



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :04.06.2022
Kabul Tarihi :05.07.2022

Received Date : 04.06.2022
Accepted Date : 05.07.2022

BÖLGESEL OLARAK TOPLANAN ATIK Lİ-İYON PİLLERİNİN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE İÇERİK VE MALİYET ANALİZLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINING THE CONTENT AND COST ANALYSIS OF RECYCLING REGIONALLY COLLECTED WASTE LI-ION BATTERIES

Hasan AKSU¹ (ORCID: 0000-0002-0343-3827)
Cengiz Ayhan ZIBA^{1*} (ORCID: 0000-0002-5021-4459)
Mehmet Hakan MORCALI² (ORCID: 0000-0003-2372-6819)

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye
²Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksek Okulu, Gaziantep, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Cengiz Ayhan ZIBA, caziba@gmail.com

ÖZET

Modern hayatın vazgeçilmezi olan piller iletişim çağında çok daha fazla önem kazanmaktadır. Dolayısıyla kısa sürede çok fazla enerji depolama özelliğine sahip pillere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacımız ise Li-iyon piller ile karşılanmaktadır. Elbette hızlı bir tüketim toplumunun oluşması ile artan pil kullanımı çevre ve insan sağlığı için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Kullanım ömrünü doldurmuş pillerin çevreye geliş güzel bırakılması ciddi metal kirliliklerine sebep olmakla birlikte içeriğindeki ekonomik değeri olan malzemelerden dolayı da ekonomik kayıplar oluşmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul ili Ümraniye ilçesi Namık Kemal mahallesi sınırları içerisinde 12 atık pil toplama noktası belirlenmiş ve üç aylık süre içerisinde bu noktalarda toplanan kullanım ömrünü doldurmuş piller' sınıflandırılmış ve bileşenleri incelenmiştir. Bu süre içerisinde toplanan 110 adet Li-iyon pillinin ortalama kompozisyonu %20 Cu (Bakır), %8 Al (Alüminyum), %10 plastik, %55 pil pastası (LiCoO₂) ve %7 diğerleri olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen metal ve plastik parçaların geri dönüşümde kullanılabilirliği görülmüş olup pil pastasının ise tekrardan kullanılabilirliği için bir takım spektroskopik analizler yapılmıştır. XRD, XRF ve SEM-EDX analizlerinden görüldüğü pil pastasındaki bileşiklerin morfolojik yapı bozulmaktadır. Pil pastasının tekrardan kullanılabilirliğini sağlanması için çok basamaklı kimyasal süreçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Toplanan Li-iyon piller için ekonomik değer çalışması yapılmış ve atık bitmiş pillerin toplanarak ekonomiye kazandırılmasının önemi belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık piller; Li-iyon piller; pil içeriği; pillerin sınıflandırılması

ABSTRACT

Our need for portable energy is increased day by day. Batteries, which are indispensable for modern life, gain more importance in the communication time. Therefore, batteries with the ability to storage a lot of energy in a short time are need. This need is met by Lithium-ion batteries. Of course, the increasing use of batteries with the formation of a fast consumer society poses a potential danger to the environment and human health. Indiscriminate release end of life batteriesto the environment causes serious metal pollution, but there are also serious economic losses due to the materials that have economic value. In this study, 12 waste battery collection points were determined within the boundaries of Namık Kemal neighborhood of Umraniye district in Istanbul, and the "end-of-life batteries" collected at these points within a three-month period were classified and their components were examined. The average composition of 110 Li-ion batteries collected during this period was determined as 20% Cu (Copper), 8% Al (Aluminum), 10% plastic, 55% battery paste (LiCoO₂) and 7% others. The reusability of the metal and plastic parts obtained in the study was observed, and some spectroscopic analyzes were carried out for the reusability of the battery paste. Multi-step chemical processes are needed to ensure the reusability of the battery paste. An economic

ToCite: AKSU H., ZIBA C.A., MORCALI M.H.: (2022). BÖLGESEL OLARAK TOPLANAN ATIK Lİ-İYON PİLLERİNİN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE İÇERİK VE MALİYET ANALİZLERİNİN BELİRLENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 408-417.

value study was carried out for the collected Li-ion batteries and the importance of collecting the waste batteries and bringing them into the economy was emphasized.

Keywords: Waste batteries, Li-ion batteries, battery content, classification of batteries

GİRİŞ

Bünyesinde bulunan kimyasal maddelerin arasındaki elektrokimyasal reaksiyonu elektrik enerjisine dönüştüren cihazlara pil denir. Piller dönüşümlü ve dönüşümsüz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu dönüşüm tek yönlü ise birincil veya tek kullanımlık pil denilmektedir. Dönüşümlü piller ise şarj edilebilir pil olarak tanımlanmaktadır. Bu piller üzerindeki yükü boşalttıktan sonra tekrar birçok kez yeniden şarj edilebilen pillerdir. Şarj edilebilir pillerin gelişimi ve enerjinin sürdürülebilir şekilde taşınması günümüzde birçok teknolojik cihazın geliştirilmesine yol açmıştır (Sait, 2010; Dell & Rand, 2001). Elbette teknolojik gelişmeler sonucu hızlı tüketimin artışı ve bu artış sonucu bitmiş/tükenmiş pillerin çevreye gelişi güzel bırakılmaları ciddi sorunları beraberinde getirmektedir. Yeryüzü kaynaklarının hızla tüketilmesi bilim insanlarını yeni kaynak arayışına sokmasıyla birlikte geri dönüştürülebilir malzemelerin önemini her geçen gün artırmaktadır. Ekonomik boyutu azımsanmayacak kadar fazla olan bitmiş pillerin ekonomiye geri kazandırılması günümüzdeki en popüler konu başlıkları arasındadır. İleriye dönük olarak elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla şarj edilebilen pillerin kullanımı artacak ve kullanım ömrü tamamlandığında büyük miktarlarda maden içeren bu atıkların geri dönüştürülme ihtiyacı doğacaktır. Bununla yeni bir kavram olan şehir madenciliği oluşacak ve ivmeli bir şekilde yeni iş kollarının doğmasına sebep olmuştur (Kanat vd., 1997). Bu atıklar birçok farklı disiplinin bir arada çalışmasına imkân sağlamaktadır. Günümüzde dahi atıkların ayrı bir şekilde değerlendirilmesi, taşınması, depolanması, izlenmesi ve bertaraf edilmesi gerektiği kanun ve yönetmeliklerle belirlenmiş ve bu konuda yaptırımlar uygulanmaktadır (Beyzanur, 2020; Bernardes vd., 2004; Erdin, 2004; Resmi Gazete, 2004)

