). Kapasitesinin %80'ine sahip olan bataryaların ikincil uygulamalarda yeniden kullanımının/geri dönüşümünün, atık azaltılmasının yanı sıra bataryada kalmış olan kapasitenin kullanılması ile çevresel ve ekonomik açıdan katkı sağlayacağı ifade edilmektedir (Ramoni ve Zhang, 2013). Elektrikli araçlarda kullanımını tamamlamış bataryaların yeniden kullanımının çevresel açıdan değerlendirildiği sınırlı sayıda çalışmada, bataryanın toplam kullanım süresini uzatacağından yeniden kullanımın CO₂ ve sera gazı emisyonunda azalma sağlayacağı vurgulanmaktadır (Ahmadi ve ark., 2014; Faria ve ark., 2014). Ömrü tükenmiş bataryaların

yeniden kullanımının çevresel açıdan değerlendirildiği bir diğer çalışmada, yeniden kullanımın CO₂ emisyonunda %56 azalma sağladığı gösterilmektedir (Ahmadi ve ark., 2014). Atık yönetimi kapsamında 4R (reduce, reuse, recycle, recovery) ile atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanmasını amaçlamaktadır (ÇŞB, 2015). Bu yönetim planı kapsamında ömrünü tamamlamış bataryalar için uygulanabilecek yaklaşımlar özetlenmiştir.

Atık Azaltma

Atık yönetimde ilk ve en önemli aşama olan atıkların azaltılması, atık batarya sayısının azaltılması ile ilişkilendirilebilir. Ancak, gelecekte kullanılması planlanan elektrikli araç sayısı göz önüne alındığında batarya sayısının azaltılması mümkün görünmemektedir. Öte

yandan, bataryaların şarj olma süresinin uzunluğu nedeniyle deşarj olmuş bataryaların dolun istasyonlarında tam dolu bataryalar ile değiştirilmesi yaklaşımı söz konusudur. Deşarj olan batarya testlerden geçerek şarj edildikten sonra tekrar döngüye katılmaktadır. Bu döngünün uzun olmasının batarya sayısının araç sayısından fazla olmasına yol açacağı düşünülmektedir. Bu durum ise bataryalarda çevresel açıdan zararlı olabilecek kimyasalların bulunması nedeniyle yüksek miktarda kimyasalın da üretimini ve çevreye salınmasını beraberinde getirecektir (Kerem, 2014). Bu kadar çok sayıda bataryanın kullanım ömrünü tamamlayarak atık haline geçmesi durumunda ise yüksek miktarda toksik atık oluşacaktır. Bu bataryaların yapısında nikel, kadmiyum gibi toksik maddelerin bulunması nedeniyle uygun geri dönüşüm veya bertaraf teknolojileri kullanılmadığı takdirde çevreye yüksek miktarda toksik maddenin karışması kaçınılmazdır (Manzetti ve Mariasiu, 2015).

Yeniden Kullanım

Elektrikli araçlarda kullanım ömrünü tamamlamış bataryalar hala orijinal depolama kapasitelerinin %70-80'ine sahiptir (Ramoni ve Zhang, 2013). Bu kapasite, elektrikli araç için yeterli olmasa da elektrik şebekelerinde güç dengelemesi gibi ikincil kullanımlar için dikkate değer bir kapasitedir. Bu konuda yapılmış öncü bir çalışmada, elektrikli araç bataryalarının farklı alanlarda yeniden kullanımının teknik ve ekonomik olarak mümkün olduğu belirtilmektedir (Cready ve ark., 2003). Bu bağlamda değerlendirilen ve bataryaların etkili olarak kullanılmasının söz konusu olduğu alanlardan şanzıman takviyesi, hafif ticari uygulamalarda yükleme desteği, yerleşim yerlerinde yükleme desteği ve telekomünikasyon ağında yedekleme gücü olarak kullanımının teknik ve ekonomik açıdan uygulama potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir (Cready ve ark., 2003). Yeniden kullanım

