

ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ETKİLERİ

Arş. Gör. Yasir Ziya Gültak

Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
yasirgultak@mersin.edu.tr

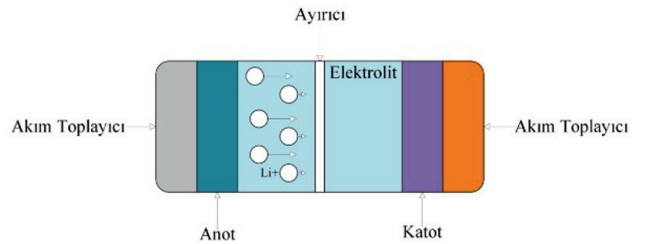
İklim değişikliği, gezegenimizin sürdürülebilirliğini tehdit eden en kritik çevresel sorunlardan biridir. İnsan faaliyetleri sonucu atmosferdeki karbondioksit ve diğer sera gazlarının yoğunluğu tarih boyunca kaydedilen en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu durum, küresel ısınmayı hızlandırarak ekosistemlerde geri döndürülemez tahribata yol açmakta ve aşırı hava olayları, deniz seviyesinin yükselmesi ile biyolojik çeşitlilik kaybı gibi olumsuz sonuçları artırmaktadır [1]. Dünya genelinde karbon emisyonlarının artışı ve petrol kaynaklarının tükenme riski giderek daha büyük bir endişe kaynağı haline gelmektedir. Ulaştırma sektörü, enerji tüketimi ve çevresel etkileri açısından en büyük paya sahiptir ve küresel enerji kullanımının %25'inden fazlasını oluşturmaktadır. Karayolu taşımacılığı, ulaştırma sektöründeki emisyonların %70'inden fazlasını oluşturarak çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir [2]. Bu nedenle, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ve emisyonları düşürmek amacıyla sürdürülebilir ulaşım kavramı giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Elektrikli araçlar (EA), özellikle binek ve hafif ticari taşıt segmentlerinde, sürdürülebilir ulaşımın geleceği açısından etkili çözümlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bunun temel nedeni, bu araçların kullanım sırasında hiçbir emisyon salımı yapmamasıdır. EA'ların bu özelliği sayesinde, büyük şehirlerde ulaşım kaynaklı hava kirliliğinin azalması ve bazı bölgelerde tamamen ortadan kalkması mümkün hale gelmektedir. Ayrıca, başta karbondioksit olmak üzere sera gazı emisyonlarının düşmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır [3]. Bu nedenle, birçok gelişmiş ülke, karbon ayak izinin artmasını engellemek amacıyla EA kullanımını teşvik etmektedir. Vergi indirimleri, satın alma destekleri, ücretsiz kamu otoparkı ve otoyol geçişleri gibi avantajlar sunulmaktadır [4]. Türkiye'de elektrikli araçların yaygınlaşmasını desteklemek amacıyla çeşitli teşvik ve düzenlemeler uygulanmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'nin yerli ve milli elektrikli otomobili Togg, devlet destekleriyle üretilmiş ve ülkenin sürdürülebilir ulaşım hedeflerine katkı sağlaması amaçlanmıştır. EA teknolojilerinin gelişimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu sayesinde, bu etkinin önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir.

Lityum-İyon Bataryalar

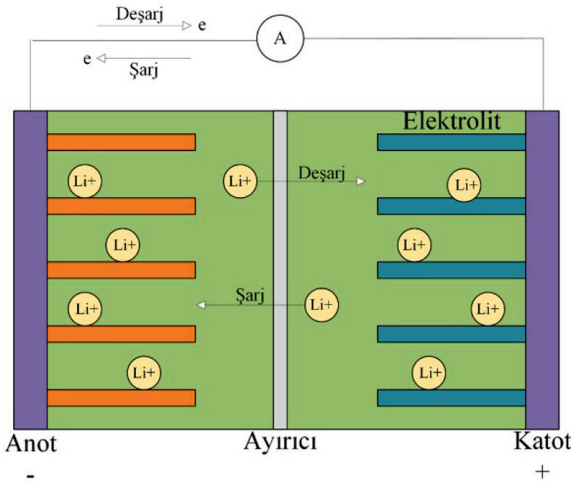
EA'ların en önemli bileşenlerinden biri bataryalarıdır. Bir EA'nın gücünü sağlayan bu bataryalar, geleneksel içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt deposunun yerini alır. Ancak benzin veya dizel yakıt yerine, elektrik enerjisini kimyasal olarak depolayan ve gerektiğinde bu enerjiyi araca güç vermek için geri döndüren gelişmiş batarya sistemleri kullanılır. Bugün piyasadaki çoğu EA, lityum-iyon bataryalar (LİB) ile donatılmıştır. Bu bataryalar, akıllı telefonlardan dizüstü bilgisayarlara kadar birçok cihazda kullanılan aynı teknolojiye dayanır. LİB'ler, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları sayesinde daha uzun menzil ve daha verimli enerji kullanımı sunar. Geleneksel kurşun-asit bataryalara kıyasla daha hafif, daha uzun ömürlü ve hızlı şarj olabilen bir yapıya sahiptirler [5].