Başlıca taşınabilir güç kaynağı türü olarak şarj edilebilir Li-iyon piller, elektronik cihazlar, cep telefonları ve elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu pillerin performansı, fiyatı ve güvenliği esas olarak katot malzemelerinin özelliklerine bağlı olduğundan, yüksek kapasiteli, ucuz ve güvenli katot malzemelerinin araştırılmasına ve geliştirilmesine büyük önem verilmektedir (Dell & Rand, 2001). Lityum piller konusunda ilk gelişimin sağlandığı lityum polimer pil, ilk nesil cep telefonlarında, dizüstü bilgisayarlarda kullanılmıştır. Bu polimer piller yeni nesil lityum-iyon pil ile benzer bir teknolojiye sahipti. Fakat polimer piller yapı olarak jel elektrot malzemesine sahip oldukları için hafif ve esnekler. Hafif olmaları sebebiyle genellikle dizüstü bilgisayarların pillerinde ve yüksek kapasiteli güç depolarında kullanılmıştır (Özcan, 2021). Ancak polimer piller yoğun sıcaklıklarda veya doğrudan güneş ışığı altında patlayabilmektedir. Ayrıca bu piller -10°C ila 45°C aralığındaki çevre koşullarının dışında tahrip olmaktadır. LiCoO_2 'nin yüksek fiyatı ise araştırmacıları son yıllarda alternatif malzemeler aramaya yöneltmiştir. LiMn_2O_4 ve LiMnO_2 dâhil olmak üzere mangan bazlı katotlar, fiyat ve güvenlik özellikleri genel olarak kobalt veya nikel oksitlerden daha üstün görüldüğü için çok fazla tercih edilmektedir (Güven, 2000; Lee & Rhee, 2003; Erdin, 2004).

Pillerin toplanması, depolanması ve türlerine göre ayrıştırılması işleri ülkemizde uzun yıllardır TAP (Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği) tarafından gerçekleştirilmektedir. Fakat son yıllarda akıllı cep telefonlarının hızla yaygınlaşmasına ek olarak birçok elektronik cihazlarda bulunan Li-iyon pillerin ortam koşullarında patlama ve yanıcı olma risklerinden dolayı çevreye gelişi güzel bırakılmakta veya azda olsa bir takım özel toplayıcılar tarafından toplanarak yurtdışına satılmaktadır (Kartal vd., 2004; Kanar & Elmaslar, 1997). Bu sebeple bu alanda bilimsel bir yaklaşım sergilenmesine ihtiyaç hasıl olmaktadır.

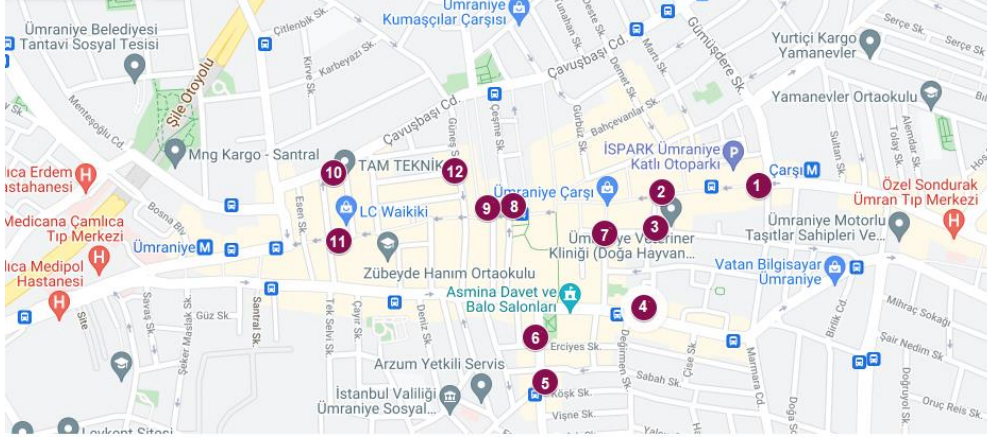
Bu çalışmada, İstanbul ili Ümraniye ilçesi Namık Kemal mahallesinde bulunan atık pil toplama noktalarında toplanan atık pillerin sınıflandırılması ve ekonomik potansiyellerinin belirlenmesi konusunda bilimsel veri oluşturulması için bir takım çalışmalar yapılmıştır.

2020 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre İstanbul ili Ümraniye ilçesinin nüfusu 713.803'dir. Nüfusun %50,16'sı (358.075) erkek ve %49,84'ni kadın (355.728) oluşmaktadır. Bu nüfus her geçen gün artmaktadır. İstanbul'un toplam nüfusunun yaklaşık %20'si bu ilçede yaşamaktadır. Yoğun bir nüfusa sahip olan İstanbul ili Ümraniye ilçesinde elektronik ürünlere olan talep dolaylı olarak bitmiş/tükenmiş/kullanılmış pil sayısı ile doğru orantılı artmaktadır. Bu bağlamda belirlenen 12 tane alan atık pil toplama noktası olarak seçilmiştir. Bu mahalle ve kamu kuruluşunda bulunan atık pil toplama kutularından alınan piller toplanarak türlerine göre

sınıflandırılmıştır ve gelecekte ülkemizde kurulu olan ve/veya yeni kurulabilecek atık pil işleme tesisi için bir akım önemli veri çıktıları sunulmuştur.