üzerine yapılan çalışmalarda 5-10 yıl gibi sabit bir sürede bataryaların yeniden kullanımının ekonomik açıdan karlı olacağı, frekans regülatörü, iletim ve dağıtım dengeleyicisi, enerji zamanının ayarlanması (Narula ve ark., 2011), voltaj düzenlemesi, ani voltaj yüklemesinin dengelenmesi ve vites değişikliklerinde gecikmenin önlenmesi gibi uygulamalarda bataryaların yeniden kullanılabilirliği belirtilmektedir (Neubauer ve Pesaran, 2011). Öte yandan, araç sahiplerinin ömrünü tamamlamış bataryalarını, güneş ve/veya rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile gün boyu elektrik üretim sistemi bulunan evlerinde, daha sonra kullanmak için enerji depolamak amacıyla yeniden kullanım sürecine dahil edebileceği belirtilmektedir (McIntire-Strasburg, 2015). Bataryaların binalarda voltaj dengeleyici veya şebeke düzenleyici olarak yeniden kullanımının çevresel etkisi, bataryayı şarj etmek için kullanılacak olan elektrik enerjisinin üretildiği hammaddeye göre de değişmektedir (Faria ve ark., 2014). Yeniden kullanılan bataryanın şarj edilmesi için kullanılacak elektriğin büyük bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilse bile toplam çevresel etkisinin azalmadığı belirtilmektedir (Faria ve ark., 2014).

Geri Dönüşüm

Elektrikli araç bataryalarının kullanım sonrası tipik bertaraf şekli geri dönüşümdür. Ömrünü tamamlamış bataryalara çeşitlerine göre farklı geri dönüşüm teknikleri uygulanmaktadır. Pb-asit bataryalar darbeli kırıcı ile parçalara ayrılmaktadır. Plastik parçalar yıkayıp kurutulduktan sonra eriticiye gönderilmektedir. Eritilen parçalar küçük topaklar haline getirilerek üreticilere gönderilmektedir. Yapısındaki kurşun eritme, kalıplara dökme, safsızlıkların ayrılması işlemlerinden sonra üreticilere gönderilip yeni batarya üretimine katılmaktadır. Yapısındaki sülfürik asit ise nötralize edilerek su kaynaklarına deşarj

edilmekte veya toz sodyum sülfat haline getirilerek deterjan, cam ve tekstil üretiminde kullanılmaktadır (BS, 2016). Otomotiv sektöründeki en büyük başarılarından biri Pb-asit bataryaların %98 oranında geri dönüşümünün sağlanmış olmasıdır (Sullivan ve Gaines, 2010). Kurşun, yaygın olarak kullanılan ve geri dönüşümü kolay olan bir madde olmasına rağmen toksik etkileri nedeniyle çevresel açıdan uygun şekilde işlem yapılmalıdır (Lopez ve ark., 2015). Ni-Cd ve NiMH bataryalar %100 geri dönüştürülmektedir. Eritme işleminden önce bu bataryalardan plastik ve metal parçalar ayrılmaktadır. Metaller "yüksek sıcaklık metal geri kazanım prosesi" ile geri dönüşüme kazandırılmaktadır (BS, 2016). Bataryanın geri dönüşümü çevresel etkiyi azaltırken (Messagie ve ark., 2014) enerji tüketimi açısından bakıldığında aynı şekilde avantajlı olmamaktadır (Samaras ve Meisterling, 2008; Buekers ve ark., 2014). Li-ion bataryanın üretimi esnasında kullanılan enerji 25-30 kWh kg⁻¹ iken (Buekers ve ark., 2014) geri dönüşümü için tüketilen enerji 47 kWh kg⁻¹'dir (Samaras ve Meisterling,

2008). Japonya'da batarya geri dönüşüm merkezinde yapılan bir çalışma, Li-ion bataryalarda bulunan lityumun %56-61 oranında batarya dışında başka ürünlerde kullanılabilceğini göstermektedir (Hacker ve ark., 2009). Elektrikli araç bataryalarının sayısı ve büyüklüğü dikkate alındığında geri dönüşümün makul ve ekonomik olacağı belirtilmektedir (Hacker ve ark., 2009). Ancak, birçok üretici geri dönüşüm sürecinin maliyeti nedeniyle tümüyle geri dönüşüm ve bertarafın çevresel açıdan uygun olmadığı görüşündedir (Xing ve ark., 2011). Elektrikli araç bataryaları için geri dönüşüm tesislerine bazı örnekler Çizelge 2'de özetlenmiştir. Bu tesislerin birçoğunda elektrikli araç bataryalarının yanı sıra ömrünü tamamlamış diğer bataryaların da geri dönüşümü yapılmaktadır. Ülkemizde ilk atık pil geri kazanım tesisi 2016 yılında açılmış olup 2017 yılının ikinci yarısında deneme işletmesine alınmıştır (TAP, 2018). Tesis kurulmadan önce ise toplanan atık pil ve bataryaların belediyelerin katı atık depolama sahalarında saklandığı belirtilmektedir (TAP, 2018).