LİB'ler, katot (pozitif elektrot), anot (negatif elektrot), elektrolit ve ayırıcı olmak üzere dört temel bileşenden oluşur.



Şekil 1. LİB'lerin yapısı

Şekil 2'de görüldüğü gibi LİB'lerin çalışma prensibi, lityum iyonlarının anot ile katot arasında sürekli olarak hareket etmesine dayanır. Deşarj aşamasında, negatif elektrot olan anot, lityum iyonlarını elektrolite bırakır ve bu iyonlar pozitif elektrot olan katota yönelir. Şarj işlemi sırasında ise lityum iyonları, elektrolit aracılığıyla katottan anota geri döner. Şarj ve deşarj sürecinde, elektrotlar arasında taşınan lityum iyonlarının miktarı ile orantılı olarak dış devreden bir akım geçişi gerçekleşir [6].



Şekil 2. LIB'lerin çalışma prensibi

Elektrikli Araç Bataryalarından Kaynaklanan Başlıca Sorunlar

EA'lar, fosil yakıtlı araçlara kıyasla çevre dostu bir alternatif sunarak karbon salımını azaltma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, bu araçların yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri batarya teknolojisine bağlı çeşitli teknik ve lojistik sorunlardır. Batarya performansı, üretim süreçleri, güvenlik riskleri ve çevresel etkiler, EA'ların uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından kritik konular arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, EA bataryalarından kaynaklanan başlıca sorunlar aşağıda ele alınmaktadır.

Menzil Kaygısı

EA bataryalarının enerji yoğunluğu, içten yanmalı motorlarda kullanılan fosil yakıtlara kıyasla daha düşüktür. Bu durum, araçların menzilin sınırlı olmasıyla sonuçlanmakta ve kullanıcılar arasında menzil kaygısına yol açmaktadır. Özellikle uzun yolculuklar veya şarj altyapısının yetersiz olduğu bölgelerde bu durum ciddi bir problem teşkil etmektedir [7].

Şarj Süresi ve Altyapı Eksikliği

EA bataryalarının şarj edilmesi, geleneksel fosil yakıtlı araçların yakıt doldurma süresine kıyasla oldukça uzun sürebilmektedir. Her ne kadar hızlı şarj istasyonları geliştirilmiş olsa da tam şarj süresi hala birkaç saat sürebilmekte ve bu da kullanıcı deneyimini olumsuz etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, şarj altyapısının yetersiz olduğu bölgelerde EA'ların kullanımı sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, yüksek güçlü hızlı şarj işlemleri bataryanın kimyasal yapısını etkileyerek ömrünü kısaltabilmektedir [8].

Batarya Ömrü

LİB'ler, belirli bir kullanım süresi boyunca kapasite kaybına uğramakta ve zamanla performansları düşmektedir. Özellikle sık hızlı şarj işlemleri, düzensiz şarj alışkanlıkları ve aşırı sıcak veya soğuk hava koşulları, bataryanın ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Batarya

ömrünün kısılması, kullanıcıların uzun vadede yüksek maliyetlerle karşılaşmasına neden olmakta ve EA'ların ikinci el piyasasını da olumsuz etkilemektedir [9].

Güvenlik Riskleri

EA bataryaları, özellikle termal kaçak riski taşıması nedeniyle güvenlik açısından belirli riskler barındırmaktadır. Batarya hücrelerinde meydana gelebilecek aşırı ısınma, yangın veya patlama gibi olaylara yol açabilmektedir. Özellikle üretim hataları, fiziksel hasar veya yanlış kullanım gibi faktörler, batarya güvenliğini tehdit etmektedir. EA bataryalarından kaynaklanan yangınlar, geleneksel araç yangınlarına kıyasla daha zor söndürülebilir olup özel ekipman gerektirmektedir [10].

Üretim Maliyetleri ve Ham Madde Tedariki

Lityum, kobalt ve nikel gibi nadir metallerin EA bataryalarında kullanılması hem yüksek üretim maliyetlerine hem de tedarik zincirinde çeşitli zorluklara yol açmaktadır. Bu metallerin çıkarılması sırasında çevresel zararlar meydana gelmekte ve etik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle kobalt madenciliğinde insan hakları ihlalleri sıklıkla gündeme gelmektedir. Ham madde kıtlığı veya fiyat dalgalanmaları, batarya üretimini ve dolayısıyla EA'ların maliyetini artırarak bu araçların yaygınlaşmasını zorlaştırmaktadır [11].

Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi

EA bataryalarının geri dönüşümü ve atık yönetimi, halen tam anlamıyla oturmuş bir süreç değildir. Bataryaların çevreye zarar vermeden geri dönüştürülmesi oldukça maliyetli ve teknik olarak karmaşıktır. Kullanım ömrü dolan bataryaların sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesi, EA ekosisteminin uzun vadeli çevresel etkileri açısından kritik bir konudur. Bununla birlikte, ikinci hayat uygulamaları olarak adlandırılan enerji depolama çözümleri, eski bataryaların farklı alanlarda kullanılmasına olanak tanımaktadır. Ancak, bu uygulamaların ölçeklenebilirliği henüz yeterli seviyeye ulaşmamıştır [12].

Soğuk Hava Koşullarında Elektrikli Araçlarda Menzil Kaybı

Düşük sıcaklıklarda LİB'lerin verimliliği belirgin şekilde azalır. Bu azalma, bataryaların içerisindeki bileşenlerde sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Soğuk hava koşullarının neden olduğu en önemli değişiklikler aşağıda incelenmiştir.

* Düşük sıcaklıklar, elektrolitin daha yoğun hale gelmesine ve akışkanlığının azalmasına neden olur. Bu durum, anot ile katot arasındaki iyon taşınım hızını önemli ölçüde düşürerek elektrik akımının oluşumunu zorlaştırır. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda elektrolit içinde tuz çökmesi veya donma meydana gelirse, iyonların tamamen hareket edemeyeceği bölgeler oluşur ve bu da bataryanın çalışmasını tamamen durdurabilir [13].

* Elektrolit içindeki iyonlar, çözücü moleküller tarafından sarılarak serbestçe hareket edebilirler. Ancak

elektrot yüzeyiyle reaksiyona girebilmeleri için bu moleküllerden kurtulmaları gerekir. Düşük sıcaklıklarda çözücü moleküller iyonlarla daha güçlü bağlar oluşturur, bu da iyonların elektrot yüzeyiyle doğrudan etkileşime girmesini geciktirir. Çözücü moleküllerden ayrışmayan iyonlar elektrot yüzeyinde birikir ve yeni iyonların yüzeye ulaşmasını zorlaştırır [14].

* Bataryanın anot yüzeyinde doğal olarak oluşan ince ve geçirgen bir film, elektrolit ile anot arasındaki istenmeyen reaksiyonları engelleyerek bataryanın kararlılığını sağlar. Bu ince film, Katı Elektrolit Arayüzü (SEI) tabakası olarak adlandırılır. Ancak, düşük sıcaklıklarda SEI tabakasının yapısı ve işlevselliği ciddi şekilde bozulabilir. Özellikle soğuk hava koşullarında, SEI tabakasının iyon geçirgenliği azalır. Bu durum, lityum iyonlarının anot ile katot arasında serbestçe hareket etmesini zorlaştırır. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda lityum iyonlarının anot yüzeyine düzgün bir şekilde yerleşememesi nedeniyle lityum kaplanması adı verilen bir sorun ortaya çıkabilir. Bu durum, zamanla batarya ömrünü kısaltan ve hatta güvenlik riskleri doğurabilen düzensiz lityum birikimlerine yol açabilir [15].

Düşük sıcaklıklarda meydana gelen bu değişiklikler, EA'larda menzile kaybına yol açmaktadır. Yapılan araştırmalar, özellikle dondurucu hava koşullarında ısı pompasına sahip EA'ların menzillerinde ortalama %20 oranında azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Isı pompası bulunmayan EA'larda ise bu oran daha da yüksek olmaktadır. Ancak menzile kaybı, yalnızca ısıtma sistemiyle sınırlı olmayıp; aracın modeli, batarya kimyası, enerji yönetim stratejileri ve aerodinamik yapısı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [16].

EA'larda menzile ve enerji verimliliği büyük önem taşır. Isı pompası, bu verimliliği artıran kritik bir teknolojidir. Hem kabini hem de bataryayı ısıtıp soğutabilen bu sistem, geleneksel ısıtma-soğutma sistemlerine kıyasla çok daha az enerji tüketir. Isı pompası, soğuk havalarda dış ortamdan ve bazı durumlarda araç bileşenlerinden aldığı ısıyı kullanarak kabini ve bataryayı ısıtır. Geleneksel EA ısıtma sistemleri genellikle dirençli ısıtıcılar (PTC – Pozitif Sıcaklık Katsayılı ısıtıcılar) kullanır. Bu sistemler, elektrik enerjisini doğrudan ısıya çevirerek kabini ısıtır. Ancak, dirençli ısıtıcılar yüksek enerji tüketimi nedeniyle batarya menzileini önemli ölçüde azaltabilir. Isı pompası kullanıldığında ise enerji tüketimi büyük oranda azalır. Bunun sebebi, ısı pompasının havadan veya araç bileşenlerinden aldığı mevcut ısıyı kullanarak ısıtma yapmasıdır. Bu yöntem, dirençli ısıtıcılara kıyasla çok daha az enerji harcar ve böylece araç menzileini artırır. Ayrıca, ısı pompası yalnızca kabini değil, bataryayı da ideal sıcaklıkta tutarak performansı ve ömrünü iyileştirir. Özellikle soğuk havalarda menzile kaybını minimize etmek için ısı pompası önemli bir avantaj sağlar [17].