MATERYAL VE METOD

Bilimsel verilerin oluşturulduğu bu çalışmada, İstanbul ili Ümraniye ilçesi Namık Kemal mahallesinde bulunan 12 adet atık pil toplama noktası belirlenmiş ve bu noktalar harita üzerinde işaretlenerek Şekil 1’de verilmiştir, atık pil toplama kutularında toplanan piller takip edilmiştir. Araştırma yapılan bölgelerde bulunan atık pil toplama kutularındaki piller 3 aylık bir dönem sonunda pillerin adetlerinin ve türlerinin belirlenmesi için alınmıştır.



Şekil 1. İstanbul İli Ümraniye İlçesi Namık Kemal Mahallesinde Atık Pil Toplama Kutularının Konumları

Toplama noktalarından alınan Li-iyon pillere ait görsel Şekil 2’de verilmiştir. Toplama işleminden elde edilen pillere ait veriler Tablo 1, 2 ve 3’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2. Toplanan Li-İyon Pillere Ait Görseller

Tablo 1’den görüleceği üzere en çok toplanan marka sıralamasında Apple olmuştur. Daha sonra Samsung markalı pil tespit edilmiştir.

Tablo 1. Toplanan Pillerin Markalarına Göre Sınıflandırılması (Miktar)

Marka	Adet	Marka	Adet	Marka	Adet
ACL	1	Original	5	Iglaze	1
Apple	60	Paleon	1	i8190	1
BL-4U	2	Powerstar	1	Mopal	1

BNT	1	Oppa	2	Sunix	3
Bower	1	Samsung	16	Syrox	1
Deluxe	1	Soffany	2	Top Akku	1
Efcell	1	Sony	2	Trident	1
HTC	2	Nokia	2		

Toplanan piller markalarına göre sınıflandırıldıktan sonra piller voltaj değerlerine göre sıralama yapılmıştır. Tablo 2'den görüleceği üzere en yüksek voltaj değeri 3,8 V olarak tespit edilmiştir. İkinci en yüksek voltaj değeri 3,7 V değerinde elde edilmiştir.

Tablo 2. Pillerin Voltaj Değerlerine Göre Sınıflandırılması

Pillerin Voltaj değerleri	Adet
3,6 V	2
3,7 V	37
3,8 V	45
3,82 V	17
3,85 V	6
4,35 V	1
4,4 V	2

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Pillerin marka ve voltaj değerlerine göre sınıflandırılması yapıldıktan sonra halk arasında en çok tercih edilen Li-iyon pil markalarının içerikleri belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak iletken bir sıvı içerisinde deşarj edilen piller el yordamıyla parçalanmıştır. Pillerin içerisinden çıkarılan malzemeler kategorize edilerek ağırlıkları kaydedilmiş ve Tablo 3 oluşturulmuştur. Toplanan piller arasında en bilindik markalar için ortalama bakır içeriği %20 civarındadır ve tüm marka atık pillerde bakır içeriği benzerdir. Sadece Samsung marka pilde bakır içeriği %29 olarak tespit edilmiştir. Li-iyon piller içerisinde alüminyum içeriği değişkenlik göstermektedir. Örneğin; Sony marka Li-iyon pil içerisinde %8 Al mevcut iken Samsung marka pilde %16 Al mevcuttur. Halk arasında en çok tercih edilen markalardan olan Apple ve Samsung Li-iyon pillerin bakır içeriği gibi alüminyum içerikleri de benzerdir. Bu markalara ait pillerin benzer teknolojiye sahip olduğunu göstermektedir. Plastik içerikleri incelendiğinde ortalama olarak %8-10 civarında olduğu anlaşılmaktadır. Li-iyon pillerin en önemli hammaddesi olan pil pastası içeriği ise markalarda farklılık göstermektedir. Genelde pillerin sahip oldukları voltaj değerleri pil pastasının miktarı ile doğru orantılı olmaktadır.

Tablo 3. Pil Markalarının Ortalama İçerikleri*, (Ağırlıkça ve Yüzdece)

Marka	Bakır		Alüminyum		Plastik ve diğerleri		Pil Pastası	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
Sony	11	22	4	8	3	6	31	63
Apple	6	24	4	16	2	8	13	52
HTC	7	18	4	10	2	5	27	68
Original	6	21	4	14	2	7	17	59
Samsung	9	29	5	16	3	10	14	45
Nokia	3	20	1	7	2	13	9	60
Syrox	7	18	4	10	5	13	24	60

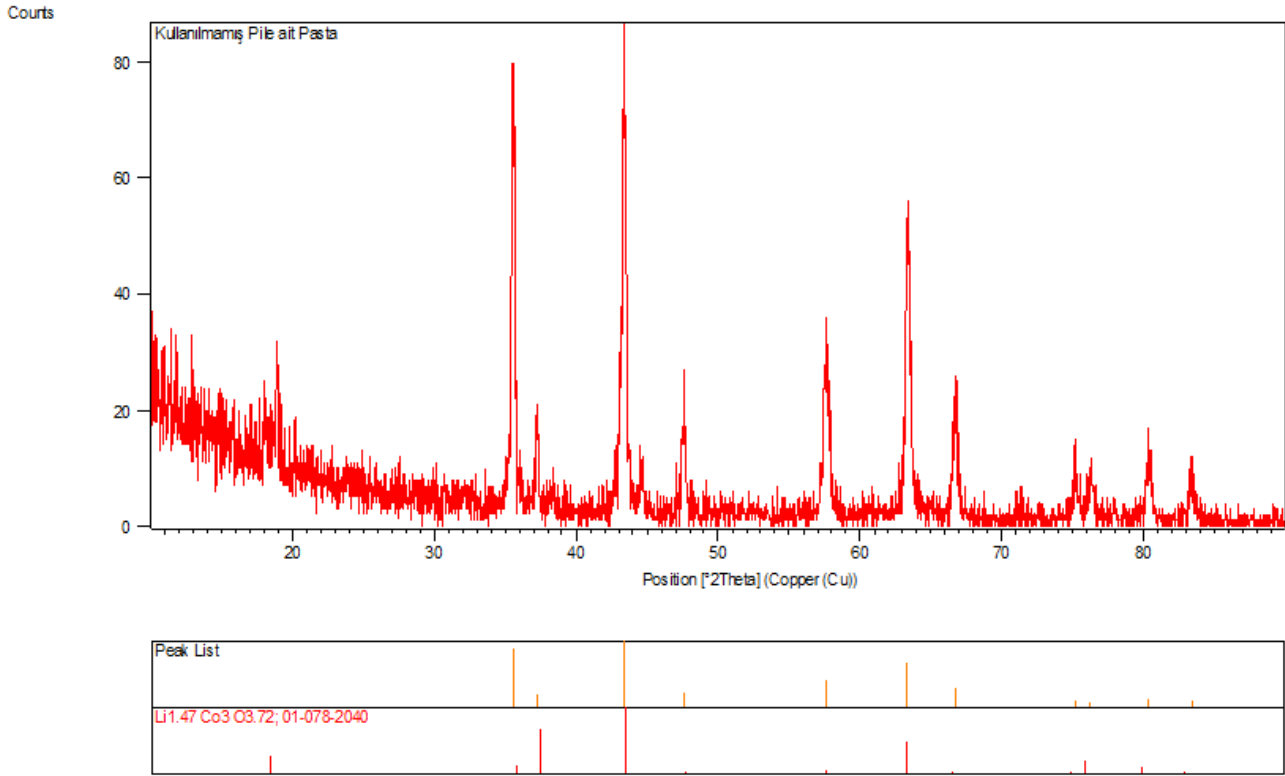
*Not: Miktarlar kuru bazda belirlenmiştir.