Çizelge 2. Elektrikli araç bataryası geri dönüşümü yapan bazı tesisler (Green, 2013)

Firma	Ülke	Batarya tipi	Tesisin durumu
SNAM	Fransa	NiCd, NiMH, Li-ion	Pilot tesis
Umicore	Belçika	Li-ion, Li-polimer, NiMH	Tam kapasite çalışan tesis
Accurec	Almanya	Li içeren bataryalar	Kısmi çalışır durumda, yapım aşamasında
Recupyl	Fransa	Li-ion	Tam kapasite çalışan tesis
Toxco	ABD	Tüm batarya çeşitleri	Tam kapasite çalışan tesis
LithoRec	Almanya	Li içeren bataryalar	Pilot tesis
Valdi	Fransa	-	Yapım aşamasında
Retriev Technologies	ABD	Li-ion, NiMH, Pb-asit	Tam kapasite çalışan tesis
Honda	Japonya	NiMH	Pilot tesis
Axeon	İngiltere	Pb-asit, Li-ion	Yapım aşamasında

Geri Kazanım

Ömrünü tamamlamış bataryalar için farklı geri kazanım işlemleri uygulanmakla birlikte temel olarak uygulananlar pirometalurji (yüksek sıcaklık) ve hidrometalurji (düşük sıcaklık) süreçleridir (Larcher ve Tarascon, 2015). Günümüzde kullanılan bataryaların geri

kazanımı için en yaygın kullanılan yöntem doğrudan eritmedir. Kobalt, nikel, mangan gibi değerli materyaller geri kazanılıp paslanmaz çelik (araçların gövdesinin yapıldığı malzeme) üretiminde kullanılır. Lityum ve eser miktardaki elementler de termal eritme nötralizasyonu işlemi sonucu yol temeli ve kaldırımlarda

kullanılan cüruf haline getirilmektedir. Eser elementlerin bataryalardan geri kazanımı, liçleme yöntemi ile mümkün olmakla birlikte bu süreç için ekonomik bir teşvik bulunmamaktadır (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Ömrünü tamamlamış Li-ion bataryaların geri kazanımı üzerine yapılan bir çalışmada oksit, kobalt ve lityum partiküllerinin mekanik olarak ayrılması ve lityum ile kobaltın hidrometalurjik süreç ile geri kazanılması önerilmektedir (Shin ve ark., 2005). Öte yandan, kurşun asit bataryalarda bulunan kurşunun geri kazanılarak hammadde olarak kullanımının birincil üretimden kaynaklanacak kirliliği engelleyeceği belirtilmektedir (Neto ve ark., 2016).

Bertaraf

Batarya bertarafı, atık bataryanın sahip olduğu yüksek voltaj ve yapısındaki soğutma sıvısı nedeniyle tehlike arz eden bir süreçtir (Ahmadi, 2014). Avrupa Birliği'nin atık pil ve akümülatörler üzerine direktifi, kullanım sonrası söz konusu pil ve akümülatörlerin çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesini hedeflemektedir (EC, 2006). Elektrikli araç bataryaları da bu direktif kapsamında yer almakta olup düzenli depolama alanlarına atılarak ya da yakılarak bertaraf edilmeleri yasaktır. Söz konusu atık bataryaların çevre sağlığının korunması için ulaşılabilir hedefler çerçevesinde toplanması gerekmektedir (EC, 2006). Hg ve Cd içeren bataryaların kullanımı yasaklanmış olup hâlihazırda bulunanlar için geri dönüşüm teknolojilerinin uygulanması gerekmektedir (EC, 2006). Ancak, neredeyse %99 oranında geri dönüşüm olanağı bulunan Li-ion bataryaların yaklaşık olarak %95'inin düzenli depolama sahalarına gönderildiği belirtilmektedir (Heelan ve ark., 2016). Doğrudan bertaraf yöntemi, ömrünü tamamlamış bataryalarda ikincil değeri olmayan ve geri kazanıma uygun olmayan özellikteki materyaller için tercih edilmelidir (Richa ve ark., 2014). Ülkemizde elektrikli araçlarda kullanılan

bataryalara yönelik bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra, "Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği" (ÇŞB, 2006) kapsamında elektrikli araç bataryalarına yönelik bir ifade de yer almamaktadır. "Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında Pb, Ni ve Hg içeren pillerin "kesinlikle tehlikeli atık" olarak nitelendirildiği dikkate alındığında bu kimyasalları içeren bataryaların da tehlikeli atık olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir (ÇŞB, 2005).