Tablo 1'de, popüler EA'ların 0 santigrat derecede ne kadar menzile kaybı yaşadığı görülmektedir.

Tablo 1. Popüler EA'ların 0°C'de menzile kayıpları

Model	Isı Pompası	Menzile Kaybı (%)
Tesla Model X	Var	11
Tesla Model S	Var	12
Audi e-tron	Var	13
Tesla Model 3	Var	13
Tesla Model Y	Var	14
Hyundai Ioniq 5	Var	15
Hyundai Kona	Var	16
BMW iX	Var	17
Nissan Ariya	Var	17
Kia EV6	Var	20
Tesla Model 3	Yok	21
Nissan Leaf	Yok	22
Tesla Model S	Yok	23
Chevrolet Bolt	Yok	31
Volkswagen ID.4	Yok	37

Kaynakça

- [1] IEA, L. (2020). Tracking transport 2020. Paris: IEA.
- [2] Shahzad, M., Shafiq, M. T., Douglas, D., & Kassem, M. (2022). Digital twins in built environments: an investigation of the characteristics, applications, and challenges. Buildings, 12(2), 120.
- [3] International Energy Agency. (2022). Renewable Energy Market Update: Outlook for 2022 and 2023. OECD Publishing.
- [4] Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. Smart Cities, 4(1), 372-404. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>
- [5] Adakkappan, M., & Sathiyamoorthy, N. (2022). Modeling, state of charge estimation, and charging of lithium-ion battery in electric vehicle: a review. International Journal of Energy Research, 46(3), 2141-2165.
- [6] Yang, Y., Yang, W., Yang, H., & Zhou, H. (2023). Electrolyte design principles for low-temperature lithium-ion batteries. Esience, 3(6), 100170.
- [7] Rainieri, G., Buizza, C., & Ghilardi, A. (2023). The psychological, human factors and socio-technical contribution: A systematic review towards range anxiety of battery electric vehicles' drivers. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 99, 52-70.
- [8] Ullah, I., Liu, K., Yamamoto, T., Zahid, M., & Jamal, A. (2022). Prediction of electric vehicle charging duration time using ensemble machine learning algorithm and Shapley additive explanations. International Journal of Energy Research, 46(11), 15211-15230.
- [9] Abdelbaky, M., Peeters, J. R., & Dewulf, W. (2021). On the influence of second use, future battery technologies, and battery lifetime on the maximum recycled content of future electric vehicle batteries in Europe. Waste Management, 125, 1-9.
- [10] Held, M., Tuchscheid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L. D., ... & Nachev, L. (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 165, 112474.
- [11] Xia, X., & Li, P. (2022). A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries. Science of the Total Environment, 814, 152870.
- [12] Hoarau, Q., & Lorang, E. (2022). An assessment of the European regulation on battery recycling for electric vehicles. Energy Policy, 162, 112770.
- [13] Liu, Y., Li, W., Cheng, L., Liu, Q., Wei, J., & Huang, Y. (2022). Anti-freezing strategies of electrolyte and their application in electrochemical energy devices. The Chemical Record, 22(10), e202200068.
- [14] Lei, S., Zeng, Z., Liu, M., Zhang, H., Cheng, S., & Xie, J. (2022). Balanced solvation/de-solvation of electrolyte facilitates Li-ion intercalation for fast charging and low-temperature Li-ion batteries. Nano Energy, 98, 107265.
- [15] Dong, X., Wang, Y. G., & Xia, Y. (2021). Promoting rechargeable batteries operated at low temperature. Accounts of Chemical Research, 54(20), 3883-3894.
- [16] Chademunhu, B. F., Gupta, S., & Mishra, P. K. (2024, July). Enhancing Cold-weather Performance of Electric Vehicles through Innovative Thermal Management Strategies. In 2024 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECT) (pp. 1-6). IEEE.
- [17] Hajidavalloo, M. R., Chen, J., Hu, Q., & Li, Z. (2023, May). Study on the benefits of integrated battery and cabin thermal management in cold weather conditions. In 2023 American Control Conference (ACC) (pp. 1759-1766). IEEE.