Pil pastası içeriği en fazla HTC marka Li-iyon pilde %68 tespit edilmiştir. En düşük pil pastası içeriği ise Samsung markasında %45 belirlenmiştir. Bu miktarın düşük çıkmasındaki etkenlerden birisi Samsung markasına ait basit teknolojiye sahip ürünlerin çok fazla voltaj değerlerine ihtiyaç duymamasıdır. Oysaki HTC ve Sony gibi markalara ait akıllı cep telefonlarının sahip oldukları yüksek teknolojik özellikler yüksek voltaj değerine sahip Li-iyon piller ile sağlanabilmektedir. Özellikle cep telefonlarında kullanılan ekran kalitesi pil tüketimini önemli ölçüde

etkilemektedir. Bahsi geçen bu nedenlerden dolayı Li-iyon pillerin içeriğindeki pil pastası yüzdeleri ciddi değişkenlik gösterebilmektedir.

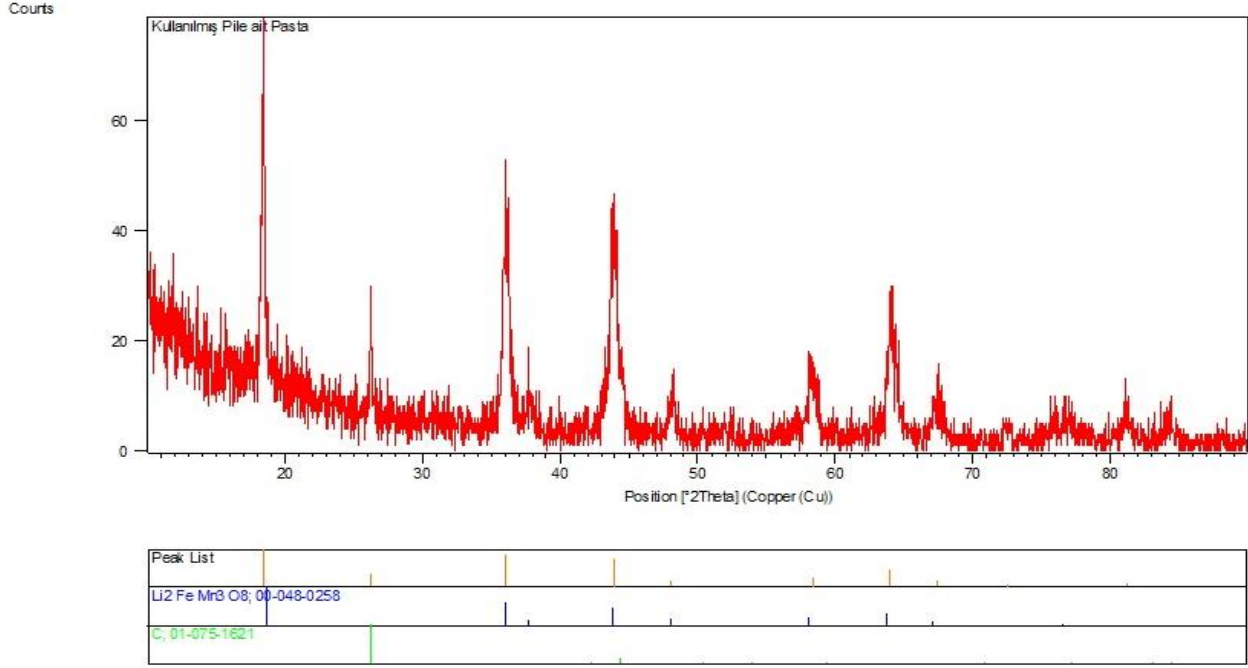
Kullanılmış pil pastasının yapısını tespit etmek amacıyla X-ışınları kırınımı (XRD), X-ışınları floresansı (XRF) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile enerji dağılım difraksiyonu (EDX) kullanılmıştır. Kullanılmış pil pastasındaki yapı değişikliğini anlayabilmek amacıyla kullanılmamış pil pastasına da aynı analizler uygulanmıştır.

XRD analiz sonuçlarından görüleceği üzere, kullanılmamış pil içerisinde bulunan pil pastasının genel yapısını LiCoO_2 bileşiğine benzer 01-078-2040 katalog numaralı spinel yapı $\text{Li}_{1.47}\text{Co}_3\text{O}_{3.72}$ bileşiğinin oluştuğu anlaşılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Kullanılmamış Pile Ait Pil Pastasının XRD Analizi

Kullanılmış pil pastasına ait XRD analiz sonucuna göre pil pastasının içerisinde yine $\text{LiM}_1\text{M}_2\text{xO}_y$ esaslı bileşik bulunmakta ($\text{Li}_2\text{FeMn}_3\text{O}_8$) ve bir miktarda anot malzemesinden kaynaklı olarak karbon bulunmaktadır (Şekil 4).