SONUÇ

Çevresel kaynakların korunması ve kirletici emisyonların azaltılması açısından geleceğin teknolojisi olarak görülen elektrikli araçlar, bataryaları verimli şekilde kullanılmadığı takdirde çevresel açıdan öngörülen iyileştirmeyi sağlayamayacaktır. Elektrikli araçların maliyeti ve çevreye olan etkilerine en büyük katkıyı yapan bataryalar, ham madde üretilmesine bağlı olarak su kaynakları, sucul ekosistem ve atık miktarı üzerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Yeşil teknoloji olarak adlandırılan elektrikli araçların çevresel açıdan daha sürdürülebilir olması için batarya teknolojisinin geliştirilmesi ve enerji üretim kaynaklarının çevre dostu olması gerekmektedir. Batarya teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte elektrikli araçların yaygın olarak kullanımının artması sonucunda hava kirliliği, sera gazı emisyonu ve akaryakıt/enerji gibi temel sorunlarda önemli iyileşmeler sağlanması beklenmektedir. Petrol kaynakları bakımından dışa bağımlı olan ülkemiz için çevresel etkileri de dikkate alındığında elektrikli araç kullanımı, yaygınlaştırılması gereken bir olgudur. Ancak, elektrik enerjisinin büyük kısmı konvansiyonel metotlarla elde edildiğinden, batarya teknolojileri üzerine çalışmalar yapılması ve ekonomik ve çevresel açıdan kullanım potansiyeli yüksek olan bataryaların üretilmesi zorunludur. Ülkemizde batarya teknolojisinin mevcut durumu göz önüne alınarak otomotiv

endüstrisinde kullanım potansiyeli yüksek, güvenli ve düşük maliyetli batarya teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik proje çağruları yapılmıştır. Bunun bir ileri aşaması olarak bataryaların çevresel etkisi ve kullanım ömrünü tamamlamış bataryalara yönelik atık yönetimi kapsamında çalışmaların da yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AFDC, 2015. Alternative Fuels Data Center (AFDC). Batteries for Hybrid and Plug-In Electric Vehicles. http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html. (Erişim Tarihi:11.03.2016)
- Ahmadi L, Yip A, Fowler M, Young SB, Frasera RA, 2014. Environmental Feasibility of Re-use of Electric Vehicle Batteries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 6: 64-74.
- Akbaba İ, 2011. Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi. *Deniz Harp Okulu Pusula Dergisi*, http://www.dho.edu.tr/sayfalar/00_anasayfa/11_pusula/70/elektrikli-arac-teknolojisinin-gelisimi.html. (Erişim Tarihi: 30.01.2016)
- Algül İH, 2015. Elektrikli Araç Akü Sistemleri. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrikli-arac-aku-sistemleri/4398#ad-image-0>. (Erişim Tarihi: 25.01.2016)
- bd-oto, 2018. BD Otomotiv (bd-oto). Şarj istasyonları. <http://www.bdoto.com/chargeStations.aspx>. (Erişim Tarihi:03.07.2018)
- Birleştirici A, Şalcı MS, Dikkulak A, Güler F, Turhan E, 2015. Elektrikli Araç Şarj İstasyonları. http://www.emo.org.tr/ekler/e05712f50f36d7c_ek.pdf. (Erişim Tarihi: 29.06.2018)
- BS, 2016. Battery Solutions (BS). End Sites Recycling Processes. <http://www.batteryrecycling.com/Battery+Recycling+Process>. (Erişim Tarihi: 30.01.2016)
- BU, 2016. Battery University (BU). Types of Lithium-ion. http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion. (Erişim Tarihi: 12.03.2016)
- Buekers J, Holderbeke MV, Bierkens J, Panis LI, 2014. Health and Environmental Benefits Related to Electric Vehicle Introduction in EU Countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33: 26-38.
- Cready E, Lippert J, Pihl J, Weinstock I, Symons P, Jungst RG, 2003. Technical and Economic Feasibility of Applying Used EV Batteries In Stationary Applications, Final Report, SAND2002-4084, Sandia National Laboratories, New Mexico and California.
- ÇŞB, 2005. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi/Sayısı: 14.03.2005/25755.
- ÇŞB, 2006. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi/Sayısı: 31.08.2004/25569.
- ÇŞB, 2015. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). Atık Yönetimi Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi/Sayısı: 02.04.2015/29314.
- EC, 2006. European Directive (EC). 66/EC: Directive 2006/66/EC of The European Parliament and of The Council of 6 September 2006 on Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators and Repealing Directive 91/157.
- EC, 2011. European Commission (EC). Environmental Impacts of Electric Vehicle Batteries Weighed Up. http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/257na2_en.pdf. (Erişim Tarihi:10.02.2016)
- Elker C, 2011. Ulaşım Politikalarının Çevreye Etkisi/The Impact of Transportation Policies on the Environment. acikarsiv.atilim.edu.tr/browse/514/25.pdf. (Erişim Tarihi: 29.06.2018)
- Faria R, Marquesb P, Garciab R, Mouraa P, Freireb F, Delgadoa J, de Almeidaa AT, 2014. Primary and Secondary Use of Electric Mobility Batteries From a Life Cycle Perspective. *Journal of Power Sources*, 262: 169-177.