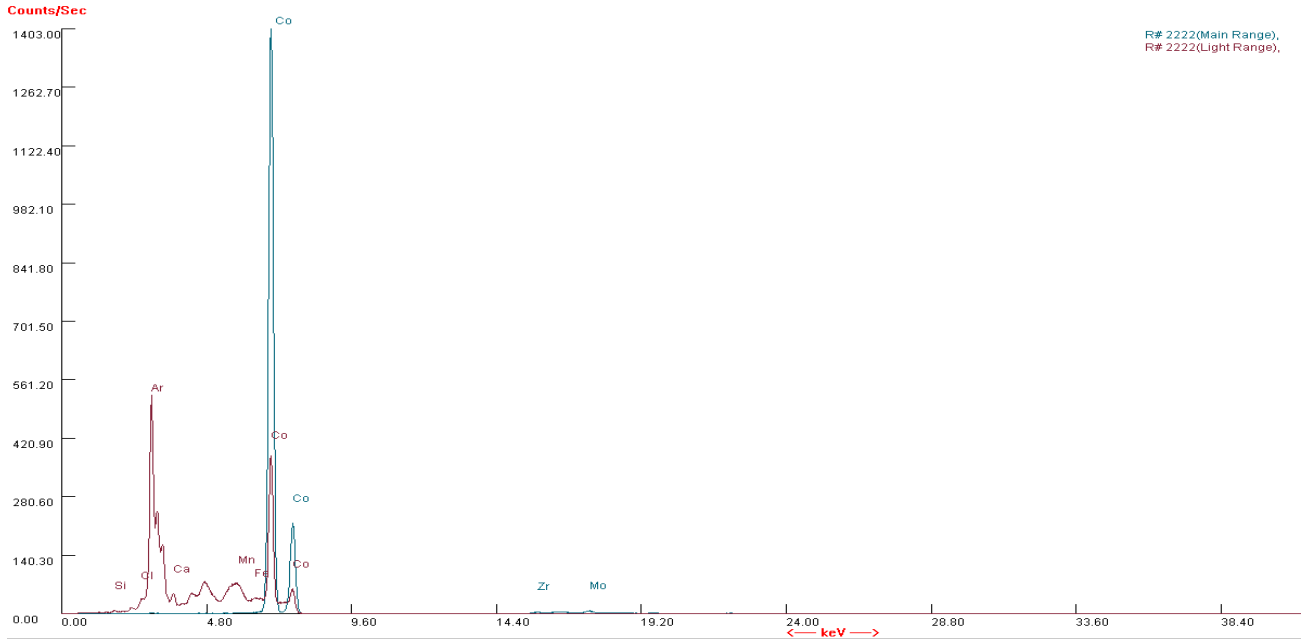
Şekil 4. Kullanılmış Pile Ait Pil Pastasının XRD Analizi

Aynı pil pastalarına X-ışınları floresansı analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

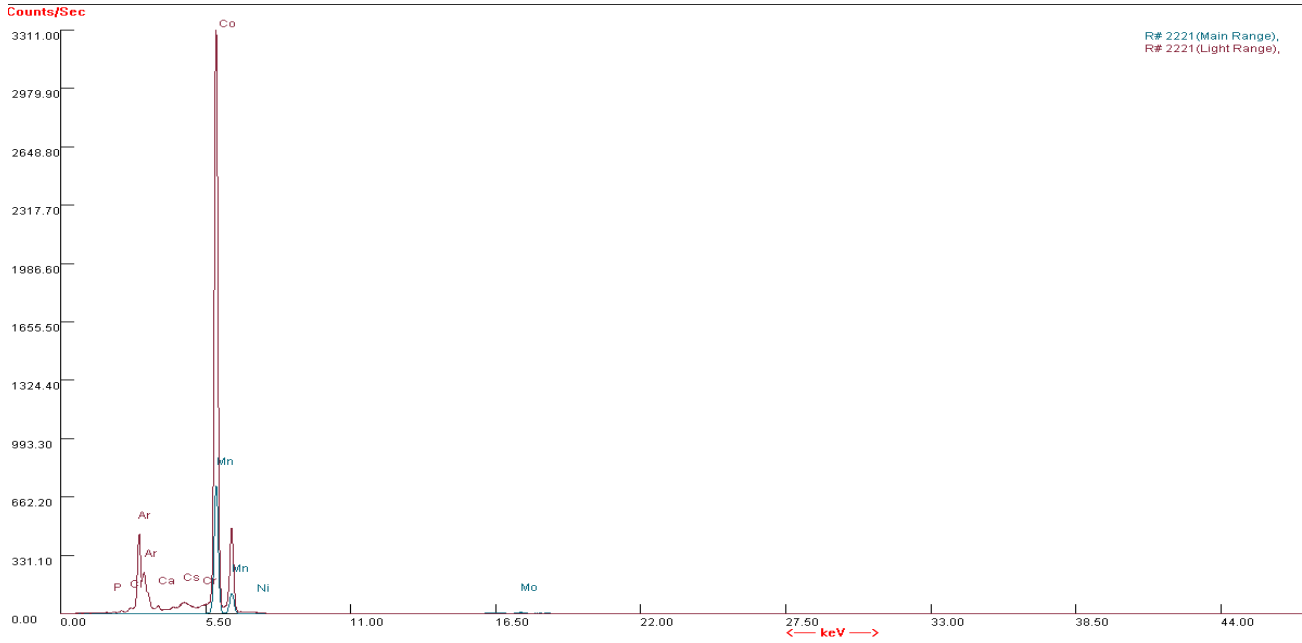
Tablo 4. Pil Pastalarına Ait XRF Analiz Sonuçları