- Gaines L, Singh M, 1995. Energy and Environmental Impacts of Electric Vehicle Battery Production and Recycling. SAE Technical Paper 951865:1-12.
- Girardi P, Gargiulo A, Brambilla PC, 2015. A Comparative LCA of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle Using The Appropriate Power Mix: The Italian Case Study. The International Journal of Life Cycle Assessment, 20 (8): 1127-1142.
- Green M, 2013. End of Life Electric Vehicle Batteries—A Waste Industry Perspective of the Issues. http://lowcarbonvehicles.s3.amazonaws.com/1_Legislation_Overview_Michael_Green.pdf. (Erişim Tarihi: 02.03.2016)
- Hacker F, Harthan R, Matthes F, Zimmer W, 2009. Environmental Impacts and Impact On The Electricity Market of a Large Scale Introduction of Electric Cars in Europe—Critical Review of Literature. ETC/ACC Technical Paper: 56-90.
- Heelan J, Gratz E, Zheng Z, Wang Q, Chen M, Apelian D, Wang Y, 2016. Current and Prospective Li-Ion Battery Recycling and Recovery Processes. The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, 68 (10): 2632-2638.
- Hendrickson TP, Kavvada O, Shah N, Sathre R, Scown CD, 2015. Life-cycle Implications and Supply Chain Logistics of Electric Vehicle Battery Recycling in California. Environmental Research Letters, 10 (1): 014011.
- Kerem A, 2014. Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (1): 1-13.
- Keskin A, Sağıroğlu S, 2010. Dizel Motorlarından Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri. Mühendis ve Makina, 51 (606): 2-9.
- Larcher D, Tarascon JM, 2015. Towards Greener and More Sustainable Batteries for Electrical Energy Storage. Nature Chemistry, 7 (1): 19-29.
- Lopez BN, Li J, Wilson B, 2015. A Study of the Geographical Shifts in Global Lead Production - A Possible Corresponding Shift in Potential Threats to the Environment. Journal of Cleaner Production, 107: 237-251.
- Manzetti S, Mariasiu F, 2015. Electric Vehicle Battery Technologies: From Present State to Future Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51: 1004-1012.
- McIntire-Strasburg J, 2015. The Electric Vehicle Battery “Can and Should be Recycled”. <http://cleantechnica.com/2015/07/23/electric-vehicle-battery-can-recycled/>. (Erişim Tarihi: 13.03.2016)
- MEB, 2011. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB). Motorlu Araçlar Teknolojisi, Egzoz Emisyon Kontrolü. http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/50113/27547/egzoz_emisyon_kontrol%C3%BC.pdf. (Erişim Tarihi: 21.03.2016)
- Messaggio M, Boureima FS, Coosemans T, Macharis C, Mierlo JM, 2014. A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels. Energies, 7 (3): 1467-1482.
- Narula CK, Martinez R, Onar O, Starke MR, Andrews G, 2011. Economic Analysis of Deploying Used Batteries In Power Systems, Final Report, ORNL/TM-2011/151, Oak Ridge National Laboratory, Springfield, Virginia.
- Neto JC, Silva MM, Santos SM, 2016. A Time Series Model for Estimating the Generation of Lead Acid Battery Scrap. Clean Technologies and Environmental Policy, 18 (6): 1931-1943.
- Neubauer J, Pesaran A, 2011. The Ability of Battery Second Use Strategies to Impact Plug-In Electric Vehicle Prices and Serve Utility Energy Storage Applications. Journal of Power Sources, 196 (23): 10351-10358.
- Olapiriyakul S, Caudill RJ, 2008. A Framework for Risk Management and End-of-life (EOL) Analysis for Nanotechnology Products: A Case Study in Lithium-ion Batteries. Electronics and the Environment," IEEE International Symposium, May 19-22 2008, San Francisco.