Bileşik	Kullanılmamış	Kullanılmış
	Pil Pastası Konsantrasyon, %	Pil Pastası Konsantrasyon, %
CoO	64,2	24,1
MnO	1,1	35,7
Fe ₂ O ₃	5,1	7,1
Al ₂ O ₃	1,9	2,1
SiO ₂	0,6	0,7
SO ₃	0,5	1,1
Na ₂ O	2,3	2,6
Cl	1,1	2,1
NiO	0,4	0,6

XRF analizinden elde edilen sonuçlar XRD verileri ile benzerlikleri örtüşmemektedir. Çünkü pil pastası içerisinde bulunan lityum iyonları XRF cihazı ile tespit edilememiştir. XRF cihazı atom numarası 11’den büyük olan elementleri tespit edebilmektedir. Lityum iyonlarının tespit edilememesi sonuçlarının güvenilirliğini etkilemektedir. Yapı içerisinde MnO, Fe₂O₃, ve Al₂O₃ gibi bileşiklerin varlığının göstermesi yapı içerisindeki olası bileşiklerin pikleri ile çakışma olduğu yorumu yapılabilecektir (Şekil 5-6).

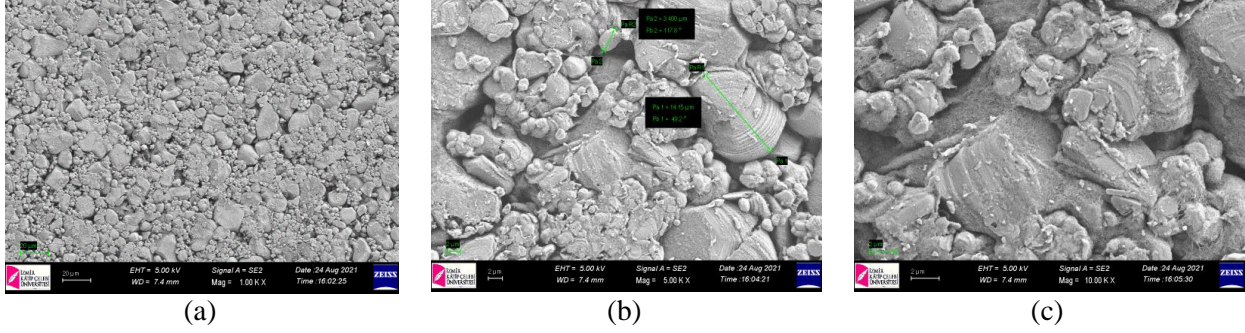


Şekil 5. Kullanılmamış Pil Pastasına Ait XRF Sonuçları



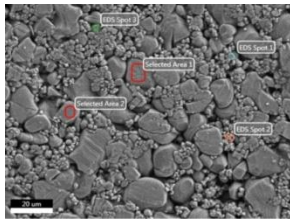
Şekil 6. Kullanılmış Pil Pastasına Ait XRF Sonuçları

Kullanılmamış pil içerisinden çıkarılan pil pastasına ait SEM görüntülerinde pil pastası içerisindeki Lityum kobalt oksit içerikli katot malzemesinin bütünlük arz ettiği ve pilin şarj/deşarj işlemine henüz maruz kalmamasından ötürü pil pastasının deformasyona uğramadığı anlaşılmaktadır (Şekil 7).

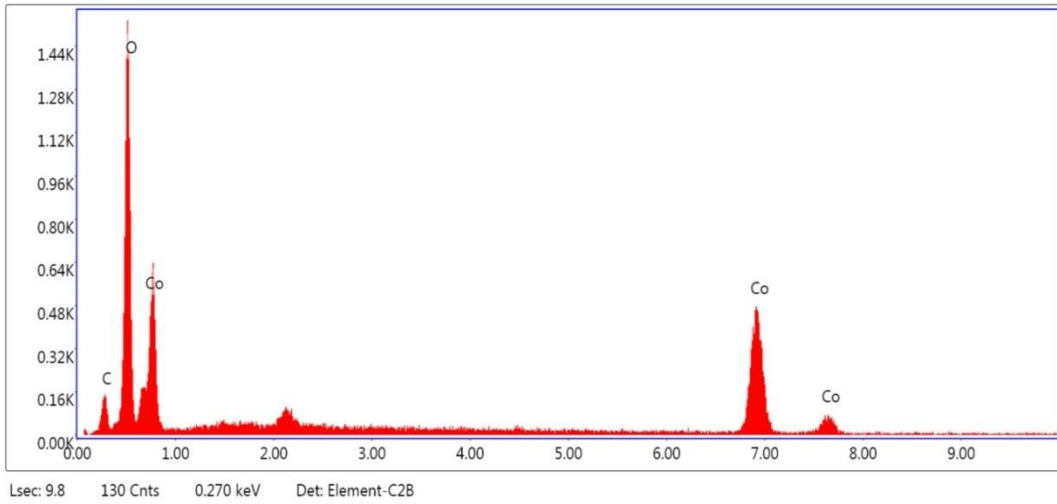


Şekil 7. Kullanılmamış Pile Ait Pil Pastasının SEM Analizi (A) 1KX, (B) 5KX, (C)10 KX

EDX analizinden görüleceği üzere kullanılmamış pil pastası içerisindeki yapının genel olarak kobalt esaslı olduğu anlaşılmaktadır. XRF analizinde olduğu gibi EDX analizinde lityum elementi tespit edilememiştir. EDX cihazı atom numarası 11'den büyük elementleri tespit edebilmektedir. EDX analizinde elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilen XRD analiz sonuçları benzerlik arz etmektedir.

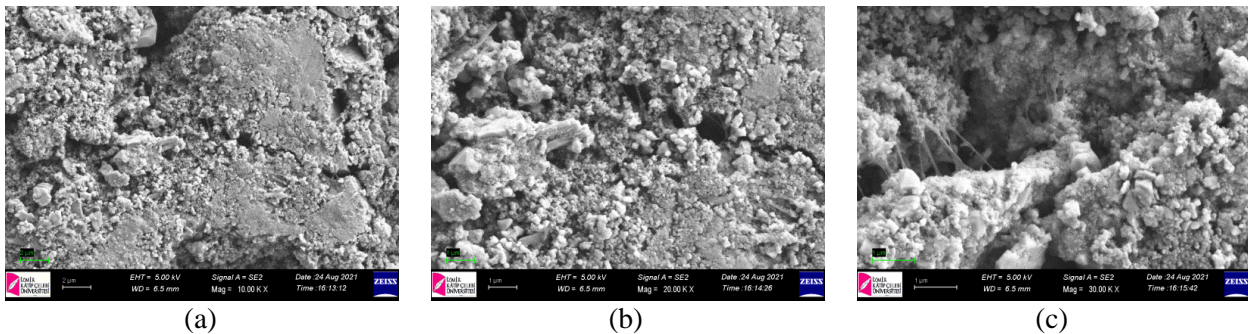


Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
C K	3,26	9,34	46,41	20,26
O K	21,86	46,97	973,24	6,97
CoK	74,88	43,69	695,17	4,18



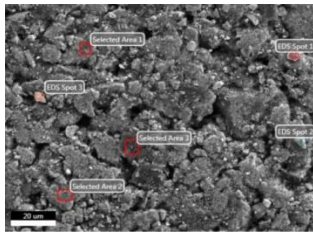
Şekil 8. Kullanılmamış Pile Ait Pil Pastasının EDX Analizi

Kullanılmış pil pastasına ait SEM analiz sonuçları Şekil 9'de verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere katot pil pastasının defalarca şarj/deşarj işlemine maruz kalması sonucunda pastanın özelliğini kaybettiği anlaşılmaktadır.

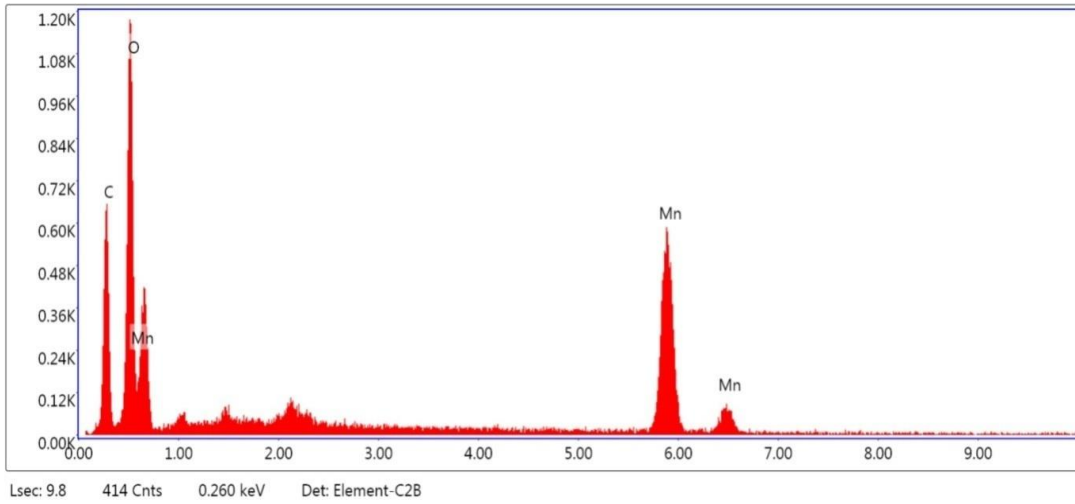


Şekil 9. Kullanılmamış Pile Ait Pil Pastasının SEM Analizi(A) 1KX, (B) 5KX, (C)10 KX

Şekil 7’de verilen pil pastasına ait SEM görüntülerinde bütüncül yapılar gözlenmekte iken Şekil 9’da verilen pil pastasına ait görüntülerde malzemenin bütüncül özelliğini kaybettiği ve bu kaybolan özelliği sonucunda malzemenin küçük boyutlu yapılara parçalandığı anlaşılmaktadır.



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
C K	19,09	40,27	370,86	9,75
O K	19,96	31,62	699,93	8,36
MnK	60,95	28,11	807,16	3,89



Şekil 10. Kullanılmış Pile Ait Pil Pastasının EDX Analizi

Şekil 10’da verilen EDX analiz sonucuna göre kullanılmış pil pastası içerisindeki yapının mangan esaslı lityum bileşiği olduğu anlaşılmaktadır. EDX analizinde lityum elementi tespit edilememiştir. Yapının içerisinde karbon elementi tespit edilmiştir. Bunun pil pastasına pil içerisindeki anottan bir miktar karışma olduğunu göstermektedir. Elde edilen veriler kullanılmış pil pastasına ait olan XRD analiz sonuçları benzerlik arz etmektedir.

Pil pastalarına uygulanan kimyasal analiz sonuçlarına göre pillerin içerisinde kullanılan katot malzemesinin lityum esaslı metal oksit bileşiklerinden oluştuğu kanıtlanmıştır. Bu metal oksit bileşiklerinin pil içerisinde kullanımı üreticinin tercihinine göre şekil almaktadır. Bu sebeple aynı markalara sahip pillerde bile pilin üretim yerinin farkına göre kullanılan pil pastası kompozisyonu değişiklik göstermektedir. Bu sebeple pil pastasının tekrardan kullanılabilirliğinin sağlanması için bir takım kimyasal prosesler uygulayarak bileşikler çözeltiye alınması gerekmektedir. Ayrıca çözümlendirme sürecinin tamamlanmasından sonra çöktürme ve saflaştırma basamakları çok önem arz etmektedir.

Toplanan 110 pil için ekonomik değer fizibilitesi yapılmıştır. Buna göre 110 pilin toplam ağırlığı 3196 g’dır. Kullanılmış Li-iyon bir pillerin ortalama ağırlığı yak. 30 g gelmektedir. Kullanılmış bir adet Li-iyon pilinde ortalama 6 g bakır, 2,5 g alüminyum, 3 g plastik, 16,5 g pil pastası ve 2 g da diğer atıklardan oluşmaktadır. Londra Metal Borsası (LME) göre 2021 yılsonu fiyatları 1 kg Bakır satış fiyatı \$9,90 , Alüminyum satış fiyatı \$2,98 , Plastik satış fiyatı \$0,42, Pil pastası satış fiyatı \$3,50 olarak alınmıştır (LME, 2020). Buradan çıkarılan sonuç ile hesaplanan 100 adet kullanılmış Li-iyon pilden (ort. 3000 g) geri dönüştürülmüş malzemeler için elde edilen ticari değer; 600 g Bakır elde edilmiş olup toplam \$5,94, 250 g Alüminyum elde edilmiş olup toplam \$0,75, 300 g Plastik elde edilmiş olup toplam \$0,13 , 1650 g Pil pastası elde edilmiş olup toplam \$5,78 ve 200 g diğer atıklar elde edilmektedir. Toplam 100 adet Li-iyon atık pil geri dönüşüm hesabında ekonomik kazanım ort. \$12,60 hesaplanmıştır.