- Philschatz, 2016. Batteries and Fuel Cells. <http://philschatz.com/chemistry-book/contents/m51152.html>. (Erişim Tarihi:10.04.2016)
- Ramoni MO, Zhang HC, 2013. End-of-life (EOL) Issues and Options for Electric Vehicle Batteries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15 (6): 881-891.
- Richa K, Babbitt CW, Gaustad G, Wang X, 2014. A Future Perspective on Lithium-ion Battery Waste Flows From Electric Vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 83: 63-76.
- Samaras C, Meisterling K, 2008. Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions From Plug-in Hybrid Vehicles: Implications For Policy. *Environmental Science&Technology*, 42 (9): 3170-3176.
- Shahi SK, Wang GG, 2010. Plug-In Hybrid Electric Vehicle Battery Selection for Optimum Economic and Environmental Benefits Using Pareto Set Points and PSAT. ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, August 15–18, 2010, Montreal, Quebec, Canada.
- Shin SM, Kim NH, Sohn JS, Yang DH, Kim YH, 2005. Development of a Metal Recovery Process from Li-ion Battery Wastes. *Hydrometallurgy*, 79: 172-181.
- Sullivan J, Gaines L, 2010. A Review of Battery Life-cycle Analysis: State of Knowledge and Critical Needs, Technical Report, ANL/ESD/10-7, TRN:US201101%%664, Argonne National Laboratory, United States.
- TAP, 2015. Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği (TAP). Pil Hakkında/Pil Nedir?. http://www.tap.org.tr/pil_nedir_-88.html. (Erişim Tarihi:10.02.2016)
- TAP, 2018. Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği (TAP). Atık Pillerin Bertaraf ve Geri Dönüşümü. <http://www.tap.org.tr/pil-atik-pil/sss/atik-pillerin-bertaraf-ve-geri-donusumu/>. (Erişim Tarihi:05.07.2018)
- TEHAD, 2017. Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu (TEHAD). Türkiye’de Kurulu Elektrikli Araç Şarj İstasyonları. <http://tehad.org/2017/01/16/turkiyede-kurulu-elektrikli-arac-sarj-istasyonlari/>. (Erişim Tarihi: 07.05.2019)
- TEHAD, 2018. Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu (TEHAD). 2017 Yılı Toplam Elektrikli ve Hibrid Araç Satışları. <http://tehad.org/2018/01/08/2017-yili-toplam-elektrikli-ve-hibrid-arac-satislari/>. (Erişim Tarihi: 03.07.2018)
- Tie SF, Tan CW, 2013. A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20: 82-102.
- TÜİK, 2018. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Ulaştırma İstatistikleri, Motorlu Kara Taşıt Sayısı. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=89&locale=tr>. (Erişim Tarihi: 02.07.2018)
- UDHB, 2011. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB), Strateji Geliştirme Başkanlığı. Ulaşımında Enerji Verimliliği. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/76115b4c60c5029_ek.pdf. (Erişim Tarihi:11.03.2016)
- ULTRALIFE, 2016. Li-ion vs. Lead Acid. <http://www.beck-elektronik.de/uploads/media/lithium-ion-vs-lead-acid.pdf>. (Erişim Tarihi:12.03.2016)
- Vivanco DF, Freire-Gonzalez J, Kemp R, van der Voet E, 2014. The Remarkable Environmental Rebound Effect of Electric Cars: A Microeconomic Approach. *Environmental Science&Technology*, 48 (20): 12063-12072.
- WMW, 2011. Waste Management World (WMW). The Lithium Battery Recycling Challenge. <https://waste-management-world.com/a/1-the-lithium-battery-recycling-challenge>. (Erişim Tarihi:14.03.2016)
- Xing Y, Ma EWM, Tsui KL, Pecht M, 2011. Battery Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles. *Energies*, 4: 1840-1857.