SONUÇ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle elektronik cihazlar büyük bir hızla artmış ve çok geniş bir kitleye yayılmıştır. Bu elektronik cihazların en önemli parçalarından birisi olan taşınabilir piller (özellikle Li-iyon piller) çevre için tehlikeli boyutlarda risk teşkil etmektedir. Ayrıca bahsi geçen bu piller önemli hammadde kaynağı ve ekonomik / ticari değere sahiptir.

Bu çalışmada, İstanbul ili Ümraniye ilçesinin Namık Kemal mahallesinde bulunan Li-iyon pilleri toplamak için yerleştirilmiş olan 12 adet atık pil toplama kutularının yerleri (telefon bakım-onarım mağazaları ve kamu kurum kuruluşları) belirlenmiştir. Araştırma yapılan bölgelerde bulunan atık pil toplama kutularındaki piller 3 aylık periyoda göre toplanmıştır. İlk olarak toplanan Li-iyon pillerin ağırlıkları ölçülmüştür. Bu ölçümden sonra her bir grup içerisindeki pilleri deşarj (üzerindeki yükü boşaltmak) edilmek amacıyla elektrolitik (iletken) sıvı içerisinde bekletilerek potansiyel gerilimi sıfırlanmıştır. Deşarj işlemi sonrası piller kendi grupları içerisinde el yordamı ile parçalanarak, çıkan malzemeler tanımlanarak her bir malzeme tartılarak kayıt altına alınmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda Li-iyon pilinin ortalama kompozisyonu %20 Cu (Bakır), %8 Al (Alüminyum), %10 plastik, %55 pil pastası (LiCoO₂) ve %7 diğerlerden oluşmaktadır. XRF ve XRD analizleri ile eş zamanlı yürütülen SEM analizlerinden elde edilen verilerden anlaşıldığı üzere katot malzemesi olarak kullanılan Li-metal Oksit bileşiklerine birçok defa şarj ve deşarj işleminin uygulanması sırasında bu bileşiğin katotdan anoda ve tam tersi olarak sürekli göç etmesi sırasında bileşikteki morfolojik yapı bozulmaktadır. Kullanılmış (bitmiş) Li-iyon pillere ait pil pastasının doğrudan ve/veya bir takım basit işlemler uygulanarak tekrardan kullanılabilmesi mümkün görünmektedir. Pil pastasının tekrardan kullanılabilirliğini sağlanması için çok basamaklı kimyasal süreçlere ihtiyaç vardır.

Pillerin ekonomik değerlendirilmesi için yapılan çalışmada; toplam 100 adet Li-iyon atık pil geri dönüşüm hesabında ekonomik kazanım ort. \$12,60 hesaplanmıştır. Ortalama bir kullanılmamış Li-iyon pilin adet fiyatı Türkiye şartlarında \$23 denk gelmektedir. 100 adet pil üzerinden yapmış olduğumuz bu çalışmada ise \$2300 dolar yapmaktadır. Bu hesapların sonucundan pilleri hammaddelerinin doğadan elde edilmesi yüksek maliyetli olacağından hazır işlenmiş malzemelerin direk kullanımı ekonomik açıdan daha da önemli bir kriter olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bernardes, A.M., Espinosa, D.C.R., Tenório, J.A.S. (2004). Recycling of batteries: a review of current processes and technologies, *Journal of Power Sources*, 130, 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.026>
- Beyzanur, K. (2020). Geçmişten Günümüze Piller, *Takvim-i Vekayi*, 8 (1), 104-115.
- Dell, R. M., Rand, D.A.J. (2001). *Understanding Batteries*, ISBN: 9780854046058, Cambridge, UK.
- Erdin, E. (2004). Katı Atık Olarak Piller, Aküler ve Bataryalar ve Etkileri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Biyolojisi ve Ekolojisi Ders Notları, İzmir. (web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc62.htm)
- Güven, S., (2000). Teorik ve Pratik Elektronik–8, Piller ve Akümülatörler, *Antrak Gazetesi*, 26, Teorik ve Pratik Elektronik Köşesi (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2020)
- Kanat, G., Gönüllü, M. T., Elmaslar, T. (1997). Piller ve Çevre Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi, *Yapı Malzeme ve Teknik*, 15, 78-86.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö. ve Timur, S. (2004). Metallerin Çevresel Etkileri-II, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi*, 137, 46-51.
- Lee, C.K., Rhee, K. (2003). Reductive Leaching of Cathodic Active Material From Lithium Ion Battery Wastes, *Science Direct*, 68, 5-10. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(02\)00167-6](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00167-6)
- Naylab, A.A., Elkhashab, R.A., Badawy S. M., El-Khateeb M.A. (2017). Acid leaching of mixed spent Li-ion batteries, *Arabian J of Chemistry*, 10(2), S3632-3639. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.04.001>
- Özcan, Ö.F., (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Kimyasallarının Özellikleri ve Üstün Yönlerinin Kıyaslanması Üzerine Bir Derleme Çalışması, *U J Sci, Part A*, 8(2), 276-298
- Sait, K., (2010). Atık/Kullanılmış Çinko-Karbon ve Alkali Pillerden Çinko ve Manganın Geri Kazanılması. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Resmi Gazete (2004). "Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği", 31.08.2004 tarih ve 25569 sayılı Resmi Gazete.

LME (2020). London Metal Exchange, ' <https://www.lme.com> '.